

UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

Ana M. Vranješ

**HIDROGEOTERMALNI RESURSI
TERITORIJE GRADA BEOGRADA**

Doktorska disertacija

Beograd, 2012

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Ana M. Vranješ

**HYDROGEO THERMAL RESOURCES OF
THE BELGRADE CITY AREA**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2012

Mentor: dr Dejan Milenić, vanredni profesor, naučna oblast–Hidrogeoekologija
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Članovi komisije:

dr Zoran Stevanović, redovni profesor, naučna oblast– Vodosnabdevanje i
menadžment podzemnih voda
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

dr Veselin Dragišić, redovni profesor, naučna oblast– Vodosnabdevanje i
menadžment podzemnih voda
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

dr Mirko Komatina, redovni profesor, naučna oblast–Termomehanika
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

dr Milica Jovanović-Popović, redovni profesor, naučna oblast–Arhitektonske
konstrukcije i ekološko projektovanje i građenje
Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet

dr Dragoslav Šumarac, redovni profesor, naučna oblast–Tehnička mehanika
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

Datum odbrane _____

ZAHVALNOST

Profesoru dr Dejanu Mileniću, svom mentoru, iskazujem najveću zahvalnost i poštovanje na ukazanom poverenju, smernicama i savetima tokom pisanja doktorske disertacije "Hidrogeotermalni resursi teritorije grada Beograda".

Zahvaljujem se prof. dr Zoranu Stevanoviću, prof. dr Veselinu Dragišiću, prof. dr Mirku Komatini, prof. dr Milici Jovanović-Popović i prof. dr Dragoslavu Šumarcu na posvećenom vremenu i sugestijama.

Profesorima sa katedre za istorijsku geologiju, doc. dr Meri Ganić, prof. dr Slobodanu Kneževiću i prof. dr Dragomanu Rabrenoviću zahvaljujem se na pomoći oko sagledavanja geološke građe teritorije grada Beograda i prilikom izrade geološke karte.

Redovnom profesoru u penziji, dr Budimiru Filipoviću zahvaljujem se na korisnim sugestijama prilikom izrade nove hidrogeološke rejonizacije teritorije grada Beograda.

Veliku zahvalnost dugujem kolegama iz organa gradske uprave grada Beograda, gradskom arhitekti mr Dejanu Vasoviću i predstavnicima Sekretarijata za komunalne i stambene poslove–Uprava za energetiku g-dinu Marku Stojanoviću na prepoznatoj važnoj ulozi geotermalne energije u daljem razvoju grada i uložnim sredstvima za istraživanje.

Zahvaljujem se kolegama iz firme "Geco" na čelu sa Ivanom Đokićem i Branimiru Laziću iz firme "Hidrogeocentar" na pomoći u prikupljanju podataka, a koji se odnose na lokacije i karakteristike bušotina i bunara na teritoriji grada Beograda.

Dragim kolegama iz Urbanističkog zavoda grada Beograda, g-đi Vesni Tahov i Ivici Tornjanskom zahvaljujem se na ustupanju podataka i digitalizovanih topogarfskih podloga grada.

G-dinu Jovi Bogdanoviću zahvaljujem se na ustupljenom velikom broju rezultata geofizičkih ispitivanja bušotina na teritoriji grada Beograda.

Zahvaljujem se dragim kolegama iz firme "Rehau", g-dinu Nikoli Ivoševiću, g-dinu Dušanu Todoroviću, g-dinu Nebojši Staniću i g-dinu Saši Iliću na omogućenom stručnom putovanju u Beč u cilju upoznavanja sa dostignućima u oblasti energetske efikasnosti, primene obnovljivih izvora energije u zgradarstvu, novih materijala i termotehničke opreme. Zahvaljujem se i na prenetom iskustvu u primeni hidrogeotermalne i liotgeotermalne energije na području grada Beograda, koje je potvrđeno velikim brojem uspešno realizovanih projekata.

Zahvaljujem se g-dinu Srđanu Milinkoviću, direktoru firme "SM-inženjering" na saradnji i stručnoj pomoći oko analize optimizacije rada toplotnih pumpi voda-voda, kao i na ustupanju podataka koji se odnose na način primene hidrogeotermalnih resursa u sistemima toplotnih pumpi.

G-dinu Petru Vasiljeviću, direktoru JKP "Beogradske elektrane" zahvaljujem se na pomoći oko sagledavanja trenutnih potreba u toplotnoj energiji grada Beograda i na velikom promovisanju korišćenja hidrogeotermalnih resursa u zgradarstvu.

Kolegi Urošu Đuriću sa Departmana za geotehniku dugujem zahvalnost na izdvojenom vremenu i velikoj pomoći oko izrade priloga primenom GIS tehnologije.

Zahvaljujem se kolegi Savi Magazinoviću na ustupanju rezultata do sada izvedenih geotermalnih istraživanja na delu teritorije grada Beograda.

Svojim najbližim kolegama i prijateljima iz Centra za obnovljive vodne energetske resurse na Departmanu za hidrogeologiju Rudarsko-geološkog fakulteta, Neveni Savić, Đuri Milankoviću, Nenadu Doroslovcu, Bojanu Dončevu i Marini Jovanović neizmerno se zahvaljujem na podršci, razumevanju i pomoći na izradi doktorske disertacije.

Punu podršku, strpljenje, razumevanje i mentalni oslonac tokom izrade doktorske disertacije pružila mi je moja porodica, mama, tata i sestra Jovana. Hvala!

HIDROGEOTERMALNI RESURSI TERITORIJE GRADA BEOGRADA

REZIME

Republika Srbija je izrazito bogata hidrogeotermalnim resursima. Podzemne vode sa temperaturama preko 20°C (pa do 96°C, Vranjska Banja) relativno su dobro iskorišćene. Nasuprot njima, podzemne vode sa temperaturama do 20°C do sada uglavnom nisu bile predmet istraživanja sa bilo kog aspekta izuzev za potrebe vodosnabdevanja. Razvojem sistema toplotnih pumpi, mogućnosti višenamenskog korišćenja ovih voda značajno su uvećane.

Teritorija Beograda odlikuje se značajnim resursima podzemnih voda, pre svega u okviru aluvijalnih peskovito-šljunkovitih naslaga i neogenih tortonsko-sarmatskih krečnjačkih naslaga. Temperatura ovih voda ne prelazi 25°C. Njihovim zahvatanjem preko istražno-eksploatacionih bunara i potom prolaskom kroz toplotne pumpe i ekstrakcijom toplote stvara se odgovarajuća toplotna energija koju je potom moguće koristiti za odgovarajuće namene.

Cilj izrade doktorske disertacije je, dakle, ocena potencijala hidrogeotermalnih resursa niske entalpije na teritoriji grada Beograda. Cilj istraživanja jeste i definisanje mogućnosti i načina primene hidrogeotermalnih resursa shodno energetske toplotne potrebama grada Beograda, kao i razvijanje mehanizama održivog upravljanja istim. Ocena potencijalnosti hidrogeotermalnih resursa teritorije grada Beograda, predstavlja baznu podlogu za dalji razvoj grada sa aspekta korišćenja podzemnih voda i gazdovanja istim. Valorizacija energetske potencijala podzemnih voda na području grada usmerava tok urbanističkog razvoja i energetske razvoja grada.

U cilju ocene potencijalnosti i energetske valorizacije hidrogeotermalnih resursa na teritoriji grada Beograda istraživanja su podeljena na četiri celine.

U okviru prve celine sagledane su opšte karakteristike teritorije grada: geografski položaj, klimatske karakteristike, hidrografske-hidrološke i geomorfološke karakteristike terena. Izrađena je hidrografska karta teritorije grada Beograda primenom GIS tehnologije u razmeri 1:100.000 i izrađen je trodimenzionalni prikaz terena

U okviru druge celine sagledana je geološka i tektonska građa terena i izrađena je geološka karta teritorije grada Beograda u razmeri 1:100.000 primenom GIS tehnologije.

U okviru treće celine izvršena je nova hidrogeološka rejonizacija teritorije grada Beograda. Područje grada podeljeno je na 10 hidrogeoloških rejona. Formirana je baza analiziranih bunara, bušotina i izvora na području grada. U okviru svakog hidrogeološkog rejona izvršena je analiza izdvojenih tipova izdani prema rasprostranjenju, uslovima prihranjivanja i filtracionim karakteristikama, zatim prema uslovima dreniranja i raspoloživim količinama podzemnih voda i sagledane su hidrohemijske karakteristike podzemnih voda na nivou osnovnih komponenti hemijskog sastava. Izrađena je hidrogeološka karta teritorije grada Beograda u razmeri 1:100.000 primenom GIS tehnologije.

U okviru četvrte celine analizirane su teorijske osnove istraživanja geotermalne energije na području Republike Srbije. Izvršena je klasifikacija hidrogeotermalnih resursa prema temperaturi posmatrano na teritoriji grada Beograda. Definisana su dva hidrogeotermalna sistema, sistem u okviru kvartranih sedimenata ($_{HGTS}Q$) i sistem u okviru prekvartarnih sedimenata ($_{HGTS}T$). Izvršeno je okonturivanje pomenutih sistema, odnosno maksimalno rasprostranjenje na užem i širem području grada. U okviru sistema analiziran je temperaturni režim i raspoložive količine podzemnih vodnih resursa, izvršena je energetska valorizacija resursa i mogućnosti i ograničenja u primeni hidrogeotermalnih resursa.

Hidrogeotermalni sistem $_{HGTS}Q$ na užem području grada (teritorija GP-a) prostire se na površini oko 400 km² i obuhvata podzemne vodne resurse u okviru peskova i šljunkova sa *Corbicula fluminalis* (A_1) i podzemne vodne resurse u okviru peskova kvartarne starosti (A_2). Na širem području grada hidrogeotermalni sistem u okviru kvartarnih sedimenata nosi oznaku $_{HGTS}Q_1$. Prostire se na delu terena severno od Save i Dunava i obuhvata podzemne vodne resurse u okviru peskova i šljunkova sa *Corbicula fluminalis* (AI_1) i podzemne vodne resurse u okviru peskova kvartarne starosti (AI_2).

Hidrogeotermalni sistem $_{HGTS}T$ na užem području grada prostire se na površini oko 500 km² i obuhvata podzemne vodne resurse u okviru peskova pliocenske starosti (B_1), u okviru peskova sarmatsko-panonske starosti (B_2), zatim u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti (B_3) i u okviru krečnjaka kredne starosti (B_4).

Na širem području grada hidrogeotermalni sistem u okviru prekvarternih sedimenata nosi oznaku $HGTS T_I$ i obuhvata podzemne vodne resurse u okviru peskova pliocenske starosti (BI_1), u okviru peskova sarmatsko-panonske starosti (BI_2), zatim u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti (BI_3).

Energetski potencijal hidrogeotermalnih resursa teritorije grada Beograda prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Energetski potencijal hidrogeotermalnih resursa teritorije grada Beograda

| Energetski potencijal $HGTS Q$ (uže gradsko područje) | | Energetski potencijal $HGTS Q_I$ (šire gradsko područje) | |
|---|--------|--|--------|
| A ₁ | 450 MW | AI ₁ | 330 MW |
| A ₂ | 240 MW | AI ₂ | 160 MW |
| UKUPNO: 690 MW | | UKUPNO: 490 MW | |
| Energetski potencijal $HGTS T$ (uže gradsko područje) | | Energetski potencijal $HGTS T_I$ (šire gradsko područje) | |
| B ₁ | 435 MW | BI ₁ | 550 MW |
| B ₂ | 24 MW | BI ₂ | 10 MW |
| B ₃ | 47 MW | BI ₃ | 30 MW |
| UKUPNO: ≈506 MW | | UKUPNO: ≈590 MW | |
| TOTAL ≈1.200 MW | | TOTAL ≈ 1.100 MW | |

Eksploatacija i aplikacija hidrogeotermalnih resursa na teritoriji grada, sa aspekta optimizacije, analizirana je kroz primenu toplotnih pumpi, hidrogeoloških dubleta, izbora materijala geotermalne/termotehničke opreme u zavisnosti od hemizma podzemnih voda, zatim analizirana je primena hidrogeotermalnih resursa u konceptu povećanja energetske efikasnosti. Sagledani su ekološki aspekti korišćenja hidrogeotermalne energije, analizirana je aktuelna zakonska regulativa u domenu eksploatacije i korišćenja obnovljivih izvora energije sa akcentoma na hidrogeotermalnim resursima.

Jedan od rezultata izvedenih hidrogeotermalnih istraživanja je karta geotermalne potencijalnosti teritorije grada Beograda u razmeri 1:100.000 izrađena primenom GIS tehnologije.

Ključne reči:

geotermalna energija, hidrogeotermalni resursi, hidrogeotermalni sistemi, hidrogeotermalna potencijalnost, energetska valorizacija, hidrogeološka rejonizacija, grad Beograd

NAUČNA OBLAST: Geološko inženjerstvo

UŽA NAUČNA OBLAST: Hidrogeologija

UDK:553.065/.78:556/550.36 (497.111) (043.3)

HYDROGEO THERMAL RESOURCES OF THE BELGRADE CITY AREA

ABSTRACT

The Republic of Serbia is extremely rich in hydrogeothermal resources. Groundwater with the temperatures above 20°C (up to 96°C, Vranjska Spa) is relatively well utilised. Unlike it, groundwater with the temperatures up to 20°C mostly has not been the subject of exploration from any aspect except for the need of water supply. The development of the heat pump systems, has substantially increased the possibilities of multipurpose utilisation of groundwater.

The territory of Belgrade covers a considerable area of groundwater resources, especially within alluvial, sand and gravel sediments and Neogenic Tortonian-Sarmatian limestone deposits. The temperature of this water is not above 25°C. The capturing of this groundwater, using the exploitation wells, its subsequent passing through heat pumps, and heat exchanger, creates suitable heat energy which can subsequently be utilised for different purposes.

The aim of this paper is, therefore, the estimation of low enthalpy hydrogeothermal resource potentials on the territory of the city of Belgrade. The goal of this exploration is defining the possibilities and utilisation methods of hydrogeothermal resources according to the energy heating requirements of Belgrade, as well as, the sustainable development of its management mechanisms. The hydrogeothermal resource potential evaluation on the territory of the city of Belgrade represents the basic platform for further city development concerning groundwater utilisation and management. The groundwater energy potential valorisation in the city area directs further urban and energy development of the city.

With the prospect of giving the estimation of hydrogeothermal resource energy and potential valorisation on the territory of Belgrade, the explorations have been divided into four segments.

The first segment includes some general characteristics of the city: geographical position, climatic characteristics, hydrographic-hydrological, and geomorphologic characteristics of the terrain. Hydrographic map of the city of Belgrade has been created with the application of the GIS technology at 1:100.000 scale, as well as the three-dimensional terrain scene.

The second segment covers the geological and tectonic structure of the terrain and the geological map of the city of Belgrade at 1:100.000 scale, with the application of GIS technology, has been made.

Within the third segment, the new hydrogeology delineation of the territory of Belgrade has been done. The area is divided into 10 hydrogeology regions. The database of the analysed wells, boreholes and springs in the Belgrade area has been formed. Within each hydrogeological area, the analysis of the separate types has been done according to their distribution, recharge conditions, as well as their filtration characteristics, then according to the discharge conditions and available groundwater quantity. Besides that, the hydrochemical features of the groundwater on the level of its basic chemical composition. The hydrogeological map of the territory of the city of Belgrade has been made at 1:100.000 scale with the application of the GIS technology.

The fourth sector analyses the theoretical basics of the geothermal energy exploration on the territory of the Republic Serbia. The hydrogeothermal resources have been classified according to the temperature on the territory of the city of Belgrade. The two hydrogeothermal systems have been defined: the system within Quaternary sediments ($HGTSQ$) and the system within Prequaternary sediments ($HGTS T$). The delineating of the above mentioned systems has been done, i.e. their maximum distribution in the greater and inner city area. Within the same system the temperature regime and the available groundwater aquifer resource have been analysed; the energy valorisation of the resources has been completed as well as the limitations of the application of the hydrogeothermal resources.

The hydrogeothermal system $HGTSQ$ in the inner city area (GP territory) covers 400 km² and includes groundwater resources within sands and gravels from *Corbicula Fluminalis* (A_1) and groundwater resources within the Quaternary sands (A_2).

In the greater city area the hydrogeothermal system within the Quarternary sediments is marked as HGTSQ_I. It spreads over the area north of the Sava and Danube Rivers and includes the groundwater resources within the sands and gravel from *Corbicula fluminalis* (AI₁) and the groundwater resources within the Quarternary sands (AI₂).

The hydrogeothermal system HGTS_T in the inner city area covers 500 km² and includes groundwater resources within the Pliocene sands (B₁), within Sarmatian and Tortonian sands (B₂), then within the Tortonian and Sarmatian limestones (B₃), and within the Cretaceous limestones (B₄). In the greater city area the hydrogeothermal system within the Prequarternary sediments is marked as HGTS_T_I and involves the groundwater resources within the sands of the Pleocene (BI₁), and within the sands of the Sarmatian and Tortonian (BI₂), then within the limestones of the Tortonian and Sarmanian (BI₃).

The energy potential of the hydrogeothermal resources is shown in the Table 1.

Table 1. The energy potential of the hydrogeothermal resources of the Belgrade city area

| Energy potential HGTSQ (inner area) | | Energy potential HGTSQ_I (geater area) | |
|---|--------|--|--------|
| A ₁ | 450 MW | AI ₁ | 330 MW |
| A ₂ | 240 MW | AI ₂ | 160 MW |
| TOTAL: 690 MW | | TOTAL: 490 MW | |
| Energy potential HGTS_T (inner area) | | Energy potential HGTS_T_I (geater area) | |
| B ₁ | 430 MW | BI ₁ | 550 MW |
| B ₂ | 25 MW | BI ₂ | 10 MW |
| B ₃ | 45 MW | BI ₃ | 30 MW |
| TOTAL: 506 MW | | TOTAL: 590 MW | |
| TOTAL = 1,200 MW | | TOTAL = 1,100 MW | |

The exploitation and application of the hydrogeothermal resources in the city area, from the optimal point of view, has been analysed through the heat pump application, hydrogeological doublets, and the choice of material for geothermal/thermo-technical equipment depending on the groundwater chemical composition.

The application of the hydrogeothermal resources has been discussed with the aim of greater efficiency. The ecological aspects of the hydrogeothermal energy utilization have been considered, the current legislation in the domain of the exploitation and utilization of the renewable resources has been discussed with the emphasis on hydrogeothermal resources.

One of the results of the performed hydrogeothermal explorations is the map of the geothermal potentials of the Belgrade area at 1:100.000 scale, with the application of the GIS technology.

Key words:

geothermal energy, hydrogeothermal resources, hydrogeothermal systems, hydrogeothermal potential, energy valorisation, hydrogeological area delineation, the city of Belgrade

SCIENTIFIC FIELDS: Geological engineering

SPECIAL TOPICS: Hydrogeology

UDC: 553.065/.78:556/550.36 (497.111) (043.3)

SADRŽAJ

| | |
|--|-----------|
| I. UVODNA RAZMATRANJA..... | 1 |
| 1. Ciljevi izrade doktorske disertacije..... | 1 |
| 2. Konceptija i metodologija primenjenih istraživanja..... | 3 |
| | |
| II. OPŠTE KARAKTERISTIKE TERITORIJE GRADA BEOGRADA..... | 10 |
| 3. Geografski položaj teritorije grada Beograda..... | 10 |
| 4. Teoretska razmatranja uticaja urbane sredine na hidrološki ciklus i na podzemne vodne resurse..... | 13 |
| 5. Klimatske karakteristike teritorije grada Beograda..... | 17 |
| 5.1. Klimatske karakteristike užeg područja grada Beograda..... | 20 |
| 5.1.1. Padavine..... | 21 |
| 5.1.2. Temperatura vazduha..... | 25 |
| 5.1.3. Evapotranspiracija..... | 29 |
| 5.1.4. Ostali klimatski parametri..... | 32 |
| 5.2. Klimatske karakteristike šireg područja grada Beograda..... | 35 |
| 6. Hidrografske i hidrološke karakteristike teritorije grada Beograda.... | 38 |
| 7. Geomorfološke karakteristike teritorije grada Beograda..... | 44 |
| | |
| III. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERITORIJE GRADA BEOGRADA..... | 49 |
| 8. Detaljna geološka istraživanja teritorije grada Beograda..... | 49 |
| 8.1. Analiza postojećih istraživačkih konceptija..... | 49 |
| 8.2. Prikaz dosadašnjih geoloških istraživanja..... | 55 |
| 8.3. Prikaz litostratigrafskih jedinica..... | 60 |
| 8.3.1. Paleozoik..... | 62 |
| 8.3.2. Mezozoik..... | 63 |
| 8.3.2.1. Jura..... | 63 |
| 8.3.2.1.1. Srednja jura..... | 64 |
| 8.3.2.1.2. Gornja jura..... | 65 |

| | |
|--|-----|
| 8.3.2.2. Kreda..... | 67 |
| 8.3.2.2.1. Donja kreda..... | 69 |
| 8.3.2.2.2. Gornja kreda..... | 74 |
| 8.3.3. Kenozoik..... | 77 |
| 8.3.3.1. Tercijar..... | 79 |
| 8.3.3.1.1. Miocen..... | 79 |
| 8.3.3.1.2. Pliocen..... | 92 |
| 8.3.3.2. Kvartar..... | 94 |
| 8.3.3.2.1. Pleistocen..... | 94 |
| 8.3.3.2.2. Holocen..... | 97 |
| 8.4. Magmatizam..... | 99 |
| 8.5. Tektonske karakteristike istražnog područja (strukturne karakteristike)..... | 102 |

| | |
|---|------------|
| IV. HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERITORIJE GRADA BEOGRADA SA ASPEKTA KORIŠĆENJA ENERGETSKOG POTENCIJALA PODZEMNIH VODA..... | 107 |
| 9. Prikaz dosadašnjih hidrogeoloških istraživanja..... | 107 |
| 10. Podela teritorije grada Beograda po hidrogeološkim rejonima..... | 120 |
| 10.1. Hidrogeološka rejonizacija..... | 120 |
| 10.2. Predlog nove hidrogeološke rejonizacije..... | 122 |
| 11. Prikaz hidrogeoloških karakteristika terena po rejonima..... | 127 |
| 11.1. Hidrogeološki rejon I–Pančevački rit..... | 128 |
| 11.1.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti..... | 135 |
| 11.1.2. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata pliocenske starosti..... | 144 |
| 11.1.3. Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti..... | 146 |
| 11.1.4. Hidrohemijske karakteristike rejona I..... | 148 |
| 11.2. Hidrogeološki rejon II–Zemunsko-bežanijski lesni plato..... | 152 |
| 11.2.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti..... | 159 |
| 11.2.2. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata tercijarne starosti..... | 167 |
| 11.2.3. Hidrohemijske karakteristike rejona II..... | 174 |
| 11.3. Hidrogeološki rejon III–Savska aluvijalna ravan..... | 177 |
| 11.3.1. Novobeogradski podrejon..... | 178 |
| 11.3.1.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti..... | 182 |

| | |
|--|------------|
| 11.3.1.2. Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti..... | 194 |
| 11.3.2. Makiško-ostružnički podrejon..... | 201 |
| 11.3.2.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti..... | 203 |
| 11.3.3. Hidrohemijske karakteristike rejonu III..... | 212 |
| 11.4. Hidrogeološki rejon IV–Centralno gradsko područje..... | 216 |
| 11.4.1. Beogradsko pobrđe..... | 223 |
| 11.4.1.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti..... | 223 |
| 11.4.1.2. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti..... | 227 |
| 11.4.1.3. Karstni tip izdani u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti..... | 229 |
| 11.4.1.4. Karstno pukotinski tip izdani u okviru krečnjaka urgonske starosti..... | 241 |
| 11.4.1.5. Uslovno “bezvodni” delovi terena u okviru glina panonske starosti..... | 247 |
| 11.4.2. Slanci-V.Selo..... | 249 |
| 11.4.2.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti..... | 249 |
| 11.4.2.2. Uslovno “bezvodni” delovi terena u okviru sedimenata tercijarne starosti..... | 249 |
| 11.4.3. Hidrohemijske karakteristike rejonu IV..... | 251 |
| 11.5. Hidrogeološki rejon V–Savsko-Kolubarska aluvijalna ravan.... | 256 |
| 11.5.1. Boljevačko-progarski podrejon..... | 259 |
| 11.5.1.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti..... | 259 |
| 11.5.2. Obrenovački podrejon..... | 266 |
| 11.5.2.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti..... | 266 |
| 11.5.2.2. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti..... | 268 |
| 11.5.2.3. Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti..... | 270 |
| 11.5.3. Hidrohemijske karakteristike rejonu V..... | 272 |

| | |
|---|-----|
| 11.6. Hidrogeološki rejon VI–Kolubarsko-Tamnavska aluvijalna ravan..... | 276 |
| 11.6.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti..... | 278 |
| 11.6.2. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata tercijarne starosti..... | 279 |
| 11.6.3. Hidrohemijske karakteristike rejona VI..... | 282 |
| 11.7. Hidrogeološki rejon VII–Kristalasti kompleks Vagana i Bukulje..... | 284 |
| 11.8. Hidrogeološki rejon VIII–Šumadijsko-mezozojska greda..... | 288 |
| 11.8.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti..... | 291 |
| 11.8.2. Zbijeni tip izadni u okviru sedimenata miocenske starosti..... | 291 |
| 11.8.3. Pukotinski tip izdani u okviru serpentinita jurske starosti..... | 292 |
| 11.8.4. Uslovno “bezvodni” delovi terena u okviru sedimenata kredne starosti..... | 295 |
| 11.8.5. Hidrohemijske karakteristike rejona VIII..... | 297 |
| 11.9. Hidrogeološki rejon IX–Područje Sremčica-Barajevo..... | 298 |
| 11.9.1. Karstni tip izdani u okviru sedimenata sarmatske starosti..... | 302 |
| 11.9.2. Hidrohemijske karakteristike rejona IX..... | 309 |
| 11.10. Hidrogeološki rejon X–Područje Mladenovac-Grocka..... | 312 |
| 11.10.1. Mladenovački podrejon..... | 320 |
| 11.10.1.1. Zbijeni tip izadni u okviru sedimenata miocenske starosti..... | 320 |
| 11.10.1.2. Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti..... | 325 |
| 11.10.2. Gročanski podrejon..... | 330 |
| 11.10.2.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti..... | 330 |
| 11.10.2.2. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti..... | 331 |
| 11.10.2.3. Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti..... | 336 |
| 11.10.3. Hidrohemijske karakteristike rejona X..... | 339 |

| | |
|--|------------|
| V. RAZMATRANJA I ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA I KORIŠĆENJA HIDROGEOTERMALNIH RESURSA..... | 345 |
| 12. Mesto i uloga geotermalne energije u konceptu korišćenja obnovljivih izvora energije u XXI veku..... | 345 |
| 13. Aktuelna zakonska regulativa u oblasti korišćenja geotermalne energije i ostalih obnovljivih izvora energije..... | 349 |
| 14. Istorijat istraživanja i korišćenja geotermalne energije u Srbiji..... | 360 |
| 15. Geotermalna energija i njena klasifikacija..... | 364 |
| 16. Subgeotermalni energetske resursi..... | 369 |
| 16.1. Subhidrogeotermalni energetske resursi..... | 369 |
| 16.2. Sublitogeotermalni energetske resursi..... | 373 |
| 17. Geotermalni resursi u užem smislu..... | 374 |
| 18. Geotermalni resursi temperature preko 100° C..... | 382 |
| 18.1. Hidrogeotermalni resursi..... | 382 |
| 18.2. Hot dry rock sistemi..... | 383 |
| | |
| VI. OPTIMIZACIJA KORIŠĆENJA PODZEMNIH VODA KAO HIDROGEOTERMALNOG RESURSA..... | 384 |
| 19. Korišćenje toplotnih pumpi..... | 386 |
| 19.1. Primena toplotnih pumpi..... | 386 |
| 19.2. Princip rada i podela toplotnih pumpi..... | 392 |
| 19.3. Režim rada toplotne pumpe voda-voda i ostvarive uštede u energiji.. | 398 |
| 19.3.1. Jednostepene toplotne pumpe voda-voda..... | 398 |
| 19.3.2. Kaskadne toplotne pumpe voda-voda..... | 403 |
| 20. Hidrogeološki dubleti..... | 405 |
| 20.1. Upravljanje hidrogeotermalnim resursima u procesu eksploatacije.... | 405 |
| 20.2. Klasifikacija upojnih bunara..... | 411 |
| 20.3. Hidrogeološki dubleti..... | 414 |
| 20.3.1. Optimalno rastojanje između eksploatacionog i upojnog bunara..... | 414 |
| 20.3.2. Eksploatacione i upojne količine podzemnih voda..... | 419 |
| 20.3.3. Analiza upojnog bunara na eksploatacioni bunar..... | 421 |
| 21. Izbor materijala geotermalne/termotehničke opreme u zavisnosti od hemizma podzemnih voda..... | 425 |
| 21.1. Hemijski sastav podzemnih voda..... | 425 |

| | |
|--|------------|
| 21.2. Uticaj hemijskog sastava na toplotne izmenjivače i toplotne pumpe.. | 428 |
| 22. Korišćenje geotermalne energije u konceptu povećanja energetske efikasnosti u zgradarstvu u Republici Srbiji..... | 431 |
| 22.1. Trenutno stanje energetske efikasnosti u zgradarstvu..... | 431 |
| 22.2. Aktuelna pravna regulativa iz oblasti energetske efikasnosti objekata..... | 437 |
| 22.3. Prednosti korišćenja geotermalne energije u zgradarstvu u odnosu na fosilna goriva..... | 440 |
| 22.4. Primer ostvarene energetske efikasnosti..... | 442 |
| 23. Ekološki aspekti korišćenja hidrogeotermalne energije..... | 447 |

VII. REZULTATI HIDROGEOTERMALNIH ISTRAŽIVANJA

| | |
|--|------------|
| TERITORIJE GRADA BEOGRADA..... | 449 |
| 24. Energetske potrebe i energetski bilans teritorije grada Beograda..... | 449 |
| 24.1. Trenutno stanje korišćenja hidrogeotermalnih resursa na teritoriji grada Beogrda..... | 456 |
| 25. Analiza geotermalnih indikatora na teritoriji grada Beograda..... | 459 |
| 26. Ocena geotermalnog gradijenta na teritoriji grada Beograda..... | 479 |
| 27. Podela hidrogeotermalnih resursa na teritoriji grada Beograda..... | 486 |
| 28. Ocena postojećih hidrogeotermalnih resursa na užoj teritoriji grada Beograda..... | 487 |
| 28.1. Definisane vrste i broja hidrogeotermalnih sistema..... | 488 |
| 28.1.1. Hidrogeotermalni sistem u okviru kvartarnih sedimenata—HGTSQ..... | 493 |
| 28.1.1.1. Okonturivanje hidrogeotermalnog sistema HGTSQ..... | 497 |
| 28.1.1.2. Temperaturni režim hidrogeotermalnog sistema HGTSQ..... | 502 |
| 28.1.1.3. Izoterme u okviru hidrogeotermalnog sistema HGTSQ..... | 512 |
| 28.1.1.4. Kvantifikacija hidrogeotermalnih resursa u okviru sistema HGTSQ..... | 514 |
| 28.1.1.5. Ograničenja u korišćenju hidrogeotermalnih resursa..... | 518 |
| 28.1.1.6. Pokazni primer korišćenja hidrogeotermalnih resursa u okviru sistema HGTSQ..... | 524 |

| | |
|---|------------|
| 28.1.2. Hidrogeotermalni sistem u okviru prekvartarnih sedimenata–HGTS T..... | 529 |
| 28.1.2.1. Okonturivanje hidrogeotermalnih sistema HGTS T..... | 530 |
| 28.1.2.2. Temperaturni režim hidrogeotermalnog sistema HGTS T..... | 535 |
| 28.1.2.3. Izoterme u okviru hidrogeotermalnog sistema HGTS T..... | 542 |
| 28.1.2.4. Kvantifikacija hidrogeotermalnih resursa u okviru sistema HGTS T..... | 544 |
| 28.1.2.5. Ograničenja u korišćenju hidrogeotermalnih resursa. | 549 |
| 28.1.2.6. Pokazni primer korišćenja hidrogeotermalnih resursa u okviru sistema HGTS T..... | 555 |
| 29. Energetski potencijal hidrogeotermalnih resursa uže teritorije grada Beograda..... | 558 |
| 29.1. Hidrogeotermalni sistem u okviru kvartarnih sedimenata..... | 559 |
| 29.2. Hidrogeotermalni sistem u okviru prekvartarnih sedimenata..... | 560 |
| 29.3. Odnos geotermalnog potencijala prema toplotnim energetskim potrebama..... | 561 |
| 30. Hidrogeotermalni resursi teritorije Beograda van granica GP..... | 566 |
| | |
| VIII. ZAKLJUČCI I PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA..... | 577 |
| | |
| 31. Zaključci i preporuke..... | 577 |
| 32. Pravci daljih istraživanja..... | 591 |
| | |
| IX. LITERATURA..... | 593 |
| | |
| X. BIOGRAFIJA AUTORA..... | 617 |

PRILOZI

Prilog 1. Geološka karta teritorije grada Beograda, 1: 100.000

Prilog 2. Hidrogeološka karta teritorije grada Beograda, 1:100.000

Prilog 3. Karta geotermalne potencijalnosti teritorije grada Beograda, 1:100.000

I. UVODNA RAZMATRANJA

1. CILJEVI IZRADE DOKTORSKE DISERTACIJE

Ideja i funkcionisanje savremenog čovečanstva zasniva se na korišćenju energije u cilju zadovoljenja potreba namenutih neprestanim razvojem industrije i povećanjem broja stanovništva. Proteklih decenija, energetske zahteve ugrozili su rezerve fosilnih energenata, usloveli njihovu nadeksploataciju i budućnost generacija koje dolaze. Takav, neodrživi energetske razvoj, ne samo što je ugrozio fosilne izvore energije, već je doveo do degradiranja čovekove životne sredine.

Mere i mehanizmi održivog upravljanja energetskim sektorom u razvijenim zemljama Evrope i sveta, nalažu korišćenje obnovljivih izvora energije, čije učešće u ukupnom svetskom energetskom bilansu beleži konstantan porast. Obnovljivi izvori energije (OIE) u 2010. godini učestvovali su sa 12.8 % u ukupnoj svetskoj proizvodnji primarne energije, koja je iznosila 12.758 miliona tona ekvivalenta nafte (Mtoe), a prognoze za dvadesetogodišnji period predviđaju povećanje učešća OIE za 1.3% (Moshfegh, 2011).

Energetski potencijal OIE u Republici Srbiji čini biomasa sa 63 %, sunčeva energija sa 17%, zatim hidropotencijal malih vodenih tokova sa 10 %, geotermalna energija sa 5% i energija vetra sa 5%. U potrošnji primarne energije učešće pomenuti OIE je 6% (prema podacima Energetskog bilansa Republike Srbije za 2008. godinu). Povećanje učešća obnovljivih izvora energije u domaćem energetskom bilansu zahteva ulaganja na polju istraživanja i ocene resursa OIE, odnosno njihovu revalorizaciju.

Republika Srbija je bogata (hidro)geotermalnim resursima, koji predstavljaju obnovljivi energetske resurs akumuliran u podzemnim vodama. U zavisnosti od temperature podzemnih voda, hidrogeotermalni resursi imaju direktnu primenu u raznim privrednim granama ili se koriste uz pomoć toplotnih pumpi za potrebe grejanja i hlađenja objekata. Zahvaljujući razvoju tehnologije toplotnih pumpi, podzemne vode niske entalpije, temperature do 30°C (subhidrogeotermalni resursi) predstavljaju ogroman energetske resurs, relativno lak za zahvatanje i korišćenje u niskotemperaturnim sistemima klimatizacije. Dosadašnja ocena geotermalnih resursa na teritoriji R. Srbije (Milivojević, 1989) nije obuhvatala hidrogeotermalne resurse niske entalpije, temperature do 30°C.

U Evropskoj uniji u 2010. godini instalisani kapacitet geotermalnih toplotnih pumpi iznosio je 12.611 MWth. Broj prodatih toplotnih pumpi do 2010. godine je oko milion jedinica, a samo u toj godini oko 100.000 jedinica (Euroserv'er, 2011). Na prostoru Republike Srbije, eksploatacija hidrogeotermalne energije uz korišćenje toplotnih pumpi je u začetku, sa značajnim povećanjem broja korisnika iz godine u godinu. Najveći broj primera aplikacije hidrogeotermalne energije je na području grada Beograda. Otuda se i javila potreba za energetsom valorizacijom hidrogeotermalnih resursa, u cilju sagledavanja raspoloživih količina podzemnih voda, njihove temperature i kvaliteta.

Cilj izrade doktorske disertacije je, dakle, ocena potencijala hidrogeotermalnih resursa niske entalpije na teritoriji grada Beograda. Cilj istraživanja jeste i definisanje mogućnosti i načina primene hidrogeotermalnih resursa shodno energetske toplotne potrebama grada Beograda, kao i razvijanje mehanizama održivog upravljanja istim.

Ciljevi izrade doktorske disertacije između ostalog, podeljeni su na:

- opšte ciljeve
- uže naučne ciljeve

Opšti ciljevi izrade doktorske disertacije su:

- analiza mesta i uloge korišćenja geotermalne energije u konceptu povećanja učešća obnovljivih resursa u proizvodnji toplotne energije na području grada
- energetska valorizacija hidrogeotermalnih resursa na teritoriji grada Beograda i formiranje podloga za strateški energetske razvoj grada Beograda
- revalorizacija gradskog građevinskog zemljišta prema hidrogeotermalnoj potencijalnosti
- podizanje svesti o korišćenju lokalno raspoloživih izvora energije i postizanju samodovoljnosti u snabdevanju energijom
- podizanje svesti o očuvanju životne sredine i korišćenju hidrogeotermalne energije na ekološki najbezbedniji način
- analiza postojeće zakonske regulative iz oblasti geologije, energetike i zaštite životne sredine

Uže naučni ciljevi izrade doktorske disertacije su:

- ocena raspoloživih količina hidrogeotermalnih resursa
- analiza fizičko-hemijskih karakteristika hidrogeotermalnih resursa
- definisanje hidrogeotermalnih sistema na području grada Beograda
- ocena potencijala hidrogeotermalnih resursa na području grada Beograda
- analiza geotermalnih indikatora na području grada Beograda
- nova hidrogeološka rejonizacija teritorije grada Beograda
- određivanje granične temperature podzemnih voda koje se mogu koristiti ekonomski opravdano u sistemima toplotnih pumpi
- analiza hemijskih svojstava podzemnih voda u odnosu na materijal termotehničkih instalacija
- analiza objekata sa aspekta energetske potrebe u kojima se mogu aplikovati hidrogeotermalni resursi
- analiza uslova eksploatacije i dispozicije podzemnih voda u sistemima toplotnih pumpi

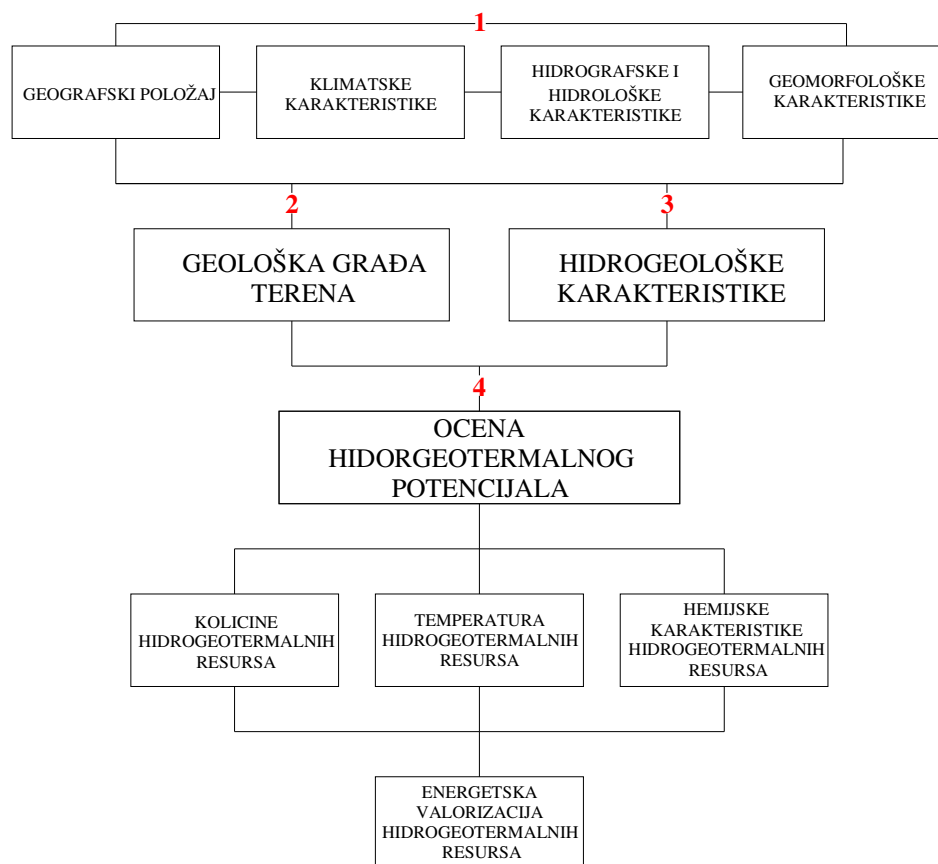
Ocena potencijalnosti hidrogeotermalnih resursa teritorije grada Beograda, predstavlja baznu podlogu za dalji razvoj grada sa aspekta korišćenja podzemnih voda i gazdovanja istim. Valorizacija energetske potrebe podzemnih voda na području grada usmerava tok urbanističkog razvoja i energetske potrebe grada.

2. KONCEPCIJA I METODOLOGIJA PRIMENJENIH ISTRAŽIVANJA

U cilju ocene potencijalnosti i energetske valorizacije hidrogeotermalnih resursa na teritoriji grada Beograda istraživanja su podeljena na četiri celine:

- analiza opštih karakteristika teritorije grada Beograda
- analiza geološke i tektonske građe teritorije grada Beograda
- analiza hidrogeoloških karakteristika teritorije grada Beograda
- ocena potencijalnosti hidrogeotermalnih resursa na teritoriji grada Beograda

Na algoritmu (slika 1) prikazana je koncepcija i metodologija primenjenih istraživanja.



Slika 1. Algoritam metodologije i koncepcije primenjenih istraživanja

Celina jedan obuhvata:

- prikupljanje, analizu i klasifikaciju literaturnih podataka
- klimatske karakteristike teritorije grada Beograda
- hidrografske i hidrološke karakteristike teritorije grada Beograda
- geomorfološke karakteristike teritorije grada Beograda
- izrada hidrografske karate teritorije grada Beograda primenom GIS tehnologije u razmeri 1:100.000
- izrada trodimenzionalnog modela teritorije grada Beograda

U okviru opštih karakteristika područja istraživanja definisane su granice istražnog terena i strukturna organizacija grada Beograda, koja podrazumeva podelu grada na uže i šire područje i podelu na sedamnaest gradskih opština sa svojim demografskim karakteristikama.

Klimatske karakteristike posmatrane su na užem i širem području grada. Na užem području analizirane su padavine, temperatura vazduha, evapotranspiracija (potencijalna i aktuelna), zatim vlažnost vazduha, vazдушna strujanja, magla i smog i aerozagađenje, dok su na širem gradskom području analizirane padavine. Detaljno su analizirani mikroklimatski uslovi koji nastaju usled urbanizacije terena i njihove manifestacije.

Na području grada Beograda sagledane su hidrografske i hidrološke karakteristike, te je urađena hidrografska karta istražnog terena u razmeri 1:100 000. Geomorfološka građa terena sagledana je na osnovu izrađenog trodimenzionalnog digitalnog elevacionog modela. Analizirani su geomorfološki procesi i njihovi oblici.

Celina dva obuhvata:

- prikupljanje, analizu i klasifikaciju literaturnih podataka
- izradu geološke karte teritorije grada Beograda u razmeri 1:100 000 primenom GIS tehnologije

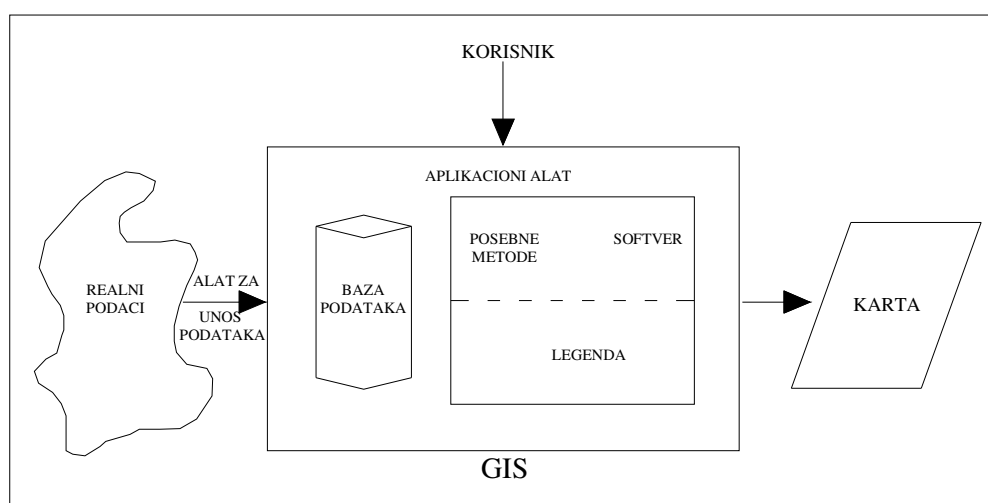
U okviru prikaza geološke građe teritorije grada Beograda analizirane su glavne istraživačke koncepcije i dosadašnja geološka istraživanja. Litostratigrafske jedinice prikazane su počevši od najstarijih jedinica na istražnom terenu do najmlađih. Tekstualni prikaz litostratigrafskih jedinica prati geološka karta u razmeri 1:100.000.

Geološka karta područja grada Beograda urađena je primenom GIS tehnologije u softverskom paketu ArcMap10, koristeći sledeće podloge: OGK, list Indija (L34–101), OGK, list Ali Bunar (L34–102), OGK, list Beograd (L34–113), OGK, list Pančevo (L34–114), OGK, list Obrenovac (L34–125), OGK, list Smederevo (L34–126).

Prilikom spajanja pomenutih listova uočena su izvesna neslaganja granica kartiranih jedinica, posebno između lista Beograd i lista Pančevo. Na listu Pančevo najmlađe kartirane jedinice predstavljene su lesnim naslagama, dok na susednim listovima les nije prikazan. Prilikom izrade geološke karte istražnog područja usvojena je koncepcija izrade lista Beograd.

Metodologija izrade geološke karte primenom GIS tehnologije prvi je put korišćena za celu teritoriju grada Beograda, te je omogućen drugačiji, interaktivan pristup informacijama o geološkoj građi terena, u vidu integriranih podataka kartiranih jedinica, njihovih tektonskih odnosa i topografskih podataka istražnog terena.

Transformacija realnih podataka sa terena primenom GIS tehnologije prikazana je na slici 2.



Slika 2. Transformacija realnih podataka pomoću GIS tehnologije
(modifikovano, Milenić, 2003, prema Struckmeier-u)

Celina tri obuhvata:

- prikupljanje, analizu i klasifikaciju literaturnih podataka
- hidrogeološku rejonizaciju teritorije grada Beograda
- izradu baze podataka analiziranih bunara, bušotina i izvora
- izdvajanje tipova izdani u okviru svakog hidrogeološkog rejona
- analizu izdvojenih tipova izdani prema:
 - rasprostranjenju,
 - uslovima prihranjivanja i filtracionim karakteristikama,
 - uslovima dreniranja izdani i raspoloživim količinama podzemnih voda,
 - hidrohemijskim karakteristikama podzemnih voda
- izradu hidrogeološke karte teritorije grada Beograda u razmeri 1:100.000 primenom GIS tehnologije

Prilikom analize literaturnih podataka korišćen je izvestan broj Diplomskih radova urađenih na Departmanu za hidrogeologiju Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu. Podaci preuzeti iz pomenutih diplomskih radova jesu rezultat istraživanja u sklopu Studija izvedenih pod rukovodstvom stručnjaka sa Departmana za hidrogeologiju Rudarsko-geološkog fakulteta, a korišćeni su obzirom da izvorna literatura nije bila dostupna za vreme pisanja disertacije.

Područje grada Beograda podeljeno je na deset hidrogeoloških rejona i u svakom od izdvojenih rejona izvršena je klasifikacija izdani na osnovu strukturnog tipa poroznosti.

Generalno, na području grada Beograda analizirani su sledeći tipovi izdani:

- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata tercijarne starosti
- karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti
- karstno-pukotinski tip izdani u okviru sedimenata kredne starosti
- pukotinski tip izdani u okviru serpentinita jurske starosti
- pukotinski tip izdani u okviru kristalastog kompleksa Vagana i Bukulje
- uslovno "bezvodni" delovi terena u okviru sedimenta panonske starosti

Metodologija izrade hidrogeološke karte primenom GIS tehnologije prvi je put korišćena za celu teritoriju grada Beograda, te je omogućen interaktivan pristup informacijama o hidrogeološkim svojstvima terena. Hidrogeološka karta predstavlja svojstvenu bazu podataka u koju su uključeni podaci grupisani u dve kategorije.

Prvu kategoriju podataka čine:

- topografski podaci
- podaci o položaju klimatoloških i padavinskih stanica
- podaci o geološkoj građi terena, hidrografska mreža terena
- podaci koji se odnose na zone izvorišta za vodosnabdevanje grada Beograda (uže gradsko područje) sa zonama sanitarne zaštite
- hidrogeološki profili uže i šire gradske teritorije
- hidrogeološke pojave i objekti
 - koordinate
 - litološki profi terena

Drugu kategoriju podataka čini:

- digitalni elevacioni model terena
- podaci hidrodinamičkih karakteristika izdvojenih tipova izdani

Na slici 3 dat je šematski prikaz hidrogeološke baze koja je poslužila kao model za izradu hidrogeološke baze teritorije grada Beograda.



Slika 3. Primer hidrogeološke baze podataka
(modifikovano iz Milenić, 2003)

Celina četiri obuhvata:

- prikupljanje, analizu i klasifikaciju literaturnih podataka
- ocenu potencijalnosti hidrogeotermalnih resursa
- klasifikaciju geotermalnih resursa
- definisanje hidrogeotermalnih sistema na teritoriji grada Beograda
- optimizaciju korišćenja podzemnih voda kao hidrogeotermalnog resursa
- analizu ekoloških aspekata korišćenja hidrogeotermalne energije
- analizu aktuelne zakonske regulative iz domena eksploatacije podzemnih voda kao hidrogeotermalnog resursa
- izradu karte geotermalne potencijalnosti teritorije grada Beograda u razmeri 1:100.000 primenom GIS tehnologije

Rezultati hidrogeotermalnih istraživanja prikazani su na karti potencijalnosti teritorije grada Beograda u razmeri 1:100.000. Karta hidrogeotermalne potencijalnosti teritorije grada Beograda predstavlja svojstvenu bazu podataka grupisanih u dve kategorije.

Prvu kategoriju podataka čine:

- podaci koji se odnose na resurs (količine, temperatura) energetski valorizovani

Drugu kategoriju podataka čine:

- podaci koji se odnose na mogućnosti i ograničenja u primeni hidrogeotermalnih resursa

Na slici 4. dat je šematski prikaz hidrogeotermalne baze podataka.



Slika 4. Hidrogeotermalna baza podataka teritorije grada Beograda

II. OPŠTE KARAKTERISTIKE TERITORIJE GRADA BEOGRADA

3. GEOGRAFSKI POLOŽAJ TERITORIJE GRADA BEOGRADA

Teritorija grada Beograda prostire se na površini od oko 3.500 km² i obuhvata 17 gradskih opština. Glavni grad, Beograd, nalazi se između: 44° 49' 14" severne geografske širine i 20° 27' 44" istočne geografske dužine i predstavlja ujedno i društveni, poslovni i kulturni centar Srbije.

Prema popisu stanovništva iz 2002. godine, na široj teritoriji Beograda živi 1.576.124 stalna stanovnika, a na užoj 1.273.651 stanovnik. Najveća opština po broju stanovnika je Novi Beograd sa 217.773 stanovnika, a najmanja je Sopot sa 20.390 stanovnika.

U tabeli 1 prikazane su gradske opštine, njihove površine i broj stanovnika prema popisu iz 2002. godine, odnosno prema popisu iz 2011. godine.

Tabela 1. Gradske opštine i broj stanovnika na teritoriji grada Beograda

| GRAD BEOGRAD | | | | |
|--|--------------|----------------------------|------------------|---------|
| Ukupna površina teritorije grada Beograda iznosi 3.444 km² | | | | |
| Br. | Opština | Površina u km ² | Broj stanovnika* | |
| | | | 2002 | 2011 |
| 1. | Palilula | 447 | 155.902 | 170.593 |
| 2. | Zemun | 439 | 181.645 | 166.292 |
| 3. | Obrenovac | 410 | 70.975 | 71.419 |
| 4. | Lazarevac | 384 | 58.511 | 58.224 |
| 5. | Mladenovac | 339 | 52.490 | 53.050 |
| 6. | Grocka | 289 | 75.466 | 83.398 |
| 7. | Sopot | 271 | 20.390 | 20.199 |
| 8. | Surčin | 220 | 38.695 | 42.012 |
| 9. | Barajevo | 213 | 24.641 | 27.036 |
| 10. | Čukarica | 156 | 168.508 | 179.031 |
| 11. | Voždovac | 149 | 151.768 | 157.152 |
| 12. | Novi Beograd | 41 | 217.773 | 212.104 |
| 13. | Zvezdara | 32 | 132.621 | 148.014 |
| 14. | Rakovica | 30 | 99.000 | 108.413 |
| 15. | Savski Venac | 14 | 42.505 | 38.660 |
| 16. | Stari Grad | 7 | 55.543 | 48.967 |
| 17. | Vračar | 3 | 58.386 | 55.463 |

*podaci preuzeti od Republičkog zavoda za statistiku, Republika Srbija

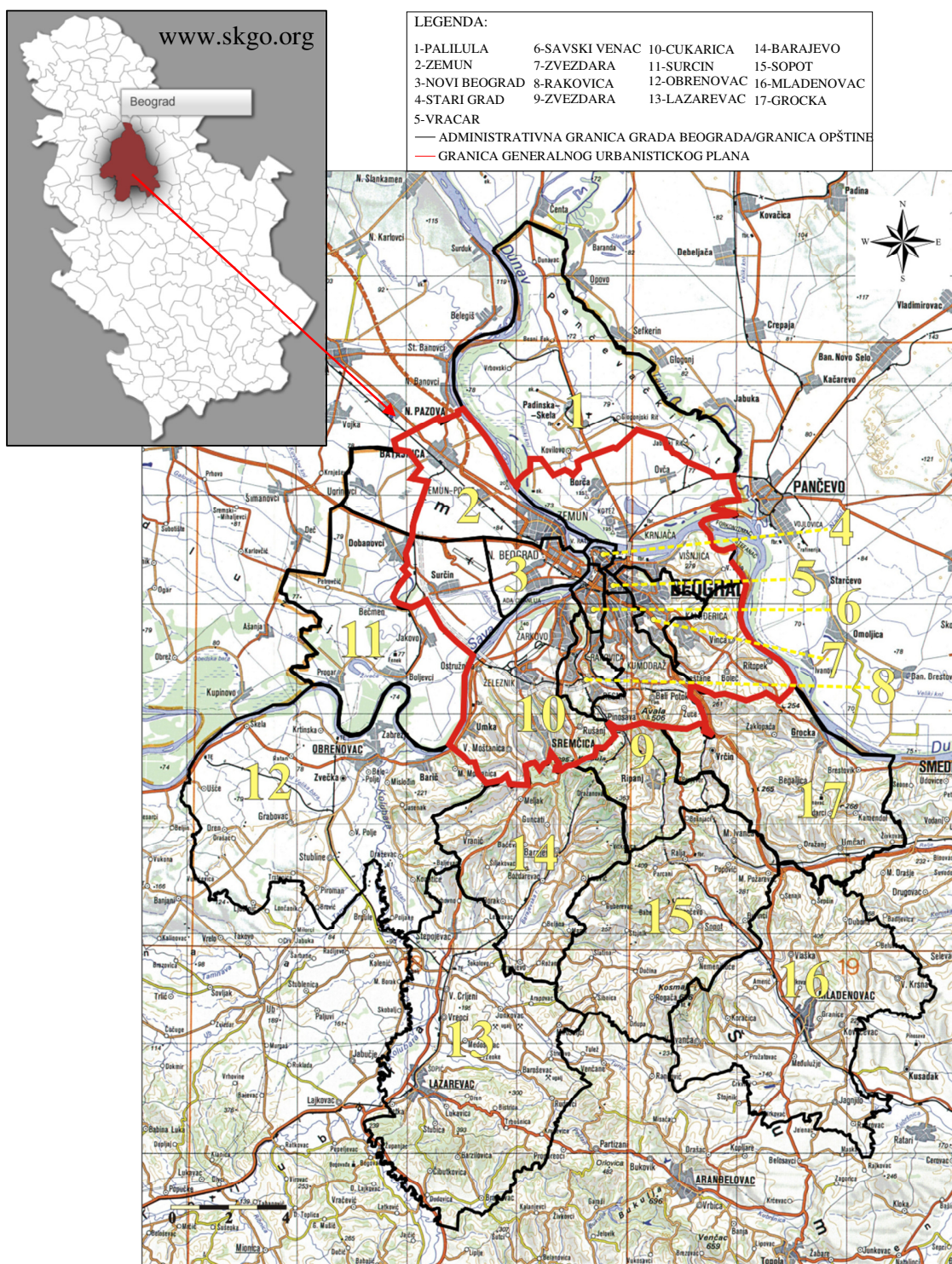
Gustina naseljenosti na teritoriji grada iznosi oko 512 stanovnika/km². Broj stanovništva prema popisu iz 2011. godine povećan je u odnosu na broj stanovništva konstatovan u popisu iz 2002. godine u većini gradskih opština, osim u centralnim gradskim opštinama: Stari Grad (-7.482), Novi Beograd (-5.669), Savski Venac (-3.845), Vračar (-2.923), te u opštinama Lazervac (-287) i Sopot (-191) (Republički zavod za statistiku). Rast broja stanovnika i povećanje broja stanova (prema popisu iz 2011. godine broj stanova na području Beograda iznosi 739.639 i odnosi se na svih 17 opština) povlači sa sobom i veće potrebe u snabdevanju energijom, kako električnom, tako i toplotnom. Energetske potrebe i energetske bilans teritorije grada Beograda prikazani su u okviru poglavlja 24. doktorata.

Područjem Beograda protiču dve velike reke: Dunav i Sava. Dunav protiče u dužini od 60 km od Starih Banovaca do Grocke, a Sava u dužini od 30 km, uzvodno od Obrenovca do ušća. Dužina rečnih obala Beograda je oko 200 km. Na tom području nalazi se 16 rečnih ostrva, od kojih su najpoznatija: Ada Ciganlija, Veliko Ratno ostrvo i Gročanska Ada.

Okolinu Beograda čine dve različite prirodne celine: Panonska nizija severno, i Šumadija, južno od Save i Dunava. Najistaknutiji oblici u reljefu šumadijskog pogrđa su Kosmaj (628 m) i Avala (511 m). Teren se od juga, postepeno, spušta prema severu u vidu prostranih zaravni, raščlanjenih dolinama potoka i rečica. Velika plastičnost reljefa Beograda, južno od Save i Dunava, čini da se grad rasprostire preko brojnih manjih brda (Banovo, Lekino, Topčidersko, Kanarevo, Julino, Petlovo brdo, Zvezdara, Vračar, Dedinje). Severno od Save i Dunava su aluvijalne ravni i lesna zaravan, koje su odvojene strmim odsekom, visokim i do 30 m. Na levoj obali Save, ispod lesne zaravni (Bežanijska kosa), je Novi Beograd, a na desnoj obali Dunava, ispod lesnog platoa, je Zemun.

Najviša kota Beograda, na užem gradskom području, je na Torlaku (opština Voždovac), crkva Svete Trojice 303.1 m, dok najnižu kotu ima Ada Huja 70.15 m. Najvišu kotu na širem gradskom području ima planina Kosmaj (opština Mladenovac) sa 626 m. Za prosečnu visinu Beograda, uzima se apsolutna visina Meteorološke opservatorije sa 132 m.

Na slici 5. prikazan je geografski položaj istražnog terena sa administrativnim granicama grada Beograda. Važno je napomenuti da se u okviru teritorije grada Beograda izdvaja uže gradsko područje definisano Generalnim planom Beograda (GP). Ukupna površina područja Generalnog plana iznosi oko 776 km². U narednom tekstu pod užim gradskim područjem podrazumeva se područje GP-a.



Slika 5. Geografski položaj područja grada Beograda sa prikazom administrativnih granica

4. TEORETSKA RAZMATRANJA UTICAJA URBANE SREDINE NA HIDROLOŠKI CIKLUS I PODZEMNE VODNE RESURSE

Prema statističkim procenama, više od polovine svetske populacije živi u gradovima, dok u nekim zemljama čak 90 % stanovništva živi u urbanim sredinama (Marsalek, et al., 2008). Odnos stanovništva u gradovima i ruralnim sredinama u Srbiji je promenljiv sa tendencijom porasta broja gradskog stanovništva. U Srbiji, 1961. godine, u gradovima je živelo 35.4% stanovništva, dok se procentualni odnos tokom 2000-tih godina popeo na 55.5 % (Janić i dr., 2007). Sličan odnos gradskog i seoskog stanovništva može se preneti i na područje grada Beograda.

Urbanizacija terena direktno utiče na životnu sredinu. Tokom vremena dolazi do niza promena koje su uslovljene delovanjem antropogenih faktora. Promene se, između ostalog, ispoljavaju u vidu:

- mikroklimatskih promena
- promena komponenata hidrološkog ciklusa (vodni bilans)

Jedan od pokazatelja mikroklimatskih promena jeste efekat "toplotnog ostrva" koji se ispoljava u gradovima usled intenzivnog naseljavanja prostora, zarobljavanja dugotalasne radijacije, visokotermalne apsorbcije betonskih površina, smanjenja evaporacije...Efekat "toplotnog ostrva" na području Beograda, i njegov uticaj na podzemne vode analiziran je u poglavlju 24.

Uticaj urbanizacije na podzemne vodne resurse ispoljava se na više načina, menjaju se uslovi prihranjivanja i eksploatacije podzemnih voda, povećava se rizik od zagađenja podzemnih voda. Uticaj urbanizacije na elemente vodnog bilansa (padavine, isparavanje, oticaj) indirektno utiče i na podzemne vode, odnosno na hidrogeotermalne resurse.

Obzirom da se eksploatacija i aplikacija hidrogeotermalnih resursa najvećim delom odvija u gradskim sredinama važno je sagledati specifičnosti urbanih područja i uticaj antropogenih faktora na podzemne vode.

Specifičnosti hidrološkog ciklusa u urbanim sredinama analizirane su sa aspekta uticaja na podzemne vode. Razlike koje se ispoljavaju u gradskim i ruralnim sredinama uočljive su pre svega u uslovima prihranjivanja izdani. Na slici 6 dat je šematski prikaz hidrološkog ciklusa. Osnovni elementi vodnog bilansa i njihove karakteristike razmatrane su u gradskim uslovima.

Padavine. Primarni vid prihranjivanja podzemnih vodnih resursa je infiltracijom padavina. Količina padavina zavisi od lokalnih klimatskih uslova, a u slučaju prihranjivanja podzemnih voda formiranih ispod gradova, posmatraju se i mikroklimatski uslovi. Faktori koji diktiraju mikroklimatske uslove u gradovima su energetska režim, zagađenje vazduha i modeli cirkulacije, a koji nastaju usled prisustva objekata, prekrivenosti terena asfaltom i usled emisije gasova staklene bašte. Istraživanja su pokazala da se godišnje 5-10 % više izluči padavina u urbanim sredinama u odnosu na ruralne, te da se i do 30 % više izluči padavina tokom trajanja jednog pljuska u gradovima u odnosu na njegove rubne delove (Marsalek, et.al., 2007).

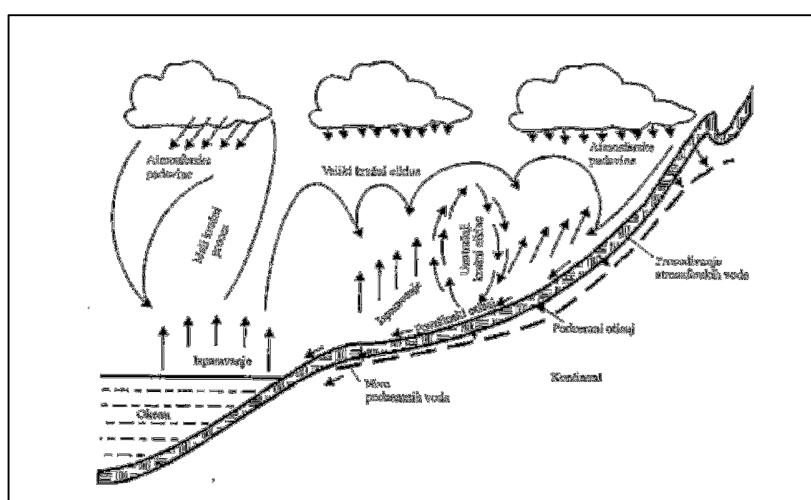
Proces prihranjivanja podzemnih voda padavinama u urbanim sredinama prikazan je na slici 7. Prekrivenost terena asfaltnim i betonskim površinama umanjuje mogućnost infiltracije padavina, a povećava se površinski oticaj. U gradskim sredinama u prihranjivanju izdani učestvuju i vode koje zapravo predstavljaju gubitke u mreži za vodosnabdevanje.

Dobar primer je trasa vodovodnog tunela Makiš–Tašmajdan, koji vodi kroz centralne delove beogradskog pogrđa. Gubici vode sa pomenute vodovodne trase prihranjuju izdani u tortonsko-sarmatskim krečnjacima. Istraživanja su pokazala da i mreže čiji su gubici gotovo minimalni (15%) predstavljaju izvanredan izvor prihranjivanja. Gubici u mreži od 20 % ekvivalentni su 300 mm kišnog stuba godišnje (Marsalek, et.al., 2007).

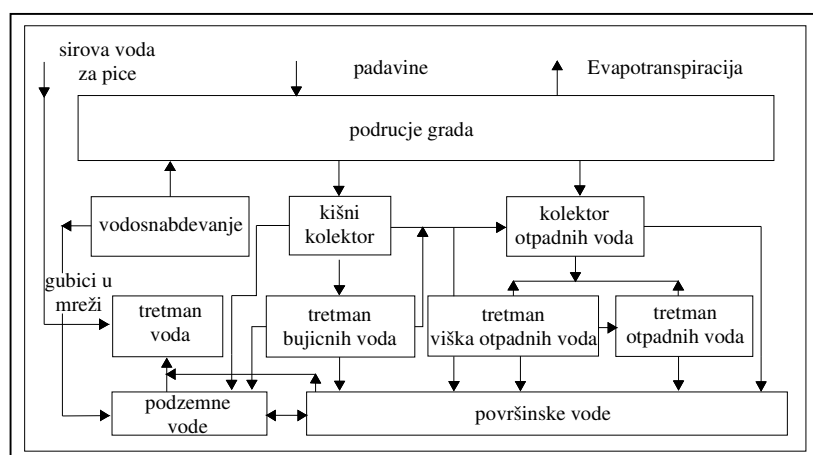
Isparavanje. Povišene temperature vazduha u gradovima dovode do povišene evaporacije u istim za 5-20% u odnosu na ruralna područja. Usled ograničenih zelenih površina (misli se na površinu terena pod drvećem i travom), smanjena je transpiracija (Marsalek, et.al., 2007).

Površinski oticaj. Uticaj urbanizacije na površinski oticaj ispoljava se na tri načina (Marsalek, et.al., 2007):

- intenzitet površinskog oticaja je povišen usled smanjene infiltracije i evapotranspiracije
- brzina površinskog oticaja je veća usled dobrih hidrauličkih karakteristika kanala za odvod vode
- smanjenjem vodozahvatnog vremena reagovanja i pri tome povećanjem maksimalnog intenziteta padavina što izaziva vršni oticaj



Slika 6. Šematski prikaz hidrolškog ciklusa (Dragišić, 1997)



Slika 7. Kruženje vode u urbanoj sredini—glavne komponente i relacije (modifikovano, Marsalek et. al., 2007)

Mehanizmi upravljanja podzemnim vodnim resursima u urbanizovanim delovima terena razlikuju se u odnosu na iste u ruralnim terenima, pre svega usled različitih uslova prihranjivanja, eksploatacije i mera zaštite podzemnih voda.

Pored padavina, kao jednog od osnovnih vidova prihranjivanja podzemnih voda, važnu ulogu u prihranjivanju imaju reke i potoci. U urbanim sredinama prihranjivanje izdani infiltracijom površinskih voda svedeno je na minimum. Korita reka i potoka su kanalisana, tokovi su regulisani, te vrlo mali procenat površinskih voda dospe u podzemlje. Primer navedenog je centralni deo beogradskog pobrđa, gde su površinski tokovi kanalisani, odnosno usled širenja gradskog jezgra većina tokova je zacevljena.

Ulicama Beograda nekada su tekli Bibijin potok (od zgrade "Politike" ka Bajlonijevoj pijaci duž Skadarske ulice), Bulbuderski potok (od Zvezdare ka Dunavu, duž Ulice Dimitrija Tucovića), Vračarski potok (sa Neimara ka Savi, duž Južnog Bulevara i Ustaničke ulice) Duboki potok, Mokroluški potok, dok je tok Topčiderske reke kanalisana, kao i tok Kaljavog potoka i Jelezovačkog potoka.

Eksploatacija podzemnih voda u gradskim sredinama, u najvećem broju slučajeva, odvija se preko bunara. Izrada bunara i zahvatanje podzemnih voda u urbanim sredinama je otežano počevši od geološko-hidrogeoloških istraživanja, geofizičkih istraživanja do bušenja bunara. Limitirajući faktor je raspoloživost slobodnih površina terena. Najveći deo terena je pod asfaltom i betonom.

Zaštita podzemnih voda u urbanim sredinama je specifična u odnosu na ruralne delove terena zbog velikog broja negativnih faktora:

- nepostojanje kanalizacione mreže
- oštećenja na kanalizacionoj mreži
- oštećenja na toplovodnoj mreži
- ocedne vode sa saobraćajnica, i drugih asfaltnih površina, oštećenja kišnih kolektora
- veći broj industrijskih postrojenja
- nekontrolisana izrada bunara i vraćanje podzemnih voda u izdan
- neadekvatno skladištenje štetnih materija (nafta i derivati nafte, boje, lakovi...)

Generalno, zagađenje podzemnih voda može se ispoljiti kao hemijsko zagađenje ili u vidu promene temperature podzemnih voda u izdani. Promena temperature podzemnih voda javlja se usled nekontrolisanog vraćanja podzemnih voda u izdan u preko upojnih bunara, eksploatisanih u cilju klimatizacije objekata. Održivo upravljanje hidrogeotermalnim resursima prikazano je u poglavljima 21 i 31.

5. KLIMATSKE KARAKTERISTIKE TERITORIJE GRADA BEOGRADA

Grad Beograd nalazi se u zoni umereno kontinentalne klime sa jasno izdiferenciranim godišnjim dobima toplim i suvim letima, hladnim zimama sa snegom, dok su proleće i jesen umereno topli sa većom količinom padavina u odnosu na zimu i leto.

Na području grada Beograda nalazi se jedna meteorološka stanica ("Beograd"), četiri klimatološke stanice ("Zemun-Vojni put", "Senjak", "Košutnjak" i "Radmilovac") i oko trideset padavinskih stanica, ne uključujući automatske padavinske stanice. Severno od Save i Dunava padavine se osmatraju na sedam padavinskih stanica. Južno od Save i Dunava, na području GP-a nalazi se osam padavinskih stanica. Na širem području grada padavinske stanice ravnomerno su raspoređene od Obrenovca, Vranića i Boždarevca, preko Kovione, Parcana, Sopota do V. Ivanče, Umčara i M. Požarevca.

Klimatske karakteristike područja grada Beograda sagledane su na osnovu vrednosti klimatskih parametara preuzetih sa 10 meteoroloških stanica, ravnomerno raspoređenih na gradskom području. Obzirom na površinu istražnog terena (oko 3.500 km²) svakako da postoje razlike između severnih, centralnih i južnih delova terena u pogledu količine izlučenih padavina, te u pogledu temperature vazduha.

Prisutne su i razlike između klimatskih parametara merenih u ruralnim delovima i urbanizovanim delovima terena. Pomenute razlike najuočljivije su između vrednosti temperature vazduha, visine padavina, evapotranspiracije i arozagadenja. Posebna pažnja usmerena je na uže gradsko područje i analizirane klimatske specifičnosti koje se ispoljavaju usled intenzivne urbanizacije terena.

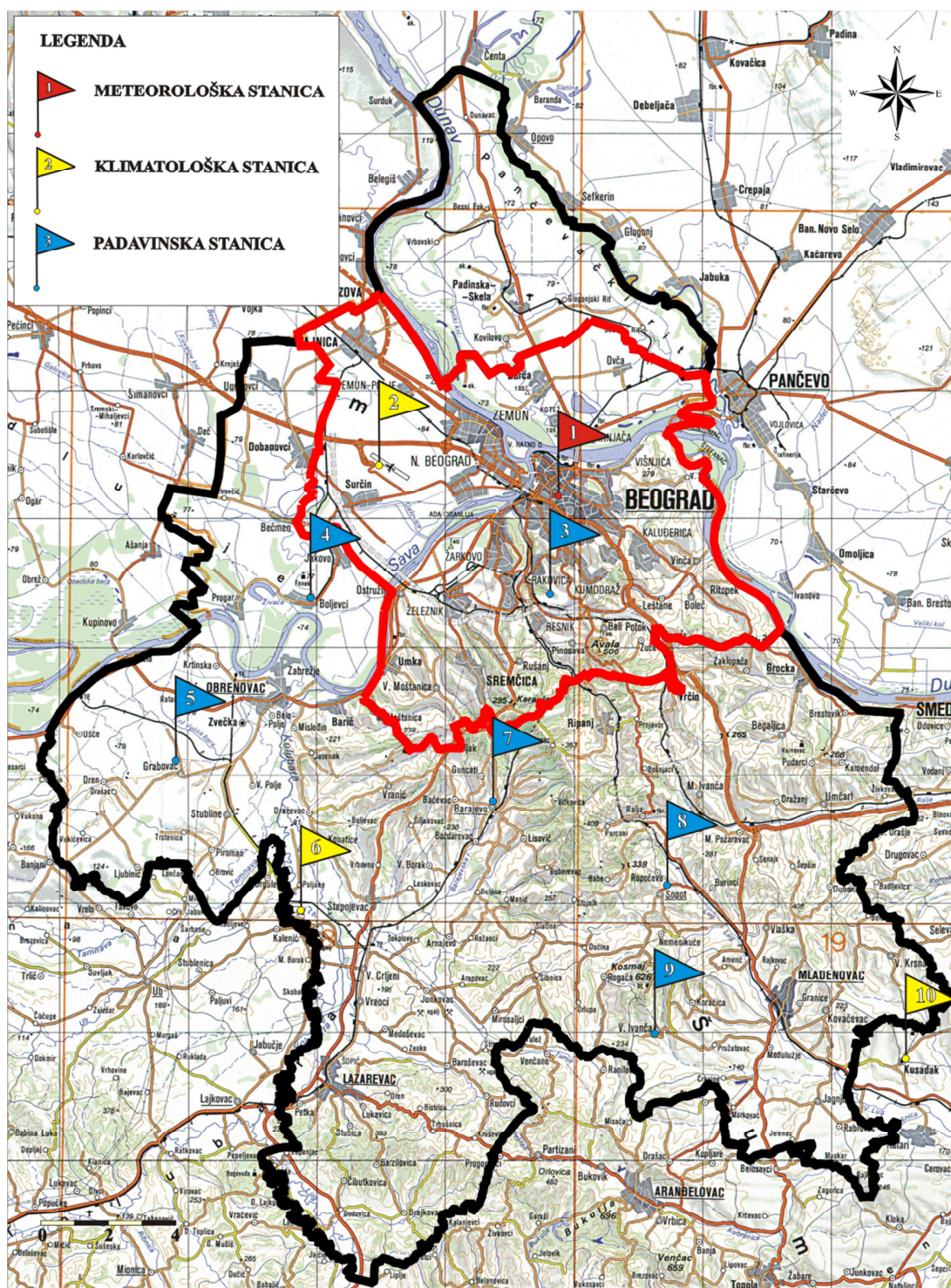
U tabeli 2 prikazane su stanice na području grada Beograda sa kojih su preuzeti podaci o visini padavina, temperaturi vazduha, evapotranspiraciji i relativnoj vlažnosti vazduha. Stanice su označene brojevima od 1-10. Prve tri stanice nalaze se na teritoriji GP, dok je stanica pod rednim brojem 10 van istražnog terena. Svi podaci su preuzeti od Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije (RHMZ).

Položaj analiziranih meteoroloških, klimatoloških i padavinskih stanica prikazan je na slici 8.

Tabela 2. Analizirane meteorološke, klimatološke i padavinske stanice na području grada Beograda

| RB. | Naziv | Nadmorska visina | Osmatrani klimatski elementi | Statistički niz |
|------------------------------|------------------------|------------------|------------------------------|-----------------|
| Uže gradsko područje | | | | |
| 1. | "Beograd" | 132 m | padavine | 1961-1991 |
| | | | temperatura vazduha | 1946-1991 |
| | | | evapotranspiracija | 1961-1990 |
| | | | relativna vlažnost vazduha | 1949-1991 |
| 2. | "Surčin aerodrom" | 96.5 m | temperatura vazduha | 1971-1990 |
| | | | relativna vlažnost vazduha | 1971-1990 |
| 3. | "Jajinci" | 175 m | padavine | 1953-2006 |
| Šire gradsko područje | | | | |
| 4. | "Boljevci" | 70 m | padavine | 1961-1991 |
| 5. | "Grabovac" | 109 m | padavine | 2011-2012 |
| 6. | "Kalenić" | / | padavine | 1974-1986 |
| | | | temperatura vazduha | |
| 7. | "Barajevo" | 270 m | padavine | 1975-1983 |
| 8. | "Sopot" | 170 m | padavine | 1975-1984 |
| 9. | "V. Ivanča" | 220 m | padavine | 1971-1984 |
| 10. | "Smederevska Palanka"* | 121 m | padavine | 1970-1991 |
| | | | temperatura vazduha | 1970-1991 |

*Klimatološka stanica pod rednim brojem 10 nalazi se van istražnog terena.



Slika 8. Položajna karta analiziranih meteoroloških, klimatoloških i padavinskih stanica na području grada Beograda

5.1. KLIMATSKE KARAKTERISTIKE UŽEG PODRUČJA GRADA BEOGRADA

Klima užeg područja grada Beograda znatno se razlikuje od klime okolnog područja, što je pre svega uslovljeno antropogenim uticajem (urbanizacija velikih površina), kao i uticajem dva faktora, bilansom zračenja i vodnim bilansom, za koje se može reći da se karakterišu lokalnim specifičnostima (Unkašević, 1994). Različiti bilans zračenja je posledica slabijeg reflektovanja sunčevog zračenja zbog postojanja kanjonskih ulica. Razlike u vodnom bilansu nastaju zbog manjeg poniranja atmosferskih taloga u tlo usled pokrivenosti tla, čime je pojačano oticanje, a smanjena vlažnost tla. Razlika nastaje i u isparavanju zbog smanjene vlažnosti tla.

Posledica ovih razlika je jače zagrevanje područja grada. Razlike su takođe vrlo izražene i kod nekih drugih elemenata kao što su vetar, magla i smog. Dalje, razlike se javljaju i u različitim delovima grada u zavisnosti od topografije i strukture grada. Značajan uticaj na modifikaciju klime u gradu ima i aerozagađenje. Dakle, lokalne klimatske specifičnosti Beograda diktira: uticaj topografije (vertikalni gradijenti), uticaj podloge (reke, kopno, vegetacija), uticaj strukture grada (toplotno ostrvo grada).

Klima grada, takođe je i primer lokalne modifikacije vremena koja je nastala delatnošću ljudi. Meteorološka merenja u mnogim svetskim centrima ukazuju da je zbog urbanizacije došlo do promene lokalnih i mikroklimatskih uslova u gradovima što se posebno ogleda u poslednjih 30 do 50 godina. Ove promene uslovljavaju:

- poremećenu prirodnu ravnotežu zračenja jer je vegetacija zamenjena betonskim građevinama
- visoke građevine su prepreke vetru pa menjaju prirodno strujanje i turbulenciju vazduha
- poremećenu ravnotežu vodene pare, jer su relativno vlažne površine zamenjene suvim
- emisiju toplote, vodene pare i zagađujućih materija iz gradskih izvora u atmosferu

Ovo je naročito značajno za podzemne vode na teritoriji Novog Beograda, gde upravo zahvaljujući ovim činionicima, kao i činjenici da su nivoi voda blizu površine terena, efekat "toplotnog ostrva" utiče na temperaturu podzemnih voda i čini ih interesantnim sa aspekta korišćenja u geotermalne, odnosno energetske svrhe.

Na užem području grada analizirane su vrednosti padavina, temperaturnog režima vazduha, i aktuelna evapotranspiracija, te ostali klimatski elementi kao što su: vlažnost vazduha, vazдушna strujanja, magla, smog i aerozagađenje.

5.1.1. Padavine

Porast godišnje količine padavina sa nadmorskom visinom na području Beograda iznosi 35 mm na svakih 100 m visinske razlike (Unkašević, 1994).

Za analizu režima padavina na istražnom području korišćeni su podaci sa meteorološke stanice "Beograd" u Karađorđevom parku, u neposrednoj blizini hrama Svetog Save na nadmorskoj visini od 132 metra.

Podaci za tridesetogodišnji period osmatranja tj. 1961-1990. god prikazani su u tabeli 3 i na slici 9. Iz priloženog uočava se sledeće:

- maksimalna vrednost mesečne sume padavina je izmerena oktobra 1974. god. i iznosi 185 mm
- bez padavina je bilo tokom celog meseca oktobra 1965. god.
- godišnja suma padavina se kreće od 465 (1961) do 954 mm (1980)
- srednje godišnje sume padavina za period 1961-1990 iznose 680.5 mm

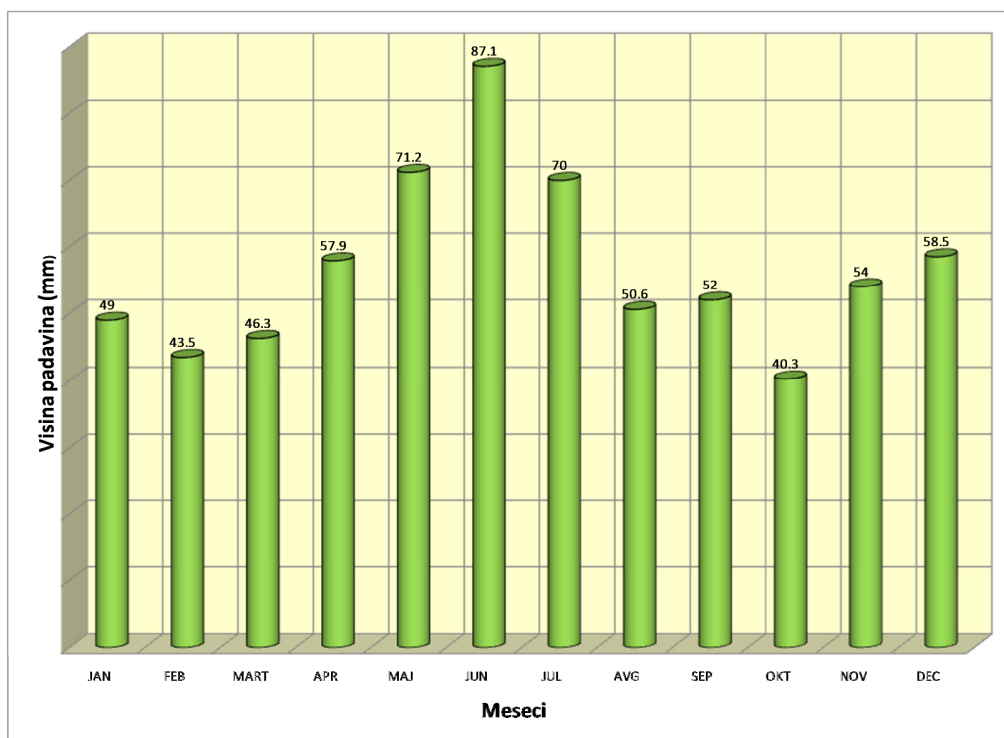
Maksimumi padavina koji se javljaju tokom letnjih meseci, i minimumi tokom zime ukazuju na kontinentalni režim padavina. Godišnja suma padavina je dosta pravilno raspoređena po mesecima na području Beograda. Najkišovitiji mesec dobija tek nešto više od 2 puta veću količinu kiše od najsuvljeg meseca, dok u jednom nizu godina postoji znatna razlika u količini padavina za isti mesec.

U tabeli 4. dat je prikaz srednjih mesečnih i godišnjih suma padavina osmatranih na stanici van gradskog jezgra (stanica "Jajinci"). Na slici 10. prikazan je uporedni grafik sa koga se uočavaju razlike između ruralnih delova terena i urbanih delova terena u odnosu na visinu padavina.

Tabela 3. Pregled mesečnih i godišnjih suma padavina za meteorološku stanicu "Beograd"
(132 m.n.v.) za period osmatranja 1961-1990. god. u mm vodenog stuba

| | JAN | FEB | MART | APR | MAJ | JUN | JUL | AVG | SEP | OKT | NOV | DEC | SUMA |
|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 1961 | 12 | 21 | 10 | 63 | 143 | 17 | 43 | 17 | 10 | 2 | 39 | 88 | 465 |
| 1962 | 39 | 63 | 78 | 71 | 16 | 57 | 37 | 13 | 34 | 10 | 69 | 48 | 507 |
| 1963 | 112 | 43 | 40 | 44 | 34 | 38 | 47 | 23 | 45 | 8 | 32 | 72 | 538 |
| 1964 | 4 | 39 | 61 | 66 | 59 | 67 | 64 | 18 | 113 | 81 | 70 | 72 | 714 |
| 1965 | 56 | 79 | 25 | 58 | 50 | 130 | 40 | 23 | 51 | 0 | 75 | 79 | 666 |
| 1966 | 101 | 28 | 39 | 38 | 75 | 78 | 103 | 29 | 30 | 34 | 46 | 92 | 693 |
| 1967 | 36 | 13 | 60 | 61 | 117 | 80 | 53 | 5 | 135 | 21 | 33 | 109 | 723 |
| 1968 | 112 | 29 | 32 | 18 | 42 | 54 | 83 | 94 | 55 | 11 | 82 | 66 | 678 |
| 1969 | 27 | 90 | 29 | 34 | 23 | 172 | 126 | 44 | 27 | 4 | 47 | 179 | 802 |
| 1970 | 47 | 97 | 76 | 64 | 103 | 88 | 134 | 42 | 7 | 67 | 62 | 23 | 810 |
| 1971 | 45 | 37 | 75 | 62 | 92 | 99 | 86 | 54 | 72 | 13 | 50 | 10 | 695 |
| 1972 | 14 | 22 | 2 | 85 | 57 | 15 | 170 | 108 | 58 | 122 | 67 | 1 | 721 |
| 1973 | 15 | 32 | 31 | 92 | 48 | 87 | 30 | 50 | 52 | 32 | 48 | 29 | 546 |
| 1974 | 26 | 24 | 22 | 46 | 80 | 175 | 41 | 59 | 99 | 185 | 63 | 90 | 910 |
| 1975 | 26 | 9 | 39 | 41 | 132 | 105 | 132 | 129 | 22 | 53 | 49 | 6 | 743 |
| 1976 | 104 | 12 | 34 | 67 | 45 | 91 | 27 | 57 | 84 | 14 | 56 | 22 | 613 |
| 1977 | 14 | 105 | 61 | 87 | 33 | 50 | 83 | 84 | 72 | 14 | 77 | 80 | 760 |
| 1978 | 25 | 128 | 53 | 32 | 125 | 168 | 53 | 13 | 110 | 18 | 15 | 57 | 797 |
| 1979 | 93 | 40 | 39 | 63 | 65 | 91 | 56 | 80 | 14 | 48 | 42 | 57 | 688 |
| 1980 | 63 | 46 | 85 | 88 | 126 | 73 | 91 | 68 | 32 | 82 | 83 | 117 | 954 |
| 1981 | 49 | 22 | 145 | 62 | 57 | 114 | 21 | 73 | 104 | 72 | 91 | 76 | 886 |
| 1982 | 44 | 15 | 75 | 58 | 9 | 85 | 125 | 73 | 30 | 81 | 19 | 79 | 693 |
| 1983 | 32 | 16 | 19 | 38 | 64 | 122 | 35 | 13 | 71 | 31 | 31 | 39 | 511 |
| 1984 | 59 | 78 | 31 | 39 | 88 | 44 | 86 | 37 | 55 | 12 | 60 | 13 | 602 |
| 1985 | 54 | 47 | 41 | 66 | 41 | 126 | 15 | 168 | 13 | 14 | 81 | 22 | 688 |
| 1986 | 73 | 63 | 49 | 72 | 127 | 90 | 72 | 10 | 3 | 40 | 7 | 21 | 627 |
| 1987 | 46 | 25 | 16 | 37 | 52 | 48 | 89 | 50 | 42 | 37 | 73 | 80 | 595 |
| 1988 | 68 | 22 | 26 | 52 | 78 | 124 | 33 | 41 | 39 | 5 | 75 | 37 | 600 |
| 1989 | 52 | 28 | 91 | 98 | 15 | 67 | 18 | 25 | 16 | 62 | 59 | 54 | 585 |
| 1990 | 21 | 32 | 6 | 36 | 140 | 87 | 107 | 18 | 66 | 37 | 19 | 36 | 605 |
| 1991 | 18 | 20 | 83 | 32 | 86 | 43 | 100 | 35 | 17 | 85 | 62 | 28 | 609 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|------|-----|------|----|------|-------|
| Psr | 49 | 43.5 | 46.3 | 57.9 | 71.2 | 87.1 | 70 | 50.6 | 52 | 40.3 | 54 | 58.5 | 680.5 |
| Max | 112 | 128 | 145 | 92 | 143 | 175 | 170 | 168 | 122 | 185 | 83 | 179 | 954 |
| Min | 4 | 9 | 2 | 32 | 9 | 15 | 15 | 5 | 3 | 0 | 7 | 1 | 465 |

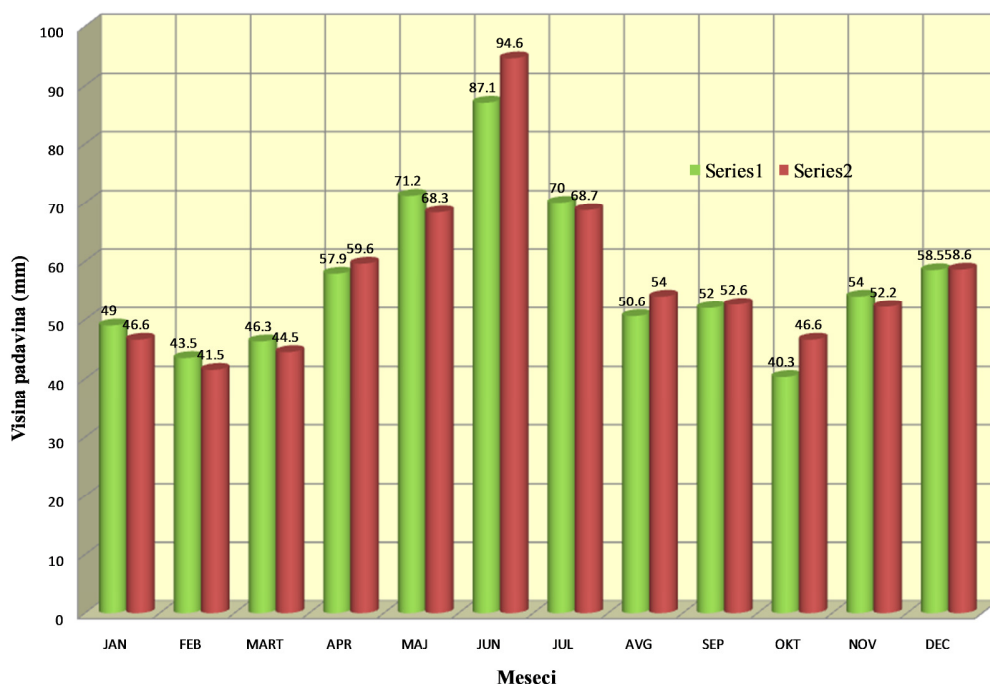


Slika 9. Grafički prikaz srednjih mesečnih padavina za meteorološku stanicu "Beograd" (132 m.n.v.) za period osmatranja 1961-1990. god. u mm

Tabela 4. Pregled mesečnih i godišnjih suma padavina za padavinsku stanicu "Jajinci" (175 m.n.v.) za period osmatranja 1953-2006. god. u mm vodenog stuba

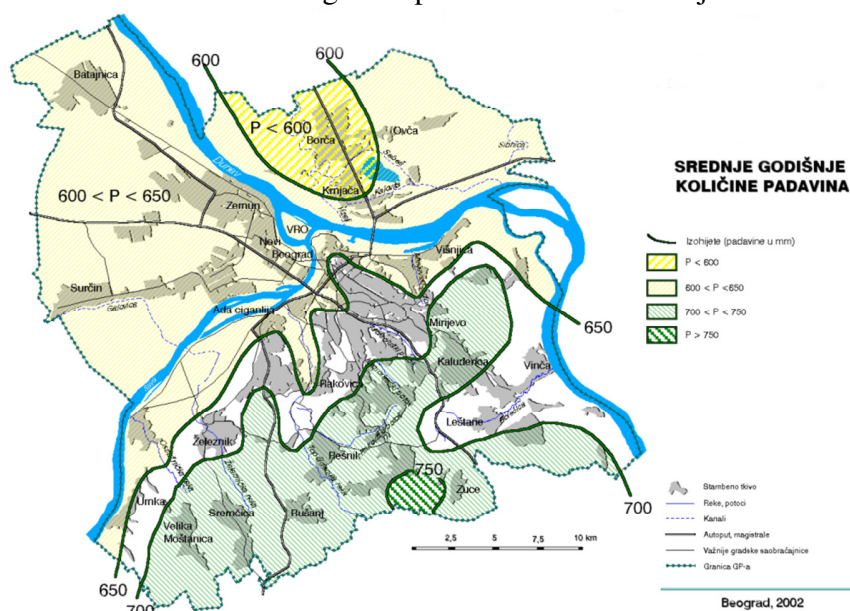
| "JAJINCI" | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1953-2006 | JAN | FEB | MART | APR | MAJ | JUN | JUL | AVG | SEP | OKT | NOV | DEC | PROSEK |
| Psr | 46.6 | 41.5 | 44.5 | 59.6 | 68.3 | 94.6 | 68.7 | 54.0 | 52.6 | 46.6 | 52.2 | 58.6 | 687.8 |
| Max | 109.6 | 118.0 | 134.1 | 132.2 | 156.0 | 187.8 | 147.7 | 249.7 | 163.0 | 181.1 | 128.3 | 198.2 | 982.9 |
| Min | 4.9 | 2.5 | 1.8 | 17.8 | 8.1 | 17.3 | 13.0 | 3.5 | 1.9 | 0.0 | 4.2 | 2.1 | 348.9 |

Sa uporednog grafika (slika 9) i sa karte izohijeta (slika 10) uočava se da se količina padavina na teritoriji GP povećava sa nadmorskom visinom.



Legenda: Serija 1–podaci sa klimatološke stanice "Beograd"
Serija 2– podaci sa klimatološke stanice "Jajinci"

Slika 10. Uporedni grafički prikaz srednjih mesečnih padavina (mm) za meteorološku stanicu "Beograd" i padavinsku stanicu "Jajinci"



Slika 11. Karta srednje godišnje količine padavina na teritoriji Beograda (Gburčik V., i dr., 2002)

5.1.2. Temperatura vazduha

Za analizu režima temperature vazduha na užem gradskom području korišćeni su podaci sa meteorološke stanice "Beograd" i sa klimatološke stanice "Surčin aerodrom". Podaci o temperaturi vazduha obrađeni su za period od 1946-1991. god. (stanica "Beograd") i predstavljeni u tabeli 5 i na slici 13. Na stanici " Surčin aerodrom" analizirani su podaci u periodu 1971-1990. godina (tabela 6).

Prostorna raspodela temperatura vazduha određena je kombinovanim uticajem topografije i toplotnog ostrva grada.

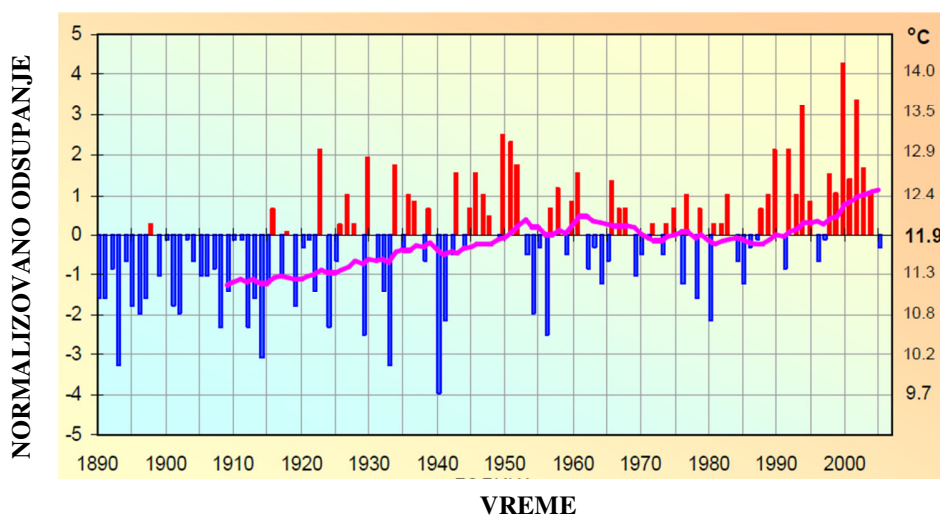
Prosečna višegodišnja temperatura za Beograd iznosi 11.9°C. Temperatura vazduha se kreće između najhladnijeg januara (0.4°C) do najtoplijeg jula (22.0°C). Sa slike 13 se vidi da je temperatura iznad proseka u periodu između aprila i septembra dok je u ostatku godine ispod proseka (11.9°C).

Srednje mesečne vrednosti temperature prikazuju stvarne promene temperatura vazduha u toku godine, zbog velikih razlika između srednjih mesečnih temperatura istih meseci u pojedinim godinama. Na primer, srednja februarska temperatura se kretala između -7,2°C (1956) do 9,1°C (1966), a junska srednja mesečna temperatura, od 17,5°C (1949) do 22,8°C (1964). Iz ovih primera se vidi da su temperature zimskih meseci promenljivije u odnosu na letnje mesece, što je posledica prodiranja toplih i hladnih vazдушnih masa tokom zime.

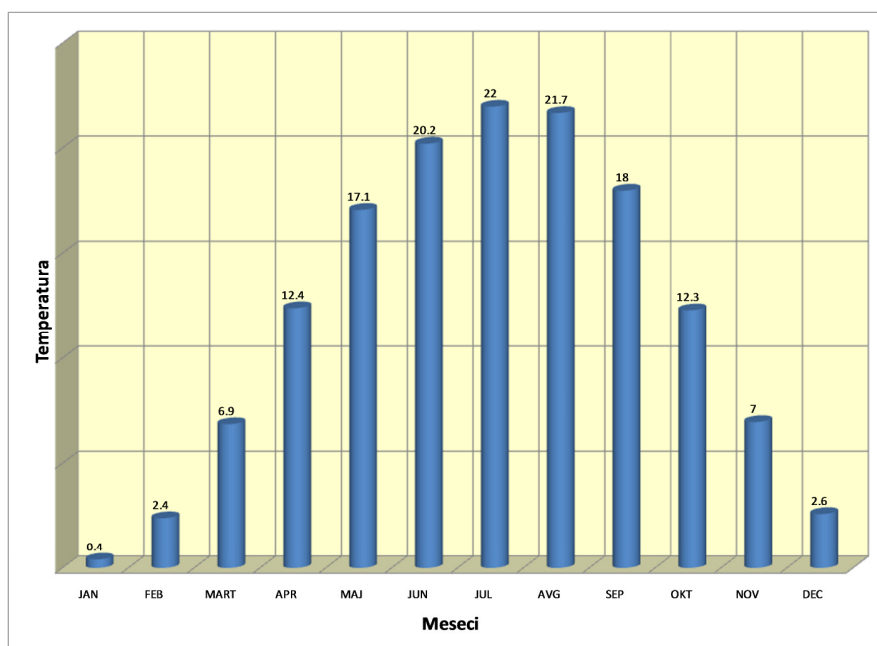
Nakon dugogodišnjeg osmatranja uočeno je opšte otopljanje, tokom vremena, na području grada Beograda (slika 12). Primera radi, srednja temperatura prve decenije XX veka je bila 11.3°C, dok je temperatura poslednje decenije 12.5°C. Opšte otopljanje u Beogradu ima dva uzroka: jedan je globalno otopljanje (na Zemlji), a drugi je porast grada (urbanizacija) i postojanje toplotnog ostrva. Prilikom analize promene temeprature vazduha u proteklih 100 godina trebalo bi uzeti u obzir i preciznost instrumenta za merenje temperature koji su se nekada koristili i koji se koriste danas.

Tabela 5. Pregled srednjih mesečnih i godišnjih temperatura vazduha za met. stanicu "Beograd"(132 m.n.v.) za period osmatranja 1946-1991. god. u °C

| | JAN | FEB | MART | APR | MAJ | JUN | JUL | AVG | SEP | OKT | NOV | DEC | PROSEK |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| 1946 | -2.4 | 2.9 | 7.3 | 14.2 | 19.5 | 22.7 | 25.4 | 25.5 | 21.4 | 8.7 | 7.6 | -0.3 | 12.7 |
| 1947 | -6.3 | 0.6 | 10.6 | 14.8 | 18.5 | 21.8 | 23.3 | 21.9 | 21.2 | 10.5 | 8.5 | 3.4 | 12.4 |
| 1948 | 7.0 | 1.9 | 6.7 | 13.2 | 18.5 | 18.7 | 20.9 | 22.9 | 18.9 | 13.5 | 5.2 | -2.1 | 12.1 |
| 1949 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 13.4 | 18.0 | 17.5 | 20.7 | 19.9 | 18.2 | 12.8 | 9.8 | 4.1 | 11.8 |
| 1950 | -2.2 | 3.4 | 7.8 | 14.7 | 19.1 | 22.3 | 25.5 | 24.1 | 19.4 | 11.0 | 7.6 | 6.0 | 13.2 |
| 1951 | 3.7 | 5.1 | 8.4 | 12.2 | 18.0 | 20.7 | 22.0 | 23.0 | 19.8 | 10.9 | 9.8 | 3.6 | 13.1 |
| 1952 | 2.0 | 1.9 | 5.3 | 15.6 | 16.2 | 20.4 | 24.4 | 25.7 | 18.5 | 13.0 | 6.7 | 3.5 | 12.8 |
| 1953 | 1.6 | 1.2 | 5.8 | 13.1 | 15.8 | 21.0 | 23.6 | 20.6 | 19.3 | 13.2 | 3.8 | 0.7 | 11.6 |
| 1954 | -5.1 | -5.0 | 7.0 | 9.5 | 15.9 | 21.8 | 21.4 | 21.9 | 19.4 | 11.7 | 5.9 | 4.8 | 10.8 |
| 1955 | 2.4 | 5.2 | 4.8 | 8.4 | 16.5 | 19.9 | 21.2 | 19.6 | 17.6 | 13.0 | 5.9 | 5.4 | 11.7 |
| 1956 | 3.3 | -7.2 | 1.4 | 12.6 | 16.0 | 19.2 | 22.4 | 23.0 | 19.0 | 12.1 | 3.3 | 1.0 | 10.5 |
| 1957 | -1.2 | 7.0 | 8.7 | 12.6 | 13.9 | 22.6 | 22.8 | 21.6 | 17.4 | 12.0 | 7.9 | 1.4 | 12.2 |
| 1958 | -0.1 | 7.0 | 2.1 | 9.5 | 20.6 | 20.0 | 23.6 | 23.2 | 17.8 | 12.6 | 6.9 | 6.4 | 12.5 |
| 1959 | 1.8 | -0.6 | 9.0 | 12.4 | 16.2 | 19.4 | 22.3 | 20.7 | 15.8 | 10.8 | 6.4 | 5.2 | 11.6 |
| 1960 | 0.2 | 2.6 | 6.7 | 11.7 | 15.7 | 20.4 | 20.4 | 22.0 | 16.5 | 15.4 | 9.9 | 6.6 | 12.3 |
| 1961 | 1.0 | 3.6 | 9.4 | 15.3 | 14.8 | 21.4 | 21.2 | 21.8 | 18.9 | 14.9 | 8.8 | 1.1 | 12.7 |
| 1962 | 2.0 | 0.7 | 2.9 | 13.2 | 18.0 | 18.9 | 21.0 | 23.5 | 17.6 | 12.8 | 7.4 | -0.8 | 11.4 |
| 1963 | -5.2 | -1.8 | 5.0 | 12.7 | 17.5 | 22.2 | 23.8 | 24.1 | 19.2 | 12.3 | 12.3 | -1.8 | 11.7 |
| 1964 | -5.5 | 1.2 | 4.7 | 12.7 | 15.8 | 22.8 | 21.3 | 20.4 | 16.8 | 13.3 | 8.1 | 2.7 | 11.2 |
| 1965 | 2.0 | -2.4 | 7.6 | 10.1 | 16.0 | 20.1 | 22.8 | 19.9 | 19.1 | 11.3 | 6.7 | 4.9 | 11.5 |
| 1966 | -2.5 | 9.1 | 6.2 | 14.1 | 16.7 | 19.7 | 21.4 | 21.4 | 18.0 | 17.0 | 6.4 | 3.2 | 12.6 |
| 1967 | -1.5 | 3.2 | 8.7 | 11.5 | 17.2 | 19.3 | 23.1 | 22.2 | 19.2 | 14.9 | 7.7 | 0.6 | 12.2 |
| 1968 | -0.8 | 5.6 | 7.4 | 15.2 | 19.3 | 21.3 | 21.4 | 19.5 | 16.4 | 12.1 | 8.2 | 0.3 | 12.2 |
| 1969 | -1.8 | 1.7 | 4.3 | 11.6 | 20.2 | 18.9 | 20.6 | 20.6 | 18.1 | 12.0 | 10.8 | -1.5 | 11.3 |
| 1970 | 2.0 | 7.0 | 8.9 | 10.9 | 15.2 | 18.4 | 20.9 | 22.9 | 18.3 | 9.2 | 7.1 | 3.6 | 12.0 |
| 1971 | 1.2 | 2.5 | 6.6 | 12.6 | 14.6 | 20.2 | 20.8 | 21.2 | 16.6 | 11.1 | 9.5 | 2.6 | 11.6 |
| 1972 | 3.7 | 2.1 | 10.7 | 12.2 | 18.0 | 19.5 | 21.4 | 20.1 | 19.5 | 11.6 | 5.0 | 2.4 | 12.2 |
| 1973 | 1.7 | 3.5 | 4.3 | 13.0 | 19.1 | 19.7 | 21.5 | 22.6 | 14.7 | 10.4 | 7.2 | 3.4 | 11.8 |
| 1974 | 1.4 | 0.4 | 4.6 | 12.6 | 16.7 | 18.6 | 21.7 | 18.1 | 16.3 | 12.7 | 8.5 | 3.5 | 11.3 |
| 1975 | 0.5 | 4.0 | 9.7 | 13.8 | 17.5 | 21.9 | 21.4 | 20.1 | 14.6 | 9.7 | 8.0 | 2.5 | 12.0 |
| 1976 | 0.4 | 3.9 | 5.6 | 11.0 | 18.1 | 20.1 | 22.1 | 21.4 | 18.5 | 11.4 | 4.5 | 2.4 | 11.6 |
| 1977 | 3.4 | 7.9 | 10.6 | 11.1 | 17.8 | 20.7 | 21.7 | 20.9 | 15.0 | 12.7 | 7.8 | -0.7 | 12.4 |
| 1978 | 1.8 | 2.2 | 8.3 | 11.4 | 15.0 | 19.0 | 20.8 | 20.0 | 15.5 | 11.8 | 2.6 | 3.5 | 11.0 |
| 1979 | 0.2 | 3.5 | 10.4 | 10.9 | 17.4 | 22.0 | 20.0 | 20.1 | 17.7 | 11.3 | 7.5 | 5.4 | 12.2 |
| 1980 | -1.6 | 2.7 | 6.6 | 9.3 | 14.3 | 19.6 | 20.8 | 20.4 | 16.4 | 13.2 | 6.0 | 1.1 | 10.7 |
| 1981 | -1.4 | 2.4 | 10.1 | 11.5 | 16.6 | 20.9 | 21.2 | 21.3 | 18.3 | 14.0 | 5.6 | 2.8 | 11.9 |
| 1982 | -0.4 | 0.0 | 6.6 | 9.1 | 18.9 | 21.5 | 21.4 | 21.2 | 20.6 | 13.7 | 6.6 | 5.2 | 12.0 |
| 1983 | 4.9 | 2.0 | 9.0 | 15.0 | 18.7 | 19.1 | 23.1 | 22.1 | 17.2 | 11.8 | 3.8 | 2.2 | 12.4 |
| 1984 | 2.1 | 1.2 | 5.6 | 11.3 | 16.8 | 18.8 | 20.0 | 20.2 | 18.8 | 14.1 | 7.0 | 1.5 | 11.5 |
| 1985 | -3.4 | -3.1 | 5.7 | 12.8 | 19.0 | 17.7 | 22.6 | 22.5 | 17.6 | 11.1 | 5.5 | 6.6 | 11.2 |
| 1986 | 2.7 | -1.4 | 5.6 | 15.1 | 18.9 | 19.4 | 19.8 | 23.1 | 18.1 | 12.1 | 6.3 | 1.0 | 11.7 |
| 1987 | -2.5 | 2.8 | 1.6 | 12.2 | 15.2 | 21.1 | 24.8 | 20.7 | 21.2 | 12.8 | 8.1 | 3.3 | 11.8 |
| 1988 | 4.6 | 4.9 | 6.5 | 11.3 | 17.7 | 20.1 | 24.7 | 23.3 | 18.0 | 11.8 | 1.4 | 2.9 | 12.3 |
| 1989 | 0.5 | 5.4 | 10.5 | 15.0 | 16.0 | 18.3 | 22.4 | 21.5 | 17.1 | 12.5 | 5.8 | 3.7 | 12.4 |
| 1990 | 1.6 | 7.2 | 11.2 | 12.3 | 18.2 | 20.6 | 21.9 | 22.5 | 16.1 | 13.8 | 8.5 | 2.2 | 13.0 |
| 1991 | 1.9 | -0.2 | 9.2 | 11.0 | 13.6 | 21.1 | 22.6 | 21.1 | 18.9 | 11.4 | 7.7 | -1.1 | 11.4 |
| Tsr | 0.4 | 2.4 | 6.9 | 12.4 | 17.1 | 20.2 | 22.0 | 21.7 | 18.0 | 12.3 | 7.0 | 2.6 | 11.9 |
| Max | 7.0 | 9.1 | 11.2 | 15.6 | 20.6 | 22.8 | 25.5 | 25.7 | 21.4 | 17.0 | 12.3 | 6.6 | 13.2 |
| Min | -6.3 | -7.2 | 1.4 | 8.4 | 13.6 | 17.5 | 19.8 | 18.1 | 14.6 | 8.7 | 1.4 | -2.1 | 10.5 |



Slika 12. Srednja godišnja temperatura vazduha (skala desno), normalizovana odstupanja u odnosu na normalu 1961-1990 i dvadesetogodišnji klizni srednjak MO Beograd (1890-2000)
(Agencija za zaštitu životne sredine, prema podacima RHMZ, Beograd)



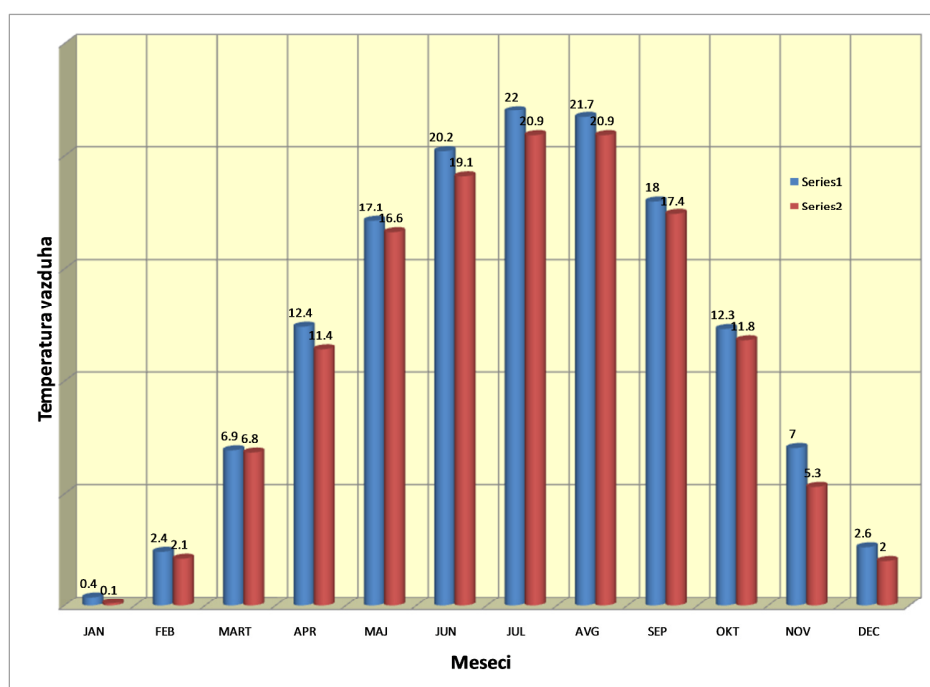
Slika 13. Grafički prikaz srednjih mesečnih temperatura vazduha (°C) za meteorološku stanicu Beograd (132 m.n.v.) za period osmatranja 1946-1991. god.

U tabeli 6 prikazane su srednje mesečne, srednje maksimalne i srednje minimalne temperature vazduha osmatrane na klimatološkoj stanici "Surčin aerodrom" u periodu od 1971. god. do 1990. god.

Tabela 6. Pregled srednjih mesečnih i godišnjih temperatura vazduha za klim. stanicu "Surčin aerodrom" (96.5 m.n.v.) za period osmatranja 1971-1990. god. u °C

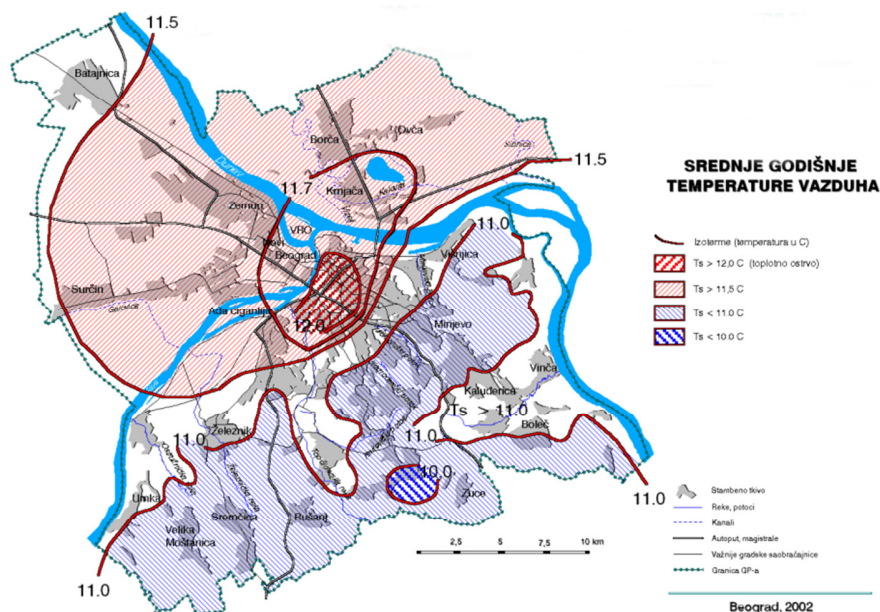
| AERODROM "NIKOLA TESLA" | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|--------|
| 1971-1990 | JAN | FEB | MART | APR | MAJ | JUN | JUL | AVG | SEP | OKT | NOV | DEC | PROSEK |
| Tsr | 0.1 | 2.1 | 6.8 | 11.4 | 16.6 | 19.1 | 20.9 | 20.9 | 17.4 | 11.8 | 5.3 | 2.0 | 11.2 |
| Max | 3.7 | 6.4 | 12.2 | 16.8 | 22.2 | 25.4 | 27.2 | 27.1 | 23.3 | 17.3 | 9.6 | 5.4 | 16.4 |
| Min | -3.0 | -1.5 | 2.0 | 6.0 | 11.0 | 13.4 | 15.0 | 14.9 | 11.6 | 6.8 | 2.0 | -1.1 | 6.4 |

Na slikama 14 i 15 prikazane su razlike u temperaturi vazduha koje se ispoljavaju između ruralnih i urbanih delova terena. Za ovaj prikaz korišćeni su podaci sa klimatološke stanice "Beograd" i "Surčin aerodrom", odnosno karta izotermi na području GP-a.



Legenda: **Seriya 1–podaci sa meteorološke stanice "Beograd"**
Seriya 2– podaci sa klimatološke stanice "Surčin aerodrom"

Slika 14. Uporedni grafički prikaz srednjih mesečnih temperatura vazduha (°C) za meteorološku stanicu "Beograd" i "Surčin aerodrom"



Slika 15. Karta srednje godišnje temperature vazduha na teritoriji Beograda (Gburčik V., i dr., 2002)

Srednje godišnje vrednosti temperature vazduha više su za oko 1°C u urbanim delovima područja grada Beograda u odnosu na ruralne delove severno od Save i Dunava, odnosno za oko 2 °C u odnosu na ruralne delove južno od Save i Dunava.

5.1.3. Evapotranspiracija

Podaci o mesečnoj i godišnjoj potencijalnoj i stvarnoj-aktuelnoj evapotranspiraciji za period od 1961-1990. god. za područje Beograda prikazani su u tabelama 7 i 8.

Za osmatrani period, vrednost ukupne godišnje potencijalne evapotranspiracije kreće se od 554 do 748 mm, dok je srednja vrednost za isti period 649 mm. Najveće potencijalno isparavanje je u julu 85.8 mm, a najmanje u decembru 20.6 mm.

Za osmatrani period vrednost ukupne godišnje aktuelne evapotranspiracije kreće se od 327 do 486 mm, dok je srednja vrednost za isti period 412.5 mm. Najveće aktuelno isparavanje je u junu 62.2 mm, a najmanje u januaru 3.19 mm.

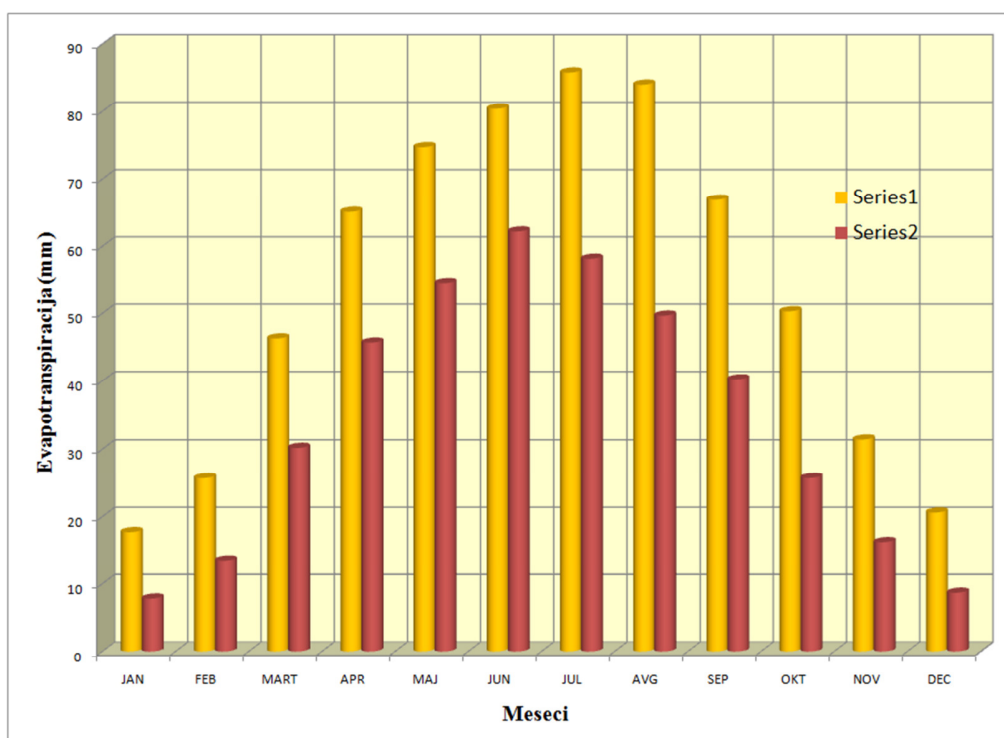
Odnos vrednosti potencijalne i aktuelne evapotranspiracije je, 412.5 : 649, odnosno 0.635 : 1, tj. oko dve trećine. U odnosu na padavine, aktuelna evapotranspiracija stoji u odnosu 412.5 : 680.5, tj. oko 60 % padavina odlazi na evapotranspiraciju. Vrednosti potencijalne evapotranspiracije su uvek veće u odnosu na aktuelnu, odnosno stvarnu evapotranspiraciju, pod kojom se podrazumeva isparavanje pri ograničenom obnavljanju vlage (slika 16). Proračun aktuelne evapotranspiracije nije dat za sve delove istražnog terena već je relevantan samo za ravničarski deo grada.

Tabela 7. Prikaz vrednosti mesečnih i godišnjih suma potencijalne evapotranspiracije za met. stanicu "Beograd" (132 m.n.v.) za period osmatranja 1961-1990. god. u mm

| | JAN | FEB | MART | APR | MAJ | JUN | JUL | AVG | SEP | OKT | NOV | DEC | SUMA |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1961 | 19.9 | 22.2 | 62.8 | 75.6 | 49.4 | 88.7 | 95.2 | 107 | 97.2 | 78.2 | 31.9 | 14.8 | 743 |
| 1962 | 13.5 | 14.4 | 15.7 | 62.5 | 92.5 | 77.6 | 71.2 | 112 | 82 | 56.5 | 20.4 | 11.1 | 630 |
| 1963 | 7.6 | 12.4 | 39.6 | 62.7 | 82 | 101 | 107 | 122 | 84.8 | 54.8 | 65.1 | 9.8 | 748 |
| 1964 | 6 | 23.7 | 28.5 | 68 | 63.2 | 92.5 | 83.6 | 85.9 | 61.5 | 51.8 | 32.1 | 15.9 | 613 |
| 1965 | 20.7 | 12.8 | 50.3 | 51.1 | 71.7 | 73.5 | 105 | 91.3 | 82.3 | 55.7 | 29.7 | 22 | 666 |
| 1966 | 10.8 | 47.1 | 40.1 | 62.8 | 79.7 | 79.4 | 79.1 | 76.7 | 66.4 | 70.2 | 25.4 | 44.2 | 682 |
| 1967 | 14.2 | 32.9 | 50.5 | 57.8 | 79.1 | 73.9 | 95.9 | 95.8 | 78.1 | 57.2 | 34.2 | 15 | 685 |
| 1968 | 14.6 | 32.7 | 48.4 | 98.4 | 94 | 103 | 98.2 | 65.3 | 53.5 | 49.2 | 26.7 | 13.8 | 698 |
| 1969 | 15.7 | 18.3 | 32.2 | 73 | 106 | 61.8 | 77.1 | 65.4 | 66.6 | 55.8 | 57.6 | 7.4 | 637 |
| 1970 | 17.6 | 22.5 | 42.4 | 67.7 | 56.6 | 69.2 | 68.2 | 71.4 | 59 | 43.8 | 40.6 | 17.7 | 577 |
| 1971 | 17.4 | 23.1 | 33.3 | 75.9 | 82.3 | 83.9 | 98.5 | 89.5 | 43.5 | 48.7 | 34.6 | 16.7 | 647 |
| 1972 | 20.7 | 29.4 | 74.3 | 60.2 | 77.8 | 99.8 | 64.7 | 62.1 | 43.4 | 33.4 | 37.5 | 21.5 | 625 |
| 1973 | 17.2 | 26 | 36.3 | 53.3 | 83.8 | 75.8 | 85.7 | 88.7 | 63.2 | 47.7 | 30.4 | 23.3 | 631 |
| 1974 | 19.7 | 43.4 | 61.2 | 65.9 | 59.8 | 62.9 | 82.5 | 92.3 | 67.1 | 26.6 | 29.1 | 18 | 629 |
| 1975 | 28.8 | 31.2 | 70.1 | 66.5 | 59.9 | 60.8 | 69.5 | 50.6 | 56.3 | 31.5 | 25.6 | 21.3 | 572 |
| 1976 | 22.3 | 22.9 | 35.9 | 69.4 | 77.6 | 69.9 | 96.7 | 58 | 50.3 | 45.3 | 31.4 | 29.4 | 609 |
| 1977 | 28.2 | 40.1 | 58.6 | 60 | 82.9 | 96.1 | 89.5 | 75.5 | 61.3 | 48.8 | 28.9 | 12.5 | 682 |
| 1978 | 24 | 17.2 | 46.6 | 51 | 55.5 | 68.7 | 89.3 | 87.1 | 54.7 | 43.5 | 13.8 | 21 | 572 |
| 1979 | 16.9 | 33.6 | 67.5 | 62 | 77.5 | 83 | 68.7 | 69 | 63.5 | 52.4 | 27 | 29.9 | 651 |
| 1980 | 13.4 | 21.8 | 38.5 | 46.1 | 54 | 76.9 | 79.9 | 71.9 | 56.6 | 53.4 | 24.8 | 16.6 | 554 |
| 1981 | 16.4 | 29.1 | 51.1 | 71.1 | 75.3 | 80.2 | 93 | 84 | 56 | 51 | 30 | 24 | 661 |
| 1982 | 13.7 | 22.1 | 47.5 | 50.1 | 101 | 98.5 | 79.1 | 66.7 | 65.4 | 45.4 | 42.4 | 27.1 | 659 |
| 1983 | 31 | 31 | 67.4 | 78.5 | 87.7 | 71.1 | 85.6 | 98.2 | 68.7 | 52.2 | 23.6 | 19.9 | 715 |
| 1984 | 17 | 17.6 | 38.5 | 63 | 69.5 | 85.5 | 82.5 | 71.5 | 77 | 49.9 | 31.5 | 18 | 622 |
| 1985 | 13.3 | 15.6 | 38.9 | 68.3 | 86.4 | 65.7 | 112 | 104 | 73.9 | 42.2 | 26.4 | 32.1 | 679 |
| 1986 | 25.8 | 14.4 | 31.4 | 84.6 | 72.8 | 69.6 | 63.7 | 101 | 85.9 | 61.1 | 30.3 | 20.7 | 661 |
| 1987 | 16.1 | 25.6 | 42.6 | 60 | 66.9 | 85.9 | 76.6 | 90.3 | 73 | 62.3 | 32.2 | 25.7 | 657 |
| 1988 | 20.3 | 14.9 | 49.8 | 70.5 | 60.2 | 74.1 | 71.4 | 68 | 73.1 | 54.4 | 25.4 | 25.9 | 608 |
| 1989 | 14.1 | 38.1 | 21.8 | 45.1 | 95.8 | 87.1 | 118 | 109 | 80.8 | 45.1 | 19.6 | 27.9 | 702 |
| 1990 | 12.6 | 34.2 | 66.3 | 71.1 | 40.3 | 97 | 87.5 | 89.2 | 62.9 | 40.6 | 33.2 | 15.2 | 650 |
| ETsr | 17.7 | 25.7 | 46.3 | 65.1 | 74.7 | 80.4 | 85.8 | 84 | 66.9 | 50.3 | 31.4 | 20.6 | 649 |
| Max | 31 | 47.1 | 74.3 | 98.4 | 106 | 103 | 118 | 122 | 97.2 | 78.2 | 65.1 | 44.2 | 748 |
| Min | 6 | 12.4 | 15.7 | 45.1 | 40.3 | 60.8 | 63.7 | 50.6 | 43.4 | 26.6 | 13.8 | 7.4 | 554 |

Tabela 8. Prikaz vrednosti mesečnih i godišnjih suma aktuelne evapotranspiracije za ravničarski deo Beograda za period osmatranja 1961-1990. god. u mm

| | JAN | FEB | MAR | APR | MAJ | JUN | JUL | AVG | SEP | OCT | NOV | DEC | SUMA |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1961 | 8,74 | 12,91 | 38,03 | 50,10 | 50,23 | 59,39 | 49,13 | 22,85 | 10,69 | 5,50 | 13,06 | 6,07 | 326,71 |
| 1962 | 7,31 | 10,62 | 15,58 | 45,64 | 46,12 | 62,76 | 63,55 | 65,34 | 50,26 | 23,39 | 14,38 | 5,73 | 410,68 |
| 1963 | 4,24 | 5,65 | 25,65 | 45,22 | 57,96 | 57,02 | 68,60 | 66,58 | 52,39 | 32,40 | 28,89 | 4,01 | 448,61 |
| 1964 | 3,19 | 8,29 | 19,39 | 45,26 | 52,43 | 65,26 | 62,91 | 57,55 | 43,57 | 30,45 | 16,95 | 6,92 | 412,17 |
| 1965 | 8,83 | 8,25 | 30,84 | 41,48 | 55,73 | 62,49 | 47,29 | 49,24 | 40,91 | 14,81 | 16,40 | 8,96 | 385,22 |
| 1966 | 6,05 | 20,44 | 29,00 | 44,64 | 58,42 | 63,00 | 62,86 | 57,37 | 33,17 | 25,39 | 14,97 | 11,67 | 426,96 |
| 1967 | 6,53 | 15,46 | 31,65 | 41,93 | 56,05 | 60,96 | 61,76 | 19,52 | 51,72 | 19,68 | 16,62 | 5,17 | 387,06 |
| 1968 | 4,73 | 15,37 | 30,15 | 46,85 | 44,66 | 67,68 | 66,24 | 51,93 | 40,48 | 21,84 | 16,47 | 6,29 | 412,71 |
| 1969 | 11,38 | 10,91 | 23,44 | 45,50 | 54,42 | 68,82 | 59,24 | 48,97 | 25,68 | 10,49 | 24,93 | 10,65 | 394,42 |
| 1970 | 5,98 | 12,05 | 28,54 | 45,07 | 50,48 | 60,92 | 59,01 | 55,09 | 28,75 | 28,73 | 21,43 | 8,35 | 404,38 |
| 1971 | 8,53 | 13,45 | 24,52 | 48,55 | 59,43 | 63,38 | 67,63 | 63,20 | 40,10 | 29,92 | 17,87 | 7,67 | 444,25 |
| 1972 | 9,52 | 17,32 | 34,76 | 46,40 | 58,71 | 69,19 | 60,83 | 53,84 | 35,86 | 25,99 | 18,83 | 8,02 | 439,25 |
| 1973 | 6,77 | 13,80 | 28,10 | 41,43 | 58,39 | 62,45 | 63,92 | 46,52 | 30,41 | 26,32 | 15,59 | 9,42 | 403,11 |
| 1974 | 9,97 | 21,13 | 37,95 | 45,60 | 51,39 | 58,59 | 62,96 | 52,77 | 47,57 | 22,09 | 17,14 | 8,67 | 435,83 |
| 1975 | 11,75 | 14,07 | 39,65 | 45,20 | 55,00 | 59,77 | 59,85 | 50,05 | 41,05 | 26,17 | 16,08 | 8,12 | 426,75 |
| 1976 | 8,51 | 10,29 | 23,81 | 47,37 | 44,86 | 60,76 | 52,67 | 39,31 | 40,82 | 26,53 | 19,21 | 11,45 | 385,59 |
| 1977 | 11,75 | 16,62 | 35,12 | 43,23 | 58,00 | 51,87 | 63,65 | 55,96 | 43,13 | 26,91 | 14,50 | 12,60 | 433,33 |
| 1978 | 10,12 | 10,74 | 27,46 | 42,41 | 51,73 | 60,78 | 40,00 | 25,39 | 41,82 | 19,41 | 6,46 | 9,82 | 346,15 |
| 1979 | 7,75 | 16,55 | 38,48 | 45,74 | 57,39 | 65,77 | 59,36 | 52,03 | 34,76 | 30,06 | 15,36 | 12,24 | 435,49 |
| 1980 | 6,12 | 11,28 | 27,56 | 36,54 | 49,90 | 62,73 | 62,45 | 44,58 | 32,53 | 33,47 | 13,95 | 6,91 | 388,02 |
| 1981 | 7,18 | 14,91 | 34,27 | 46,81 | 56,23 | 63,74 | 62,38 | 47,38 | 44,91 | 33,22 | 16,33 | 10,05 | 437,39 |
| 1982 | 6,50 | 16,64 | 40,20 | 40,79 | 58,63 | 67,71 | 62,56 | 65,51 | 42,24 | 30,47 | 19,11 | 11,56 | 461,92 |
| 1983 | 11,65 | 13,57 | 38,45 | 51,38 | 62,25 | 64,05 | 49,50 | 23,92 | 48,92 | 24,92 | 9,62 | 6,61 | 404,84 |
| 1984 | 7,33 | 10,19 | 28,17 | 48,63 | 57,52 | 64,66 | 63,63 | 37,33 | 52,43 | 29,84 | 17,05 | 7,26 | 424,04 |
| 1985 | 5,50 | 7,29 | 27,06 | 47,81 | 58,85 | 59,78 | 42,48 | 64,08 | 18,86 | 9,54 | 14,86 | 12,80 | 368,91 |
| 1986 | 10,46 | 8,05 | 23,75 | 52,95 | 55,86 | 46,77 | 58,59 | 56,70 | 41,52 | 27,29 | 9,96 | 4,31 | 396,21 |
| 1987 | 3,22 | 14,89 | 20,15 | 46,82 | 54,72 | 65,59 | 62,26 | 33,77 | 58,03 | 33,56 | 16,98 | 8,51 | 418,50 |
| 1988 | 9,77 | 15,42 | 25,88 | 43,62 | 44,07 | 64,22 | 42,14 | 67,39 | 43,09 | 33,98 | 10,23 | 9,77 | 409,57 |
| 1989 | 4,74 | 17,66 | 35,95 | 51,13 | 54,95 | 58,63 | 38,73 | 56,55 | 43,25 | 31,27 | 16,33 | 11,99 | 421,19 |
| 1990 | 9,73 | 21,06 | 41,79 | 46,20 | 62,54 | 66,55 | 68,27 | 58,69 | 48,20 | 37,79 | 16,99 | 8,37 | 486,19 |
| ETsr | 7,80 | 13,50 | 30,18 | 45,68 | 54,56 | 62,18 | 58,15 | 49,65 | 40,24 | 25,71 | 16,22 | 8,66 | 412,52 |
| Max | 11,75 | 21,13 | 41,79 | 52,95 | 62,54 | 69,19 | 68,60 | 67,39 | 58,03 | 37,79 | 28,89 | 12,80 | 486,19 |
| Min | 3,19 | 5,65 | 15,58 | 36,54 | 44,07 | 46,77 | 38,73 | 19,52 | 10,69 | 5,50 | 6,46 | 4,01 | 326,71 |



Legenda: Serija 1–potencijalna evapotranspiracija
Serija 2– aktuelna evapotranspiracija

Slika 16. Upporedni grafički prikaz srednje mesečne potencijalne i aktuelne evapotranspiracije (mm) za period osmatranja 1961-1990. god.

5.1.4. Ostali klimatski parametri

Pored analize padavina, temperature vazduha i evapotranspiracije, tokom istraživanja vršena je i analiza postojećih podataka:

- vlažnosti vazduha
- vazdušnih strujanja
- magle i smoga
- aerozagadenja

Pomenuti klimatski elementi nemaju uticaj na hidrogeotermalne resurse, pa su stoga prikazani u manjem obimu.

Vlažnost vazduha. Podaci o vrednostima relativne vlažnosti vazduha na području istraživanja baziraju se na rezultatima osmatranja na meteorološkoj stanici "Beograd" u periodu od 1949-1991. god. Ovi podaci su prikazani u tabeli 9.

Tabela 9. Pregled srednjih mesečnih i godišnjih vrednosti relativne vlažnosti vazduha za meteorološku stanicu "Beograd" (132 m.n.v.) za period osmatranja 1949-1991. god. u %

| | JAN | FEB | MART | APR | MAJ | JUN | JUL | AVG | SEP | OKT | NOV | DEC | PROSEK |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Wsr | 78.7 | 74.2 | 65.9 | 61.6 | 64.2 | 65.0 | 62.9 | 63.3 | 66.8 | 70.5 | 76.7 | 79.6 | 69.1 |
| Max | 87.0 | 82.0 | 80.0 | 70.0 | 78.0 | 73.0 | 73.0 | 79.0 | 77.0 | 82.0 | 87.0 | 89.0 | 75.7 |
| Min | 73.0 | 64.0 | 51.0 | 49.0 | 54.0 | 50.0 | 47.0 | 46.0 | 54.0 | 59.0 | 62.0 | 57.0 | 63.7 |

Za područje Beograda relativna vlažnost vazduha se kreće između 61,6 % u aprilu do 79,6 % u decembru. Najmanja vrednost srednje relativne vlažnosti vazduha je zabeležena u avgustu mesecu 1952. god. i iznosila je 46 %, a najveća vrednost je zabeležena za decembar 1966. god. i iznosila je 89 %. Ukupno posmatrano, srednja mesečna vlažnost vazduha za posmatrani period na osnovu tabele 5 je 69,1 %.

Vazдушna strujanja. Čestina vetrova po smerovima, tzv. ruža vetrova, dobijena po podacima sa meteorološke stanice "Beograd", ima oblik karakterističan za celo košavsko područje.

Dominiraju dva smer: jugoistok i zapad-severozapad. Jugoistočni smer je opštepoznat kao košava, a zapadno-severozapadni smer naziva se gornjak. Ova dva smer tačnije treba posmatrati kao sektore i to prvi kao sektor između istoka i juga, a drugi kao sektor između zapada i severozapada. Uticaj izdvojenih sektora ogleda se u formiranju "košavskog procesa", odnosno vetar u različitim situacijama može da varira od istočnog do južnog smera. Gornjak varira od zapadnog do severozapadnog smera.

Magla i smog. Složena topografija Beograda odražava se i na razlike u vrstama magle i smoga u pojedinim topoklimatskim zonama grada.

Na osnovu osmatranja na meteorološkoj stanici "Beograd", prema Atlasu klime Jugoslavije za period 1931-1960, godišnji broj dana sa maglom u Beogradu iznosi 39 (Gburčik V., i dr., 2002).

Činjenica da su u Beogradu prisutni različiti tipovi magle dovodi do toga da se na pojedinim lokalitetima magla ponaša različito. Tako je u Surčinu vidljivost najmanja u jutarnjim časovima, kada se formiraju inverzije. Na Zelenom brdu vidljivost je manja u toku dana nego u jutarnjim časovima, jer se magla podiže iz nizije, a i niski oblaci se na brdu registruju kao magla (Unkašević, 1994).

Aerozagađenje. Na području grada praćenje stanja kvaliteta vazduha vrši se preko 6 stanica u Bogradu, jedene u Pančevu i 2 u Obrenovcu. Na mernim mestima osmatraju se koncentracije SO₂, NO_x, CO, PM (čestične materije), O₃ u vazduhu. Prema podacima Gradskog zavoda za javno zdravlje u Beogradu, u periodu od 2004 godine do 2009. godine srednje godišnje vrednosti SO₂, NO₂, i čađi uglavnom su bile u granicama dozvoljenih koncentracija, dok su maksimalne dnevne koncentracije SO₂, NO₂, a naročito čađi bile su znatno iznad dozvoljenih, čak i do osam puta više.

Iz napred navedenog, zaključuje se da je uže područje grada kompleksno sa stanovišta klimatskih karakteristika. Na području GP-a izražene su razlike u nadmorskim visinama terena, kao i razlike između urbanih i ruralnih delova terena. U zbirnoj tabeli 10 prikazane su srednje godišnje vrednosti analiziranih parametara za uže područje grada.

Tabela 10. Srednje godišnje vrednosti analiziranih klimatskih elemenata na užem području Beograda

| Klimatski parametar | Jedinica | Vrednost |
|---------------------------------|-----------------|------------------|
| URBANI DELOVI TERENA | | |
| Padavine | mm/god. | 680.5 |
| Temperatura | °C | 11.9 |
| Relativna vlažnost vazduha | % | 69.1 |
| Atmosferski pritisak | Mbar (hPa) | 1001 |
| Potencijalna evapotranspiracija | mm/god. | 649 |
| Aktuelna evapotranspiracija | mm/god | 412.52 |
| RURALNI DELOVI TERENA | | |
| Padavine * | mm/god. | 687.8 |
| Temperatura ** | °C | 11.2 |
| Relativna vlažnost vazduha ** | % | 76 |
| Atmosferski pritisak ** | Mbar (hPa) | 1000-1005 |

* padavinska stanica "Jajinci"

** klimatološka stanica "Surčin aerodrom"

5.2. KLIMATSKE KARAKTERISTIKE ŠIREG PODRUČJA GRADA BEOGRADA

Na širem području grada (van teritorije GP-a) analizirane su vrednosti visine padavina preuzetih sa 5 padavinskih stanica i 2 klimatološke stanice (tabela 11). Analiza visina padavina u odnosu na nadmorsku visinu terena prikazana je na slici 17.

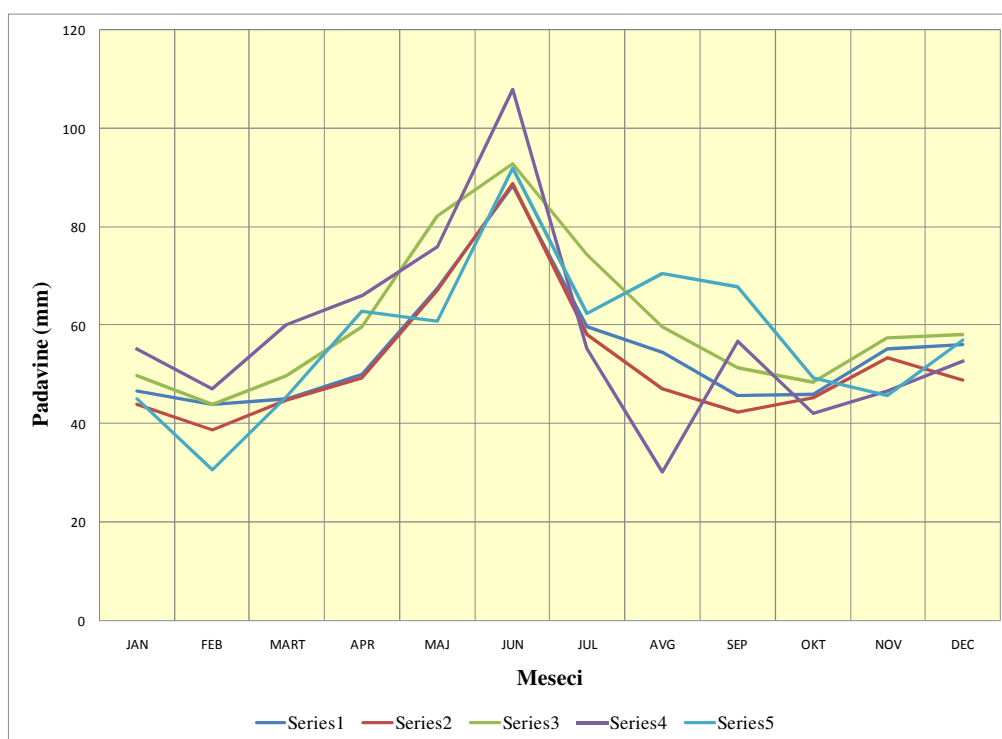
Tabela 11. Pregled srednjih, maksimalnih i minimalnih mesečnih padavina na klimatološkim stanicama na širem području grada Beograda

| "BOLJEVCI"-70 m.n.v. | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| 1961-1991 | JAN | FEB | MART | APR | MAJ | JUN | JUL | AVG | SEP | OKT | NOV | DEC | PROSEK |
| Psr | 46.4 | 43.8 | 45.0 | 49.9 | 67.6 | 88.3 | 59.5 | 54.4 | 45.5 | 45.8 | 55.1 | 56.1 | 658 |
| Max | 110 | 127 | 137 | 101 | 184 | 258 | 198 | 172 | 122 | 192 | 98 | 194 | 1026 |
| Min | 3 | 6 | 3 | 8 | 5 | 21 | 7 | 12 | 2 | 0 | 7 | 1 | 445 |
| "GRABOVAC"-109 m.n.v.* | | | | | | | | | | | | | |
| 2011-2012 | APR | MAJ | JUN | JUL | AVG | SEP | OKT | NOV | DEC | JAN | FEB | MART | PROSEK |
| Psr | 38.0 | 62.0 | 60.0 | 121.0 | 30.0 | 31.0 | 39.0 | 4.0 | 24.0 | 6.0 | 26.0 | 2.0 | 443 |
| "SMEDEREVSKA PALANKA"-121 m.n.v. | | | | | | | | | | | | | |
| 190-1991 | JAN | FEB | MART | APR | MAJ | JUN | JUL | AVG | SEP | OKT | NOV | DEC | PROSEK |
| Psr | 43.9 | 38.7 | 44.7 | 49.4 | 67.2 | 88.8 | 58.0 | 47.0 | 42.4 | 45.2 | 53.3 | 48.8 | 627.7 |
| Max | 97 | 92 | 109 | 104 | 196 | 221 | 148 | 155 | 136 | 116 | 114 | 747 | 1476 |
| Min | 9 | 4 | 1 | 18 | 10 | 25 | 9 | 19 | 1 | 15 | 7 | 2 | 490 |
| "SIBNICA"-150 m.n.v | | | | | | | | | | | | | |
| 1953-2006 | JAN | FEB | MART | APR | MAJ | JUN | JUL | AVG | SEP | OKT | NOV | DEC | PROSEK |
| Psr | 49.8 | 44 | 49.8 | 59.8 | 82.3 | 92.8 | 74.4 | 59.7 | 51.5 | 48.6 | 57.6 | 58.1 | 729.5 |
| Max | 149 | 113 | 118 | 117 | 205 | 210 | 190 | 206 | 124 | 167 | 117 | 187 | 1068 |
| Min | 3 | 4 | 3 | 11 | 9 | 26 | 15 | 12 | 2 | 0 | 1 | 0 | 501 |
| "SOPOT"-170 m.n.v. | | | | | | | | | | | | | |
| 1975-1984 | JAN | FEB | MART | APR | MAJ | JUN | JUL | AVG | SEP | OKT | NOV | DEC | PROSEK |
| Psr | 55.1 | 47.1 | 60.1 | 66 | 75.9 | 107.9 | 55.1 | 30.2 | 56.7 | 42.2 | 46.6 | 52.7 | 678.8 |
| Max | 122 | 117 | 115 | 143 | 170 | 221 | 89 | 203 | 102 | 75 | 88 | 76 | 862 |
| Min | 20 | 9 | 22 | 32 | 2 | 48 | 23 | 11 | 11 | 12 | 13 | 4 | 585 |
| "BARAJEVO"-270 m.n.v. | | | | | | | | | | | | | |
| 1975-1983 | JAN | FEB | MART | APR | MAJ | JUN | JUL | AVG | SEP | OKT | NOV | DEC | PROSEK |
| Psr | 45.2 | 30.7 | 45.5 | 63 | 60.8 | 92 | 62.5 | 70.7 | 67.8 | 49.3 | 45.7 | 57 | 729 |
| Max | 99 | 79 | 81 | 132 | 130 | 158 | 127 | 185 | 104 | 80 | 84 | 104 | 839 |
| Min | 25 | 6 | 17 | 28 | 8 | 45 | 20 | 26 | 41 | 9 | 11 | 7 | 573 |

*Podaci srednjih mesečnih padavina nisu prikazani na grafiku (slika 16), obzirom na raspoloživost podataka, odnosno na dužinu perioda osmatranja

Na klimatološkoj stanici "Kalenić", za period osmatranja 1971-1990. godina

- godišnja suma padavina se kreće od 539.1 (1983) do 910 mm (1977)
- srednje godišnje sume padavina iznose 748 mm
- godišnja kolebanja količine padavina kreće se od 380 mm



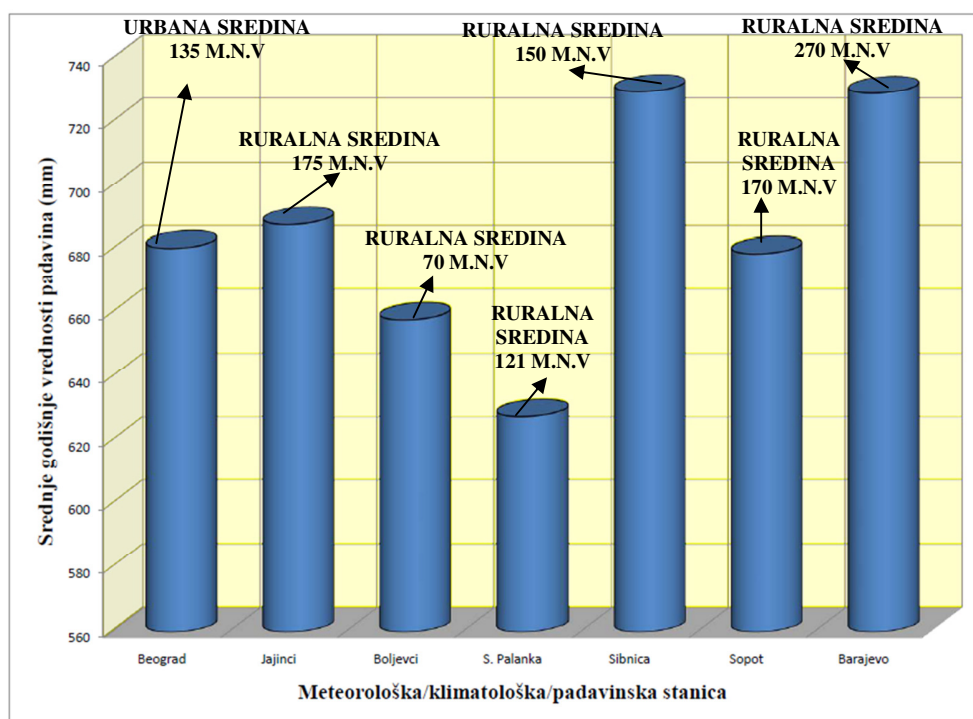
Legenda:
Serija 1– Meteorološka stanica "Boljevci"
Serija 2– Meteorološka stanica "Smederevska Palanka"
Serija 3– Meteorološka stanica "Sibnica"
Serija 4– Meteorološka stanica "Sopot"
Serija 5– Meteorološka stanica "Barajevo"

Slika 17. Uporedni grafički prikaz visina srednjih mesečnih padavina na klimatološkim stanicama na širem području grada Beograda

Sa slike 17 uočava se da su visine padavina skoro ujednačene na klimatološkoj stanici "Boljevci" (70 m.n.v) i "Smederevskoj Planci" (121 m.n.v), a da sa porastom nadmorske visine ("Barajevo" i "Sopot") raspored padavina postaje sve neravnomerniji.

Imajući u vidu sve analizirane klimatske faktore, padavine imaju najveći uticaj na hidrogeotermalne resurse, obzirom da predstavljaju osnovni vid prihranjivanja podzemnih vodnih resursa. Posle padavina, temperatura vazduha značajno utiče na podzemne vodne resurse, dok ostali klimatski elementi indirektno utiču, učestvujući u ukupnom vodnom bilansu.

Na slici 18. analiziran je odnos dva faktora koja utiču na količinu padavina: tip sredine (ruralni/urbani delovi terena) i nadmorska visina terena.



Slika 18. Uporedni grafički prikaz srednjih godišnjih padavina osmatranih u urbanim i ruralnim delovima istražnog područja, na različitim nadmorskim visinama

Najmanja količina padavina izluči se u nižim delovima terena, a najveća količina u najvišim ruralnim delovima terena.

6. HIDROGRAFSKE I HIDROLOŠKE KARAKTERISTIKE TERITORIJE GRADA BEOGRADA

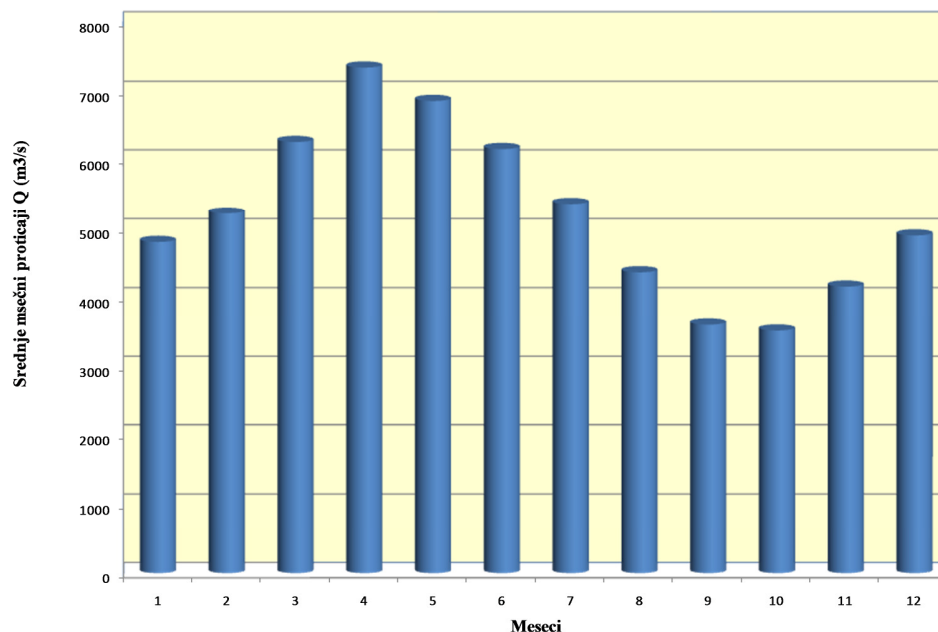
Hidrografska mreža područja grada Beograda preko savskog i dunavskog slivnog područja pripada crnomorskom slivu. Širina glavnih drenova ovog područja tj. Dunava i Save varira od nekoliko stotina metara do širine od preko jednog kilometra. Dubina ovih reka u glavnom toku kreće se u dijapazonu od 15 do 20 m (Marković i dr., 1985). Dunav i Sava su plovne reke od međunarodnog značaja.

Razgranat sistem drenažne mreže nije ravnomerno razvijen. Severni (Pančevački rit) i zapadni (Zemunsko-bežanijski lesni plato) delovi istražnog terena karakterišu se kanalisanim vodotocima koji služe za regulisanje nivoa podzemnih voda, odnosno imaju dvojaku funkciju: u sušnim periodima služe za navodnjavanje, dok u kišnim periodima višak vode usmeravaju ka Savi i Dunavu. Južno od Dunava i istočno od toka reke Save razvijeni su stalni i povremeni vodotoci, koji u zavisnosti od doba godine mogu imati i bujični karakter.

Dunav je druga najveća evropska reka (2.850 km), koja protiče područjem grada Beograda u dužini od 60 km od Starih Banovaca na zapadu do Grocke na istoku. U prvom delu toka, od S. Banovaca do ušća Save, leva i desna obala Dunava morfološki se potpuno razlikuju. Korito Dunava usečeno je u desnu obalu izgrađenu od lesnih naslaga, stvorivši skoro potpuno vertikalne odseke. Visina lesnog odseka dostiže oko 15 m. Leva obala Dunava je karakteristična po deponovanju aluvijalnog materijala i čestom plavljenju terena. U koritu Dunava najveće ostrvo je Veliko Ratno ostrvo.

Maksimalni proticaj Dunava kod Beograda iznosi 14.100 m³/s za period osmatranja od 1926. do 1965. godine. U istom periodu osmatranja, njegov minimalni proticaj iznosio je 1.975 m³/s. Prosečni proticaj Dunava kod Beograda je 5.260 m³/s (Marković i dr., 1985). Hidrološki podaci osmatrani su na vodomernoj stanici "Zemun", na koti 67.87 m.

Na slici 19. prikazani su sredenji mesečni proticaji Dunava, osmatrani na stanici "Pančevo" za period 1946-1991. godina.



Slika 19. Proticaj reke Dunav osmatran na stanici Pančevo za period 1946-1991. godina (RHMZ, Beograd)

Reka Sava na istražnom terenu, protiče pravcem zapad-istok, od mesta Ušće do ulivanja u Dunav. Meandriranje Save na ovom području nije izraženo. U koritu reke Save najveće ostrvo je Ada Ciganlija.

Na režim Save najviše utiču padavine, odnosno pripada fluvio-nivalnom tipu režima. Prosečni proticaj dobijen višegodišnjim osmatranjima iznosi $1.650 \text{ m}^3/\text{s}$, za period osmatranja od 1926. do 1965. godine. Za isti period osmatranja maksimalni zabeleženi proticaji reke Save iznosili su $6.600 \text{ m}^3/\text{s}$, a minimalni oko $200 \text{ m}^3/\text{s}$ (Marković i dr., 1985). Najveći vodostaj (proticaj) reke Save je u prolećnim mesecima (april, maj) dok je najniži vodostaj u avgustu i septembru mesecu. Predhodno izneti hidrološki podaci dobijeni su sa vodomerne stanice u Beogradu koja se nalazi na koti 68.23 m.

Severni-ravničarski delovi istražnog terena

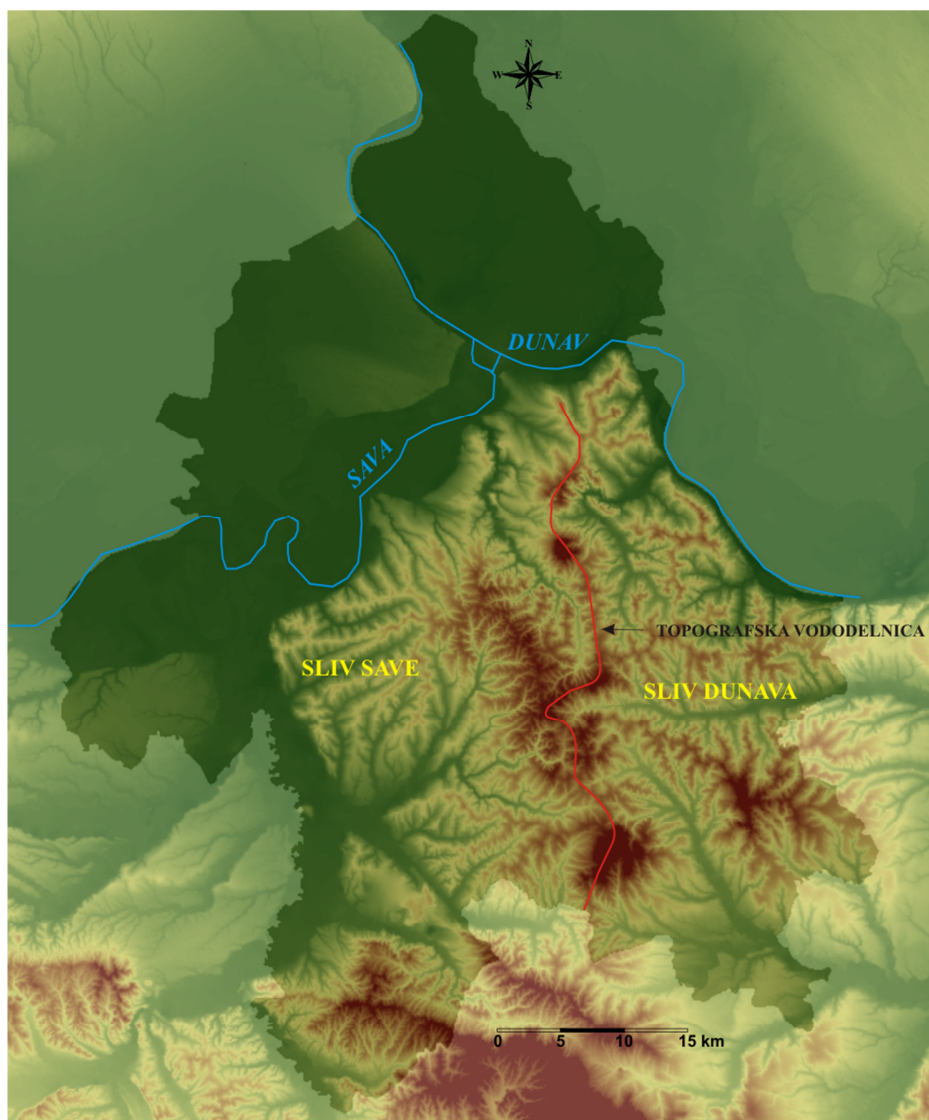
Severni, ravničarski delovi terena su delovi istražnog terena severno od Dunava i Save. Karakteristično za reke koje protiču kroz ravničarski deo terena je formiranje širokih rečnih korita. Na užoj teritoriji grada Beograda korita reka su uređena, u cilju odbrane od poplavnih talasa. Time je sprečeno izlivanje reka pri njihovim najvišim vodostajima (proleće). Između površinskih i podzemnih voda formiranih u okviru aluvijalnih sedimenata postoji direktna hidraulička veza, odnosno, nivoi podzemnih voda u aluvionu, direktno zavise od nivoa vode u reci. Ovakva intenzivna povezanost površinskog toka sa izdanskim vodama karakteristična je za priobalni tip režima.

Najveća i najznačajnija leva pritoka Dunava na teritoriji grada je reka **Tamiš**. Tok reke Tamiš predstavlja prirodnu granicu područja grada Beograda, a karakteriše se čestim meandriranjem i plavljenjem okolnog terena. Celo slivno područje Dunava na severu istražnog terena pripada Pančevačkom ritu na kome ukupna dužina meliorativnih kanala iznosi oko 1000 km. Najznačajniji kanali su: Sibnica, Mokri Sebeš, Kalovita, Jojkićev Dunavac, Vizelj, Veliki Kanal, Besni Fok i dr. Pored kanala i potoka na levoj obali Dunava tačnije na području Borče, Krnjače i Koteža nalazi se i jezero Veliko Blato na području Krnjače nekoliko ribnjaka, zatim bare (Široka bara, Reva bara) i močvare.

Leva obala Save, poput Pančevačkog rita, karakteriše se razvijenom mrežom drenažnih kanala koji služe za navodnjavanje i odvodnjavanje – kanal Petrac, Dubovski, Labudički, Surčinski, Rimski, Galovica. Ovim kanalima voda se dovodi do odbrambenog nasipa Save, gde se precrpljuje u reku.

Južni-brdoviti delovi istražnog terena

Južni, brdoviti delovi terena su tereni južno od toka Dunava i pripadaju delovima Šumadije ili prema geotektonskoj podeli, Šumadidima. Glavno razvođe predstavljaju planine Avala i Kosmaj, odnosno čitava zona "Šumadijsko-mezozojske" grede. Na slici 20 uočava se ravničarski (zapadni i severni delovi terena) deo grada Beograda i brdoviti deo terena sa dominantnim pružanjem "Šumadijske mezozojske grede", glavnog rečnog razvođa. Delovi terena istočno od mezozojske grede pripadaju slivu Dunava, a zapadno slivu Save.



Slika 20. Topografska vododelnica područja grada Beograda

Najznačajnija desna pritoka Dunava je **Zavojnička reka** sa svojim pritokama: Vrčinska reka, Karagač, Vranovac, Bubanji potok, Klisura, Bučvarski potok. Zavojnička reka drenira istočne i severo-istočne padine Avale. Severno od Zavojničke reke, brdski deo grada dreniraju Manastirska reka, Gročica, i drugi manji potoci, koji se u delu dunavskog ključa ulivaju u Dunav. Južno od Zavojničke reke desnu pritoku Dunava čini Gročanska reka, sa Begaljičkom rekam i nizom manjih potoka.

Istočne padine pomenute mezozojske grede drenira niz manjih potoka, čijim spajanjem nastaje reka **Ralja**. Dužina toka reke Ralje na istražnom području iznosi oko 30 km. Ralja se uliva u V. Moravu van granica područja grada Beograda. Niz stalnih i povremenih potoka koji dreniraju jugo-istočne padine mezozojske grede, te istočne padine Kosmaja formiraju tok reke **Veliki Lug**. Za analizirani period 1966-1988. godina srednja vrednost mesečnih proticaja za reku Veliki Lug iznosila je 417 l/s osmatrano na vodomernoj stanici "Mladenovac". U istom analiziranom periodu, minimalni srednjemesečni proticaj iznosio je 19 l/s, a maksimalni 3.383 l/s (iz Abramović, 1998). Reka Veliki Lug uliva se u V. Moravu van granica istražnog područja.

Najznačajnija desna pritoka Save na istražnom području je reka **Kolubara** sa svojim pritokama: **Peštan**, **Turija** i **Tamrava**. Desne pritoke reke Turije dreniraju zapadni obod mezozojske grede, a to su: Guberevačka reka, Stojnička reka, Dučinska reka, Seona, Beljanica, Oparna, Vrbovica. U predelu između Vranića i Mislodina svoja korita su usekle reka Marica i Jasenovački potok, takođe desne pritoke reke Turije. U južnom delu istražnog područja leve pritoke reke Peštan su Lukavica i Očag.

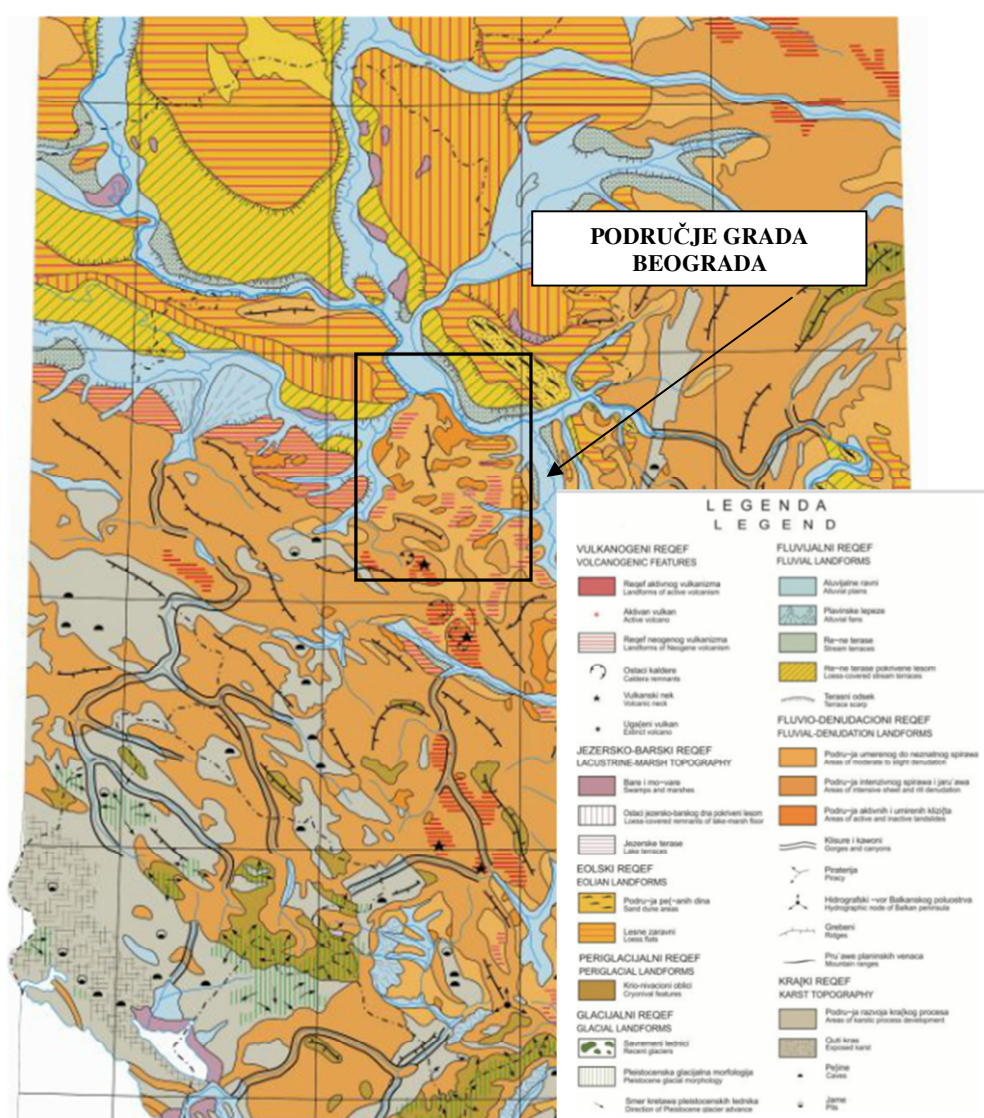
Nizvodno od ušća Kolubare, desne pritoke Save čine **Ostružnička reka** i potoci Sibovik i Pnjakovac. Značajnija pritoka Save pored Kolubare je **Topčiderska reka**, koja teče meridijanskim pravcem između Topčiderskog Brda i Banovog Brda i uliva se u Savu kod Ade Ciganlije. Topčiderska reka sa brojnim pritokama, od kojih su najznačajnije Rakovički potok, Kijevski potok, Kaljavi potok, drenira "beogradsko pobrđe". Na ovom delu terena prisutan je centrifugalan tip drenažne mreže. Njim se vode sa beogradskog pobrđa dovode do glavnih drenova od kojih je najznačajnija Topčiderska reka, koja potom vode odvodi do "regionalnih" erozionih bazisa tj. reka Save ili Dunava. U centralnim delovima gradskog jezgra, usled procesa urbanizacije veći broj potoka i reka je zacevljen i sproveden u kanalizaciju. Na slici 21 prikazana je hidrografska karta područja grada Beograda.



Slika 21. Hidrografska karta područja grada Beograda

7. GEOMORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERITORIJE GRADA BEOGRADA

U geomorfološkom pogledu istražno područje predstavljeno je ravničarskim i brdovitim delovima terena. Ravničarski delovi terena, generalno gledajući, nalaze se na severnom delu istražnog područja, a brdoviti u centralnim i južnim delovima. Granica između ovih jedinica nalazi se na zapadnoj strani i proteže se desnom dolinskom stranom reke Save do Ušća gde se nastavlja desnom obalom Dunava opasujući beogradski rt. Na slici 22. prikazana je geomorfološka karta Srbije sa okolinom.



Slika 22. Geomorfološka karta Srbije sa okolinom (geoliss.ekoplan.gov.rs)

Ravničarski delovi terena grada Beograda

Ravničarski deo obuhvata područje Novog Beograda i Zemuna severno od Save i Dunava, zatim deo terena na levoj obali Dunava, područje Pančevačkog rita. Ravničarskim delovima terena pripada i područje Makiša na desnoj obali Save.

Područje leve obale Save svojim većim delom pripada Zemunsko-bežanijskom lesnom platou. Generano, na ovom delu terena zastupljene su lesne zaravni, lesni odseci, terasni sedimenti i aluvijalne ravni. Apsolutne kote terena duž savskih obala iznose oko 75 m. Na severu i severozapadu istražnog područja nalazi se niz lesnih odseka sa kotama do 114 m. Ravničarskim delovima terena, kao što je prethodno već navedeno pripada i Pančevački Rit. Apsolutne kote ovog dela terena kreću se u intervalu od oko 69 m.n.v. do oko 76 m.n.v. Na ovom delu terena nalaze se i brojne bare i močvare čije postojanje je uslovljeno kolebanjima nivoa Dunava.

Geomorfološki procesi. Od geomorfoloških procesa najznačajniju ulogu u oblikovanju reljefa ovih delova terena svakako je imao fluvijalni proces. Pored njega svoj udeo u oblikovanju reljefa ovog područja imali su ili još uvek imaju proluvijalni i eolski proces.

- Fluvijalni proces je najznačajniji faktor u oblikovanju dašnjeg reljefa i prisutan je u dolinama reka Save i Dunava.
- Proluvijalni proces je zastupljen na strmim padinama oko Surčina i nanosi nastali pod uticajem ovog procesa su nesortirani uz izvesnu gradacionu stratifikaciju.
- Eolski oblici nekada su imali značajno prostranstvo na teritoriji grada. Pod uticajem Save i Dunava koji su vršili stalno podkopavanje i pretaloženje lesnog materijala redukovano je njihovo prostranstvo. Strmi odseci na desnoj obali Dunava su dokaz da ovi oblici zaista postoje. Les se prema svojim odlikama može tretirati kao tipična eolska tvorevina stvorena u kopnenoj fazi za vreme interglacijalne epohe.

Geomorfološki oblici. Od dominantnih geomorfoloških oblika treba istaći najuočljivije oblike i to:

- oblike fluvijalnog procesa:
 - aluvijalne ravni Save i Dunava
 - rečne terase i Ade (Veliko ratno ostrvo, Ada Ciganlija, Ada Medica)
 - rezidualni fluvijalni oblici reljefa kao što su bare i meandri
- oblike eolskog procesa:
 - lesni platoi na području Zemuna i Bežanijske Kose

Brdski delovi terena grada Beograda

Geomorfološke karakteristike delova terena južno od Save i Dunava, sagledane su na užem gradskom području (teritorija GP-a) i na širem području grada Beograda.

Uže područje grada Beograda

Na brdovitom, blago zatalasanom reljefu na kome je lociran najveći deo gradskog jezgra Beograda, kao i niz prigradskih naselja (Žarkovo, Železnik, Resnik) dominiraju uzvišenja Tašmajdan, Lekino Brdo, Banjički vis (198 mnv), Banovo Brdo (208 mnv), Miljakovac (196 mnv), Straževica (209 mnv), Petlovo brdo (205 mnv), Devojački Grob (287 mnv). Na ušću Save u Dunav nalazi se Kalemegdanski rt sa kotom od (125 mnv). Ovaj deo terena se u pogledu morfologije odlikuje širokim i plitkim dolinama i panonskim odsekom na ušću Save. Makiški odsek je pomeran ka jugu pod uticajem bočne erozije jer je izgrađen od mekih stenskih masa. Najvišu tačku na užem gradskom području predstavlja Avala (511m).

Geomorfološki procesi. Od geomorfoloških procesa značajniju ulogu u oblikovanju reljefa brdskih delova terena imali su eolski proces, karstni proces i marinski proces.

Geomorfološki oblici. Od dominantnih geomorfoloških oblika treba istaći najinteresantnije oblike i to:

- oblike karstnog procesa (tašmajdanska pećina u centru grada)
- fosilne oblike marinskog procesa (tašmajdanski klif)

Šire područje grada Beograda

Šire područje grada predstavlja zatalasano brdsko područje, ispresecano mnogobrojnim stalnim i povremenim vodotocima, na kome se ističe planina Kosmaj (626 m.n.v.). Najniže kote terena su u dolinama većih rečnih tokova i kreću se od oko 90 m.n.v. do oko 110 m.n.v, a pored Kosmaja ističu se Parcanski Vis (410 m.n.v.), Koviona (399 m.n.v), Ljuta stena (362 m.n.v), Žuto brdo (326 m.n.v) itd.

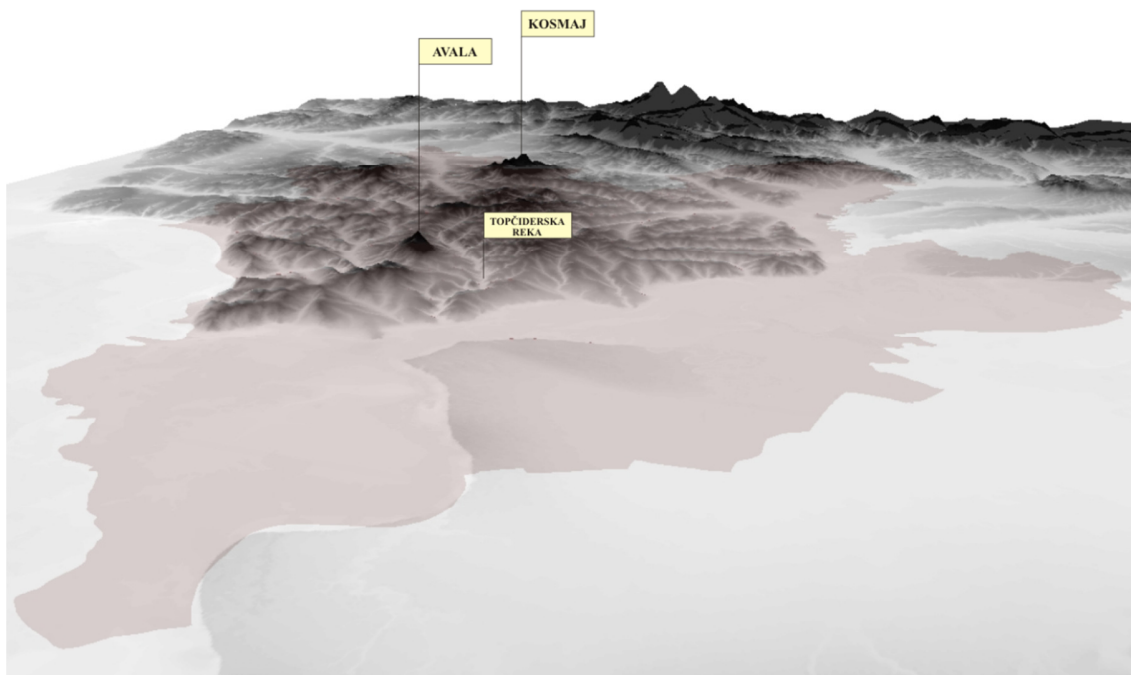
Geomorfološki procesi. Na zapadnoj strani "Šumadijske mezozojske grede" izraženi su karstni proces, fluvijalni proces i proces jaružanja.

Geomorfološki oblici. Od dominantnih geomorfoloških oblika treba istaći najinteresantnije oblike i to:

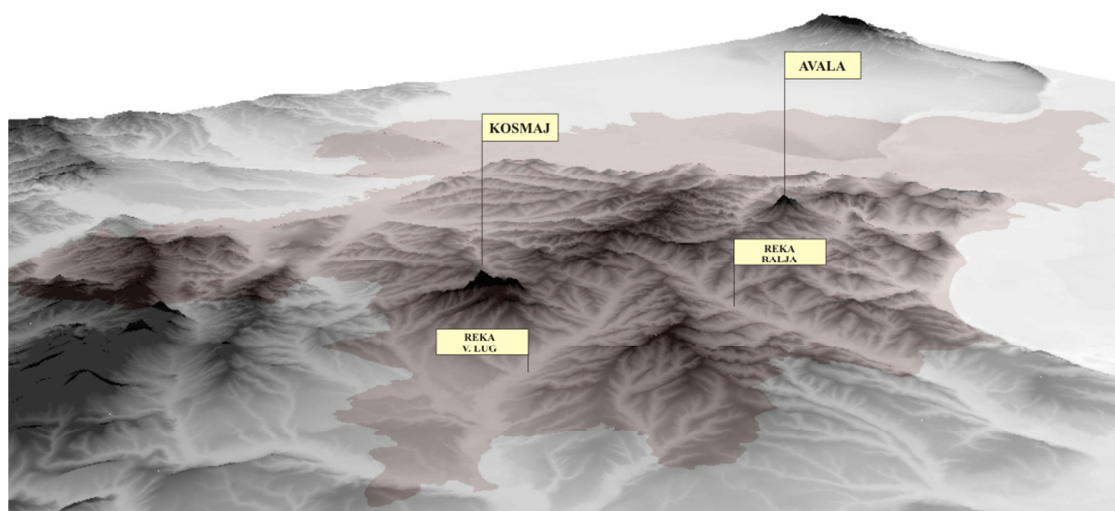
- oblike karstnog procesa:
 - tereni pod vrtačama (Ravni Gaj u Barajevu, delovi terena u Sremčici, Žarkovu)
 - pećine (Slatinski točak, Veliki Jazovik u Lisoviću)

Od geomorfoloških oblika na području grada neophodno je spomenuti i klizišta, koja nastaju usled koluvijalnih procesa. Primer nestabilnog tla je na potezu od Ušća do Obrenovca, zatim Ritopek, Begaljičko brdo...

Na slikama 23 i 24 prikazan je trodimenzionalni model terena.



Slika 23. Trodimenzionali prikaz područja grada Beograda–pogled sa severo-zapada



Slika 24. Trodimenzionali prikaz područja grada Beograda–pogled sa jugo-istoka

III. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERITORIJE GRADA BEOGRADA

8. DETALJNA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA TERITORIJE GRADA BEOGRADA

8.1. ANALIZA POSTOJEĆIH ISTRAŽIVAČKIH KONCEPCIJA

Teritoriju grada Beograda, krećući se od severa ka jugu, odlikuje raznovrsnost u pogledu starosti stenskih masa, litostratigrafske građe i međusobnih odnosa kartiranih jedinica. Na istražnom terenu, površine od oko 3.500 km², najmlađi sedimenti su holocenske starosti, dok su najstarije otkrivene stene stvarane u eri paleozoika.

Geodinamički pokreti usmeravali su tok evolucije geološke građe, stvarajući uslove za taloženje sedimenata, te za formiranje magmatskih stena i njihovih ekvivalenata. U cilju definisanja geološke građe istražnog terena sagledan je širi prostor kome pripadaju “različite geološke jedinice koje su složene građe i komplikovanih međusobnih odnosa...između ostalog to je razlog za nepostojanje jedinstvene tektonske rejonizacije ovih prostora” (Marović, 2001). U daljem tekstu prikazana su različita tumačenja tektonske građe istražnog terena sa širom okolinom (prostori bivše Jugoslavije), počevši od druge polovine prošlog veka do danas.

Prema Petkoviću (1960, iz Dimitrijević, 1995) teritoriju bivše Jugoslavije čini pet geotektonskih jedinica: Rodopska masa, Panonska masa, Alpidi, Dinaridi i Karpato-balkanidi. Geotektonsku podelu ondašnje Jugoslavije (Srbija i Crna Gora), prema Dimitrijeviću (1995) činili su: Periadrijatički obod, Dinaridi, Ofiolitski pojas, Vardarska zona, Srpsko-makedonska masa i Karpato-balkanidi. U sintetizovanom obliku Marović (2001) prikazuje geotektonsku podelu tektonskih jedinica I reda teritorije, koja se generalno nalazi u oblasti jugoistočnih Alpida: Srpsko-makedonska masa, Karpato-balkanidi, Dinaridi, Helenidi, Panonski basen, Vlaško-pontski basen i Jadranski basen.

Na slici 25 prikazane su glavne navedene geotektonske jedinice Jugoslavije prema Maroviću (2001).



Slika 25. Modifikovana karta glavnih tektonskih jedinica Jugoslavije sa ucrtanim istražnim terenom (Marović, 2001)

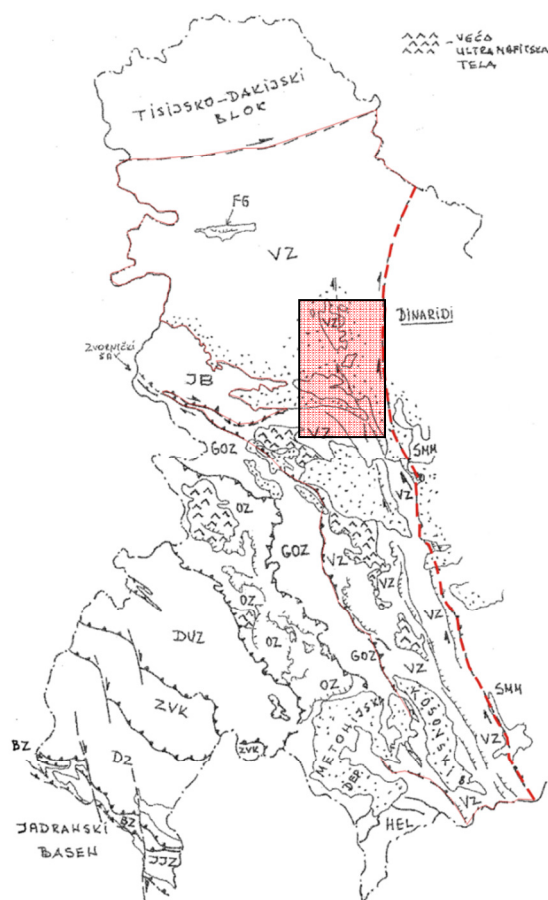
Sa slike 25 uočava se da istražni teren zahvata prostor Panonskog basena, Srpsko-makedonske mase i Dinarida, čije rasprostranjenje razmatra više autora. Prisutna su tri stanovišta u pogledu prostiranja granica Dinarida*.

- Prema prvom stanovištu, Dinaridi su geotektonska jedinica I reda i na istoku se sučeljavaju sa Srpsko-makedonskom masom. Unutar ove geotektonske jedinice izdvojene su sledeće zone: a) južno-jadranska zona, b) Budva zona, c) dalmatinska zona, d) zona Visokog Krša, e) bosanska i tolminska zona, f) durmitorska zona, g) ofiolitska zona, h) golijaska zona, i) vardarska zona. “Hibridnu šemu tektonike Dinarida” zasnovanu najviše na radovima Grubića i M. Dimitrijevića prikazuje Marović u "Geologiji Jugoslavije" (slika 26).
- U svojim radovima Anđelković (1960, 1989) odbacuje prethodno tumačenje rasprostranjenja Dinarida, i na prostorima istražnog terena izdvaja zasebnu tektonsku jedinicu I reda–Šumadide, koji “po svom paleogeografskom razvoju,

* Tumačenje tektonike Dinarida obrađivali su mnogi autori počevši od L. Kobera (1914), F. Kosmata (1924), J. Cvijića (1905, 1914), F. Nopča, Pilgera, V. Petkovića (1930), preko K. Petkovića (1957), B. Sikošeka i W. Medveniça (1965), Ž. Obuena (1974), M. Anđelkovića (1980), A. Grubića (1980), M. Dimitrijevića (1974, 1995)

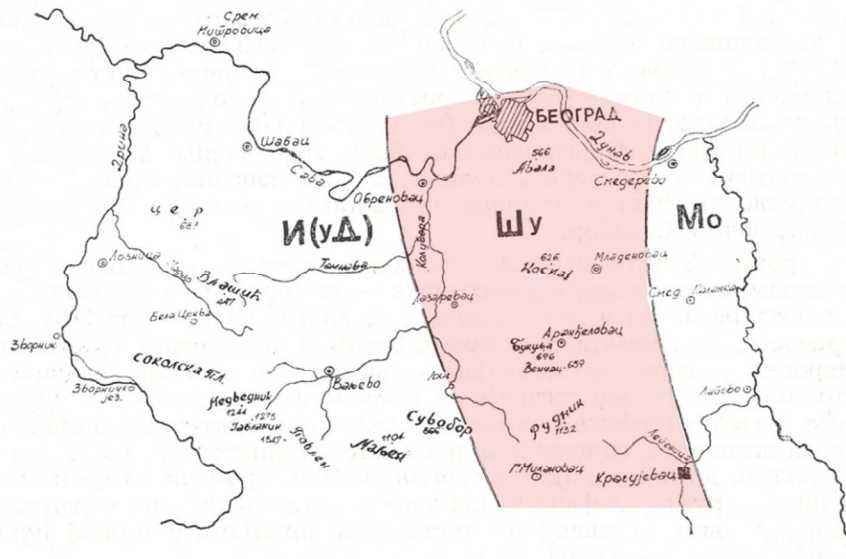
tektonskim manifestacijama, magmatizmu i dr. u osnovi razlikuju od Moravida (Srpsko-kristalasto jezgro) na istoku i Interdinarikuma na zapadu”. (Anđelković, 1987), slika 27.

- U okviru trećeg stanovišta izdvojena je “Vardarska zona” iz Dinarida kao posebna paleogeotektonska jedinica, u koju su svrstani i Šumadidi. Prilikom izrade Osnovne geološke karte (list Beograd) Marković i dr. (1985) svrstavaju istražni teren u obodni pojas unutrašnjih Dinarida, dok autori lista Pančevo, Ivković i dr. (1975) istražni teren svrstavaju u Vardarsku zonu.



Legenda: JJZ-južno jadranska zona, BZ-Budva zona, DZ-dalmatinska zona, ZVK-zona visokog krša, DVZ-durmitorska zona, OZ-ofiolitska zona, GOZ-golijska zona, VZ-varcarska zona, JB-jadarski blok, FG-Fruška Gora, HEL-Helenidi, SMM-Srpsko-makedonska masa

Slika 26. Modifikovana tektonska skica Dinarida Jugoslavije sa ucrtanim istražnim terenom (Marović, 2001)



I(UD)-Unutrašnji Dinaridi; Šu-Šumadidi; Mo-Moravidi (Srpsko kristalasto jezgro)

Slika 27. Skica krupnih tektonskih jedinica u široj okolini Beograda (Anđelković, 1987)

Razmatrajući različita tumačenja tektonske građe istražnog terena i šire okoline, a imajući u vidu i hidrogeološku rejonizaciju Srbije koja je izvršena na osnovu strukturno-geoloških uslova, litofacijalnih karakteristika, geomorfoloških, fizičko-geografskih i hidrografske-hidroloških karakteristika, prihvaćeno je tumačenje Anđelkovića, po kome najveći deo istražnog terena pripada zasebnoj geotektonskoj jedinici-Šumadidima.

Granice strukturne jedinice Šumadida poklapaju se sa granicama hidrogeološkog rejona Šumadijsko-kopaoničkog rejona. Prema Anđelkoviću Šumadidi se na severu “preko potonulog dela u južnom Banatu vezuju za murešku zonu u Rumuniji. Na jugu šumadijska zona se pruža preko Šumadije, istočnog Kopaonika, istočno od Prištine, Kumanova i Demir Kapije, sve do Grčke”. Granice Šumadijsko-kopaoničkog rejona se prostiru “počev od Save i Dunava na severu, do granice sa Makedonijom, na Jugu. Na istoku se graniči sa rejonom Srpskog-kristalastog jezgra, a na zapadu sa rejonom Unutrašnjih Dinarida (Filipović B., i dr., 2005).

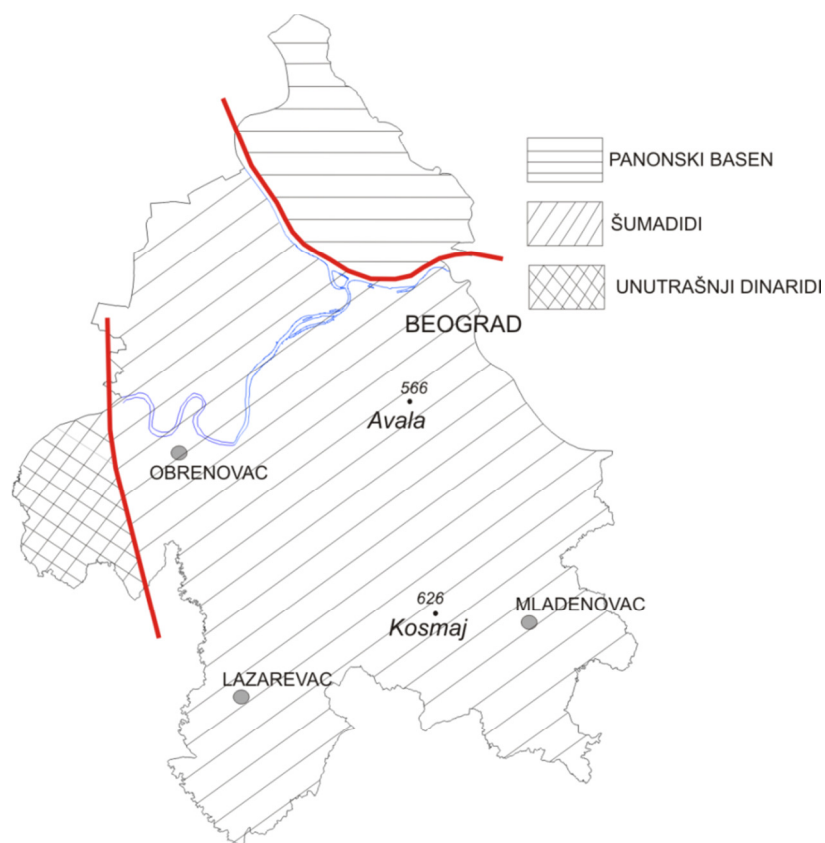
Na slici 28. prikazane su granice Šumadijsko-kopaoničkog rejonu u okviru istražnog terena.



Slika 28. Šematizovani Šumadijsko-kopaonički rejon u granicama istražnog terena

Sa slika 27 i 28, uočava se da najveći deo pripada Šumadidima, dok severni delovi istražnog terena pripadaju Panonskom basenu. Prema današnjim shvatanjima geotektonskih granica, južnu granicu Panonskog basena u Srbiji čine reke Sava i Dunav (Marović, 2001).

Uzimajući u obzir napred navedena razmatranja geotektonske građe istražnog terena i šire okoline, na slici 29 prikazane su granice istražnog terena u okviru rasprostranjenja geotektonskih jedinica prvog reda. Teritorija grada Beograda najvećim delom pripada Šumadidima, severno od Save i Dunava teren pripada Panonskom basenu, dok zapadno od reke Kolubare teren pripada Unutrašnjim Dinaridima.



Slika 29. Rasprostranjenje istražnog terena u okviru geotektonskih jedinica I reda

Najstarije stene na istražnom terenu pripadaju paleozoiku, konstatovane su na krajnjem jugozapadu terena i genetski pripadaju brajkovačkom granitoidu (Filipović I., i dr., 1978). Počevši od paleozoika, na terenu se smenjuju stene mezozojske i kenozojske starosti, gde se uočavaju hijatusi u sedimentaciji. Najstariji član mezozojske ere su stene jurske starosti, jer za vreme trijasa delovi terena koji pripadaju istražnom prostoru su predstavljali kopno. Za vreme gornje jure izvršena je diferencijacija morskog dna i obrazovane su duboke depresije, što je uslovalo stvaranje ofiolita, dijabaz-rožne formacije, fliša, sprudnih krečnjaka.

Kompletno razviće kredne periode može se pratiti na istražnom terenu, predstavljeno, uglavnom flišnim sedimentima. Prelaskom u kenozoik, koji vremenski odgovara mezoalpskom tektonskom ciklusu i to laramijskoj fazi, čiji pokreti usloveli su ponovni nastanak kopna koje je zahvatalo i granice istražnog terena (od kraja krede do početka oligocena, teritorija Beograda predstavlja kopno).

Sa hidrogeološkog aspekta najznačajniji period u toku trajanja tercijara je stariji srednji miocen–torton i sarmat. U litostratigrafskom prikazu dat detaljan opis pomenutih katova. Pored krečnjačkih sedimenata tortona i sarmata, važnu ulogu u pogledu formiranja podzemnih vodnih resursa imaju peskovito-šljunkoviti sedimenti kvartara.

Geološka građa Beograda i šire okoline, počevši od prve polovine prošlog veka, prikazana je u razmeri 1: 25 000 (Laskarev i dr., 1931), zatim u razmeri 1 : 200 000 na Preglednoj geološkoj karti SR Srbije (Milovanović B., Čirić, 1968), u razmeri 1 :500 000 na Geološkoj karti SFRJ Jugoslavije (Savezni geološki zavod Beograda, 1970).

Istražni teren na Osnovnoj geološkoj karti razmere 1: 100 000 obuhvataju listovi Beograd (Marković i dr. 1985), list Pančevo (Ivković i dr., 1975), list Indija, list Obernovac (Filipović I., i dr., 1976), list Smederevo (Pavlović i dr., 1980), list Kragujevac (Brković i dr., 1980), list Gornji Milanovac (Filipović I., i dr.,1978).

Na Osnovnoj geološkoj karti razmere 1: 100 000 uočavaju se izvesna neslaganja između listova (list Beograd i list Pančevo), što je posledica nesinhronizovanog rada i različitih tumačenja geoloških prilika terena tokom izrade geološke karte. Takođe, važno je napomenuti da su karte urađene prema "staroj" nomenklaturi koja je korišćena i tokom izrade ovog doktorata. U tekstu prikazana je uporedna tabela oznaka stratigrafskih jedinica na istražnom terenu po "staroj" i "novoj" podeli, odnosno njihova korelacija. Zbog mogućih zabuna oko starosti kartiranih jedinica usvojena je "stara" nomenklatura.

8.2. PRIKAZ DOSADAŠNJIH GEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA

Istraživačka istorija geologije teritorije grada Beograda i njegove okoline datira još sa početka XIX veka. Putujući zemljama Balkanskog poluostrva (teritorija tadašnje evropske Turske), dva francuska geologa, A. Bue i A. Vikenel izlažu zapažanja o geološkom sastavu terena u svom radu "Geološka skica evropske Turske (rad je objavljen 1840., a na srpski jezik je preveden 1891. godine).

Pomenuti rad predstavljao je osnovu za dalja istraživanja geologije ovih prostora. Prvi pisani podaci potiču od velikana srpske geološke škole, J. Žujovića i njegovih učenika S. Radovanovića i V. Petkovića.

Danas, posle nešto više od jednog veka izučavanja geologije ovih prostora značajan doprinos svojim radom su ostavili P. Pavlović, V. Laskarev, J. Cvijić, D. Antula, B. Dimitrijević, M. Gočanin, P. Stevanović, M. Ilić, S. Karamata, M. Anđelković, M. Eremija, M. Marović, M. Sudar i mnogi drugi.

J. Žujović u svom delu *Geologija Srbije I i II (1893-1900)* "postavlja osnove za regionalnu geologiju Srbije", prvi je izvršio stratigrafsko rasčlanjavanje sedimentnih i metamornih stena, izdvojio je kristalaste škriljce karbonske i permske starosti u zapadnoj Srbiji, gde konstatuje stene jurske starosti, a opisuje i rasprostranjenje trijaskih sedimenata. U svojim radovima tretira problematiku geološke građe okoline Ostružnice, Železnika i Sremčice, gde uočava flišne naslage duž Železničke reke preko kojih transregresivno leže tercijarni sedimenti. J. Žujović je i autor prve pregledne geološke karte Srbije.

P. Pavlović (1890, 1893, 1898a, 1900, 1903, 1910, 1922, 1923, 1927, 1932) svojim naučnim radom najviše doprinosi poznavanju neogenih sedimenata i njegove faune u okolini Beograda.

V. Laskarev (1899, 1922, 1926, 1931, 1932, 1936, 1938, 1950) razmatra tektonsku građu Bukulje i Venčaca, a veliki rad je posvetio u razmatranju geologije šire okoline Beograda tokom neogena i kvartara (posebno lesnih naslaga), pri čemu je dao značajne priloge za stratigrafiju neogenih sedimenata. Zajedno sa V. Petkovićem i M. Lukovićem 1931. godine objavljuje geološku kartu okoline Beograda, u razmeri 1:25 000.

J. Cvijić (1909, 1924) izučava terene u okolini Beograda sa aspekta geološko-istorijskog razvoja terena, ukazivajući na genetske razlike terena Šumadije i terena zapadne Srbije. U delu terena Šumadije proučava jezerske sedimente, izdvaja jezerske terase i karst okoline Beograda ("merokarst").

S. Radovanović (1902) daje svoja zapažanja o pojavama eruptivnih stena u Ripnju i utvrđuje starost sedimenata u dolini Topčidarske reke.

V. Petković (1910, 1912, 1913, 1925) u svojim radovima iznosi detaljne podatke o albskim sedimentima u okolini Beograda, kao i stratigrafski prikaz donje krede sa prikazom lokalnih profila.

V. Petković pominje fonolite u okolini Banjice, a bavi se i razmatranjem tektonskog sklopa terena okoline Beograda, pri čemu definiše rasede, antiklinale i sinklinale (“Tektonska skica beogradske okoline”).

D. Antula (1910) prikazuje detaljnu geološku kartu okoline Beograda na kojoj su prikazani neokomski sedimenti (okolina Avale), izdvojen je urgon i alb, konstatovane su eruptivne stene (serpentiniti, lamprofirske i riolitske žice).

M. Luković (1922, 1931) bavi se paleostratigrafskim odnosima u okolini Beograda, pri čemu izdvaja nekoliko facija (višnjičke gline, rakovičke peskove i krečnjake). Pored V. Laskareva i V. Petkovića, M. Luković je učestvovao u izradi geološke karte okoline Beograda, razmere 1: 25 000 na kojoj je izvršeno stratigrafsko rasčlanjavanje krede, tercijara i kvartara.

B. Dimitrijević (1931, 1938, 1952) proučava petrografske-mineraloški sastav stena na Avali sa akcentom na magmatske stene i njihov odnos prema serpentinitima. U poslednjim radovima predmet izučavanja su bili jezerski sedimenti Šumadije sa rasprostranjenjem crvenih serija.

M. Gočanin (1935, 1937, 1938, 1939, 1940, 1941) u okolini Beograda izdvaja dijabaz-rožnačku formaciju, zatim kimeridž, titon, valendin i otriv, kao i fliš gornje krede. Na osnovu svojih istraživanja zaključio je prisustvo jurskih sedimenata na obodu Makiša, u okolini Ripnja i Resnika.

K. Petković (1937, 1939, 1949, 1954) objavljuje podatke o mezozojskim sedimentima. Utvrđuje otrivski i baremski kat na Straževici, berijas, velandin i otriv na obodu Makiša, barem na Košutnjaku.

B. Stepanović (1938) zapaža i dokumentuje gornji miocen u Kameničkom potoku u okolini Beograda.

M. Pavlović i M. Milić (1937) istražuju monconit-granit na Kosmaju.

P. Stevanović (1939, 1941, 1949, 1951, 1953, 1955, 1957, 1958, 1959, 1967, 1970, 1971-1975, 1977) istraživanjima u široj okolini Beograda dolazi do značajnih podataka o stratigrafiji neogena i kvartara.

U svojim radovima iznosi podatke o neogenoj fauni, položaju vulkanskih stena, te razmatra lesne naslage. Kroz doktorsku disertaciju "Donji pliocen Srbije i susednih oblasti" prikazani su podaci o razviću ponta i stratigrafskim prilikama okoline Beograda. Prikaz miocena i pliocena daje u "Geologiji Srbije"-II Kenozoik. Zajedno sa Stangačilovićem izdvaja "slanačku seriju" u miocenu Dunavskog ključa, određujući burdigal-helvetsku starost.

M. Ilić (1940, 1966, 1981, 1987) proučava karakteristike tercijarnog magmatizma i određuje starost plutonskih stena. Detaljan prikaz vulkanskih stena u okolini Beograda daje u "Geologiji Srbije" III-2 Magmatizam.

B. Milovanović (1941, 1951, 1962) istražuje senonske sedimente, naročito u okolini Topčidera, a zajedno sa B. Ćiričićem objavljuje "Preglednu geološku kartu SR Srbije" razmere 1:200 000.

O. Spajić (1949, 1960, 1961, 1969) doprinosi poznavanju srednjomiocenske faune na području Sopota, zatim panonskih sedimenata uže okoline Beograda.

O. Marković (1950, 1950, 1957) prikazuje gornjokredne sedimente u okolini Beograda, a bavi se proučavanjem i alb-cenomanskih sedimenata kod Žarkova. U svojim radovima obrađuje i krednu stratigrafiju terena između Kneževca i Kijeva.

S. Karamata (1953, 1955, 1962) prikazuje šire terene istražnog prostora sa aspekta tercijarnog magmatizma Dinarida.

S. Luković (1953,1958) prikazuje tektonsku građu Straževice i piše o geološko-petrološkim prilikama Kosmaja sa akcentom na eruptivne stene.

M. Andelković (1952-1956, 1958-1961, 1965, 1967, 1971-1973, 1975, 1977, 1978, 1980, 1982, 1984-1987) u svojim istraživanjima bavi se tektonikom i stratigrafijom uže i šire okoline Beograda, zatim obrađuje jurske i kredne sedimente vršeci biostratigrafska rasčlanjavanja, sagledava paleogeografske ulove terena i geodinamičke procese koji su doveli do izdvajanja krupnih geotektonskih jedinica I reda.

Svoja razmatranja o geotektonskim prilikama, pre svega Unutrašnjih Dinarida iznosi u monografijama “Šumadidi, stratiografija, tektonika, magmatizam, paleogeografija”, “Geologija mezozoika okoline Beograda”...

N. Milojević (1958, 1964) istražuje okolinu Beograda sa aspekta stratigrafije i tektonike mezozoika i kenozoika. Sa M. Anđelkovićem razmatra vulkano-sedimentnu seriju i faze vulkanizma u okolini Beograda i Šumadije.

R. Džodžo-Tomić (1958, 1973) u svom radu “Mikrofaunistička proučavanja II mediteranskih i sarmatskih slojeva iz okoline Beograda” doprinosi poznavanju mikrofaune tortona i sarmata,

J. Anđelković (1964, 1966, 1970, 1980, 1987) proučava tercijarnu faunu, a od posebnog je značaja monografija “ Tercijarne ribe Jugoslavije–stratigrafsko-paleontološka analiza”.

M. Petrović (1966, 1967, 1970, 1986) u bližoj i široj okolini Beograda razmatra krednu i tercijarnu mikrofaunu, na osnovu čega je izvršio detaljna biostratigrafska rasčlanjavanja.

M. Pavlović (1966, 1970, 1976, 1981) prikazuje vulkansku hronologiju stvaranja stena u okolini Beograda i karakteristike plutonita i njihov odnos prema vulkanitima.

N. Gagić (1966-1968, 1974) tokom svojih istraživanja tercijarne i kvartarne faune vrši stratigrafska rasčlanjavanja sedimenata u široj okolini Beograda.

P. Pavlović (1979, 1980) opisuje miocense sedimente u dolini Bele reke i prikazuje razvoj mezozoika na profilu Topčidarske reke.

M. Marović (1985, 2001, 2002, 2007) i S. Knežević prikazuju neotektonsku građu terena u široj okolini Beograda. U “Geologiji Jugoslavije” (2001) obrađuje generalni geološki sklop šire okoline Beograda.

D. Rabrenović (1984, 1985, 1992) proučava urgonske i albske sedimente Šumadije, a poseban doprinos daje u proučavanju stratigrafskog položaja aptihusa u okolini Beograda.

S. Knežević (1993, 1994, 2008, 2011) daje prilog poznavanju miocenskih sedimenta u širem gradskom jezgru. Prikupljene podatke prilikom izrade istražnih bušotina za potrebe Detaljnog urbanističkog plana, zajedno sa M. Šumar objavljuje u radu “Prilog poznavanju miocena grada Beograda na osnovu proučavanja istražnih bušotina”. Isti autori u radu “ Prilog poznavanju geologije grada Beograda” prikazuju karakteristike neogenih i kvartarnih sedimenata u užem centru grada Beograda na osnovu podataka prikupljenih tokom pripreme i izgradnje nekih građevinskih objekata.

Lj. Rundić (2009, 2011) tokom 2009. godine rukovodi projektom „Geološki objekti i prirodni fenomeni kao integralni elementi geodiverziteta i životne sredine–analiza stanja i održivo korišćenje na prostoru grada Beograda“. U radu sa M. Ganić, S. Kneževićem i A. Soliman, Lj. Rundić razmatra strukturno-stratigrafske odnose starijih krednih tvorevina i mlađih miocenskih sedimenata u savskom priobalju.

Panonski basen izučavan je od strane većeg broja geologa sa aspekta građe, paleogeografskih karakteristika i neotektonskih prilika. Novije rezultate istraživanja publikovali su A. Kostić, M. Ercegovac, (2002), zatim M. Rakić i dr., (2002), Karamata S i dr., (2003).

8.3. PRIKAZ LITOSTRATIGRAFSKIH JEDINICA

Opis litostratigrafskih jedinica na istražnom terenu prikazan je po hronološkom stvaranju istih, bez obzira kojoj geotektonskoj jedinici pripadaju, premda se najveći deo terena nalazi u granicama Šumadida. U zavisnosti od uslova sedimentacije (dubokovodna, plitkovodna, morska, jezerska) i karakteristika paleoreljefa sedimentacionog basena stvarane su različite facije stena iste starosti. U geološkoj istoriji istražnog terena zabeležene su intenzivne magmatske aktivnosti, te se na terenu izdvajaju vulkanogeno-sedimentne serije, magmatski proboji i izdanci magmatita.

Kao što je napomenuto u uvodnom delu poglavlja o geološkoj građi, najstarije stene na istražnom terenu pripadaju paleozoiku, a najmlađe stene su kvartarne starosti.

Stene prekambrijumske starosti na prostoru Šumadida nisu registrovane, dok postoje indicije za njihovo postojanje u Panonskom basenu, odnosno u paleoreljefu severnih delova istražnog terena.

Za vreme trajanja proterozoika pretpostavlja se da su delovi terena Panonskog basena i Srpske kristalaste mase predstavljali jedinstveni prostor, sa istim uslovima sedimentacije. Procenjuje se da je u morskom basenu Srpsko-kristalaste mase nastao kompleks prekambrijumskih tvorevina debeo više hiljada metara (Anđelković, 1987).

Prikaz litostratigrafskih jedinica započinje stenama devonske starosti. Predpostavlja se da su tereni Šumadida za vreme starijeg paleozoika bili kopno, a da se pod uticajem variscijske orogeneze tokom devona i karbona stvaraju morski baseni u kome su istaloženi terigeni sedimenti (Anđelković, 1987). Na slici 30 dat je korelativan prikaz kartiranih jedinica "stare" i "nove" nomenklature.

| STARA NOMENKLATURA | | | | NOVA NOMENKLATURA | | |
|----------------------|-----------------|---|--|-------------------|----------------------|------------------------------------|
| ERA | PERIODA | EPOHA | KAT | | | |
| KENOZOIK | KVARTAR | Q₂ | Q ₂ ¹ HOLOCEN | | | |
| | | Q₁ | Q ₁ ³ GORNJI PLEISTOCEN | | | |
| | | | Q ₁ ² SREDNJI PLEISTOCEN | | | |
| | | | Q ₁ ¹ DONJI PLEISTOCEN | | | |
| | NEOGEN | PI₁ | PI ₁ ² PORTAFERSKI | | PI | PALUDINSKI SLOJEVI |
| | | | PI ₁ ¹ NOVOROSIJSKI | | | |
| | | M₃ | M ₃ ² PANON | | M₃ | M ₃ ³ PONT |
| | | | M ₃ ¹ SARMAT | | | M ₃ ¹ PANON |
| | | | M ₂ ² TORTON | | | M ₂ ² SARMAT |
| | | M₁ | M₁ | | M₂ | M ₂ ¹ TORTON |
| | MEZOZOIK | K₂ | K ₂ ² SENON | | | |
| | | | K ₂ ² TURON | | | |
| | | | K ₂ ¹ CEBOMAN | | | |
| K₁ | | K ₁ ⁶ ALB | | | | |
| | | K ₁ ⁵ APT | | | | |
| | | K ₁ ⁴⁻⁵ BAREM-APT | | | | |
| | | K ₁ ⁴ BAREM | | | | |
| | | K ₁ ³ OTRIV | | | | |
| | | K ₁ ² VALENDIN | | | | |
| | | K ₁ ¹ BERIJAS | | | | |
| | | JURA | J₃ | | | |
| J₂ | | | | | | |
| PALEOZOIK | KARBON | | | | | |
| | DEVON | | | | | |

Slika 30. Kartirane jedinice na istražnom terenu sa prikazom korelacije između stare i nove nomenklature

8.3.1. Paleozoik

Tvorevine mlađeg paleozoika stvarane su vremenskom razdoblju koje pripada devonsko-karbonskoj periodi. Na istražnom terenu stene paleozojske starosti zauzimaju krajnje jugozapadne delove terena između reka Ljig, Kolubare i Peštan, a predstavljene su metamorfnim kompleksom Brajkovačkog masiva. Među metamorfnim stenama javljaju se sericitski škriljci, sericit-hloritski škriljci, filiti, korniti, grauvake, gnajsevi. Pod uticajem granitoida na terenu se zapaža postepen prelaz stena iz višeg reda metamorfizma (gnajsevi, mikašisti) u stene nižeg reda metamorfizma (filiti). Starost ovih stena je devon-karbonska. Prema stepenu metamorfizma izdvajaju se sledeće stene (Filipović I., i dr., 1976):

Korniti, liskunski škriljci i gnajsevi (Smb). Najintezivnije metamorfisane paleozojske tvorevine javljaju se uglavnom u neposrednom kontaktu sa intruzivom. Izuzetak predstavlja oblast Baroševca, Zeoka i Bistrice (dolina reke Peštan), gde pluton nije otkriven na površini. Biotitsko-muskovitski škriljci i sericitski kvarciti izgrađeni su od sitnozrnih granoblastičnih agregata kvarca, zatim biotita, muskovita, a korniti od sitnozrnih granoblastičnih agregata kvarca.

Sericitsko-hloritski škriljci i metapeščari (Sse). U slabije metamorfisane paleozojske tvorevine spadaju sericitski, sericitsko-hloritski, albit-hloritski škriljci i intenzivno metamorfisani peščari i kvarciti. Škriljci su izgrađeni uglavnom od vrlo sitnozrnog kvarca, sericita, hlorita. Intenzivno metamorfisani peščari čine prelaz u sericit-biotitske škriljce i mikroskopski se na terenu ne mogu odvojiti od sericitskih škriljaca.

Filiti, metamorfisani alevroliti i metamorfisani peščari (F). Zauzimaju najveće prostranstvo južno od Lazarevca, a idući u pravcu zapada postepeno prelaze u nemetamorfisane sedimente devon-karbona. Filiti i metamorfisani alevroliti su izgrađeni od kvarca, sericitskih traka, hlorita i nešto biotita, lepidoblastične strukture.

Škriljavi konglomerati i kvarcni peščari (C₁). Izgrađeni su pretežno od konglomerata i mikrokonglomerata, koji se u vertikalnom smislu smenjuju sa grubozrnim arenitima, retko alevrolitima.

Grauvake, alevrollti, ređe konglomerati (D,C). Donji deo klastičnog kompleksa izgrađen je od debele serije arenita tipa grauvaka, alevrolita i ređe konglomerata i mikrokonglomerata.

8.3.2. Mezozoik

Mezozojske tvorevine stvarane su u različitim paleogeografskim sredinama i vezuju se za pokrete alpskog orogenog ciklusa, a predstavljene su sedimentnim, magmatskim, vulkano-sedimentnim i delom metamorfnim stenama jurske i kredne periode. Tvorevine trijaske starosti nisu konstatovane na istražnom terenu, smatra se da je u doba trijaske periode na prostoru Šumadida egzistovalo kopno koje je odvajalo Unutrašnje Dinaride i Moravide (Anđelković, 1987).

U jurskoj periodi stvara se ofiolitsko-radiolarijski kompleks (donja jura), podina na kojoj se talože facije pelaških, plitkovodnih i sprudnih tvorevina (gornja jura). Za mlađe odeljke donje krede karakteristično je stvaranje karbonatnih i laporovito-krečnjačkih plitkovodnih tvorevina, a za gornje katove karakteristične su flišne i laporovito-krečnjačke tvorevine. Krajem gornje krede dolazi do geotektonskih pokreta koji uslovljavaju povlačenje mora i nastanak kopnenih površina u okolini Beograda.

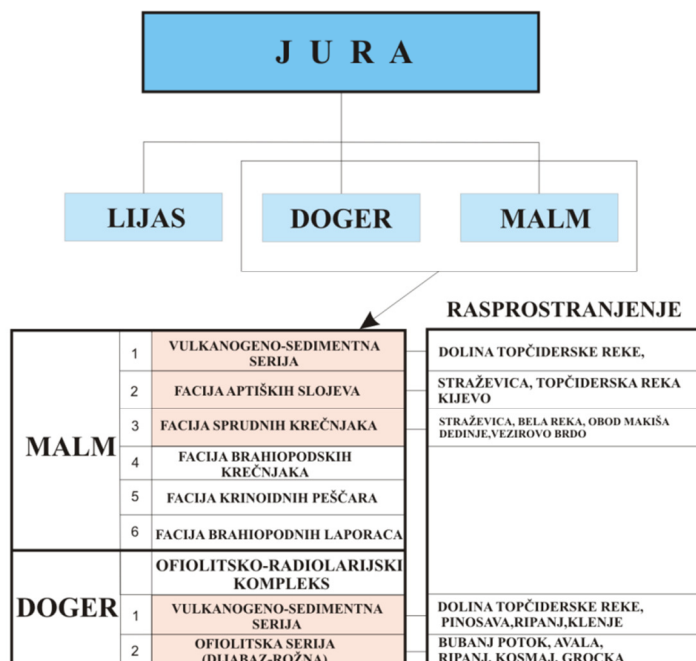
Stene mezozojske starosti zauzimaju veliko prostranstvo u okviru "šumadijske grede". Na severu se završavaju na beogradskom rtu gde čine podlogu tercijskim tvorevinama. Krajnji izdanci na površini terena se nalaze kod Mostara, u krugu Univerzitetskih klinika, a zatim idući prema jugu u dolini Topčiderske reke, na obodu Makiša i od Ostružnice u vidu širokog pojasa šire se na jug prema Babama, Sopotu i Kosmaju. Često su dobro otkrivene u dolinama reka, a mestimično na razvodima i u međurečnim zonama su pokrivene tercijskim i deluvijalnim tvorevinama (Anđelković, 1987).

8.3.2.1. Jura

Tokom jure dolazi do "istezanja" kopna koje je egzistovalo tokom trijasa usled pomeranja Afričke i Evroazijske ploče i odvija se intenzivna vulkanska aktivnost podmorskog karaktera. Formira se ofiolitska (peridotiti, duniti) i vulkanogeno-sedimentna serija (spiliti, dijabazi, melafiri, tufovi).

U juri istovremeno postoje dubokovodne i plitkovodne oblasti. Na teritoriji istražnog terena konstatovane su stenske mase srednje jure (J_2) i gornje jure (J_3) u centralnim delovima. U severnim delovima istražnog terena koji pripadaju Panonskom basenu, a predstavljaju produžetak šumadijske zone ka severu, u podini terciiranog prekrivača mogu se očekivati jurski sedimenti. Razviće jurskih tvorevina u severnom delu istražnog terena nije dokazano, obzirom da je najdublja bušotina (Ovča, 454m) završena u miocenskim sedimentima, mada su konstatovane serpentinitiske breče na dubinama od 332m do 454m (Milojević i dr. 1975).

Na algoritmu (slika 31) prikazano je razviće serija, odnosno facija u okviru jurskih tvorevina na teritoriji grada Beograda.



Slika 31. Raspostranjenje jurskih stena i njihovih facija na teritoriji grada Beograda

8.3.2.1.1. Srednja Jura (J_2)

U Dogeru se formira ofiolitsko-radiolarijski kompleks u vidu dve serije:

- a) Vulkanogeno-sedimentna serija koja je predstavljena peščarima, glincima, škriljcima, rožnacima, laporcima, dijabazima, a konstatovana je u dolini Topčidarske reke, između Pinosave i Ripnja do Klenja.

- a) Ofiolitska serija koja je predstavljena serpentinitima, a otkrivena je na Bubanj potoku (slika 32), Avali, Ripnju, Kosmaju (između Nemenikuća i Koraćice i Velike Ivanče), potom tone ispod naslaga tercijara.



Slika 32. Izdanak serpentinisanih peridotita u Bubanj Potoku (Rundić i dr., 2009)

8.3.2.1.2. Gornja Jura (J_3)

U bližoj okolini Beograda tvorevine gornje jure rasprostranjene su u dolini Topčiderske reke kao i u dolini njenih pritoka i to: Dedinje, Straževica, Kijevo, Ripanj, Klenje, Pinosava, Rušanj u gornjem toku Železničkog potoka i na obodu Makiša.

U litološkom pogledu, u sastav gornje jure, ulaze različite stene: peščari, konglomerati, glinci, laporci, glinoviti škriljci, kalkareniti, krečnjaci (sprudni i subsprudni). Pored sedimentnih stena javljaju se i vulkanske stene, pretežno kao submarinski produkti ili subvulkaniti. Na osnovu detaljnih istraživanja izdvojeno je šest facija.

Tri najzastupljenije facije gornje jure na istražnom terenu su:

- a) Vulkanogeno-sedimentna formacija. Na širem istražnom području ove stene su otkrivene u dolinama potoka koji se ulivaju u Topčidersku reku. U sastav ove facije ulaze peščarsko-rožnačka serija stena i radiolarijska serija stena, koja je predstavljena slojevima debljine 5-15 cm. Ukupna debljina ove serije se kreće oko 200 m.

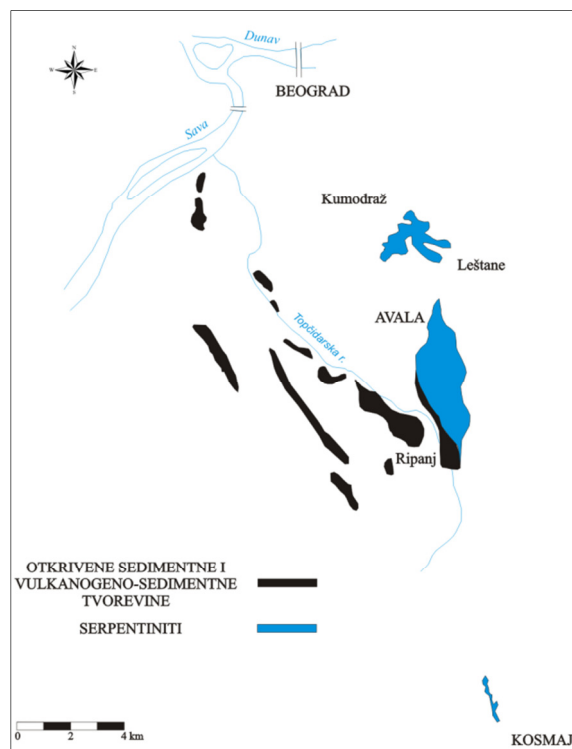
- b) Sprudni i subsprudni krečnjaci. Gornjojurski sprudni krečnjaci predstavljeni su sivim ili beličastim kompaktnim krečnjacima koji su jedri, najčešće bankovite ili masivne strukture. Mestimično su peskoviti ili brečasti i delimično udruženi sa peščarima. Ovi krečnjaci rasprostranjeni su na Vezirovom brdu, na istočnim padinama Straževice, u srednjem toku Bele reke (slika 33), na obodu Makiša i Dedinju. Posebnu grupu unutar ove facije čine tzv. "Straževički krečnjaci". Od ovih stena je izgrađeno brdo Straževica i delovi Žarkova, kimeridž-titonske starosti. U litološkom pogledu to su bankoviti ili ređe slojeviti krečnjaci. Debljina banaka se kreće od 36-60 cm. Krečnjaci su ispresecani brojnim pukotinama koje su ispunjene kalcitom. Ovi krečnjaci su bogati brahiopodskom faunom. Najveća debljinja krečnjaka je oko 100 m.



Slika 33. Gornjojurski karbonati u Beloj reci (Rundić i dr., 2009)

- c) Slojevi sa *Aptychus*-ima ili "aptiški slojevi", rasprostranjeni su na više lokaliteta i predstavljaju repere za izdvajanje jurskih slojeva. Konstatovani su u podini straževičkih krečnjaka na Straževici i u gornjem toku Železničke reke, južno od železničke stanice Kijevo. Slojevi sa *aptihusima* izgrađeni su najčešće od laporaca, peskovitih laporaca, laporovitih peščara, laporovitih krečnjaka i glinaca u kojima se javljaju interstratifikovani spiliti. Laporci su tankoslojeviti sa slojevima debljine 5-7 cm ili su naslagani u slojevima debljine 30-50 cm. Ukupna debljina ove serije se kreće oko 130 m.

Na slici 34. prikazano je šematizovano razviće jurskih tvorevina na teritoriji grada Beograda.



Slika 34. Modifikovano rasprostranjenje otkrivenih jurskih tvorevina na istražnom terenu prema Anđelkoviću (Petković i dr., 1975)

8.3.2.2. Kreda

Tokom kredne periode dolazi do značajnih tektonskih pokreta usled kojih se stvaraju tri paleogeografske jedinice: dubokovoda sredina (pelaški sedimenti sa amonitima), plitkovodna sredina (litoralne i sprudne tvorevine) i flišni trogovi. Donji delovi kredne periode karakteristični su za magmatsku aktivnost, tokom koje dolazi do podmorskog izlivanja dijabaza i spilita.

Neokomske tvorevine (berijas, valendin, otriv) u okolini Beograda imaju ograničeno rasprostranjenje. Njihovo rasprostranjenje konstatovano je na obodu Makiša, u gornjem toku Lisičijeg potoka, donji deo Repiškog potoka, donji tok Banjske reke i u dolini Topčiderske reke. U njihov sastav ulaze laporovito-glinoviti sedimenti.

Plitkovodni sedimenti valendinskog kata konstatovani su na obodu Makiša. Predstavljani su laporcima i laporovitim krečnjacima, peskovitim laporcima i laporovitim pešćarima. Dubokovodni sedimenti valendinskog kata otkriveni u ataru Rakovice i na Straževici. Leže ili preko krupnozrnih vapnovitih pešćara ili preko laporovitih krečnjaka, a predstavljani su različitim varijetetima laporaca.

Cela gornja kreda karakteristična je po stvaranju flišnih tvorevina velikog prostranstva i debljine. Krajem kredne periode dolazi do stvaranja brakičnih sedimenata pod uticajem poslednje faze mezoalpske tektogeneze (laramijska faza). U pojedinim odeljcima gornje krede dolazi do vulkanske aktivnosti, koja se nastvalja i u tercijaru. U severnim delovima istražnog terena (severno od Save i Dunava) sedimenti donje krede nisu konstatovani bušenjem. Pretpostavlja se da su u podini tercijarnih sedimenata, obzirom da su konstatovani u istočnom delu Banata, u produžetku šumadijske zone.

Na slici 35. prikazana je pregledna tabela krednog razvića na istražnom terenu.

| K R E D A | | | | | |
|---------------------|---------------------|--|---|--|--|
| STAROST | LITOLOGIJA | | LOKALITET | | |
| GORNJA KREDA | SENON | KONGLOMERATI, PEŠĆARI, GLINCI, LAPORCI | TOPČIDERSKA REKA, TOPČIDERSKO BRDO | | |
| | TURON | -FACIJA INOCERAMSKO-FORAMINIFERSKIH LAPORACA -FACIJA SPRUDNIH I SUBSPRUDNIH SEDIMENATA -FLIŠ -FLIŠ AVALE -BARAJEVSKI FLIŠ -OSTRUŽNIČKI FLIŠ | LAPORCI-DOLINA TOPČIDARSKRE REKE, OD RIPNJA DO KLENJA, POJAS OKO KOSMAJA. FLIŠNI SEDIMENTI GORNJE KREDE IMAJU VEĆE RAZVIĆE NEGO SVI MEZOZOJSKI ČLANOVI ZAJEDNO | | |
| | CENOMAN | -FACIJA KREČNJAKA SA EHINGIDIMA -FACIJA LAPORACA I LAPOROVITIH PEŠĆARA -FACIJA LAPORACA SA AMONITIMA -FLIŠ | KLENJ, BARAJEVO, ŽARKOVO PREKO KOVIONE NA KOSMAJ, OBLAST NEMENIKUČA I KORAČICE | | |
| DONJA KREDA | PLITKOVODNO RAZVIĆE | ALB | LAPOROVITI PEŠĆARI, PESKOVITI LAPORCI I GLINCI | RUŠANJ, KOŠUTNJAK, BUBANJ POTOK, RIPANJ, PARCANE, BARAJEVO | |
| | | BAREM-APT | URGON | URGONSKO RAZVIĆE -FACIJA KONGLOMERATA I PEŠĆARA -FACIJA SPRUDNIH I SUBSPRUDNIH KREČNJAKA -FACIJA PEŠĆARA I LAPORACA | KOŠUTNJAK, TOPČIDERSKO BRDO, BANOVO BRDO, DEDINJE, TAŠMAJDAN, TADEA KOŠČUŠKA |
| | | OTRIV | NEOKOM | | LISIČIJI POTOK, RAKOVIČKI POTOK, MILJAKOVAC |
| | | VALENDIN BARIJAS | NEOKOM | PLOČASTI LAPORCI, PESKOVITI LAPORCI GLINCI, ALEVROLITI | OBOD MAKIŠA, DOLJI TOK LISIČIJEJ POTOKA, REPIŠKI POTOK, DOLINA TOPČIDARSKRE REKE |
| | DUBOKOVODNO RAZVIĆE | ALB | URGON | KONGLOMERATI | RUŠANJ, KOŠUTNJAK, UŠĆE, RAKOVIČKI POTOK, BUBANJ POTOK, PARCANE, BARAJEVO |
| | | APT | URGON | | NIJE KONSTATOVA U ŠIROJ OKOLINI BEOGRADA |
| | | BAREM | URGON | | |
| | | OTRIV VALENDIN | NEOKOM | LAPOROVITO-GLINOVITE STENE | RIPANJ-STRAŽEVICA-KOŠUTNJAK |
| | FLIŠNO RAZVIĆE | ALB | URGON | | NIJE KONSTATOVA U ŠIROJ OKOLINI BEOGRADA |
| | | BAREM-APT | URGON | PEŠĆARI, LAPORCI, GLINENI ŠKRILJCI ALEVROLITI | -POJAS RUŠANJ-RIPANJ -POJAS BARAJEVA |
| OTRIV | | NEOKOM | | | |
| VALENDIN BARIJAS | | NEOKOM | PEŠĆARI, GLINCI, GLINENI ŠKRILJCI, LAPORCI, ALEVROLITI, BREČASTI KREČNJACI | NAJRASPROSTRANJENIJI ČLAN DONJE KREDE U BEOGRADU | |

Slika 35. Pregledna tabela razvića krednih sedimenata na teritoriji grada Beograda

U preglednoj tabeli krednog razvića crvenom bojom naznačene su stenske formacije koje su značajne sa stanovišta formiranja podzemnih voda (facija krečnjaka urgona), odnosno sa stanovišta bezvodnih delova terena (flišni sedimenti).

8.3.2.2.1. Donja Kreda (K_1)

Berijas (K_1^1)

Najstariji slojevi donje krede pripadaju berijas, a rasprostranjeni su na Straževici (slika 36), u dolini Topčiderske reke i na obodu Makiša. Berijaski slojevi otkriveni su i u bazi donjokredne serije na obodu Makiša gde su u tesnoj vezi sa valendinskim sedimentima.



Slika 36. Izdanak berijaskih slojeva na severnim padinama Straževice
(Rundić i dr., 2009)

Valendinski kat (K_1^2)

Sedimenti valendinskog kata otkriveni su u okolini Beograda na obodu Makiša i na Straževici. Predstavljen je stenama plitkovodne facije i sedimentima dubokovodnih facija. Dubokovodni sedimenti valendinskog kata su otkriveni u ataru Rakovice i na Straževici. Leže ili preko krupnozrnih vapnovitih peščara ili preko laporovitih krečnjaka, a predstavljeni su različitim varijetetima laporaca.

Otriv (K_1^3)

Sedimenti otrivskog kata obično prate sedimente valendinskog kata, a otkriveni su na obodu Makiša, na Straževici, na južnim padinama Košutnjaka u dolini Topčiderske reke. Na obodu Makiša (Grujina Strana) otrivski kat predstavljen je laporovitim krečnjacima i peskovitim laporcima. kata. Na Straževici, otrivski kat je predstavljen glinovitim, laporovitim stenama.

Barem-apt (K_1^{4-5})

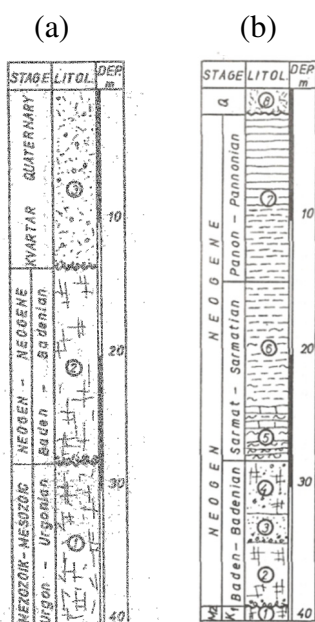
Na teritoriji Beograda stariji sedimenti donje krede imaju klasično urgonsko razviće u okviru koga se izdvajaju tri facije:

- 1) **facija konglomerata i peščara** je rasprostranjena u sprudu Košutnjaka, a naslage su naročito otkrivene kod groba kneza Mihaila, na južnim padinama Košutnjaka, na Dedinju, na Banovom brdu, Lisičijem potoku i na Vezirovom brdu. U sastav ovih tvorevina ulaze peščari, koji prelaze u sitnozrne konglomerate, a zatim u prave konglomerate sa krupnim valucima rožnaca, kvarca i krečnjaka.
- 2) **facija sprudnih i subsprudnih krečnjaka** ima znatno rasprostranjenje i izgrađuje Topčidersko brdo, Banovo brdo, Dedinje i Košutnjak. Ova facija predstavljena je bankovitim ili masivnim krečnjacima (slika 37), peskovitim krečnjacima ili prljivim i dendritičnim krečnjacima, koji su jedri i kompaktni. U donjem delu pretežno su brečasti i peskoviti krečnjaci, dok su u višim delovima čisti krečnjaci, karakteriše ih velika horizontalna i vertikalna facijalna promenljivost. Izvođenjem istražnog bušenja u užem centru grada Beograda utvrđeno je razviće urgonskih krečnjaka na sledećim lokacijama: bušotina B-5 kod benzinske pumpe u ulici Tadeuša Koščušskog, i na bušotini B-1 "Taš" (slika 38). Na bušotini B-5 u urgonske krečnjake je uđeno na 38-om m, dok je bušotina B-1 na 28-om m ušla u urgonsku krečnjačku faciju. Između ove dve bušotine nalaze se bušotine B-3 (Palmotićeva ulica) i B-9 (ugao Francuske i Gospodar Jevremove ulice), na kojima nije konstatovano prisustvo urgonskih krečnjaka. Naime, bušotina B-9 se završava u sarmatskim glinama i laporcima na 55-om m, a bušotina B-3 završava se u klastičnim i glinovitim sedimentima sarmata na 64-om m (Knežević, Šumar, 1993).

Na osnovu ovih podataka zaključuje se da urgonski krečnjaci nemaju kontinualno rasprostranjenje, što je posledica uslova sedimentacije, odnosno izgleda paleoreljefa. Razmatrajući uslove sedimentacije nameće se i drugi zaključak, a to je da postoji veza između urgonskih krečnjaka nabušenih na rtu i na Tašmajdanu, te da se pružaju jugozapadno ka Topčiderskom brdu i Banovom brdu. Ovakve sumnje neophodno je potkrepiti istražnim bušenjem većeg dubinskog zahvata.



Slika 37. Masivni urgonski krečnjaci i pešćari kod Letnje pozornice–Mašin majdan (Rundić i dr., 2009)



Legenda:

a) B-1

1–urgonski krečnjaci; 2–lajtovački krečnjaci; 3–nasip

b) B-5

1–urgonski krečnjaci; 2–lajtovački krečnjaci; 3–karbonatni pešćari i konglomerati; 4–lajtovački klastiti; 5–laporoviti alveriti sa sočivima krečnjaka; 6–lapori i laporovite gline; 7–hemijski izmenjeni laporci; 8–nasip

Slika 38. Profili bušotina (a) B-1 “Taš” i (b) B-5 (Knežević, Šumar, 1993)

- 3) **facija peščara i laporaca** razvijena je na Dedinju, Topčideru, Košutnjaku, vezirovon brdu, ušće Rakovičkog potoka, Miljakovac i Repište. U njihovom sastavu nalaze se različiti peščari, konglomerati, peskoviti krečnjaci, glinci i laporci.

Apt (K_1^5)

Sedimenti ove facije rasprostranjeni su kod Topčiderske stanice, Topčiderskog groblja, kovnice novca, na istočnim padinama Vezirskog brda, na ušću Rakovičkog potoka i kod Kneževca, a predstavljeni su peščarima unutar kojih se sreću sočiva ili proslojci peskovitog krečnjaka ili se javljaju sivi bankoviti krečnjaci.

Alb (K_1^6)

Sedimenti albskog kata ne zauzimaju veliko razviće na istražnom terenu, a mogu se pratiti od plitkovodnih do pelaških formacija. U njihov sastav ulaze klastične stene, konglomerati, ređe krečnjaci, a mogu se pratiti u pojasu Banovo brdo-Žarkovo, Košutnjak, Rakovica, Miljakovac, Bubanji potok, Ripanj, Parcane i Barajevo.

Alb-Cenoman ($K_{1,2}$)

Sedimenti na prelazu između donje u gornju kedu predstavljeni su laporovito-glinovitim tvorevinama sa laporovitim peščarima, peskovitim laporcima i glincima. Na području Beograda locirani su na južnim padinama Košutnjaka, Makiš, u izvorišnom delu rakovičkog potoka, Resniku.

Donja Kreda (K1)–flišno razviće

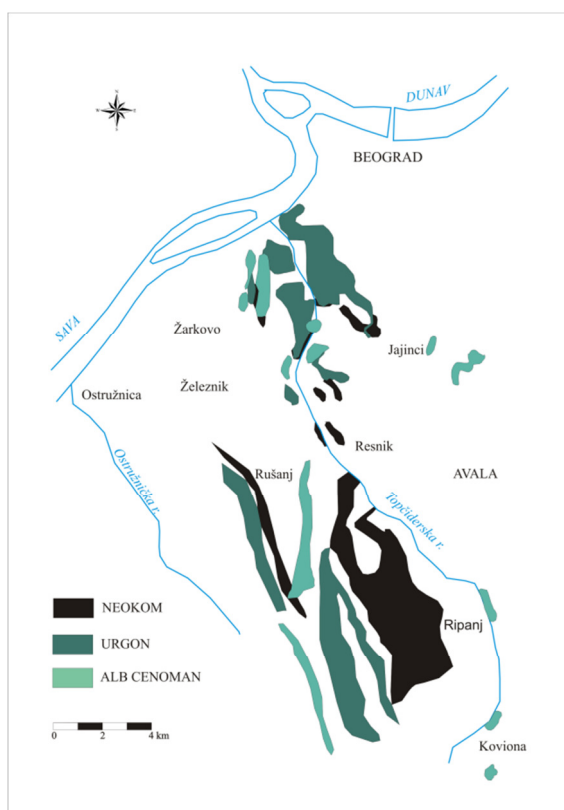
Debele mase flišnih sedimenata stvarane su u tri vremenska odeljka:

- 1) **neokomski fliš** je najrasprostranjeniji član donje krede u Beogradu, a u njegov sastav ulaze peščari, alevroliti, laporci, glinci, glineni škriljci, brečasti krečnjaci i kalkareniti. Tektonski je jako poremećen, slojevi su ubrani i u njima se javljaju podmorski izlivi spilitičkih stena. Razviće neokomskog fliša može se posmatrati od Resnika preko Pinosave i Bele reke do Ripnja, i dalje prema jugu se pruža tokom reke Hajdučice.

2) **baremsko-aptski fliš** proteže se u dva pojasa, pojas Rušanj-Ripanj i pojas Barajeva. Sedimenti ovog tipa razvića predstavljani su peščarima, laporcima, alevrolitima, glinenim škriljcima sa sočivima krečnjaka.

1) **albski fliš** nije konstatovan na teritoriji Beograda

Na slici 39 prikazano je šematizovano razviće donjokrednih tvorevina na teritoriji grada.



Slika 39. Šematizovano površinsko rasprostranjenje donjokrednih tvorevina na istražnom terenu (Petković, 1975, prema Anđelkoviću)

8.3.2.2.2. Gornja Kreda (K_2)

Cenomanski kat (K_2^1)

Stene cenomanskog kata su zastupljene u ispitivanoj oblasti u četiri facije:

- 1) **facija krečnaka sa ehinidima** razvijena je na potezu od Klenja, Barajeva i Žarkova, a preko Kovione vezuju se za cenomanske krečnjake Kosmaja. Cenomanski krečnjaci istočne padine Kosmaja i visa Košutica pružaju se do Nemenikuća i Koraćice.
- 2) **facija laporaca i laporovitih peščara** izgrađuje zapadne padine Banovog brda i delove terena Barajeva. Ovi laporci otkriveni su u Radničkoj ulici na Čukarici (kanalizacioni raskop) i u gornjem toku Železničke reke. Na pojedinim lokacijama, na levoj obali Save (ušće u Dunav) konstatovana je gornje kredna podina sarmatskim, odnosno mlađim panonskim i kvartarnim sedimentima (pijezometri PdUS-1 i PdUS-2) na relativno plitkim dubinama (Rundic et al., 2011). Smena sedimenata gornje jurske starosti i starijih kenozojskih tvorevina u podini mlađih tercijarnih na relativno bliskom rastojanju ukazuje na parketnu strukturu ovog dela terena, tj. na intenzivne neotektonske pokrete.
- 3) **facija laporaca sa amonitima**
- 4) **fliš**

Turon (K_2^2)

Stene turonske starosti javljaju se u tri facije:

- 1) **facija inoceramsko-foraminiferskih laporaca** čine bazu flišnim sedimentima i bočno prelaze u njih, a rasprostranjeni su u slivu Topčiderske reke, od Ripnja do Klenja, pojas oko Kosmaja ka Venčacu.
- 2) **facija sprudnih i subsprudnih sedimenata** ima malo rasprostranjenje i otkrivena je kod letnje pozornice u Topčideru i kod Mihajlovca. U okviru ove facije javljaju se konglomerati koji leže u osnovi zatim peščari, peskoviti krečnjaci i glinci.

- 3) **fliš** stvaran tokom turona nije jasno stratigrafski razvijen, te se prikazuje kao “turon-senonski” fliš. Fliš gornjih odeljaka krede stvaran je u različitim razdobljima, pa otuda i razlike u njegovom sastavu, načinu pojavljivanja i tektonskim osobinama. Flišni sediment se mogu podeliti u tri pojasa: avalski fliš, barajevski fliš i ostružnički fliš

Avalski fliš odlikuje se klastičnim vezanim stenama-peščarima, zatim glincima, alevritima, sočivima krečnjaka. Za razliku od ostružničkog fliša kod koga su slojevi slabo poremećeni, serija avalskog fliša je ubrana i slojevi su pod velikim uglom. Flišni sediment izgrađuju Avalu i njene padine, te se razviće može pratiti na severu ka centralnim delovima Beograda, na zapadu do Topčiderske reke, a na jugu se preko Kovione nastavlja na fliš Kosmaja.

Barajevski fliš odlikuje se terigeno-karbonatnim sedimentima. Pored breča, brečastih krečnjaka i kalkarenita laporci su jedan od najvažnijih litoloških članova serije. Najveće rasprostranjenje ovog tipa fliša je u Barajevu zatim u dolini Topčiderske reke (slika 40), Kijevo, Resnik, Pinosava, a na jugu se prostire do zapadnih padina Kosmaja.



Slika 40. Fliš gornje krede kod železničke stanice Topčider
(Rundić i dr., 2009)

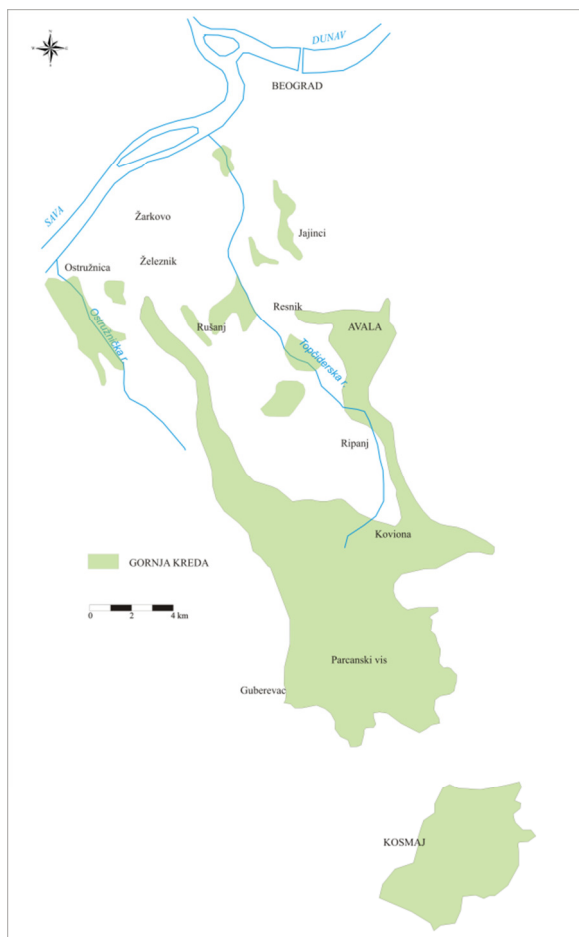
Ostružnički fliš izgrađen je od klastičnih stena, peščari, glinci, glineni škriljci i konglomerati. Formiranje sedimentata ostružničkog fliša karakteristično je za mirne uslove sedimentacije, te slojevi nisu poremećeni, a u njima je pronađeno vrlo malo fosilnih ostataka faune.

Ovaj tip fliša može se promatrati od Žarkova uz Železničku reku, preko Sremčice i Lipovačke šume i dalje na jug. Razviće ostružničkog fliša konstatovano je istražnim bušenjem na levoj obali Save (Toplana na Novom Beogradu), fliš je nabušen na dubini od 100 m (Anđelković, 1987).

Senon (K_2^3)

Sedimenti gornjeg senona (mastriht) izgrađeni su od terigenih sedimenata, konglomerata, koji leže diskordantno preko urgonskih krečnjaka. Razviće sedimenata mastrihtskog kata može se pratiti na zapadnim padinama Topčiderskog brda i u dolini Topčiderske reke i kod Hipodroma. Pored konglomerata javljaju se i peščari, glinci, laporci sa bogatom faunom.

Na slici 41. prikazano je površinsko razviće gornjokrednih tvorevina na teritoriji grada.



Slika 41. Šematizovano rasprostranjenje otkrivenih gornjekrednih tvorevina na istražnom terenu (Petković, 1975, pema Anđelkoviću)

8.3.3. Kenozoik

Era kenozoika predstavlja razdoblje kada su se odigrale značajne paleogeografske i paleoklimatske promene: dolazi do snažnih tektonskih pokreta, regresije mora, intenzivnog magmatizma, i stvaranja slatkovodnih basena (Šumadijska depresija). Na prostoru Beograda oligocenski sedimenti javljaju se u vidu manjih oaza u paleoreljefu. Na osnovu flore i faune zapaža se prelaz iz tropske, preko subtropske klime u ledeno doba.

Geotektonski pokreti započeti u starijim odeljcima gornje krede nastavljaju se i početkom ere kenozoika. Pokreti laramijske faze mezoalpske tektogeneze formirali su kopneni prostor, koji egzistuje sve do starijeg paleogena (oligocen). Pokreti pirinejske tektogeneze (po Štileu) uslovljavaju stvaranje tektonskih depresija predisponiranih pravaca pružanja SSZ-JJI. U Šumadidima depresije su ispunjene slatkom vodom, obzirom da su obale Tetisa znatno sužene, a konstaovana je i vulkanska aktivnost toga vremena.

Početak periode neogena jasno se diferencira Panonska depresija i Balkansko kopno. U tom razdoblju formiraju se i izolovani jezerski baseni, što značajno utiče na litofacijalna razvića sve do ledenog doba.

Na slici 42 prikazana je pregledna tabela razvića kenozojskih tvorevina na teritoriji grada Beograda

| KENOZOIK | | | | |
|----------------|---|--|--|---|
| KVARTAR | | | | |
| HOLOCEN | REČNE TERASE, FACIJE STARAČA-MRTVAJA, FACIJA POVODNJA-PESKOVI I ALEVITIČNI PESKOVI, FACIJA KORITA-ADE, PLAŽE | | | |
| | Q2 | ALUVIJALNE RAVNI REKA SAVE I DUNAVA | | |
| PLEISTOCEN | PRELESNE TVOREVINE I LES | | | |
| | Q1 | NEIMAR, PROKOM, BULBUDERSKI I MIRIJEVSKI POTOK, PALILULSKA PIJACA, BEŽANIJSKA KOSA, ZEMUNSKI PLATO | | |
| | ŠLJUNKOVI, PESKOVI "MAKIŠKI SLOJEVI" SA CURBICULA FLUMINALIS | | | |
| | ADA CIGANLIJA, MAKIŠ, DESNA OBALA SAVE I DUNAVA KA ZEMUNU I BEŽANIJI, OBRENOVAC, BORČA | | | |
| | ŠLJUNKOVI, PESKOVI "BEOGRADSKI SLOJEVI" | | | |
| | TERAZIJE, ČUBURA, BANOVO BRDO, KARABURMA, KALENIĆ PIJACA, KOLUBARA I POSAVINA | | | |
| TERCIJAR | | | | |
| PLIOCEN (PI) | Posavina | Belopotočka rov-sinklinala | Smederevsko-gročansko podun. | |
| | GLINOVITO-LAPOROVITI I PESKOVITI SEDIMENTI OBRENOVAC, BARIČ, VRANIĆ, MELJAK BOŽDAREVAC, BAČEVAC, STEPOJEVAC JAKOVO | PESKOVITI SEDIMENTI I LAPOROVITE GLINE BELI POTOK, PINOSAVA, ZUCE, POTOK KONOPLJIŠTE | PEŠČARI, GLINE, UGALJ BEGALJICA, GROCKA, BRESTOVIK, MIHAJLOVAC | |
| | NEOGEN | panon (M, ²) laporci, glinci, peščari, peskovi Rasprostranjenje skoro na čitavom istražnom prostoru POP LUKINA ULICA, TERAZIJE-BAJLONOVA PIJACA,HAJD PARK, ZELENİ VENAC,NEIMAR, KALEMEGDAN,VRAČAR, BANJICA, KOŠUTNJAK, ŠUMICE,MOŠTANICA, UMKA, MELJAK, ARNAJEVO, BAČEVAC, ZAKLOPAČA, BEGALJICA, VRČIN, AVALA-KOSMAJ | | |
| M ₃ | | sarmat (M, ¹) | | |
| | | laporci | laporoviti krečnjaci I krečnjaci | |
| M ₂ | | ZVEZDARA, KARABURMA BULBUDERSKI POTOK DUBOKI POTOK | ČUBURA, KALINIĆ, HADŽI ĐERINA ULICA, PALMOTIĆEVA, TADEUŠA KOŠČUŠKOG, HALA PIONIR, SERDAR JOLA, TOPLANA NBG, DEDINJE, KOŠUTNJAK, BANOVO I JULINO BRDO, STRAŽEVICA, PETLOVO BRDO, BANJIČKI VIS,BARAJEVO | |
| | | konglomerati, peščari I peskovi | glinae I laporci | krečnjaci |
| M ₁ | | RAKOVIČKI PESKOVI KUMODRAŽ, KALJAVI POTOK, GROCKA, IZMEĐU KOSMAJA I BUKULJE | VIŠNJIČKE GLINE TOPČIDERSKA R. MILJAKOVAC RAKOVICA, KARABURMA KONJARNIK,VML | TAŠMAJDANSKI LAJTOVAC TAŠMAJDAN, SLAVIJA,KRUNSKA, TADEUŠA KOŠČUŠKA, SERDAR JOLA UŠĆE SAVE (LEVA OBALA) |
| | | akvitan-burdigal(M, ^{1,2}) | | |
| M ₁ | | SLANAČKA SERIJA (TUFITI, GLINCI, LAPORCI) | | SLANCI, V.SELO, VIŠNJIČA |
| | | BUČVARSKI KONGLOMERATI | | BUČVARSKI POTOK |

Slika 42. Pregledna tabela razvića kenozojskih tvorevina na teritoriji grada Beograda

8.3.3.1. Tercijar

Veliko prostranstvo na istražnom području zauzimaju stene tercijarne starosti. Tercijarni sedimenti leže transgresivno preko mezozojskih tvorevina i predstavljani su miocenskim i pliocenskim naslagama.

8.3.3.1.1. Miocen (*M*)

U ovom vremenskom razdoblju stvarani su sedimenti različiti po svom litološkom sastavu, tako da su pojedini katovi predstavljeni različitim facijama. Tvorevine ovog kata razvijene su u okviru donjeg i srednjeg miocena kao i u okviru sarmata i panona.

Donji miocen (M_1)

Tvorevine donjeg miocena imaju malo rasprostranjenje i okarakterisane su kao slatkovodne tvorevine pretortona. Na teritoriji Beograda jezerski sedimenti formirani su u okviru Slanačko-gročanskog basena i u okviru Mladenovačkog basena. U okviru prvog basena slatkovodni sedimenti formirani su u dunavskom Ključu (Slanci, Veliko selo, Višnjica) i poznati su pod nazivom “slanačka serija”, zatim slatkovodni sedimenti konstatovani su u potoku Bučvaru–bučvarski konglomerati” i treći lokalitet u okviru Slanačko-gročanskog basena je deo teritorije Grocke, gde je dubokim bušenjem (1082-1300 m) konstatovana debela serija slatkovodnih sedimenata. Slanačku seriju izgrađuju tufiti, glinci, škriljci, laporci, preko koje se talože morski sedimenti tortona. Na slici 43. prikazane su jezerske naslage u Velikom Selu (“slanačka serija”).



Slika 43. Donjemiocenski slatkovodni sedimenti u okolini Velikog sela (Rundić i dr. 2009)

Torton (M_2^2)

U Beogradu i njegovoj okolini uslove formiranja i rasprostranjenja facija tortonske starosti, proučavao je P. Stevanović (1951-1980). Za tortonske sedimente karakteristična je smena facija, a na osnovu pronađene faune izdvojene su tri facije:

- 1) **facija konglomerata, peščara i peskova** taloži se preko serpentinita i dacitsko-andezitskih izliva gornjojurske i kredne starosti. Manji deo podine prostornog razvića ove facije čine i jezerski sedimenti “slanačke serije”, čija utvrđena starost pripada burdigal-helvetu (Anđelković, 1987, prema Stevanović P., 1975, 1977). Formiranje serije konglomerata, peščara i peskova označava početak novog sedimentacionog ciklusa. Karakteristike tortonskih sedimenata u mnogome su određene tektonski izrasedanim (ili manje izrasedanim) paleoreljefom, tj. podinom. Razviće ove facije može se pratiti u delu potoka Bučvar–“bučvarski konglomerati”, debljine 200 m (Anđelković, 1987, prema Stevanović P., 1970), Veliko Selo (slika 44), zatim gornji tok Rakovičkog potoka, delovi Kumodraža (Anđelković, 1987 prema Spajić, 1983) (hidrogeološka bušotina u "Soko Štarku"*), Kaljavi potok između Banjice i Jajinaca (šljunkovi sa peščarskim cementom u podini litotamnijskih masivnih krečnjaka).



Slika 44. Konglomerati tortonske starosti u Velikom Selu sa ostacima fosila (*Ostrea* sp) (Rundić i dr. 2009)

* U bušotini u "Soko Štarku" u intervalu 262-326 m nabušeni su konglomerati sa proslojcima šljunkova i šljunkovitih peščara. Razviće ovih konglomerata vezuje se za konglomerate u izvorišnom delu rakovičkog potoka. Bušotina je završena u ovim bazaltnim klastitima.

Peskovi i peščari stvarani su duž zaravnjenih plaža, a konstatovani su na kalemegdanskom odseku, u Rakovičkom potoku (slika 45), između Torlaka i Razbojišta. Najpoznatiji su “**rakovički peskovi**”, koji leže preko pomenutih konglomerata. Njihovu krovinu čine litotamijski bankoviti krečnjaci. Slično razviće peskova otkriveno je u Velikom Mokrom Lugu, zatim na prostoru Leštana, Kaluđerice, Velikog sela, Višnjice, a bušenjem su konstatovani i u Kumodražskom potoku (Soko Štark).



Slika 45. Profil rakovičkih peskova (Rundić i dr. 2009)

U južnom delu istražnog terena, na prostoru između Kosmaja i Bukulje peskoviti sedimenti leže preko “venčanske serije”. Na prostoru Tamnave i Vreoca tortonske naslage su konstatovane bušenjem (dubina oko 300 m). Takođe, istražnim bušenjem u Grockoj (bušotina G-1) su konstatovane tortonske naslage ispod donjeg sarmata (iz Dokmanović, 1997).

2) facija glina i laporaca ima veoma malo otkrivenih izdanaka. Razviće tortonskih glina može se pratiti u selu Višnjica–“**višnjičke gline**”. Gline su nastajale u relativno plitkoj vodi blago zagrevanoj (Anđelković, 1987, prema Stevanović P., 1968, 1970). Gline su konstatovane i u toku Topčiderske reke, na Miljakovcu i Rakovici, dok su istražnim bušenjem gline konstatovane na sledećim lokacijama: Karaburma, Konjarnik*, Kumodraž, Veliki Mokri Lug.

**U bušotini na Konjarniku konstatovana je debljina badesnkih glina od 100 m. Krovinu glinama čine sedimenti donjeg sarmata. Gline su nabušene u intervalu 150-250 m. P. Stevanović (1968, 1970) gline opisuje kao škriljave sive gline i zaključuje da su se tu nalazili najdublji delovi tortonskog mora u Beogradu.*

U bušotini u Velikom Mokrom Lugu uočava se smena glina i peskova u interval 67.80-204.40 m (Spajić, Džodžo-Tomić, 1973).

- 3) **facija litotamnijskih i brizojskih krečnjaka** na površini terena konstatovana je u centralnim delovima grada, dok je u široj gradskoj okolini facija otkrivena bušenjem, te njihovo rasprostranjenje nije jasno definisano. Litotamnijski krečnjaci su poznati pod nazivom “**tašmajdanski krečnjaci**” ili lajtovac (Anđelković, 1987, prema Stevanović, P., 1951-1977). U Beogradu i okolini razlikuju se tortonški brizojsko-litotamnijski (tipična sprudna tvorevina) krečnjaci, zatim amfisteginski i ceritski krečnjaci.



Slika 46. Detalj sa profila lajtovačkih krečnjaka kod Tašmajdana (Rundić i dr. 2009)

Razviće lajtovačkih krečnjaka može se pratiti duž savske padine, od useka mosta u Brankovoj ulici, preko Karađorđeve ulice, ispod kalemegdanskog odseka do zoološkog vrta (slika 47). Krečnjak je konstatovan i na levoj Strani Save. Sondažnim bušenjem je utvrđeno razviće lajtovačkog krečnjaka duž čitave leve obale Ušća (PdUs-1 do PdUs-5). Lajtovački krečnjaci su konstatovani na Tašmajdanu, gde leže na krednoj podini (30 m) i u Krunskoj ulici. Kako je površinsko rasprostranjenje tortonških krečnjaka u centralnim delovima grada delom prekriveno mlađim prekrivačem, prividno su razvijena dva izdanka.

Bušenjem je dokazana celina u ovom delu centra grada (Stevanović, P., 1970). Na osnovu podataka novijih istraživanja vršenih u centru grada, konstatovano je prisustvo lajtovačkih krečnjaka na dubini oko 20 m. Bušotina (D-4) se nalazi između Beogradske i Njegoševe ulice. Druga bušotina, B-2 nalazi se u neposrednoj blizini (Slavija) nije ušla u tortonske krečnjake. Njihovo prisustvo se pretpostavlja na većim dubinama, obzirom da je bušotina B-2 duboka 20 m (Knežević, Šumar, 1994). Rezultati bušenja dobijeni izradom bušotina B-5 kod benzinske pumpe u Ulici Tadeuša Košćuška, B-1 “Taš” i B-1 u Ulici Serdar Jola (Dedinje) značajni su za sagledavanje rasprostranjenja lajtovačkih krečnjaka (Knežević, Šumar, M,1993). Udaljavanjem od centra grada manji izolovani izdanci konstatovani su sa obe strane Rakovičkog potoka, iznad “rakovičkih peskova”, na padinama Bukovice i na Torlaku. Takođe manje izolovane partije krečnjaka konstatovane su u Kaljavom potoku između Banjice i Jajinaca, kao i u dolini Mokrolušskog potoka (Anđelković, 1987, prema Stevanović, P., 1977). U svojim razmatranjima P. Stevanović ukazuje na mogućnost postojanja veze između ovih krečnjaka i krečnjaka u centralnim delovima grada. U istočnom delu istražnog prostora izolovani izdanci krečnjaka konstatovani su u Leštanima (Anđelković, 1987, prema Pavlović, 1983), na levoj strani Mirijeuskog potoka i na putu Karaburma-Mirijevo. U južnom delu terena, na prostoru između Baćevca i Guncata bušenjem su konstatovani tortonski peskovi i krečnjaci. U podini tortonskih krečnjaka su gornjekredne tvorevine, a preko njih leže donjosarmatski krečnjaci (Filipović B., i dr., 1983). “**Ceritski lajtovac**” je konstatovan na padinama Dunava preko Višnjice. Krečnjaci su jako peskoviti.



Slika 47. Krečnjaci na Kalemegdanu (foto: Milanković, 2005)

Sarmat (M_3^1)

Sedimenti sarmata na teritoriji grada Beograda imaju veliko rasprostranjenje i utvrđeni su gotovo na celom prostranstvu. Na istražnom području sedimenti ove starosti leže konkordantno preko srednjeg miocena ili transgresivno preko jurskih i krednih tvorevina, a po pravilu su prekriveni panonskim laporcima. Ukupna debljina sarmata na teritoriji grada i šire okoline iznosi oko 200 metara. Izdanci sarmata vezani su za rasedne odseke (Čukarica, Zvezdara) ili za strme rečne doline (Topčiderska reka, Banjički potok, Mokroluški potok, Čuburski i Bulbuderski* potok). Izdanci se javljaju i na trasi vodovodnog tunela Topčider–Tašmajdan. Sarmatski sedimenti konstatovani su preko mezozojske podine na Topčiderskom brdu, zapadnom Vračaru, Banjičkom visu, Dedinju, Kanarevom brdu, Košutnjaku, Banovom i Julinom brdu, Straževici, Petlovom brdu.

Sarmatski sedimenti predstavljeni su laporcima i laporovitim krečnjacima, odnosno krečnjacima.

Laporci sarmata konstatovani su u temeljima Omladinskog stadiona, a deo terena od Zvezdare ka Karaburmi izgrađen je od laporovito-peskovite serije. U tom delu terena javljaju se i krečnjačko laporoviti sedimenti (Bulbuderski potok i Duboki potok).

Laporovito krečnjački sarmat konstatovan je u Bulevaru kralja Aleksandra, u General Ždanovoj, u temeljima "Beograđanke", na zapadnom Vračaru, u Ulici Franše Deperea. Od Ulice Franše Deperea do Tašmajdana (vodovodni tunel) otkriveni su laporoviti krečnjaci, laporci i gline. U široj zoni grada laporoviti krečnjaci sarmata konstatovani su u Rakovici. Kod Mirijeve i Malog Mokrog Luga otkriven je glinoviti tip sarmata, u ovoj oblasti razvijeni su i peskoviti i glinoviti sedimenti sarmata. Na području Jajinaca, Rakovice, u dolini Topčiderske reke i podnožja Straževice, u oblasti Rakovičke šume, prostiru se laporovito-glinoviti sedimenti.

U centralnom delu grada od Čubure do Kalemegdana sarmatski krečnjaci i laporci prekrivaju tortonski litotamnijski sprud, promenljive su debljine i uočava se hijatus (Anđelković, 1987, prema Stevanović P., 1957), a u Pop Lukinoj ulici potpuno isklinjavaju. Posledica odustva sarmata preko tortona je neravan sprudni paleoreljef.

* *Bulbuderski potok drenira istočne padine Zvezdare i uliva se u Dunav. Potok je danas kanalizovan i teče ispod ulica Dimitrija Tucovića, Cvijićeve i kod luke Beograd sproveden je u Dunav.*

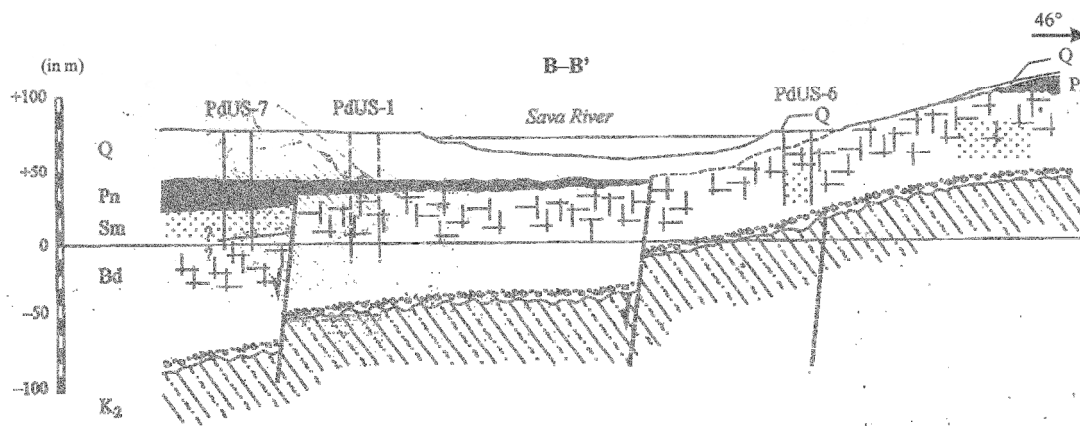
Kod Mostarske petlje i dalje prema Hajd parku konstatovani su krečnjaci (briozojski krečnjaci). Kod stadiona Crvene Zvezde, takođe su konstatovani krečnjaci sa prelaznom faunom panona. Njihova boja je žutomrka, a preko njih leže panonski laporci. Sarmatski krečnjaci bušenjem su konstatovani na stadionu Partizana na dubini od 32 m, preko kojih leže beli panonski laporci.

Ispod Čubure i Kalenić pijace sarmat je predstavljen facijom krečnjaka koja se smenjuje sa škrljivim glinama i laporima. Na Kalenić pijaci sarmatski krečnjak konstatovan je bušenjem na dubini 50-53 m, dok u Hadži-Đerinoj ulici sarmatski krečnjak je na dubini od 75 m (iznad se nalaze slojevi mešovito sarmatsko-panonske faune, a na 86 m konstatovan je foraminiferski pesak).

Novijim istraživanjima, sarmatske tvorevine su konstatovane u bušotinama B-5 (kod benzinske pumpe u ulici Tadeuša Koščušskog), B-9 (ugao Francuske i Gospodar Jevremove ulice), B-3 (Palmotićeva ulica), B-21 (iznad hale "Pionir"), B-1 (Ulica Serdara Jole). Na osnovu ranijih istraživanja i novih podataka zaključeno je da od lokacije bušotine B-5 prema Kalemegdanu krečnjaci postepeno isklinjavaju, dok ka centralnim delovi grada povećavaju svoju debljinu. Ukupna debljina sarmatskih naslaga je oko 35 m (Knežević, Šumar, 1994).

Na Topčiderskom brdu sarmat je razvijen u faciji peskova i peščara, koji leže preko karstifikovanih krečnjaka. U Ulici Teodora Drajzera konstatovani su ooltski peskovi i šljunkoviti peščari.

Na levoj obali Save razviće sarmatskih krečnjaka utvrđeno je bušenjem ispod "makiških slojeva" na različitim dubinama, od 20 m do 40 m. Istražnim bušenjem krečnjak sarmatske starosti konstatovan je i na desnoj obali Save (PdUS-6). Na slici 48. prikazan je poprečni presek terena u blizini ušća Save u Dunav.



Legenda: K_2 –gornja kreda; Bd–tortonski krečnjaci i peskovi; Sm–sarmatski peskovi, lapori i krečnjaci; Pn–panonski lapori i prašinski lapori; Q– les

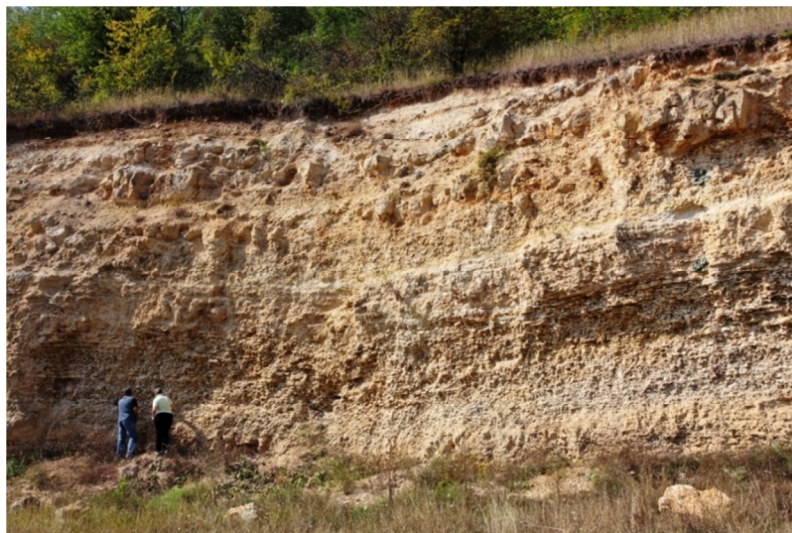
Slika 48. Geološki presek terena u blizini ušća Save u Dunav
(Rundić i dr., 2011)

Od centralnih delova ka južnim delovima istražnog terena sarmat se prostire u vidu širokog pojasa merokarsta i to u pravcu Lipovice, Barajeva (slika 49) i zapadnog Kosmaja. Jedan ogranak od Lipovice i Sremčice odvaja se prema V. Moštanici i Ostružnici i upire u desnu obalu Save (Petković, 1977, prema Stevanović, P., 1974).



Slika 49. Profil sarmatskih krečnjaka u Barajevu
(Rundić i dr. 2009)

Sarmatski sedimenti su konstatovani u Žarkovu, tunel Bele vode-Kneževac, Kijevo-Železnik (sarmat leži transgresivno preko krednog fliša). U Sremčici i u izvorišnom delu istoimene reke izdvajaju se dva nivoa sarmata, donji nivo je predstavljen peskovima i glinama, a gornji deo krečnjacima. Slična situacija je i u Guberevcu (slika 50).



Slika 50. Profil sarmatskih terigenih sedimenata sa sunderastom "wuggy" poroznošću kog kosmajskog Guberevca (Rundić i dr. 2009)

Panon (M_3^2)

Panonski sedimenti prekrivaju skoro celu teritoriju istražnog terena i za njih su karakteristične ostrakode i fosili riba. U užim delovima grada prostiru se zapadno od Mirijeuskog potoka, dok u Dunavskom ključu nisu konstatovani. Sedimenti centralnih delova grada javljaju se u dve facije:

- 1) **facija belih laporaca** razvijena je u dva horizonta. Donji horizont ima vrlo malu debljinu, a u gornjem sloju konstatovani su ostaci mekušaca. Razviće sivih laporaca konstatovano je u Pop Lukinoj ulici.
- 2) **facija laporovitih krečnjaka** je žutomrke boje, sa tankim peskovitim proslojcima. U laporovitim sedimentima nađeni su relikti sarmatske faune.

Panonske naslage su prekrivene lesom, a na mestim gde je les izerodovan javljaju se klizišta (od Zelenog Venca do Ulice Kneza Miloša, Neimar, na Voždovcu, prema Kumodražskom potoku). Panonski sedimenti u podini lesa predstavljaju vodonepropusnu podlogu.

U centralnim delovima grada, na Kalemegdanu, panon je otkriven na savskoj padini između “Pobednika” i “Pećine”. U podini panona je lajtovački krečnjak, odnosno tu je zabeležen submarinski hijatus za vreme sarmata. Prekid u sedimentaciji zabeležen je i na lokalitetu Hajd parka, gde panonski sedimenti leže preko urgonskih krečnjaka.

Od Terazija do Bajlonijeve pijace panonski sedimenti javljaju se u tri serije:

- a) beli čvrsti laporac
- b) sivi meki laporac
- c) žutomrki ispucali laporac

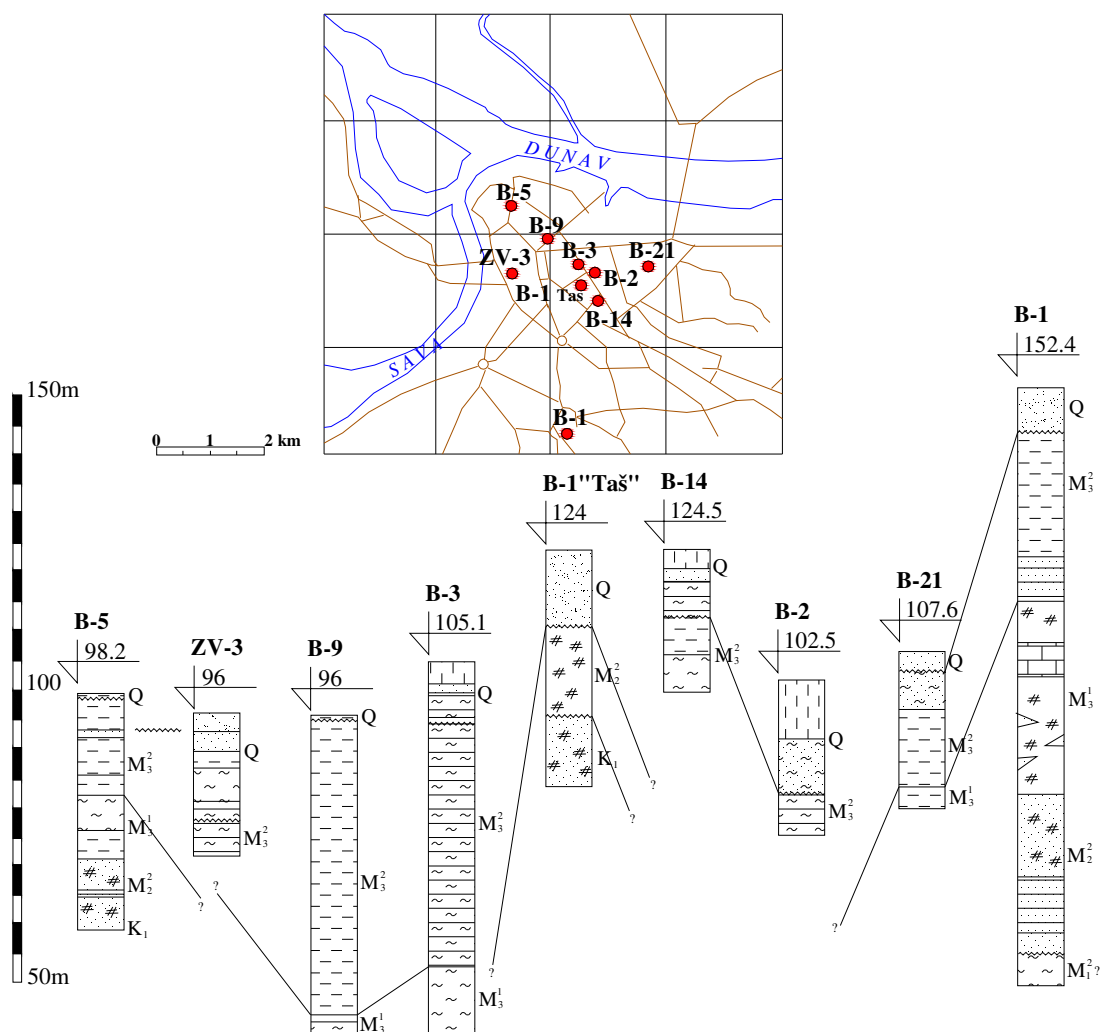
Trasa kanalizacionog tunala od Balkanske ulice do Đure Đakovića potvrdila je razviće panonskih laporovito-glinovitih sedimenata preko tortona i sarmata. Dok je trasa saobraćajnog tunela od Brankove ulice konstatovala žutomrke do sive laporce debljine od 30 m do 40 m. Duž Ulice Kneza Miloša, Sarajevske, Nemanjine panon je razvijen u faciji glina i krenjačkih laporaca. Debljina krečnjačkih laporaca kod Mostarske petlje je oko 5 m. Facija krečnjaka i laporaca razvijena preko sarmata konstatovana je u bušotini u pivari “7 juli”. Debljina panona je oko 25-35 m.

Na Vračaru bušenjem su konstatovani panonski sedimenti. Kod Onkološke klinike sedimenti panona leže preko briozojških krečnjaka sarmata. Kod crkve Sv. Save od 12 m do 44 m konstatovani su panonski laporci. U svim bušotinama od Kalenić pijace do Narodne biblioteke u podini panona je foraminiferski krečnjak, sem u Nevesinjskoj gde je u podini konstatovan škriljavi lajtovac.

Prema P. Stevanoviću, 1957 (Anđelković, 1987) panonski laporci terazijske zaravni su plitkovodnog karaktera, a mogu se pratiti na profilu od Slavije, preko Terazija (izdanci kod Londona, Beograđanke i hotela Slavija).

Razviće panonskih laporaca konstatovano je na stadionu Crvena Zvezda, gde žutomrki sedimenti leže preko sarmatskih krečnjaka. Takođe, na Banjici, Konjarniku i Šumicama konstatovani su panonski laporci.

Novijim istraživanjima, panonske tvorevine konstatovane su u bušotinama B-5 (kod benzinske pumpe u ulici Tadeuša Koščušskog), ZV-3 (Zeleni Venac), B-9 (ugao Francuske i Gospodar Jevremove ulice), B-3 (Palmotićeve ulice), B-14 (ugao ulica Georgi Dimitrova i Beogradske), B-2 (dvorište Rudarsko-geološkog fakulteta), B-21 (iznad hale "Pionir"), B-1 (ulica Serdara Jole) (Knežević, Šumar, 1993). Na slici 51 prikazani su uporedni profili bušotina sa nabušenim miocenskim, te panonskim sedimentima u užem gradskom jezgru.



Legenda: K_1 —urgonski krečnjaci, M_1^2 ?—pretortoniski sedimenti, M_2^2 —torton, M_3^1 —sarmat; M_3^2 —panon, Q—kvartar

Slika 51. Podifikovani uporedni profili bušotina sa nabušenim miocenskim sedimentima u Beogradu (Knežević, Šumar, 1993)

Krećući se južno od centralnih delova grada, panonski sedimenti su uglavnom glinovitog karaktera, a konstatovani su u Žarkovu, Železniku, V. Moštanici, Sremčici (panon leži preko sarmata). Trasa tunela Kijevo-Železnik konstatovala je dva litofacijalna kompleksa panona (donji-žutomrki laporci, gornji-sivoplavi laporci). Južno od Ostružnice panon zauzima veliku površinu (preovlađuju laporci): V. Moštanica, Umka, Meljak (potok Smrdan), Baćevac (Baćevačka reka), Boždarevac, Arnajevo.

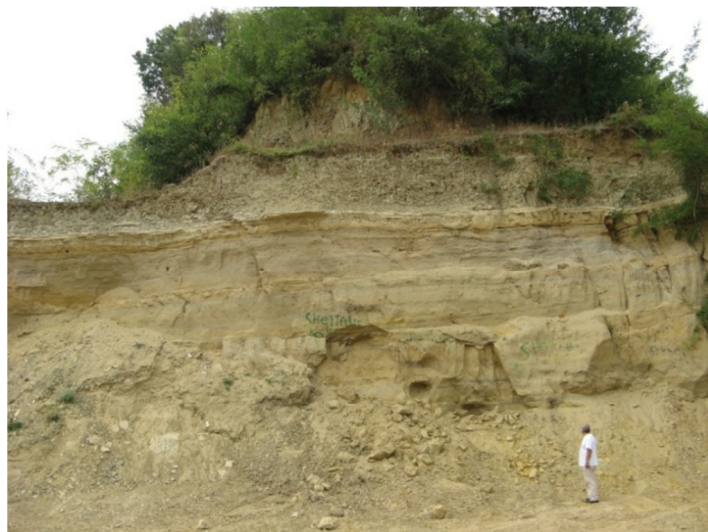
Krećući se na istok od centralnih delova grada, razviće panona se može posmatrati od slavonsijena (donji panon) do servijena (gornji panon).

Donjem panonu pripadaju trošni grubi peščari sa sarmatskim ceritima. Ovi sediment su najmanje otkriveni, a konstatovani su u delu kamenog potoka, Ripnja duž pruge, gde leže preko sarmata. Srednji panon je izgrađen od laporovitih glina (Kameni potok, Jajinci, Rakovica, jugozapadno od Vrčina, južno od Ripnja).

Gornji panon izgrađuju različiti sedimenti, konglomerati, sitnozrni peskovi, glinoviti peskovi. Najveće razviće sedimenata gornjeg panona zabeleženo je na istočnoj strani mezozojske grede i u delovima Ripnja i Vrčina. Tipičan lokalitet za razvoj gornjopanonskih sedimenata je potok Karagača.

Veliko razviće panona se može posmatrati južno od dunavskog ključa, na desnoj obali Dunava-Zaklopača (slika 52), Begaljica, Vrčin, gde je konstatovana velika facijalna raznovrsnost (Spajić, 1961).

Sedimenti su predstavljeni peščarima, peskovitim glinama i glinama. Ukupna debljina sedimenata kreće se oko 200 m. U ovom kompleksu mogu se izdvojiti: a) peskoviti krečnjaci, b) svetložuti gvožđeviti peskovi, c) peskovite gline, d) peskovi i peskovite gline, e) sive peskovite gline.



Slika 52. Profil panonskih peskova Savkovića brdo (Zaklopača)
(Rundić i dr. 2009)

Panonski sedimenti predstavljeni peskovima, koji se smenjuju sa sočivima gline, krečnjaka i peščara konstatovani su sa obe strane mezozojske grede (Avala–Kosmaj) gde prate razviće sarmatskih naslaga. Duž zapadnih padina Kosmaja nataložene su konglomeratične naslage znatne debljine (u zoni Nemenikuća i Koraćice debljina panonskih sedimenata se procenjuje između 100 m i 300 m).

Mladenovački tektonski rov ispunjen je panonskim sedimentima. Debljina ovih naslaga na području Mladenovac varira od 100 m do 200 m, a izgrađeni su od peskovitih i glinovitih sedimenata sa proslojcima lapora i uglja.

U Kolubarskom basenu, dubokim bušenjem konstatovani su panonski sedimenti u podini pontskih ugljonosnih naslaga.

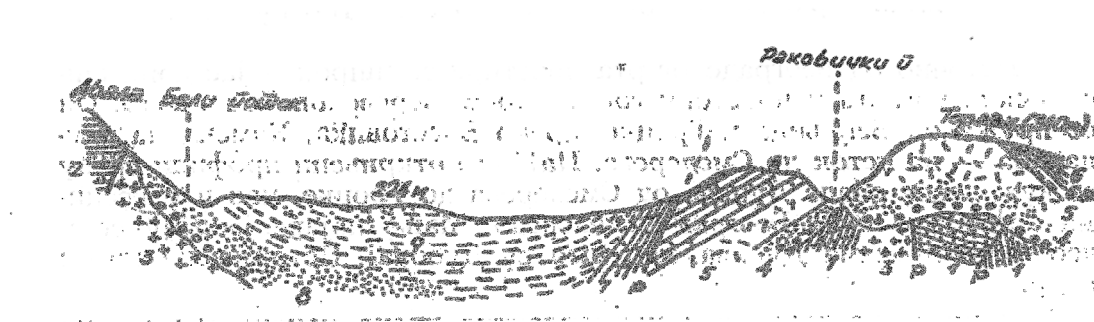
8.3.3.1.2. Pliocen (Pl)

Taloženje sedimenata pliocenske epohe započeto je pre oko 5,5 miliona godina u široj okolini Beograda. Na prelazu epohe miocena u epohu pliocena odigravaju se značajne paleogeografske promene (uspostavlja se veza između Panonskog mora i Dakijsko-Crnomorskog mora), a istovremeno u centralnim delovima Šumadije odigravaju se epirogeni pokreti koji dovode do izdizanja terena.

Na taj način se formiraju morfološke depresije u prostorima današnje Posavine, Kolubarskog basena, Belopotočke uvale (Anđelković, 1987, prema Stevanović P., 1951) i Podunavlja. Zabeležene starosti naslaga donjeg pliocena (ponta) su novorosijske i portaferske. Portaferski sedimenti imaju mnogo šire rasprostranjenje u odnosu na novorosijske. Naslage gornjeg pliocena (paludinski slojevi) su jezerskog porekla i najzastupljeniji su na severu van istražnog terena, u Vojvodini. Izdanci pliocenskih sedimenata nisu konstatovani u centralnim delovima grada, dok se njihovo rasprostranjenje može pratiti u:

- 1) Posavini**, gde se pliocenski sedimenti prostiru istočno od reke Kolubare, do linije Umka–Meljak–Baćevac–Boždarevac. Tu su formirani glinovito-laporoviti i peskoviti sedimenti (Anđelković, 1987, prema Stevanović, P., 1951). Stratotipski profil pliocenskih sedimenata konstatovan je u Mislođinu (Obrenovac). Donji pont je konstatovan od Dubokog na Savi, odakle se slojevi pružaju u pravcu juga i jugoistoka, a razvijeni su u okolini Bariča, Vranića, Meljaka, Boždarevca, Baćevca i Stepovejca. Slojevi su izgrađeni od glina, peskova, laporovitih i peskovitih glina. U ovim horizontima javljaju se sumporvodonične vode (arteksi i subarteksi izvori sa H₂S–primeri u Vraniću i Jakovu). Gornji pont je konstatovan duž desne obale Kolubare, od Obrenovac do Konatice, Baćevac, Boždarevac (Anđelković, 1987, prema Stevanović, P., 1977). Sedimenti su izgrađeni od gline i glinovitih peskova maksimalne debljine oko 200 m. U okolini Baćevca debljina ovih sedimenata je 50 m, usled erozionih procesa.
- 2) Belopotočka rov-sinklinala** predstavlja uvalu između Avale i Torlaka, koja nastaje izdizanjem torlačke antiklinale. U ovoj morfostrukturi su sačuvani relikti pontskih naslaga nataloženih na znatno širem prostoru. Preko Čota na istoku ovaj zaliv je komunicirao sa gročansko-smederevskim basenom.

Donji pont se rasprostire u Belom potoku, Pinosavi, Zuce (dolina potoka Konopljište), gde donjopontske naslage transregresivno leže preko krednih naslaga, a završavaju se kod Instituta J. Černi (Petković, 1977, prema Eremiji). Gornji pont predstavljen je peskovima i laporovitim glinama. Naslage su konstatovane u Belom potoku, u dolini potoka Konopljište, u bušotinama na kružnom putu (B-7 od 3,5 m do 34 m) i na Čotu. Na slici 53. prikazan je poprečni presek terena belopotočke rov-sinklinale.



1–kredni peščari i glici (alb); 2–silifikovani krečnjaci; 3–daciti; 4–rakovički peskovi tortona; 5–lajtovački krečnjak; 6–sarmatski krečnjak; 6a–gline; 7–panonski laporci; 8–donjopontski peskovi; 9–gornjopontski laporci

Slika 53. Poprečni profil kroz pont belopotočke rov-sinklinale
(Anđelković, 1987, prema Stevanović P., 1951)

3) Smederevsko-gročansko Podunavlje, predstavlja prostor u kome su se taložile pliocenske naslage. U okviru istražnog terena donjopliocenski sedimenti mogu se pratiti u širokom pojasu od Begaljice, Grocke, Brestovika i dalje na istok prema Smederevu. U sastav ovih sedimenata ulaze slabovezani peščari, peskovite gline, laporovite gline i manje pojave uglja (prisustvo uglja ukazuje na plitkovodni karakter naslaga). Debljina tvorevina raste od zapada ka istoku (okolina Grocke oko 100m-150m, okolina Smedereva oko 300 m). Južno od reke Ralje pont nije pouzdano utvrđen, jedino u Mihajlovcu.

8.3.3.2. *Kvartar*

Prema novijim shvatanjima donja starosna granica kvartara pomerena je na oko 2,5 miliona godina (ranije je apsolutna starost procenjivana na oko 800.000 godina). Paleoklimatološkim istraživanjima dokazane su globalne temperaturne smene. Tokom kvartara registrovano je najmanje dvadesetak klimatskih ciklusa. Za vreme hladijih delova kvartarne periode Beograd je pripadao periglacialnoj oblasti u kojima su taložene lesne naslage. Les je nošen jakim vetrovima iz morenskih naslaga. U okolini Beograda zastupljeni su svi delovi kvartarne periode, kao i svi genetski tipovi (osim glacialnih).

8.3.3.2.1. *Pleistocen (Q₁)*

Donji pleistocen

Na teritoriji Beograda sedimenti donjeg pleistocena predstavljani su šljunkovima i peskovima naslagama. Ovim stratigrafskim odeljcima pripadaju rečne terase Dunava i Save, tzv. "beogradski slojevi". Rečne terase se izdižu i do 60 m od današnje aluvijalne ravni. Sedimenti rečnih terasa konstatovani su u centralnim delovima grada—Terazije, Karaburma, Čubura, Banovo Brdo. Često se šljunkoviti sedimenti rečnih terasa smenjuju sa lesoidnim i peskovitim materijalom kao što je konstatovano ispod palate "Albanija", na Kalenić pijaci, Čuburi, Prokopu.

U jugoistočnom delu istražnog terena, na području Kolubare i Posavine izdvajaju se četiri savsko-kolubarske akumulativne terase.

Srednji pleistocen

Rečno jezerski sedimenti-peskovi i šljunkovi (ja-m/r). Sedimenti srednjeg pleistocena na istražnom terenu poznati su kao rečno-jezerski klastični sedimenti sa "**Corbicula fluminalis**" ili "**makiški slojevi**". Za vreme formiranja ovih sedimenata vladala je vlažna klima sa obilnim padavinama. U našoj literaturi ove tvorevine su poznate kao slojevi sa "*Corbicula fluminalis*" i izdvojeni su prvi put od strane Laskareva, 1983. godine (Marković i dr., 1985) u široj okolini Beograda i Pančeva.

“Makiški slojevi” karakterišu se kosom i ukrštenom slojevitošću peskova i šljunkova. Rečno-jezerski sedimenti su predstavljeni grubljim facijama – šljunkovima i šljunkovitim peskovima koji se javljaju na različitim dubinama od 12,2-19,2 m i od 24,1 – 25,0 m kao i na 31,0 m duž obale Save. Na levoj obali Dunava u blizini Borče ovi sedimenti – šljunkovi se javljaju na dubini od 33,7 – 41,5 m. Prosečna debljina rečno-jezerskih sedimenata duž obale Save i Dunava iznosi od 15 do 40 m.

Ovi slojevi su konstatovani na Adi Ciganliji, na desnoj obali Save u lokalnosti Makiša, nabušeni su na znatnom prostranstvu duž leve obale Save i Dunava i dalje prema Bežaniji i Zemunu. Južno se prostiru u okolini Obrenovca.

Gornji pleistocen

Formacije gornjeg pleistocena su eolski sedimenti u koje spadaju les, barski les, kao i prelesne formacije (akvatični i terasni sedimenti). Prelesni akvatični slojevi poznati su pod nazivom “terazijski slojevi” i izgrađeni su od alevrita, peskovitih alevrita, šljunkovitih alevrita i glina. Njihova podina su slojevi sa *Corbicula fluminalis*, a povlata je barski ili kopneni les. Akvatični slojevi konstatovani su u dolini Bulbuderskog potoka, u donjem delu Mirijeuskog potoka, na Medakoviću II, Neimaru, Prokopu, u pojasu od Narodne skupštine do crkve Sv. Marka, na Palilulskoj pijaci.

Les (l-m). Lesne tvorevine zauzimaju površinu između Save i Dunava (Bežanijska kosa, Zemunski plato) kao i na užem području grada Beograda, gde je prisustvo lesa dokazano bušenjem. Lesni sedimenti su sa istočne strane ograničeni Dunavom, na zapadu i jugu sedimentima aluvijalne ravni, a prema severu se postupno spuštaju u niže lesne zaravni. Nekada su lesne tvorevine zauzimale znatno veće prostranstvo. Međutim Dunav i Sava su vršili neprestano podlokavanje i pretaložavanje lesnog materijala i na taj način redukovali njihovo prostranstvo. Činjenica da takvi procesi i danas postoje, svedoče strmi otseci na desnoj obali Dunava (slika 54) i na levoj obali Galovice.



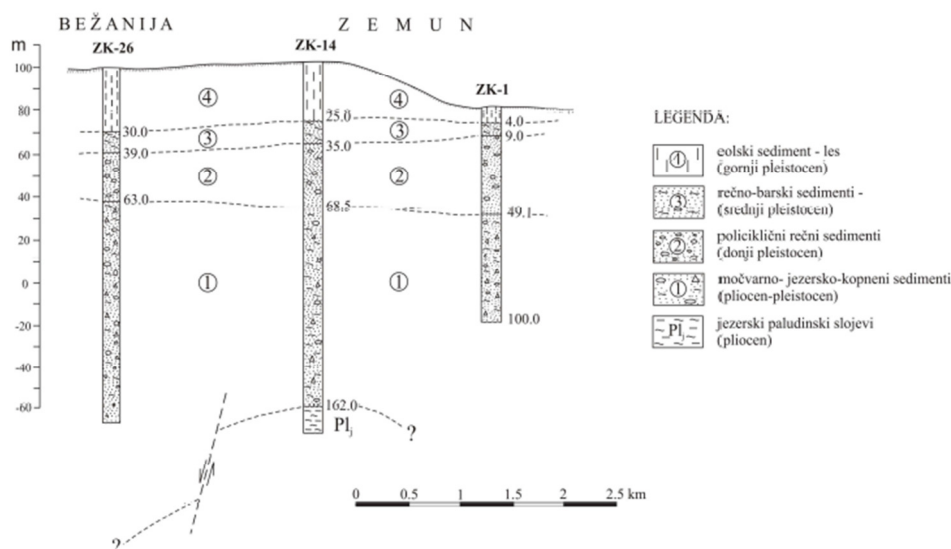
Slika 54. Strmi lesni odsek na obali Dunava između Zemuna i Batajnice
(Rundić i dr.,2009)

U morfološkom pogledu lesne tvorevine zauzimaju hipsometrijski najistaknutije delove kvartara. Izgrađuju plato sa prosečnom apsolutnom visinom oko 100 m. Karakteristika lesnog reljefa su mnogobrojne vrtače, udolice i surdoci. Njihov postanak se objašnjava fizičko – hemijskim procesima. Položaj lesnih tvorevina u odnosu na starije nije dovoljno jasan. U profilima dubokih bušotina leže preko peskovito - glinovitih alevrolita koji su po svojim karakteristikama dosta bliski kopnenim lesovima. Gornja granica lesa je jasno definisana. Mlađi terasni sedimenti se usecaju u lesni plato što je izraženo na svim kontaktima. Debljina lesnih sedimenata, kao i broj slojeva lesa i pogrebenih zemalja mestimično je smanjen usled erozionih procesa. Prosečna debljina ovog dela kvartara iznosi oko 30 – 40 m.

Les je žute boje, bez stratifikacije, porozan sa mnoštvom CaCO_3 konkcija, "lesnih lutkica". Sastav lesa je pretežno peskovito – glinovit, odlikuje se velikim sadržajem prašinaste komponente, promenjivim sadržajem glinovite komponente kao i visokim sadržajem CaCO_3 . U litološkom smislu fosilne, pogrebene zemlje se ne razlikuju od lesa i prema klasifikaciji odgovaraju glinovito – peskovitim alevrolitima.

Barski les, u odnosu na kopneni les, odlikuje se većim prisustvom glinovitih i peskovitih čestica. Konstatovan je kod Rospa Ćuprije, u Višnjici, između Ritopeka i Bolećice. Preko njega leži kopneni les.

Na slici 55. prikazan je uporedni profil bušotina na potezu Bežanija–Zemun.



Slika 55. Uporedni stratigrafski subovi bušotina na potezu Bežanija–Zemun
(Nenadić, Bogićević, 2010)

8.3.3.2.2. Holocen (Q_2)

Sedimenti ovog dela kvartara su rasprostranjeni u aluvijalnim ravnima reka Dunava i Save. Holocen je predstavljen sedimentima fluvijalnog genetskog tipa u kojima su na osnovu morfogenetskih i geoloških karakteristika izdvojene rečne terase (t), facija mrtvaja – starača (am), facija povodnja (ap) i facija korita (a).

Rečne terase (t). Rečne terase se nalaze na velikom prostranstvu uglavnom severno od Save, apsolutne visine 75 – 80 m. Prilikom razmatranja morfogeneze rečne terase Save uočljiva je velika širina pa i debljina (relativna) ovih sedimenata

Korito Save kao i korita njenih pritoka u nedavnoj geološkoj prošlosti, verovatno u starijem holocenu, bila su znatno severnije od današnjih o čemu svedoče napušteni, stisnuti meandri.

Sava sa svojim pritokama u vreme visokih vodostaja (poplava) potkopavala je lesne naslage pretaložavajući ih, te otuda ovi sedimenti imaju izgled barskog lesa.

Dinamičkom evolucijom Sava je usled dejstva tektonskih pokreta pomerala svoje korito ka jugu ostavljajući svoje deponate kako je gore opisano. U pretaložavanju lesnog materijala učestvovala su i pritoke Save koje su tekle sa severa od Fruške Gore. Jedna od njih je i Fenečka bara koja ima oblik napuštenog meandra. Slični meandri postoje i kod Dobanovaca.

U litološkom smislu sedimenti terase Save su lesolike gline, sugline i supeskovi sa međusobnim prelazima. U sedimentološkom pogledu to su heterogeni sedimenti loše sortiranosti, obrazovani pri relativno niskoj energiji, dosta sitnog zrna i znatnog stupnja alteracije. Sedimenti su najčešće žućkasto – smeđe boje sa čestim gvožđevitim i karbonatnim koncentracijama.

Facija starača – mrtvaja (am), facija povodnja – peskovi i alevritični peskovi (ap), facija korita (a) – ade, plaže. Na velikom prostoru aluvijalne ravni Dunava i Save sa prosečnom visinom od 71 do 75 m rasprostranjeni su sedimenti fluvijalnog genetskog tipa, debljine više desetina metara. U njima su terenskim radovima na osnovu morfogenetskih i geoloških karakteristika izdvojene: facija starača – mrtvaja (am), facija povodnja – peskovi i alevritični peskovi (ap), facija korita (a) – ade, plaže.

Facija starača – mrtvaja (am). Sedimenti ove facije nalaze se severno od Beograda, na levoj obali Dunava u pančevačkom ritu. Nastali su u velikim, strmim meandrima Dunava, presecajući slojeve sa *Corbicula fluminalis* ili njihove ekvivalente. Od aluvijalnih deponata nalaze se najčešće barski alevriti, sivo plave boje. Facija povodnja – peskovi i alevritični peskovi (ap). Ova facija je u tesnoj uzročnoj i posledičnoj vezi sa facijom mrtvaja. Ovakva pojava je opšte prirode i vezana je za dinamičku evoluciju kroz koju Dunav i Sava prolaze izgrađujući određene delove svog uzdužnog profila. Na ovom delu doline, verovatno usled izdizanja korita (neotektonski pokreti) dolazi često do tonjenja akumulativne ravni. Na taj način je nastao Pančevački rit koji je periodično plavljen sve do 1928. godine kada su duž obale Save, Dunava i Tamiša podignuti nasipi. Osnovni članovi ove facije su peskovi i alevritični peskovi čija debljina iznosi 5 – 10 m (Marković i dr. 1985).

Facija korita (a) – ade, plaže. Ova facija se može neposredno posmatrati duž Save i Dunava. Njeni osnovni članovi su peskovi sa primesama glinovite i alevritične komponente. Kod njih se uočava fina stratifikacija i pravilnost u sedimentaciji i facijalnom rasporedu što je osobenost aluvijalne facije. Debljina sedimenata facije korita iznosi 5 - 10 m (Marković i dr. 1985).

Proluvijalni genetski tip (pr). Proluvijalni genetski tip (pr) karakteriše se brojnim plavinskim konusima na strmim lesnim padinama u okolini Surčina. Opšta karakteristika ovih deponata jeste nesortiranost materijala uz izvesnu gradacionu stratifikaciju posmatrano od korena ka perifernim oblastima konusa (Marković i dr. 1985).

Deluvijalni genetski tip (d). Deluvijalni deponati su zastupljeni na kosim brdskim padinama u okviru kvartara (les). Predstavljani su redovno supeskovima i suglinama (Marković i dr. 1985).

Recentne bare (b). U okviru aluvijalne ravni Dunava i Save u današnjem reljefu jasno se zapažaju udubljenja lučnog oblika čiji se pravci uglavnom poklapaju sa pravcem tokova pomenutih reka. To su stari meandri nekadašnjih vodotokova Dunava i Save sa zabarenim delovima terena i barskom vegetacijom (Marković i dr. 1985).

8.4. MAGMATIZAM

Početak magmatskih aktivnosti na delu istražnog terena južno od Save i Dunava konstatovan je početkom jure. Magmatski procesi intenzivirali su se tokom dogera i malma, nastavljaju se tokom kredne periode, a traju sve do periode tercijara. U tercijaru su formirane magmatske tvorevine konstatovane istražnim bušenjem ili su otkrivene na površini terena.

Jurski magmatizam, obuhvata dve grupe magmatita različitih po starosti i po sastavu:

- 1) ultrabazični i bazični – formiran je ofiolitsko-radiolarijski kompleks u okviru koga se izdvaja ofiolitska serija i vulkanogeno-sedimentna serija.

U ofiolitskoj seriji najveće rasprostranjenje imaju serpentiniti, gabrovi, dijabazi, melafiri, kvarcdioriti i pegmatiti. Serpentiniti su otkriveni od Dunava, preko Avale, javljaju se na Kosmaju u oblasti Nemenikuća i Koraćice, a dosežu do V. Ivanče. Širina ove zone iznosi do 2 km. U serpentinitima Avale konstatovane su kvarcitne i kvarcitno-karbonatne mase, što je posledica naknadnih hidrogeotermalnih delatnosti (Dimitrijević B., 1931).

Odnos serpentinita prema sedimentima krede i tercijara na pojedinim mestima je veoma jasno izražen, dok je na izvesnim delovima terena maskiran. Serpentiniti su najstarije tvorevine na ovom delu terena i oni čine podlogu mezozojskim i tercijarnim tvorevinama. Serpentiniti su u površinskim delovima jako ispucali, a pukotine su delimično zapunjene rastresitim materijalom koji je stvoren od samih serpentinita. Na većim dubinama pojava pukotina je retka, dok su im dimenzije znatno veće u odnosu na površinske. Dijabazi i melafiri su vezani za vulkanogeno-sedimentnu faciju gornje jure. Ove stene javljaju se i u gornjokrednom avalskom flišu, kao najmlađi dijabazni vulkanizam u ovoj oblasti.

2) granitoitski magmatizam

Kredni magmatizam:

- 1) spilitiski magmatizam se razlikuje tokom neokoma, odnosno tokom gornje krede. Neokomski magmatizam je podmorskog bazičnog karaktera, a javlja se u vidu izliva u sedimentnim članovima ili probija starije tvorevine. Spiliti neokoma (sa aptihusima) otkriveni su u Resniku, Rušnju i Ripnju (potok Dučevac), odnosno na prostoru Ripnja i Bele reke (izlivi spilita u sedimentnim stenama), gde je poznat ripanjski kersantin. Spiliti gornje krede otkriveni su u okolini Resnika. Fonoliti (slika 56) javljaju se u Jelezovačkom potoku i na Banjici, gde verovatno probijaju kredne sedimente.
- 2) andezitski magmatizam konstatovan je u Resniku i Beloj reci (trahit)



Slika 56. Izdanak fonolita u desnoj obali potoka Jelezovac na Banjici
(Rundić i dr. 2009)

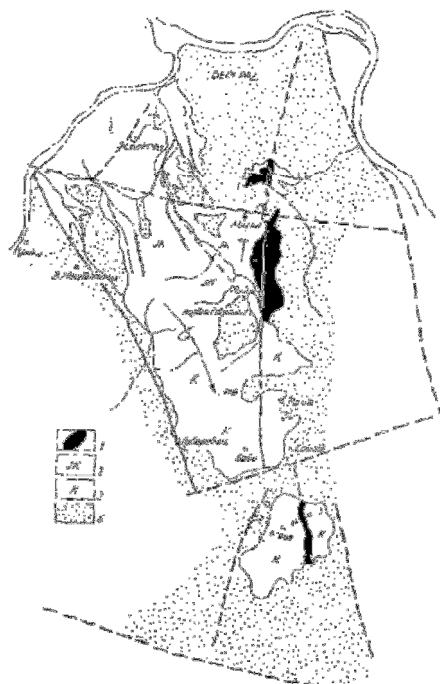
Tercijarni magmatizam:

- 1) plutoniti imaju intruzivni karakter, a prostiru se od Avale, preko Kosmaja, Brajkovca, Rudnika i Kopaonika. Njihov pravac pružanja prati pružanje šumadijske dislokacije. Plutonske stene granitoidnog sastava otkrivene su na Kosmaju (kvarcmonconit), dok se u dubljim delovima terena javljaju na Avali.
- 2) vulkaniti su prisutni na Avali, gde se prema B. Dimitrijeviću (1931) razlikuju beskvarcni (lamprofiri, kersantiniti) i kvarcni-riolit. Vulkaniti se javljaju na prostoru između Baba, Stojnika i Guberevca, a konstatovani su na Kosmaju.

Produkti vulkanske aktivnosti (trošni tufovi) konstatovani su u Slanačko-gročanskom basenu.

8.5. TEKTONSKE KARAKTERISTIKE ISTRAŽNOG PODRUČJA (STRUKTURNE KARAKTERISTIKE)

U tektonskom pogledu najveći deo istražnog terena pripada šumadijskoj zoni, u okviru koje se razlikuje beogradsko-kosmajski blok i blok Bukulja-Venčac (Petković, 1976, prema Anđelkoviću). Beogradsko-kosmajski blok predstavlja izdiguti deo Šumadijske mezozojske grede (slika 57). Na severu se graniči sa banatskim blokom, na jugu sa tektonskim blokom Venčac-Bukulja, na istoku sa kragujevačko-trsteničkom dislokacijom i na zapadu sa ljiško-milanovačkom dislokacijom.



Legenda: 1–serpentiniti, 2–jursko-kredne tvorevine, 3–kredne tvorevine, 4–kenozojske tvorevine

Slika 57. Tektonska skica beogradsko-kosmajskog bloka
(Petković 1976, prema Anđelkoviću)

Na istražnom terenu uočavaju se tektonske strukture meridijanskog pravca pružanja, SSZ–JJI, dok se u mlađim mezozojskim sedimentima zapažaju strukture pravca I–Z. Od tektonskih oblika na terenu konstatovani su rasedi (uzdužni, poprečni i dijagonalni), zatim navlake, kraljušti i plikativne strukture.

Od Kosmaja na jugu do Beograda na severu javlja se veliki broj dislokacija koje su po stepenu i karakteru različite. Duž Topčiderske reke pruža se niz raseda meridijanskog pravca pružanja. Ovaj rased je podeljen na posebne delove poprečnim rasedima koji su nastali kasnije. Pored ovih raseda javljaju se i drugi manji, pretežno vertikalni rasedi.

Od vertikalnih raseda važno je spomenuti resničko-žarkovački, rakovički, vezirski i kneževački rased. U ovom delu istražnog terena od dijagonalnih raseda zaslužnih za današnji izgled terena valja spomenuti ripanjski, rušanjski, barajevski, kijevisko-kneževački, rakovički, banjički, topčiderski. Veliki broj ovih raseda daje delu istražnog terena koji je izgrađen od mezozojskih stena parketnu strukturu (primer Straževica i obod Makiša).

U toku izrade vodovodnih tunela pri probijanju mezozojskih sedimenata konstatovani su rasedi većih dimenzija. Neki od tih raseda usloveli su izdvajanje krednih krečnjaka u veće blokove. Na mnogim mestima, pošto su stariji sedimenti pokriveni mlađim kvartarnim tvorevinama, duboki rasedi i rasedne zone su maskirani, pa su mogli da budu konstatovani tek na osnovu podataka dobijenih istražnim bušenjem.

U centralnom delu istražnog terena ističe se navlaka koja se nalazi u zoni Ripnja, a može se pratiti od potoka Dučevca do donjeg toka Bele reke. U ovom delu terena došlo je do navlačenja vulkanogeno-sedimentnog kompleksa i facija gornje jure preko neokomskog fliša.

Sistem paralelnih reversnih raseda lociran je u zoni Petrov grob-Devojački grob, u izvorišnom delu Železničke reke. Zapaža se da preko aptiških slojeva leže gornjojurski krečnjaci. Takođe, u zoni Rušnja uočava se nenormalan odnos između titoskih sedimenata i sedimenata alba.

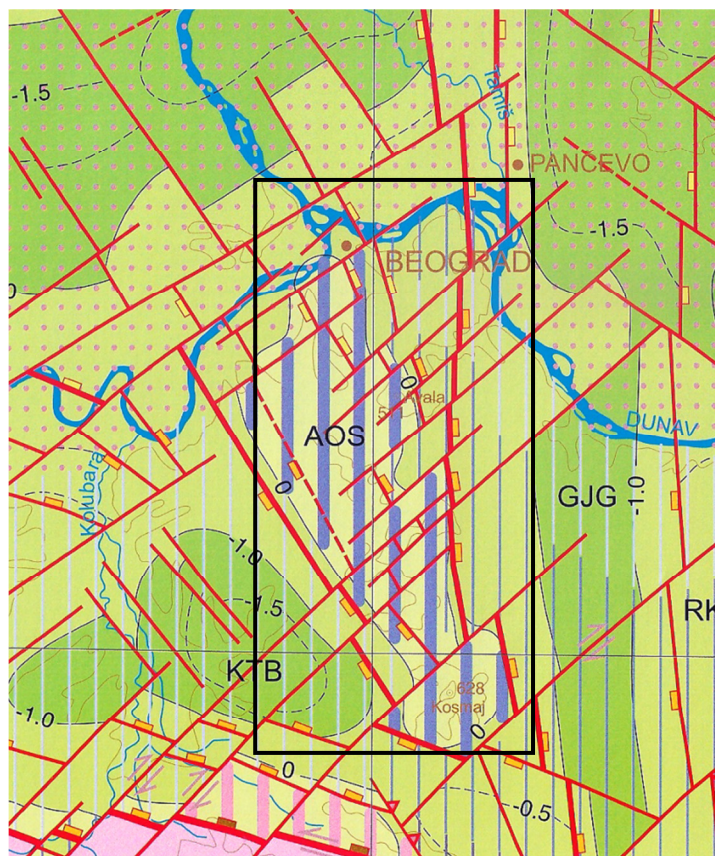
U toku miocena na pojedinim delovima terena, kao što je već rečeno, postoji kontinualna sedimentacija. Posmatrajući geološke profile na pojedinim mestima, uočava se konkordantnost cele neogene serije, dok na drugim mestima naslage tortona leže transgresivno preko mezozojskih stena. Na nekim mestima sedimenti sarmata i panona leže diskordantno i transgresivno preko krednih tvorevina. Ovo ukazuje na oscilacije nivoa mora i neprestano pomeranje obalskih linija, što se javlja kao rezultanta različitih unutrašnjih neogenih pokreta.

U lokalnosti "krečane" u Rakovici, u okviru sarmatskih krečnjaka zapažaju se pojave horizontalnog kretanja blokova krečnjaka duž vertikalnih raseda što svakako ukazuje na veći intenzitet postsarmatskih tektonskih pokreta. Svi ovi rasedi koji se nalaze u mezozojskim i tercijarnim tvorevinama su od posebnog značaja za hidrogeološke prilike u pojedinim delovima istražnog prostora. Oni prekidaju vodonosne horizonte, mestimično ih povezuju i omogućavaju da se dublji vodonosni horizonti dobro hrane vodom kao i da se voda iz dubljih horizonata preliva u pliće vodonosne horizonte.

Plikativni oblici na istražnom području su značajni, ali su brojnim rasedima deformisani, poremećeni i ne mogu se pratiti na većim prostranstvima. Od plikativnih oblika javljaju se nabori, antiklinale i sinklinale kao makrooblici, a ima i plikativnih oblika manjih dimenzija. Na istražnom području javljaju se i navlačenja kojih naročito ima u dolini Topčiderske reke. Avalske fliš je zahvaćen jakom subhercinskom orogenezom, dok je ostružnički fliš mirniji, stvaran posle ili u toku subhercinske orogeneze.

Važno je pomenuti tektonsku strukturu Košutnjaka, koja je izdeljena poprečnim rasedima na blokove. U ovom delu terena rakovički i topčiderski rased odvajaju Košutnjak od Topčidera i Dedinja. Od plikativnih oblika izdajaju se sinklinala Žarkova, sinklinala i antiklinala Košutnjaka, antiklinala Barajeva i avalska antiklinala.

Na području grada Beograda ističu se dve horstovske strukture, horst Avala-Koviona i horst Kosmaja (slika 58).



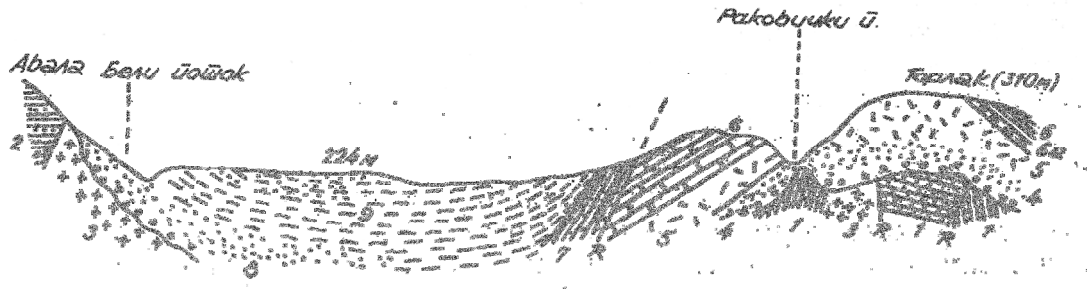
Legenda:



Izdizanje horstovskih struktura od kraja panona do kvartara

Slika 58. Detalj neoalpske tektonske karte Srbije (Marović i dr.,2007)

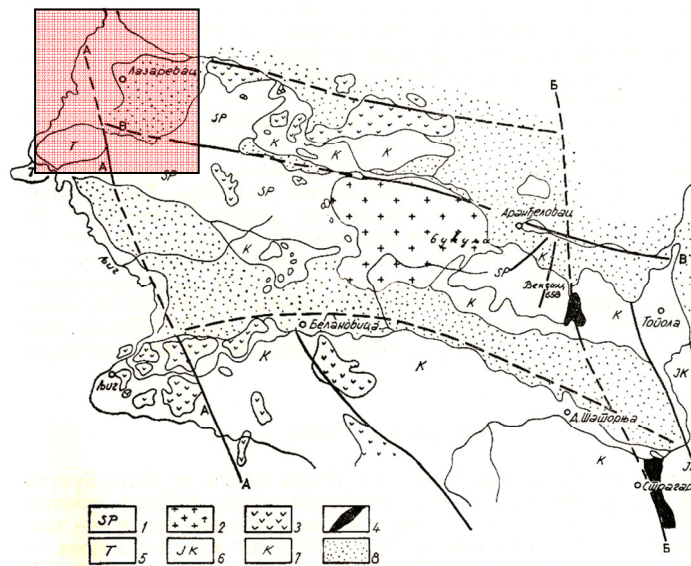
Horstovske strukture su okružene depresijama od kojih se izdvajaju Kneževac–Žarkovo, Ripanj, Ralja, Sopot (razdvaja horst Avale od Kosmaja). U okolini Avale uočljiv je tektonski rov Belog Potoka (slika 59). Sve navedene strukture najvećim delom su se formirale tokom donjeg pontaa. Dok, je najveći deo horstovske strukture Avala–Koviona i horst struktura Kosmaja izdignuti su u kasnom panonu (Marović i dr.,2007).



Legenda: 1–kredni pešćari i glici (alb); 2–silifikovani krečnjaci; 3–daciti; 4–rakovički peskovi tortona; 5–lajtovački krečnjak; 6–sarmatski krečnjak; 6a–gljne; 7–panonski laporci; 8–donjopontski peskovi; 9–gornjopontski laporci

Slika 59. Poprečni profil kroz pont belopotocke rov-sinklinale i miocen Torlaka (Anđelković, 1987, prema Stevanović P., 1951)

Krajnji južni delovi istražnog terena tektonski pripadaju bloku Bukulja-Venčac i to njegovom severozapadnom delu terena (slika 60).



Legenda: 1–stariji paleozoik, 2–hercinski bukuljski granit, 3–kredno-tercijarni vulkaniti, 4–serpentiniti, 5–trijaske tvorevine, 6–jursko-kredne tvorevine, 7–kredne tvorevine, 8–tercijer, A–ljiško-milanovačka dislokacija, B–šumadijska dislokacija, V–arandžlovačka dislokacija

Slika 60. Tektonska skica tektonskog bloka Bukulja-Venčac (Petković 1976, prema Anđelkoviću)

IV. HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERITORIJE GRADA BEOGRADA SA ASPEKTA KORIŠĆENJA ENERGETSKOG POTENCIJALA PODZEMNIH VODA

9. PRIKAZ DOSADAŠNJIH HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA

Prvi podaci vezani za izučavanje podzemnih voda na teritoriji grada Beograda odnose se na pojave mineralnih i termomineralnih voda. Naročitu pažnju istraživača privlačila je Višnjička banja, Obrenovačka banja, zatim teren na lokaciji Ovče, kao i delovi terena mladenovačkog tercijarnog basena. Međutim, posmatrano u odnosu na geološka istraživanja sa početka dvadesetog veka, hidrogeološka istraživanja imaju regionalni karakter, manjeg su obima i intenziteta.

Otvaranjem beogradskog vodovoda, 1892. godine započinju hidrogeološka istraživanja podzemnih voda na delu Makiškog polja. Prva istraživanja geološkog sastava terena i zaključke o poreklu makiških podzemnih voda izveo je Radovanović. Rezultate istraživanja Radovanović je izložio u vidu hidrogeološkog ekspozea 1894. godine, koji "je bio glavni oslonac pri konačnom donošenju odluke o proširivanju vodovoda u Makišu..." (Grubić, 1997).

Razvoj industrije i povećanje broja stanovnika u gradovima 60-tih godina prošlog veka iziskuje potrebu za organizovanim korišćenjem podzemnih vodnih resursa, te se vrše namenska hidrogeološka istraživanja, pre svega za potrebe vodosnabdevanja.

Najveći broj dubokih istražnih bušotina izveden je tokom 70-tih i 80-tih godina prošlog veka. Dobijeni podaci su od velikog značaja, jer je pre svega sagledana hidrogeološka građa dubljih delova terena, te su konstatovane termomineralne pojave na delovima terena, do tada neperspektivnim, sa hidrogeološkog aspekta. Neke od pomenutih istražnih hidrogeoloških bušotina su: bušotina Km-1 u "Soko-Štarku" (303 m), bušotina LB-2 u Leštanima (800 m), bušotina OB-1 u Obrenovačkoj banji (605 m), bušotine u Vraniću...Hidrogeološka istraživanja na delu Ovče započeta 1939. godine još uvek su aktuelna, a bušotine na ovoj lokaciji rađene su u više navrata, pomenute 1939. god., zatim 1952. god, te 1986. godine.

Najraniji podaci o geotermalnim karakteristikama terena vezuju se za istraživanja mladenovačkog terciarnog basena, izvedena od strane Radovanovića. U istom periodu započinju i hidrogeološka istraživanja Banje Selters i Koraćičke banje koja su aktuelna i danas.

U istočnim delovima područja grada Beograda tokom 70-tih godina prošlog veka vršena su hidrogeotermalna istraživanja. Izbušena je duboka bušotina u Grockoj (1400 m), zatim izbušen je niz bušotina u dolini Zavojničke reke, na potesu između Leštana i Vrčina. Na jugu istražnog terena, u Čibutkovici, tokom 1982. godine izbušena je duboka bušotina (1000 m). Novija hidrogeotermalna istraživanja (period od 2005. godine) na teritoriji grada Beograda, najvećim delom se odnose na mogućnosti eksploatacije i korišćenja podzemnih voda uz korišćenje toplotnih pumpi.

Gradska uprava grada Beograda u saradnji sa Rudarsko-geološkim fakultetom započela je značajne studije i projekte iz oblasti istraživanja hidrogeotermalne energije. Najbolji primer jeste korišćenje podzemnih vodnih resursa za potrebe grejanja i hlađenja u sledećim javnim ustanovama:

- Kombinovana dečija ustanova u Bloku 12 na Bežanijskoj Kosi
- Kombinovana dečija ustanova u Bloku 61 na Novom Beogradu
- Centar za smeštaj i dnevni boravak dece i omladine ometene u razvoju–Dnevni boravak, Ulica Šekspirova, Dedinje
- Stambeno-poslovni kompleks (1200 socijalnih stanova i 200 stanova solidarnosti) u Ovči

U narednom tekstu hronološkim redom prikazani su istraživači koji su svojim radom doprineli sagledavanju hidrogeoloških prilika terena teritorije grada Beograda.

S. Lozanić (1886) objavljuje veći broj podataka vezanih za hemijski sastav pijaćih voda Beograda.

Z. Jovičić (1891) u Geološkim analizama Balkanskog poluostrva objavljuje hemijske analize Bele Vode i Smrdan Bare.

M. T. Leko (1899, 1922) prikazuje podatke o hemizmu podzemnih voda višnjičke i obrenovačke banje.

S. Radovanović (1894, 1987, 1907) izučava geologiju makiškog polja i rezultate objavljuje u radu “O makiškoj podzemnoj vodi u geološkom pogledu”. Radovanović S., započinje geotermalna istraživanja na delu teritorije mladenovačkog tercijarnog basena. Za potrebe sagledavanja geotermalnih karakteristika izbušeno je osam istražnih bušotina. Pomenuta istraživanja predstavljaju začetak istraživanja geotermalne energije na našim prostorima. Rezultati istraživanja objavljeni su u knjizi “Podzemne vode” i u radu „O geotermnom stupnju tercijarnog terena oko Mladenovca“.

M. T. Luković (1946) u radu “Podzemne vode Beograda” iznosi podatke o hemijskom sastavu mineralnih voda iz dubokih bušotina na teritoriji grada.

V. Laskarev (1949) objavljuje hemizam mineralnih voda Ovče, koje su bile predmet proučavanja tokom 1938. i 1939. godine.

N. Milojević (1959, 1961, 1962, 1963, 1964, 1971, 1972, 1975) vrši istraživanja dela beogradske teritorije u periodu od 1955 god. do 1958. godine za potrebe vodosnabdevanja naselja i industrije. Rezultate pomenutih istraživanja objavljuje u Geološkim analizama Balkanskog poluostrva pod nazivom “Hidrogeološke prilike Srema”. Narednih godina nastavljaju se istraživanja na delu Beograda i njegove okoline kroz prikaz hidrogeoloških prilika Avale i Pančevačkog Rita. Rezultate istraživanja područja Avale, 1963. god. Milojević objavljuje u radu pod nazivom “Hidrogeološke prilike Avale”, dok su rezultati hidrogeoloških istraživanja Pančevačkog rita objavljeni u radu (1961) “Hidrogeologija terena između Dunava i Tamiša (Pančevači rit)”. Mineralne vode mladenovačkog basena zaokupile su pažnju N. Milojevića, te rezultate istraživanja objavljuje 1964. godine u Geološkim analizama balkanskog poluostrva pod nazivom “Mineralne vode Srbije-Hidrogeologija ugljokiselih voda: Mladenovačka, Palanačka i Lomnička kisela voda“.. Intenzivna hidrogeološka istraživanja vrše se tokom 1968. i 1969. godine, da bi sav prikupljen materijal bio objavljen u monografiji “Hidrogeologija teritorije grada Beograda”. U okviru monografije urađena je i hidrogeološka karta razmere 1:100 000. Milojević N., zajedno sa autorima prethodno pomenute monografije, Filipović B. i Dimitrijević N. objavljuje rad “Pojave mineralnih, termalnih i termomineralnih voda na teritoriji grada Beograda”. U radu su analizirane pojave na široj teritoriji grada Beograda (Ritopek, Jakovo, Kupinovo, Ovča, Obrenovačka banja) sa osvrtom na uslove formiranja hemijskog sastava pojedinih tipova voda.

Takođe, hemizam podzemnih voda teritorije Beograda predmet je rada pod nazivom “Formiranje termalnih, termomineralnih i mineralnih voda u karakterističnim hidrogeološkim strukturama pojedinih rejona u široj okolini Beograda”, objavljenoh 1972. godine.

M. Janjić i S. Radojčić (1960) prikazuju detaljne geološke i hidrogeološke prilike terena Obrenovačke banje, kaptirane pojave i hemizam podzemnih voda u radu “Prilog poznavanju termomineralnih voda NR Srbije–Obrenovačka banja”.

N. Dimitrijević (1963, 1965, 1966, 1971, 1975, 1982, 1983, 1985) objavljuje veliki broj radova vezanih za hidrohemijske karakteristike podzemnih voda na teritoriji Beograda. Fizičko-hemijska svojstva podzemnih voda formiranih na široj teritoriji Avale i zavisnost hemizma voda od geološkog sastava terena tretirani su između ostalog u radu “Hidrogeološke prilike Avale”. Rezultati hidrohemijskih istraživanja ovog dela terena prikazani su i grafički, na hidrohemijskoj karti šire okoline Avale koja prati tekst rada. Problematika hemizma podzemnih voda formiranih na teritoriji Beograda i rezultati istraživanja prikazani su radu pod nazivom “Hemijski sastav podzemnih voda iz mezozojskih i tercijarnih sedimenata Beograda i okoline”, zatim u radu “Hidrohemijske karakteristike podzemnih voda karstne izdani u okviru sarmatskih krečnjaka u okolini Beograda”. U zborniku radova “Gasovi u podzemnim vodama s posebnim osvrtom na njihovo prisustvo u mineralnim vodama Srbije” Dimitrijević N. posebno tretira pojave u okolini Beograda sa aspekta fizičko-hemijskih osobina (Kupinovo, Obrenovačka banja, Jakovo, Leštani, Kumodraž, Koraćica). Podzemne vode Beograda tretirane su i sa aspekta izotopskog sastava, a rezultati istraživanja prikazani su u radu “Prikaz nekih karakteristika hemijskog i izotopskog sastava prirodnih voda na teritoriji Beograda”, autora N. Dimitrijević, M. Hadžišeković i D. Spasove. Sistematizovani podaci vezani za hemijske karakteristike podzemnih voda teritorije Beograda objavljeni su u monografiji “Hidrogeologija teritorije grada Beograda”. Dimitrijević N. tokom 80-tih godina prošlog veka učestvuje u hidrogeološkim istraživanjima vezanih uglavnom za mogućnosti vodosnabdevanja područja Barajeva, Manića, Boždarevca.

B. Filipović (1963,1965,1971,1975,1976,1982, 1983, 1985, 1991, 2003, 2005) značajan deo svojih istraživanja usmerava na sagledavanje hidrogeoloških karakteristika Beograda i njegove šire okoline, te na hidrohemijske karakteristike i uslove formiranja hemijskog sastava podzemnih voda teritorije grada Beograda.

Monografiji “Hidrogeologija teritorije grada Beograda”, gde se B. Filipović potpisuje kao koautor, predhodili su radovi vezani za hidrogeološku rejonizaciju teritorije grada Beograda, zatim radovi vezani za “Hidrogeološke prilike Avale”, “Hidrohemijske karakteristike podzemnih voda karstne izdani u okviru sarmatskih krečnjaka u okolini Beograda”, kao i radovi: “Hidrohemijske karakteristike voda šire teritorije Beograda i osnovni uslovi njihovog formiranja”, “Hydrochemical characteristics of groundwaters in sarmatian and mediterranean–II limestones in the vicinity of Belgrade”, “Pojave mineralnih, termalnih i termomineralnih voda na teritoriji grada Beograda” i “Mogućnosti korišćenja termomineralnih voda u naselju Braće Jerković u Beogradu”. Detaljna hidrogeološka istraživanja terena južno od Beograda izvode se pod rukovodstvom B. Filipovića. Tokom 80-tih godina prošlog veka urađena je “Hidrogeološka studija područja SO Barajevo sa aspekta mogućnosti vodosnabdevanja” iz koje su kasnije usledili radovi i izveštaji o postignutim rezultatima: “Izveštaj o izvedenim hidrogeološkim istraživanjima u lokalnostima sela Manić i Boždarevac (SO Barejevo)”, “Izveštaj o izvedenim hidrogeološkim istraživanjima za potrebe vodosnabdevanja MZ Slatina (SO Sopot)”. Hidrogeološke karakteristike Beograda i šire okoline sublimirane su i kroz udžbenik “Regionalna hidrogeologija Srbije” (Filipović B., Krunić O., Lazić M.), dok su pojave mineralnih voda teritorije grada Beograda sublimirane u monografiji “Mineralne, termalne i termomineralne vode Srbije”.

P. Stevanović (1964) u radu “Barajevo i okolina” opisuje karstne oblike (pećina V. Jazovik) i pojave karstnih izvora (vrela Trajan, vrela Točak).

J. Živković (1966, 1967, 1969, 1971, 1972, 1974, 1975) doprinos hidrogeološkom poznavanju dela teritorije Beograda dao je kroz svoju doktorsku disertaciju “Formiranje hidrogeoloških kolektora u donjem toku Save kao izvorišta za vodosnabdevanje Beograda”. Istraživanja i radovi koji su prethodili doktorskoj disertaciji takođe su vezani za zonu beogradskog izvorišta, i to za Makiško polje i Adu Ciganliju. Živković J. 1966. godine objavljuje rad u kome iznosi procenu rezervi podzemnih voda desne obale Save, pod nazivom “Procena izdašnosti Beogradskog izvorišta od ušća reke Save do Ostružnice, sa osvrtom na probleme snabdevanja Beograda podzemnom vodom za piće”. Pored izučavanja hidrogeoloških svojstava ovog dela terena, u fokusu istraživanja su bili reni bunari, njihovo projektovanje i izgradnja.

Deo ovih istraživanja publikovan je 1967. god. u radu “Zavisnost opadanja specifične izdašnosti “Reni” bunara na beogradskom izvorištu, od granulometrijskog sastava kolektora podzemne vode”, i u 1969. god. u radu pod nazivom “Hidrogeološke karakteristike makiške izdani kod Beograda sa prikazom kaptiranja izdanske vode pomoću reni bunara”. Postignuti rezultati na izučavanju reni bunara i njihove regeneracije objavljeni su 1974. god. od strane J. Živkovića, M. Đinđića i D. Milenovića, pod nazivom “Prikaz primenjene metode i postignutih efekata regeneracije reni bunara na beogradskom izvorištu”. Iste godine J. Živković objavljuje rezultate istraživanja izvedenih na bežanijskom polju sa aspekta problematike kaptiranja podzemnih voda pod nazivom “Hidrogeološki uslovi kaptiranja izdanske vode pomoću reni bunara na bežanijskom polju kod Beograda”.

Delovi beogradskog izvorišta, i to desna obala reke Save, u delu teritorije Boljevac predmet je magistarskog rada **S. Vujasinovića** (1975) pod nazivom “Hidrogeologija priobalja reke Save od Boljevaca do Ostružnice sa prognozom kapaciteta izvorišta primenom matematičkog modeliranja”. Problematikom zaštite podzemnih voda beogradskog izvorišta bavi se isti autor u svojoj doktorskoj disertaciji (1983) pod nazivom “Zaštita podzemnih voda u aluvijalnim nanosima sa posebnim osvrtom na izvorište Beograd”. Kasnijih godina, hidrogeološkom problematikom ovog područja bavili su se i S. Vujasinović, I. Matić i A. Ložajić “Hidrogeološka problematika zagađivanja i zaštite beogradskog izvorišta”.

J. Perić (1971, 1975, 1979, 1980, 1981, 1982, 1984) svoja istraživanja usmerava ka proučavanju geotermalne energije. Veliki broj radova objavljuje kao koautor sa M. Milivojevićem vezanih upravo za mogućnosti iznalaženja i korišćenja geotermalne energije na užoj teritoriji Srbije. Na području teritorije grada Beograda, geotermalna istraživanja izvedena u zoni šumadijske mezozojske grede. Rezultati istraživanja objavljeni su u radu pod nazivom “Geotermalna potencijalnost područja Avala–Kosmaj–Bukulja–Rudnik”. Na jugoistočnim padinama Kosmaja, na teritoriji Banje Koraćice izvedena je duboka geotermalna bušotina. Rezultati su prikazani u izveštaju J. Perića i M. Milivojevića “Izveštaj o rezultatima izrade istražne geotermalne bušotine KB-2 u Koraćičkoj banji kod Mladenovca”. Zapadno od pomenute šumadijske grede, u lokalnosti Vranića J. Perić projektuje eksploatacioni bunar dubine 240 m. Geotermalna istraživanja pod rukovodstvom J. Perića izvedena su na području Vrčina i gročanskog podunavlja. U periodu 1983–1984 god. izbušeno je 10 istražnih bušotina dubine 45-160 m na široj okolini Vrčina, dok je u Grockoj izbušena istražna bušotina dubine 1400 m.

M. Komatina (1972, 1973, 1976) bavi se problematikom korišćenja podzemnih voda za potrebe vodosnabdevanja naselja i industrije naročito u delu Pomoravlja i Šumadije sa aspekta kvaliteta, količina i racionalnog korišćenja. U studiji “Hidrogeologija Šumadije” sagledava hidrogeološke i hidrohemijske karakteristike terena od ušća Save i Dunava na severu do Kruševca na jugu, zahvativši deo beogradske teritorije. Mogućnosti kaptiranja podzemnih voda, hidrodinamičke karakteristike izdani, kao i kvalitet podzemnih voda prikazani su za delove terena okoline Mladenovca, Grocke, i za delove kolubarske oblasti. U svom radu navodi hidrogeološka istraživanja vršena za potrebe odvodnjavanja i vodosnabdevanja kolubarskog ugljonosnog basena, zatim izvođenje istražnog bušenja u Mladenovcu i okolini pre 1963. godine. Nakon 1963. godine nastavljeno je sa izvođenjem istražnih bušenja u kolubarskom basenu, kao i sa izvođenjem hidrogeološkog rekognosciranja oblasti Šumadije. Pomenuta studija objedinjuje rezultate istraživanja do 1967. godine.

M. Milivojević (1975, 1976, 1979, 1980, 1981, 1982, 1989, 1996, 2000, 2003) svojim istraživanjima daje veliki doprinos poznavanju geotermalnih karakteristika i geotermalne potencijalnosti Srbije, te samim tim i teritorije Beograda. Početak geotermalnih istraživanja vezan je za delove terena Avale, i njene šire okoline. Kroz magistarsku tezu 1979. godine prikazuje paleohidrogeotermalne pojave i njihov značaj za otkrivanje ležišta i izvorišta geotermalne energije u okolini Avale. Kasnijih godina usledila su dalja istraživanja Avale, te M. Milivojević rezultate objavljuje u radu “Paleohidrogeotermalne pojave kao indikatori postojanja visokotemperaturnih ležišta geotermalne energije u okolini Avale”. Detaljna geotermalna istraživanja Avale prikazana su u monografiji 1982. godine pod nazivom “Paleohidrogeotermalne pojave Avale”. U pomenutoj monografiji objedinjeni su podaci geoloških, hidrogeoloških i hidrogeotermalnih istraživanja na području Avale i njene šire okoline (Zavojnička reka) u periodu 1975-1981. U svojoj doktorskoj disertaciji (1989) Milivojević daje ocenu geotermalnih resursa teritorije SR Srbije van teritorija SAP. Tokom 90-tih godina Milivojević objavljuje veći broj radova koji se bave problematikom ekonomske opravdanosti korišćenja geotermalne energije, zatim problematikom izotopskog sastava podzemnih voda kao indikatora postojanja geotermalne energije, te se posmatra veza između starosti hidrogeotermalnih resursa i klimatskih promena. Tokom 2000-tih godina M. Milivojević i M. Martinović kroz radove “Geothermal energy possibilities, exploration and future prospects in Serbia” i “Utilisation of geothermal energy in Serbia” prikazuju presek stanja i pravce daljih istraživanja geotermalnih resursa u Srbiji.

Boljem poznavanju hidrogeoloških karakteristika teritorije grada Beograda doprinela su istraživanja izvedena u okviru Projekata detaljnih hidrogeoloških istraživanja, Elaborata o rezervama podzemnih voda, te u okviru Studija i Izveštaja izrađenih na Rudarsko-geološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Takođe, značajan obim istraživanja izveden je od strane Instituta za vodoprivredu "Jaroslav Černi", nekadašnje "Geosonde", zatim nekadašnje "Hidrosonde", "Geozavoda". U narednom tekstu pobrojan je deo fondovskog materijala RGF-a i pomenutih instituta, odnosno hidrogeoloških firmi.

Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu:

- Filipović B., Lazić M., 1983: Projekat hidrogeoloških istraživanja mineralnih i termomineralnih voda u široj okolini Obrenovca
- Filipović B., Dimitrijević N., Stevanović Z., 1984: Hidrogeološka studija šire okoline Obrenovca sa aspekta mogućnosti iskorišćavanja termomineralnih voda, I-a faza
- Filipović B., Dimitrijević N., Lazić M., 1985: Izveštaj o izvedenim hidrogeološkim istraživanjima na području opštine Barajevo
- Filipović B., Stevanović Z., 1986: Hidrogeološka studija termomineralnih voda na području Obrenovca, II-a faza
- Lazić M., Jevtović B., 1990: Izveštaj o izvedenim istražno-eksploatacionim bunarima IBL/90 u Lisoviću i IB-2/90 u Barajevu
- Filipović B., Lazić M., Jevtović B., 1991: Izveštaj o izvedenim hidrogeološkim istraživanjima za potrebe vodosnabdevanja MZ Slatina (SO Sopot)
- Grupa autora, 1991: Fondovski materijal hidrogeoloških istraživanja na području Vranića
- Filipović B., Lazić M., Jevtović B., 1993: Mogućnosti lokalnog vodosnabdevanja naselja u okolini Beograda

- Filipović B., Lazić M.: Izveštaj hidrogeoloških istraživanja na lokaciji Nemenikuće-Rogača za potrebe otvaranja rekreacionog centra “Crvena Zvezda”
- Filipović B., Lazić M., Jevtović B., Sekulović B.: Lokalna izvorišta podzemnih voda kao prelazna rešenja za vodosnabdevanje seoskih naselja u opštinama Sopot i Barajevo
- Filipović B., Lazić M.: Hidrogeološke karakteristike područja opštine Barajevo sa aspekta rešavanja problema vodosnabdevanja
- Tomić V. (1993): "Elaborat o rezervama podzemnih voda izvorišta u krugu fabrike piva BIP Mostar u Beogradu", Sremska Mitrovica
- Grupa autora, 1996: Hidrogeološki elaborat za projektovanje i izgradnju 10 istražno-eksploatacionih vertikalnih cevastih bunara u priobalju leve obale Save, nizvodno od renu bunara RB-59
- Filipović B., Lazić M., 1997: Projekat izrade istražno-eksploatacionog bunara za vodosnabdevanje pijaćom vodom pogona "Coca-Cola" u Zemunu
- Dragišić V., i dr., 1998: Program hidrogeoloških istraživanja za potrebe snabdevanja vodom preduzeća "Navip" u Zemunu
- Grupa autora, 2000: Elaborat o izvedenim minimalno potrebnim istražnim radovima za dopunu pjezometarske mreže i utvrđivanju efekata regeneracije 20 bunara sa horizontalnim drenovima
- Simić M. (2000): O rezultatima izrade eksploatacionog bunara B-1/2000 pored stadiona "Crvene Zvezde", Beograd
- Tomić V., 2001: Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i rezervama podzemnih mineralnih voda u BIP-ovoj fabrici “Skadarlija” u Beogradu. Tomić V. bavi se problematikom termomineralnih voda “Skadarlije”. Na podatke o ovom delu terena nailazimo u radovima V. Tomića i P. Papića "Prilog poznavanju hidrogeoloških karakteristika karstne izdani na teritoriji grada Beograda" i "Jedan primer termalnog zagađenja karstne izdani"

- Lazić M. i Rugar S. (2001) "Izveštaj o izradi istražno-eksploatacionog bunara IEBD-1 u krugu fabrike boja i lakova Duga", Beograd
- Špadijer S., 2003: Elaborat o izvedenim hidrogeološkim istraživanjima malomineralizovanih podzemnih voda severoistočnih padina Avale
- Špadijer S. , Dragišić V. i Živanović V. (2003): "Izveštaj o testiranju istražno-eksploatacionog bunara B-1 na stadionu Crvene Zvezde", Beograd
- Dragišić V., i dr., 2005: Elaborat o izvedenim hidrogeološkim istraživanjima za potrebe vodosnabdevanja studija RTV Pink u Šimanovcima
- Dragišić V., i dr., 2008: Elaborat o rezervama prirodnih mineralnih voda iz bunara BKL-4/03 u krugu preduzeća "Damjanović" u Mladenovcu
- Milenić D., i dr., 2006: Hidrogeološke karakteristike i mogućnosti korišćenja obnovljivih hidrogeotermalnih resursa na užoj teritoriji grada Beograda
- Milenić D., i dr., 2008: Projekat detaljnih hidrogeoloških istraživanja za potrebe višenamenskog korišćenja podzemnih voda na Toplani „Konjarnik“ u Beogradu
- Milenić D., i dr., 2008: Projekat detaljnih hidrogeoloških istraživanja za potrebe višenamenskog korišćenja podzemnih voda na Toplani „Voždovac“ u Beogradu
- Milenić D., i dr., 2009: Elaborat o rezervama podzemnih voda iz istražno-eksploatacionog bunara IEB-1/08 u Bloku 11a na Novom Beogradu
- Milenić D., i dr., 2010: Elaborat o rezervama podzemnih voda iz istražno-eksploatacionog bunara IEBBE-1/08 u krugu Beogradskih Elektrana na Novom Beogradu
- Milenić D., i dr., 2011: Elaborat o rezervama podzemnih voda iz istražno-eksploatacionog bunara IEBB5-1/08 u Bloku 29 na Novom Beogradu

- Milenić D., i dr., 2011: Projekat detaljnih hidrogeoloških i hidrogeotermalnih istraživanja za potrebe višenamenskog korišćenja podzemnih voda u budućem vrtiću na Bežanijskoj Kosi (opština Novi Beograd)
- Milenić D., i dr., 2012: Projekat primenjenih hidrogeoloških i hidrogeotermalnih istraživanja za potrebe grejanja/hlađenja ustanove za privremeni i povremeni boravak “Predah” u Beogradu
- Milenić D., i dr., 2012: Studija mogućnosti korišćenja podzemnih voda kao energetske resursa za potrebe grejanja budućeg stambenog naselja u Ovči
- Milenić D., i dr., 2009-2012: Studija detaljnih istraživanja subgeotermalnih podzemnih vodnih resursa grada Beograda-potencijal, mogućnosti korišćenja i energetska valorizacija

U predhodnom tekstu prikazan je deo fondovske dokumentacije RGF-a, uglavnom Elaborati o rezervama podzemnih voda, Projekti detaljnih hidrogeoloških istraživanja i Izveštaji o izvedenim istražnim radovima na teritoriji grada Beograda.

Važno je spomenuti projekte tehnološkog razvoja Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, koji se odvijaju u vidu dvogodišnjih, odnosno četvorogodišnjih projekata:

- Projekat „Optimizacija energetske iskoriscavanja subgeotermalnih vodnih resursa“ (TR 18008), pod rukovodstvom prof. dr Zorana Stevanovića (period realizacije 2008-2010)
- Projekat „Istraživanje i razvoj obnovljivih subgeotermalnih podzemnih vodnih resursa u konceptu povećanja energetske efikasnosti u zgradarstvu“ (TR33053), pod rukovodstvom prof. dr Dejana Milenića (period realizacije 2010-2014)

Veliki deo podataka o hidrogeološkoj građi teritorije grada Beograda, hidrodinamičkim karakteristikama izdani, te o fizičko-hemijskom sastavu podzemnih voda sadržan je u fondovskoj literaturi instituta i zavoda:

- Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi”, 1971: Studijsko istražni i modelski radovi o mogućnosti korišćenja infiltracionih bazna za bogaćenje vodom Makiškog polja i leve obale Save
- Geoinstitut, 1973: “Elaborat o hidrogeološkim istraživanjima na području sela Leštane (LB-2)”
- Jugofund, 1976-1983: Fondovski materijal hidrogeoloških istraživanja na području Vranića
- Geosonda, 1983: “Dokumentacioni izveštaj o izvedenim radovima na izradi istražno-eksploatacione bušotine IB-2 na području banje „Selters“ u Mladenovcu“
- Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi”, 1984: Studija uticaja uspora HE Đerdap na izdašnost izvorišta Beogradskog vodovoda, kao i rezultati hidrodinamičkih modelskih istraživanja
- Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi”, 1984: Vodoprivredna osnova Pančevačkog rita”, Beograd
- Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi”, 1985: Studija-ekspertiza o proceni dugotrajne eksploatacije količine podzemnih voda za ušće Save-Ostružnica
- Geozavod, 1986: “Elaborat o sanitarnoj zaštiti izvorišta Sopot”
- Geoinstitut, 1986: “Elaborat o hidrogeološkim istraživanjima mineralne vode u Ovči”
- Geosonda, 1996: Projekat izvođenja cevastih bunara u priobalju leve obale Save, nizvodno od RB-59 i RB-63
- Geozavod, 2003: “Ekspertske analize za izgradnju bunara 54, 55 i 56 sa cevovodima na ušću”, Beograd

- Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi”, 2003: Generalni projekat infiltracionog izvorišta na sektoru Zidina, Aneks 1: Dokumentacioni elaborat o izvršenim hidrogeološkim istraživanjima za potrebe generalnog projekta infiltracionog izvorišta na sektoru Zidina i idejnog projekta infiltracionog izvorišta za količinu od oko $Q=500$ l/s
- Geosonda, 2004: "Tehnički izveštaj o izvedenim radovima na izradi istražne bušotine i istražno-eksploatacionog bunara IEB-P/1 na stadionu FK Rad u Beogradu", Beograd
- NIS Naftagas, Hidrosonda, 2005: Izveštaji o hidrogeološko-tehničkim karakteristikama istražno-eksploatacionih bunara IEBUS-2/04, IEBUS-3/04, IEBUS-4/04

Na užem području grada Beograda, sa hidorgeološkog aspekta, najbolje je izučen teren četiri beogradska izvorišta za vodosnabdevanje grada: Makiško polje, Ada Ciganlija, Bežanijsko polje i delovi terena od Ostružnice uzvodno preko Boljevaca, Progara do sela Prova.

10. PODELA TERITORIJE GRADA PO HIDROGEOLOŠKIM REJONIMA

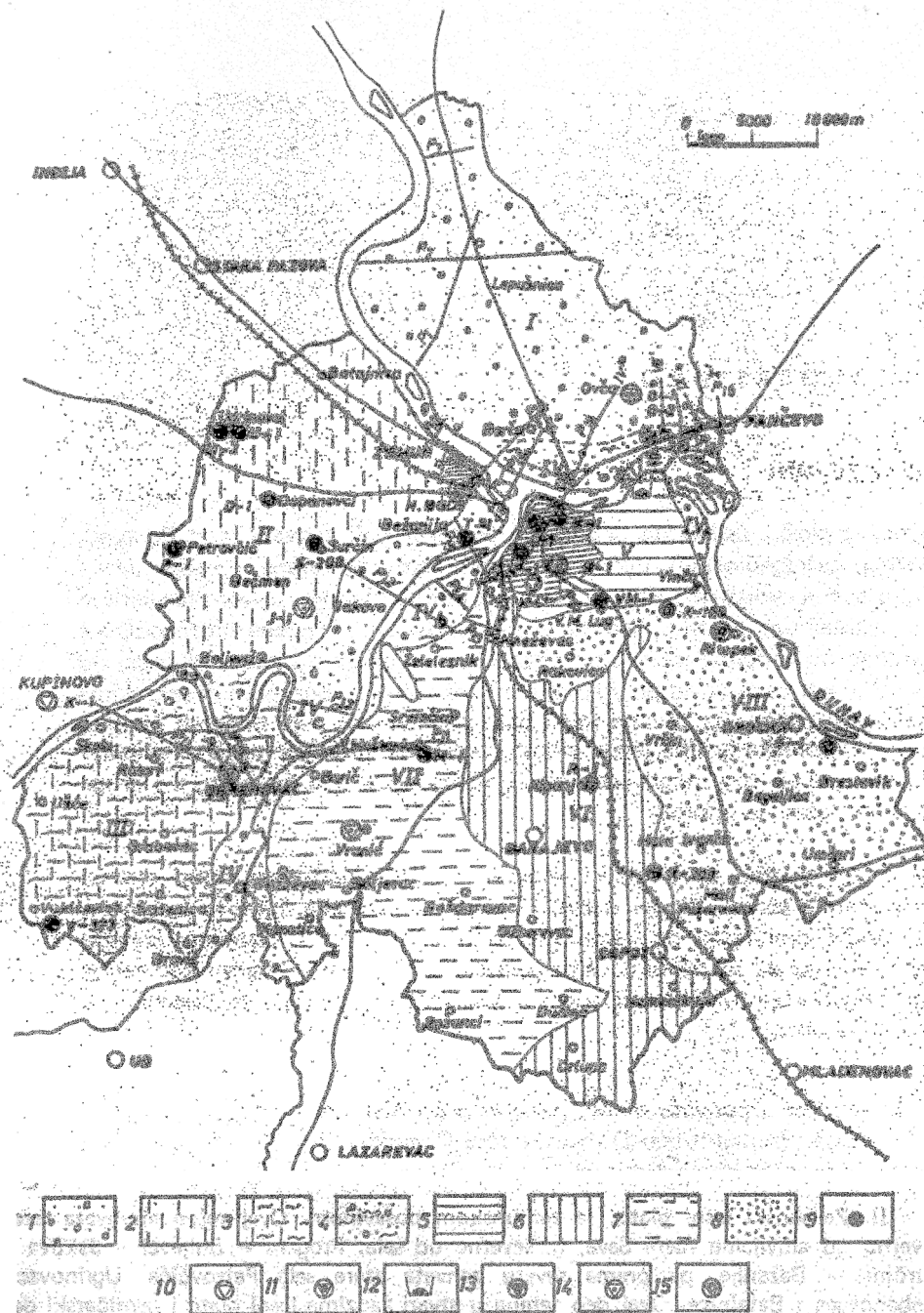
10.1. HIDROGEOLOŠKA REJONIZACIJA

U cilju ravnomernog sagledavanja hidrogeoloških karakteristika istražnog terena, a imajući u vidu površinu teritorije grada Beograda (oko 3.500 km²) izvršena je rejonizacija terena koja se bazira na već postojećoj hidrogeološkoj rejonizaciji teritorije Beograda. Prva hidrogeološka rejonizacija grada Beograda publikovana je 1971. godine u zborniku radova Rudarsko-geološkog fakulteta, kao rezultat obimnih i sistematizovanih geoloških, hidrogeoloških i hidrohemijskih istraživanja od strane Milojevića, B. Filipovića i N. Dimitrijević. Posmatrajući granice današnje teritorije grada, prvobitna rejonizacija nije obuhvatala teren Lazarevca i šire okoline, odnosno Mladenovca i šire okoline. Južna granica istražnog terena dosegala je do aluvijalnih naslaga reke Turije, severozapadnih padina Kosmaja i toka reke Ralje, krećući se od zapada ka istoku.

Tadašnji istražni teren je bio podeljen na osam rejona, odnosno četvrti rejon je brojao sedam podrejona (slika 61):

- I – Pančevački rit
- II – Zemunski lesni plato sa zemunskom posavinom
- III – Teren zapadno od Kolubare i Tamnave
- IV – Aluvijalna ravan donjeg toka Kolubare, aluvijalna ravan Save i priobalje Dunava:
 - IV a. Aluvijana ravan Kolubare i desna obala Save do Makiša
 - IV b. Makiš
 - IV c. Leva obala Save i Novi Beograd
 - IV d. Ada Ciganlija
 - IV e. Priobalna zona Dunava od Crvenke preko Krnjače do Pančeva
 - IV f. Veliko ratno ostrvo
 - IV g. Desna obala Dunava, oblast Vinče, Višnjice i Velikog -Sela
- V – Uža teritorija Beograda
- VI – „Šumadijska mezozojska greda“
- VII – Oblast zapadno od „šumadijske mezozojske grede“
- VIII – Beogradsko podunavlje i oblast istočno od „šumadijske mezozojske grede“

Prikazana rejonizacija predstavlja osnovnu i do sada jedinu rejonizaciju teritorije grada Beograda.



Legenda: 1-8-hidrogeološki rejoni od I-VIII; 9-duboki bunari sa termalnom vodom; 11-bunari sa termomineralnom vodom; 12-kaptiran termomineralni izvor (Višnjica); 13-bunari sa mineralnom vodom

Slika 61. Hidrogeološka rejonizacija po Milojeviću, B. Filipoviću i N. Dimitrijević (1971)

10.2. PREDLOG NOVE HIDROGEOLOŠKE REJONIZACIJE

Za potrebe izrade doktorske disertacije, dopunjena je prethodna, odnosno izvršena nova hidrogeološka rejonizacija terena, koja je bazirana na osnovnoj hidrogeološkoj rejonizaciji. Kako bi se ispoštovao kontinuitet u istraživanju, autor disertacije je u više navrata obavio konsultacije sa prof. B. Filipovićem, autorom prethodne rejonizacije. Nova rejonizacija je u potpunosti usklađena i u celosti prihvaćena od strane prof. B. Filipovića.

Prilikom iscrtavanja novih granica reiona poštovali su se osnovni elementi hidrogeološke rejonizacije, odnosno faktori (Milojević i dr.,1971):

- faktori geološke građe terena (geološki sastav, litološki sastav, strukturno-geološki, tektonski faktori)
- faktori hidrogeološke građe terena (tipovi izdani, rasprostranjenje tipova izdani u planu i profilu, uslovi hranjenja i isticanja podzemnih voda, fizička i hemijska svojstva podzemnih voda)
- faktor geomorfološke građe terena (morfološke i orografske prilike terena)
- faktor hidrometeoroloških uslova (raspored i karakter padavina u toku vremena, poznavanje režima vodostaja, postojanje hidrauličke veze površinskih i podzemnih voda).

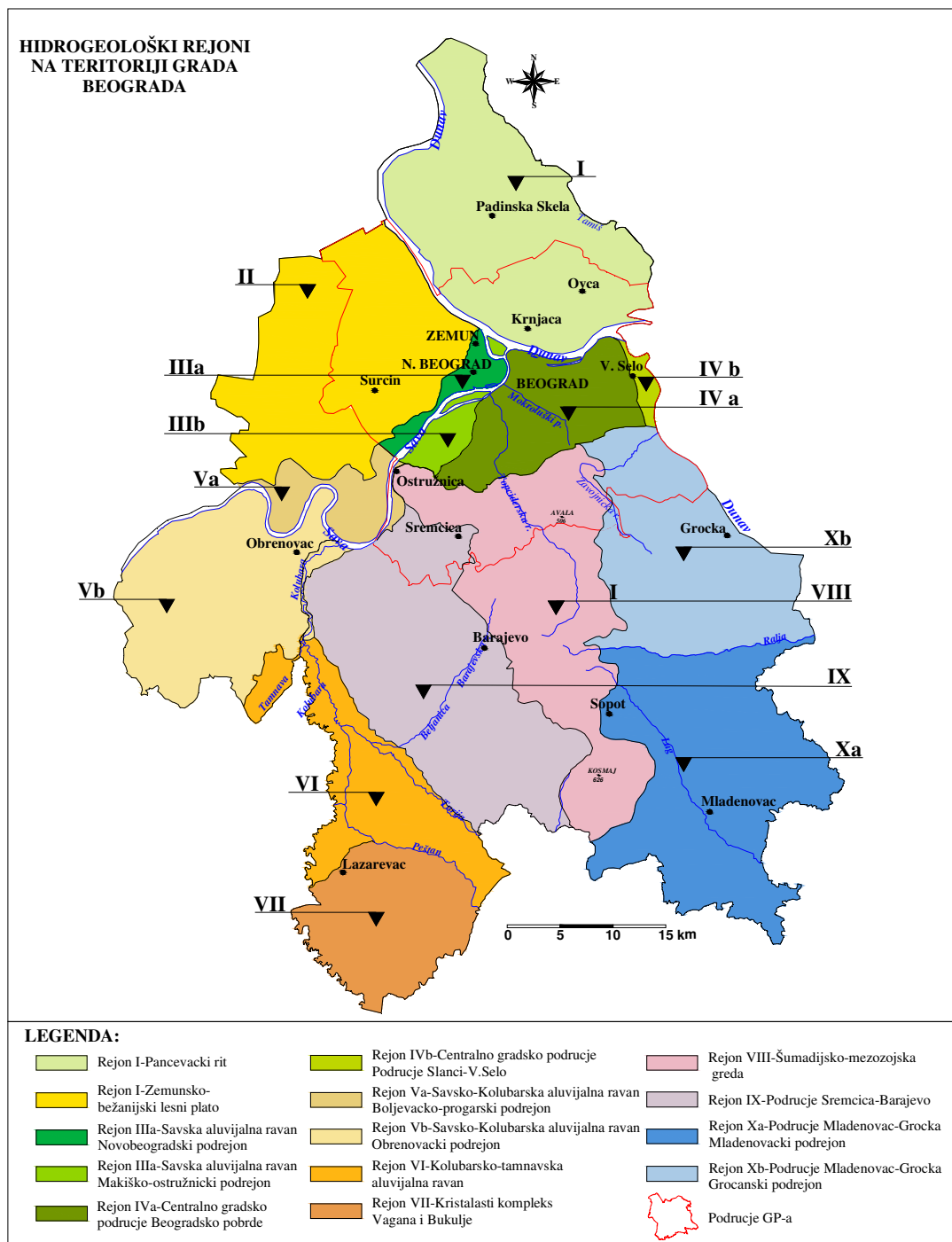
Nova hidrogeološka rejonizacija, oslanjajući se na već postojeću, izvršena je posmatrajući i analizirajući podatke hidrogeoloških istraživanja vršenih u poslednjih tridesetak godina. Rezultati novijih istraživanja potvrdili su već postojeća hidrogeološka saznanja, ali su i ukazali na potencijalnost do sada neistraženih delova terena sa aspekta zahvatanja i eksploatacije podzemnih vodnih resursa. Novija istraživanja, pre svega su doprinela u sagledavanju hidorgeološke građe dubljih delova terena, te sagledavanju geometrije pojedinih tipova izdani. Umnogome su pomogla novija geološka istraživanja, vršena u centralnim delovima grada i u okolini ušća Save u Dunav. Pored novijih rezultata hidrogeoloških i geoloških istraživanja, nova rejonizacija je izvršena imajući u vidu teritorijalni razvoj grada Beograda. Naime, administrativne granice teritorije grada Beograda su izmenjene u odnosu na granice iz 70-tih godina prošlog veka. Južnim delovima grada pridodate su dve opštine, Lazarevac i Mladenovac, te je površina grada značajno povećana, sa oko 2.500 km² na oko 3.500 km². Takođe, gradsko jezgro Beograda se neprestano širi, pa su zapažene promene i u demografskom smislu.

Pridržavajući se pomenutih faktora, a imajući u vidu promene koje su nastale na terenu, izvršena je hidrogeološka rejonizacija koja broji deset rejonu sa odgovarajućim podrejonima. Kriterijumi za izdvajanje rejonu i podrejonu jesu se oslanjali na faktore, ali tako da je u izdvajanju pojedinih rejonu glavnu ulogu igrao faktor geološke građe, zatim faktor hidrogeološke građe, dok su neki rejonu izdvojeni prema geomorfološkim uslovima na terenu. Hidrogeološki rejonu izdvojeni su pre svega radi potpunijeg i sistematičnijeg sagledavanja hidrogeoloških karakteristika istražnog terena, koji se odlikuje izrazitom složenošću.

Imajući izneto u vidu, na teritoriji grada Beograda, na površini od oko 3.500 km² izdvojeni su sledeći hidrogeološki rejonu:

- I. Pančevački rit**
- II. Zemunsko-bežanijski lesni plato**
- III. Savska aluvijalna ravan**
 - IIIa. Novobeogradski podrejon**
 - III b. Makiško-ostružnički podrejon**
- IV. Centralno gradsko područje**
 - IVa. Beogradsko pobrđe**
 - IVb. Područje Slanci-V. Selo**
- V. Savsko-Kolubarska aluvijalna ravan**
 - Va. Boljevačko-progarski podrejon**
 - Vb. Obrenovački podrejon**
- VI. Kolubarsko-tamnavska aluvijalna ravan**
- VII. Kristalasti kompleks Vagana i Bukulje**
- VIII. Šumadijsko mezozojska greda**
- IX. Područje Sremčica-Barajevo**
- X. Područje Mladenovac-Grocka**
 - Xa. Gročanski podrejon**
 - Xb. Mladenovački podrejon**

Prema površini rasprostranjenja prednjači područje Mladenovac-Grocka, dok najmanju površinu zauzima treći rejon–Savska aluvijalna ravan. Najvećom gustinom naseljenosti karakteriše se centralno gradsko područje, dok u slabije naseljene terene spadaju delovi Pančevačkog rita i delovi rejonu Mladenovac–Grocka. Granice hidrogeoloških rejonu na teritoriji grada Beograda prikazane su na slici 62 i hidrogeološkoj karti (prilog 2).



Slika 62. Predlog nove hidrogeološke rejonizacije na području grada Beograda

Posmatrajući prvobitnu hidrogeološku rejonizaciju i poredeći je sa novom načinjene su sledeće razlike:

- Područje rejona I obuhvata teren severno od leve obale Dunava, dakle teritoriju Pančevačkog rita. Osnovna hidrogeološka rejonizacija izuzima priobalje Dunava (priobalna zona Dunava od Crvenke preko Krnjače do Pančeva) iz rejona I, kao deo terena sa specifičnim karakteristikama u pogledu hidrogeoloških svojstava, odnosno režima podzemnih voda. Delove izdani formirane u priobalju Dunava i u centralnim delovima rejona odlikuje prisustvo, odnosno odsustvo hidrauličke veze sa rekom, a samim tim postoji i razlika u režimu podzemnih voda. Na osnovu rezultata osmatranja nivoa i temperature podzemnih voda, kao i vrednosti koeficijenta filtracije (primer bunar u Krnjači i bunar u Ovči) ustanovljena su mala odstupanja. Razmera odstupanja je takva da je za ovaj obim istraživanja zanemarljiva, te u okviru rejona I nisu izuzimani tereni priobalne zone.
- Područje rejona II obuhvata lesni plato koji se proteže duž desne obale Dunava od Batajnice do Zemuna, te preko Bežanijske Kose doseže do Surčina. Zapadne granice rejona obuhvataju teren koji prema morfološkim karakteristikama pripada velikoj sremskoj ravnici, i dosežu do linije Ugrinovci–Petrovčić–Progar. Granice rejona II su nepromenjene u odnosu na granice rejona II osnovne rejonizacije.
- Rejon III obuhvata savsku aluvijalnu ravan i to levu obalu Save od Ušća do Ostružnice i desnu obalu Save, makiško polje do Umke. Tok rek Save deli rejon III na dva podrejona, novobeogradski i makiško-ostružnički podrejon. Prikazani tereni prema osnovnoj rejonizaciji pripadali su rejonu aluvijalnih ravni donjeg toka Kolubare, ravni Save i priobalju Dunava.
- Uža teritorija Beograda svrstana je u Centralno gradsko područje, koje obuhvata teritoriju južno od Dunava do linije Železnik–Rakovica–Jajinci–Kumodraž–Veliki Mokri Lug–Vinča. Teritorija rejona IV obuhvata i severni krak šumadijske mezozojske grede, koji preko Kneževca i Čukarice doseže do Save, odnosno prati tok Topčiderske reke. Rejon IV podeljen je na dva podrejona, obzirom da njegove granice na istoku dosežu do Dunava i zahvataju aluvijalnu ravan Slanaca i V. Sela. Pomenuta aluvijalna ravan upravo je izdvojena u podrejon IVb, dok ostali delovi terena su svrstani u podrejon IVa–beogradsko pobrđe. Područje Slanci-V. Selo pridruženo je rejonu centralnog gradskog područja, a nije svrstana u poseban rejon ili pridružena Pančevačkom ritu zbog:

- Aluvijalni sedimenti V. Sela imaju znatno rasprostranjenje (oko 11 km²), ali ne i značajne debljine peskovite, odnosno šljunkovite serije. Slojevi su često zaglinjeni, kako u višim, tako i u nižim delovima litološkog stuba (Milojević i dr., 1975), te se razlikuju od sedimenata Pančevačkog rita.
- Raspored padavina u toku vremena nije podjednak za delove terena V. Sela i za npr. delove aluvijalne ravni Save i Kolubare. Prostorno i vremenski više se vezuje za delove beogradskog pobrđa.
- Sedimenti Slanaca i V. Sela su u prostornoj vezi sa starijim članovima miocenskih sedimenata na terenu. Međusobna veza mlađih i starijih stena različitih i po strukturnoj poroznosti ogleda se u pogledu prihranjivanja izdani podzemnih voda formiranih u dubljim delovima terena.
- Jugozapadni delovi istražnog terena svrstani su u rejon V–Savsko-kolubarska aluvijalna ravan, u okviru koga su izdvojena dva podrejona. Podrejon Va obuhvata delove terena severno od toka reke Save i nosi naziv boljevačko-progarski podrejon, dok delovi južno od toka reke Save pripadaju obrenovačkom podrejonu (Vb). Gledano u odnosu na osnovnu rejonizaciju ovaj rejon je proširen obuhvativši aluvijalne sedimente Save, koji su bili izdvojeni u poseban rejon.
- Rejon VI obuhvata delove terena opštine Lazarevac, koja prilikom izrade osnovne hidrogeološke rejonizacije nije pripadala teritoriji grada Beograda. Teren između reka Peštan i Turije i dalje na sever uz tok Kolubare do njenog ušća u Savu pripada rejonu VI. Dakle rejon obuhvata kolubarsko-tamnavsku aluvijalnu ravan i delove kolubarskog ugljonosnog basena.
- Rejon VII takođe obuhvata delove opštine Lazarevac. Prema položaju predstavlja najjužnije delove teritorije grada Beograda, a prema geološkom sastavu najstarije stene na istražnom terenu.
- Teritorija šumadijske mezozojske grede svrstana je u rejon VIII, a proteže se od Kosmaja na jugu prateći kredne flišne naslage do Resnika na severu, odakle se račva na zapadni i istočni krak. Zapadni krak grede izlazi na Savu, a predstavljen je ostružničkim flišom, dok istočni krak preko Avale doseže do serpentinita Bujanj potoka. Posmatrano u odnosu na osnovnu hidrogeološku rejonizaciju, oblast šumadijske mezozojske grede je modifikovana, tako što su joj pridodati južni delovi (Kosmaj), a središnji krak uz Topčidersku reku je svrstan u rejon centralnog gradskog područja.

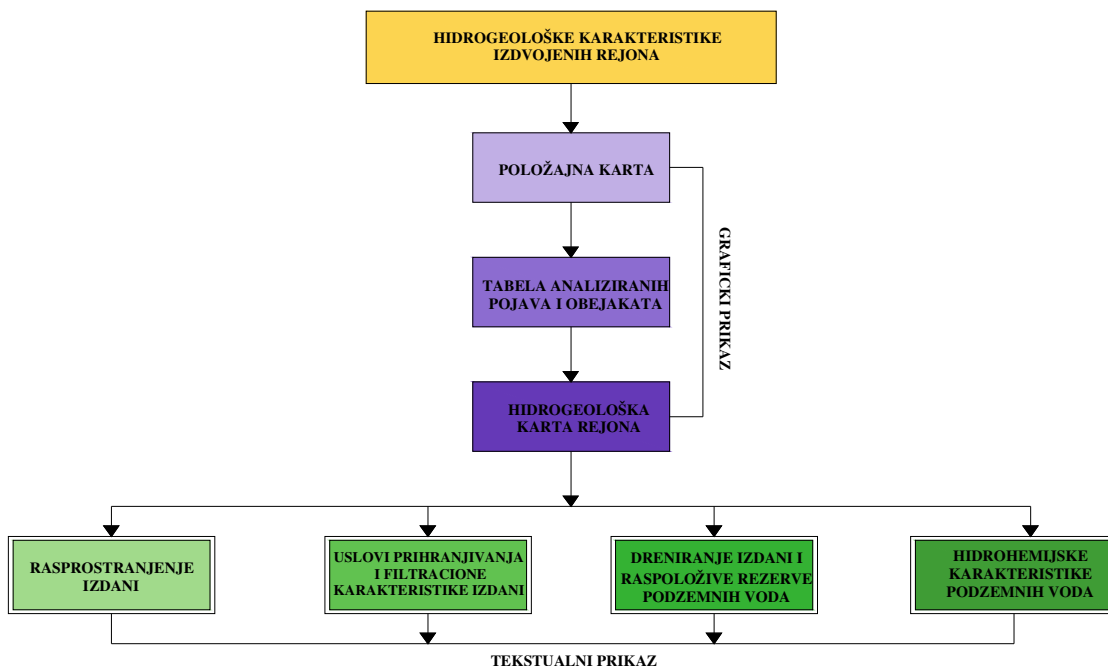
- Rejon IX obuhvata teren zapadno od šumadijske mezozojske grede i doseže do aluvijalnih sedimenata reke Turije, Kolubare i Save. Područje Sremčica Barajevo je rejon nepromenjenih granica u odnosu na osnovnu rejonizaciju.
- Rejon X obuhvata teren istočno od šumadijske mezozojske grede. U odnosu na osnovnu rejonizaciju rejon X je proširen, obzirom da u njega ulaze delovi terena opštine Mladenovac, koja kao i opština Lazarevac nije pripadala teritoriji grada Beograda. Tok reke Ralje prirodno deli teren na podrejon Xa-gročanski podrejon i na Xb-mladenovački podrejon. Granice rejon X na severu dosežu do linije Kaluđerica–Vinča.

11. PRIKAZ HIDROGEOLOŠKIH KARAKTERISTIKA TERENA PO REJONIMA

Teritorija grada Beograda odlikuje se složenim hidrogeološkim karakteristikama, nastalim usled različitih paleogeografskih uslova sedimentacije, intenzivne magmatske i tektonske aktivnosti na terenu. Stene različite starosti, počevši od paleozoika, pa do kvartarnih sedimenata izgrađuju teren, sa čestim promenama u facijalnom razviću, prekidima u sedimentaciji. Kompleksna geološka građa terena i odnosi između litostratigrafskih jedinica, koji se često nalaze u diskordantnim odnosima, diktirali su uslove formiranja i kretanja podzemnih voda.

Na istražnom prostoru, u planu i profilu se smenjuju vodonosni, manje vodonosni i uslovno “bezvodni” delovi terena. Izvršena je hidrogeološka rejonizacija (slika 62) kako bi se sveobuhvatno i ravnomerno sagledali hidrogeološki uslovi sa aspekta prihranjivanja i dreniranja izdani, geometrije izdani, hidrodinamičkih karakteristika izdani, te hidrohemijskih odlika podzemnih voda. Rejonizacija je izvršena i zbog površine istražnog terena, koji zauzima oko 3.500 km², od Besnog Foka na severu do Čibutkvice na jugu, i od Ušća na zapadu do Brestovika na istoku.

Hidrogeološka svojstva stena i tipovi izdani sagledani su u svakom od izdvojenih hidrogeoloških rejonu. Na slici 63 prikazan je metodološki pristup prikaza hidrogeoloških karakteristika istražnog terena.



Slika 63. Algoritam metodološkog pristupa u prikazu hidrogeoloških karakteristika istražnog terena

11.1. HIDROGEOLOŠKI REJON I-PANČEVAČKI RIT

Rejon I obuhvata oblast Pančevačkog rita, po kome i nosi naziv. Prostire se od Dunava na jugu do kanala Karaš na severu, što ujedno predstavlja i najseverniji deo istražnog terena. Na istoku tok reke Tamiš iscertava granicu rejona, dok zapadnu granicu, baš kao i južnu čini tok reke Dunava. Površina rejona iznosi oko 400 km². Cela površina rejona ispresecana je drenažnom mrežom kanala od kojih se po veličini izdvajaju kanali Mokri Sebeš, Vizelj, Veliki kanal, Sibnica, Karaš. Ukupna dužina kanala iznosi oko 1000 km (Grupa autora, 2011). Teren se karakteriše ujednačenim nadmorskim visinama koje se kreću u opsegu od oko 69 m.n.v. do oko 76 m.n.v. Prema gustini naseljenosti teren spada u slabo naseljene terene. Veći urbanizovani centri su Krnjača, Ovča, Borča, Padinska Skela. Prema razvojnim planovima grada Beograda, područje Pančevačkog rita (opština Palilula) je deo terena na kome se planira širenje gradskog jezgra. Primer je početak izradnje stambeno-poslovnog kompleksa u Ovči, ukupne površine oko 150.000 m².

Hidrogeološke karakteristike posmatranog rejonu I sagledane su na osnovu podataka dobijenih bušenjem za potrebe vodosnabdevanja ili za potrebe osmatranja režima podzemnih voda na delu teritorije Pančevačkog rita. Poštujući princip ravnomernosti u istraživanju, formirana je mreža bunara i pijezometara čiji položaji zadovoljavaju pomenuti kriterijum.

Mreža bunara i pijezometara prikazana je na položajnoj karti (slika 64), koju prati tabela analiziranih objekata na teritoriji Pančevačkog rita (tabela 12).

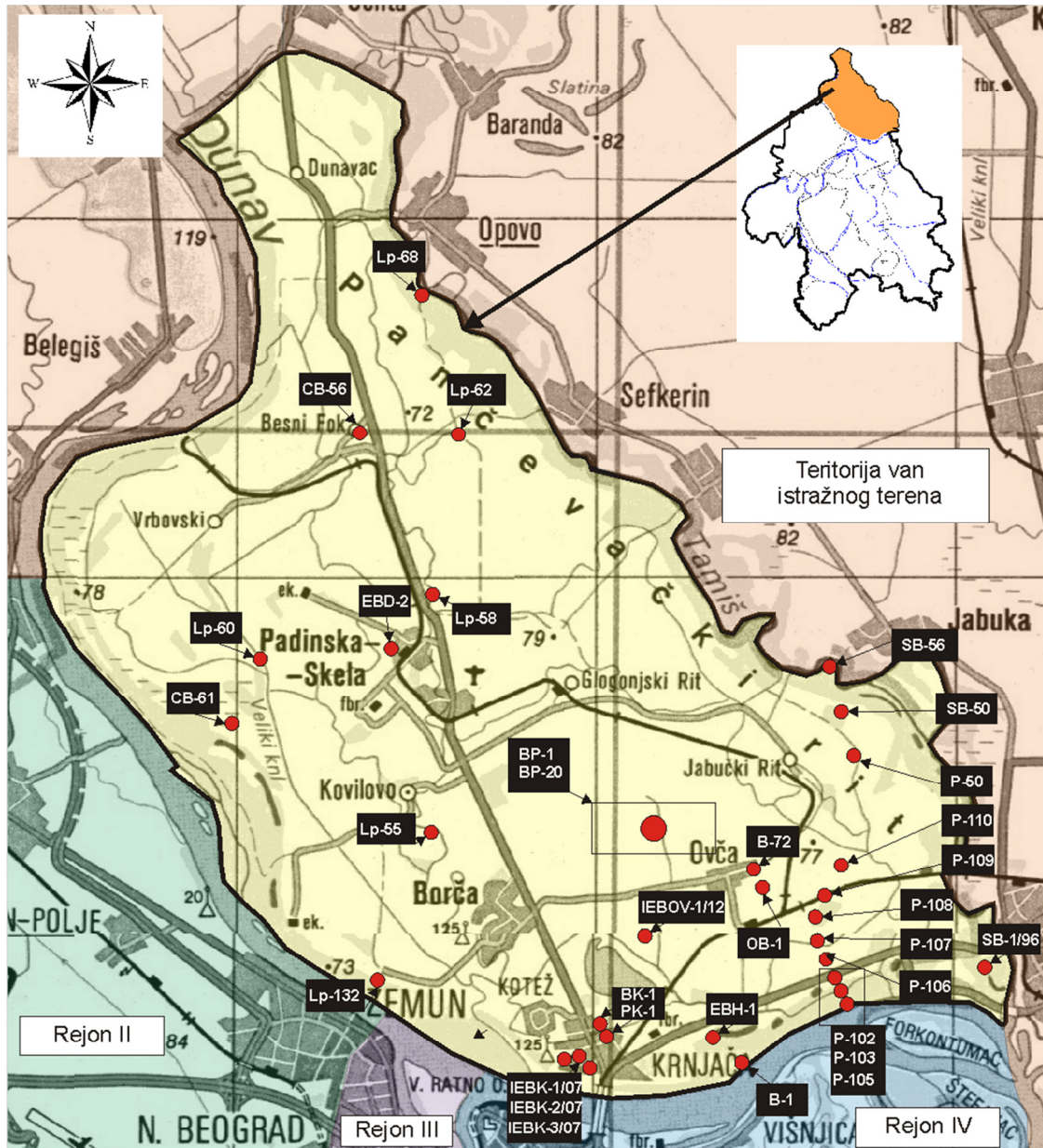
Na prostoru Pančevačkog rita , izdvojeni su sledeći tipovi izdani:

1) u planu

- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

2) u profilu

- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata pliocenske starosti
- Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti



Legenda:

- Bunar/pijezometar
- Grupa pijezometra
- IEBOV-1/12 Oznaka za bunar/pijezometar

Slika 64. Položajna karta analiziranih bunara i pijezometara u okviru hidrogeološkog rejonu I

Tabela 12. Analizirani bunari i pijezometri na području
Pančevačkog rita (rejon I)

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|---|----------------------------------|---------------|---------------------------|-------------------|--------------------------|
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartrane starosti | | | | | | |
| 1. | Krnjača-BIP 7460.085 4967.226 73 m | BK-1 | 35.50 | 16-28 | pesak- šljunak | Milenić, 2006 |
| 2. | Krnjača/Porche | IEBK-3/07 | 30.00 | 12.0-15.0 18.0-24.0 | pesak- šljunak | Milenić, 2006 |
| 3. | Ovča 7461.992 4971.145 76.00 m | IEBOV-1/12 | 36.0 | 15.0-23.0 26.0-33.0 | pesak | Milenić, 2012 |
| 4. | Ovča 7465.468 4972.700 70.20 m | BP-1 | 34.00 | 1.60-30.70 27.7-30.7 | pesak | Grupa autora, 2008 |
| 5. | Ovča 7465.345 4973.227 70.70 m | BP-4 | 15.00 | 1.80-15.0 9.0-12.0 | pesak | Grupa autora, 2008 |
| 6. | Ovča 7464.113 4972.661 71.00 m | BP-6 | 20.00 | 1.80-20.0 14.0-17.0 | pesak | Grupa autora, 2008 |
| 7. | Ovča 7463.512 4972.935 71.70 m | BP-8 | 20.00 | 2.30-20.0 14.0-17.0 | pesak | Grupa autora, 2008 |
| 8. | Ovča 7463.018 4972.450 71.40 m | BP-12 | 35.00 | 2.50-31.00 29.00-32.00 | pesak | Grupa autora, 2008 |
| 9. | Ovča 7462.008 4973.438 72.00 m | BP-18 | 33.70 | 0.50-33.30 27.70-30.70 | pesak | Grupa autora, 2008 |
| 10. | Ovča 7462.515 4971.946 72.40 m | BP-20 | 16.00 | 1.00-16.00 10.00-13.00 | pesak | Grupa autora, 2008 |

...nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|---|---|-----------------------|---|-------------------|-----------------------|
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartrane starosti | | | | | | |
| 11. | Krnjača 7463.482 4967.434 | EBH-1 | 36.00 | 12.00-28.00 | pesak | Martinović, 2009 |
| 12. | Krnjača Rafinerija nafte 7463.463 4967.681 73 m | B-1 | 124.00 | 1.8-27.8 | pesak | Bogdanović, 2008 |
| 13. | Pančevački rit | CB-61 | 39.20 | 2.40-30.00 33.20-36.40 | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |
| 14. | Pančevački rit | Lp-60 | 36.80 | 2.80-35.20 | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |
| 15. | Pančevački rit | CB-56 | 63.60 | 4.40-40.00 41.60-50.80 53.60-56.80 58.80-61.60 | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |
| 16. | Pančevački rit | Lp-68 | 36.00 | 3.20-35.20 | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |
| 17. | Pančevački rit | Lp-132 | 16.00 | 3.20-12.00 | pesak | Grupa autora, 1984 |
| 18. | Pančevački rit | Lp-55 | 42.50 | 4.50-36.00 | pesak | Grupa autora, 1984 |
| 19. | Pančevački rit | Lp-58 | 48.00 | 7.20-46.00 | pesak | Grupa autora, 1984 |
| 20. | Pančevački rit | Lp-62 | 43.20 | 3.60-38.40 | pesak | Grupa autora, 1984 |

... nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara/ pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|-------------------------|----------------------------------|---------------|-----------------------|------------------|--------------------------|
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartrane starosti | | | | | | |
| 21. | Pančevački rit | P-102 | 16.80 | 9.20- | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |
| 22. | Pančevački rit | P-103 | 16.80 | 9.60- | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |
| 23. | Pančevački rit | P-105 | 16.80 | 10.80- | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |
| 24. | Pančevački rit | P-106 | 16.80 | 14.00- | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |
| 25. | Pančevački rit | P-107 | 36.00 | 16.00-32.80 | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |
| 26. | Pančevački rit | P-108 | 16.80 | 12.80- | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |
| 27. | Pančevački rit | P-109 | 35.20 | 9.60-33.60 | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |
| 28. | Pančevački rit | P-110 | 36.00 | 16.00-30.00 | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |
| 29. | Pančevački rit | P-50 | 47.20 | 3.60-45.20 | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |
| 30. | Pančevački rit | SB-50 | 62.00 | 2.80-59.60 | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |

...nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara/ pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|---|--|----------------------------------|---------------|---|--|-----------------------|
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti | | | | | | |
| 31. | Pančevački rit | SB-58 | 44.40 | 12.00-44.40 | pesak šljunak | Grupa autora, 1984 |
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata pliocenske starosti | | | | | | |
| 32. | Padinska Skela-PKB IMLEK | EBD-2 | 136 m | 1.50–56.50 66.70–69.30 71.00–73.80 96.30–103.80 115.30–117.40 | pesak | Bogdanović, 2006 |
| 33. | Sibnica 7470.100 4968.050 72.00 m | SB-1/96 | 125.00 | 90.00-94.00 102.0-113.0 | pesak | Lazić, 1996 |
| Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 34. | Ovča | OB-1 | 162.00 | 114.0-158.0 | krečnjak laporovit i peskovit | iz Petrović, 1995 |
| 35. | Ovča 7463.005 4971.910 81.00 | B-72 | 454.50 | 85.00-333.0 | krečnjaci, gline, peščari, konglomerati | iz Petrović, 1995 |

11.1.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

Rasprostranjenje izdani

Zbijeni tip izdani razvijen je u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata kvartarne starosti, čije se rasprostranjenje može pratiti na čitavoj površini rejona. Nastanak ovih klastičnih sedimenata vezuje se za jezerske uslove sedimentacije, počevši od kraja pliocena. Na litološkom stubu izdvojeni su slojevi različitog granulometrijskog sastava i različite kvartarne starosti.

Najstariji i najkrupniji sedimenti su pleistocenske starosti, poznati kao peskovito-šljunkoviti slojevi sa *Corbicula fluminalis*. Preko njih leže krupnozrni peskovi, zatim srednjozrni, sitnozrni i prašinasti peskovi (Milojević i dr., 1971). Ovakav litološki profil odgovara jezerskim uslovima sedimentacije, u kojima je formiran barski, odnosno kopneni les kao završni član serije. Prisustvo lesoidnih naslaga konstatovano je u centralnim i zapadnim delovima Pančevačkog rita.

Na području Pančevačkog rita izveden je veliki broj istražnih bušotina i bunara. Na osnovu podataka bušenja definisano rasprostranjenje i debljina vodonosnih slojeva kvartara. Podina peskvito-šljunkovitih slojeva predstavljena je sedimentima tercijarne starosti i to glinama, zatim glinovitim peskovima i prašinastim peskovima. Podinske gline tercijarne starosti su od velikog značaja za formiranje podzemnih voda u kvartarnoj seriji sedimenata, jer imaju ulogu vodonepropusne podloge. Njihova debljina u delu terena Krnjače dostiže i do 200 m (Milojević dr.,1975).

Vodonosni peskovito-šljunkoviti slojevi transgresivno naležu na tercijarne sedimente na dubinama od oko 24 m do oko 37 m. Generalno, dubina zaleganja vodonosnih slojeva na teritoriji Pančevačkog rita je sledeća: 40 m–Ovča, 35-40 m–izvorište Sibnica, 25-30 m–Pančevački most, 30 m–Borča, 60 m–Jabučki rit (Grupa autora, 1984).

Prosečna debljina vodonosnih peskovito-šljunkovitih slojeva na području Krnjača-Ovča prikazana je u tabeli 13.

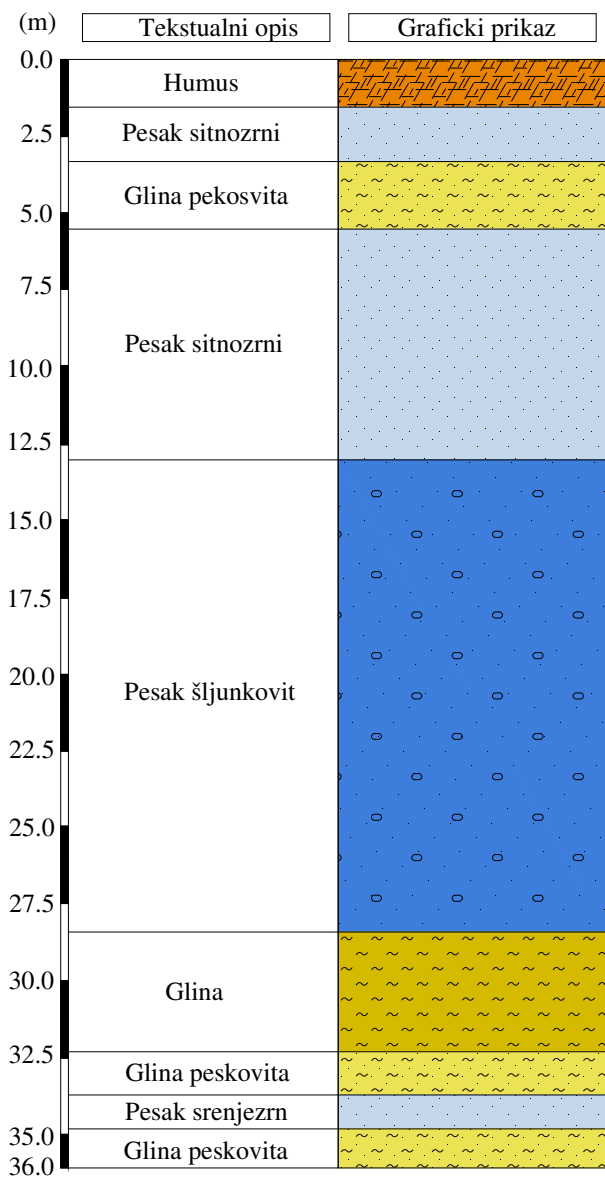
Tabela 13. Debljine peskovitih i peskovito-šljunkovitih slojeva u delu terena Krnjača-Ovča

| Bunar/ pijezometar | Lokacija | Litologija | Debljina vodonosnih slojeva (m) |
|---|-----------------|----------------------|--|
| EBH-1 | Holcim-Krnjača | pesak | 16 |
| BK-1 | BIP Krnjača | pesak- šljunak | 12 |
| IEBK-1/07 | Porsche Krnjača | šljunkoviti pesak | 7 |
| IEBK-3/07 | Porsche Krnjača | šljunkoviti pesak | 9 |
| IEBOV-1/12 | Ovča | pesak | 15 |
| BP-12 | Ovča | pesak | 26 |
| PROSEČNA DEBLJINA VODONOSNIH SLOJEVA ≈14 m | | | |

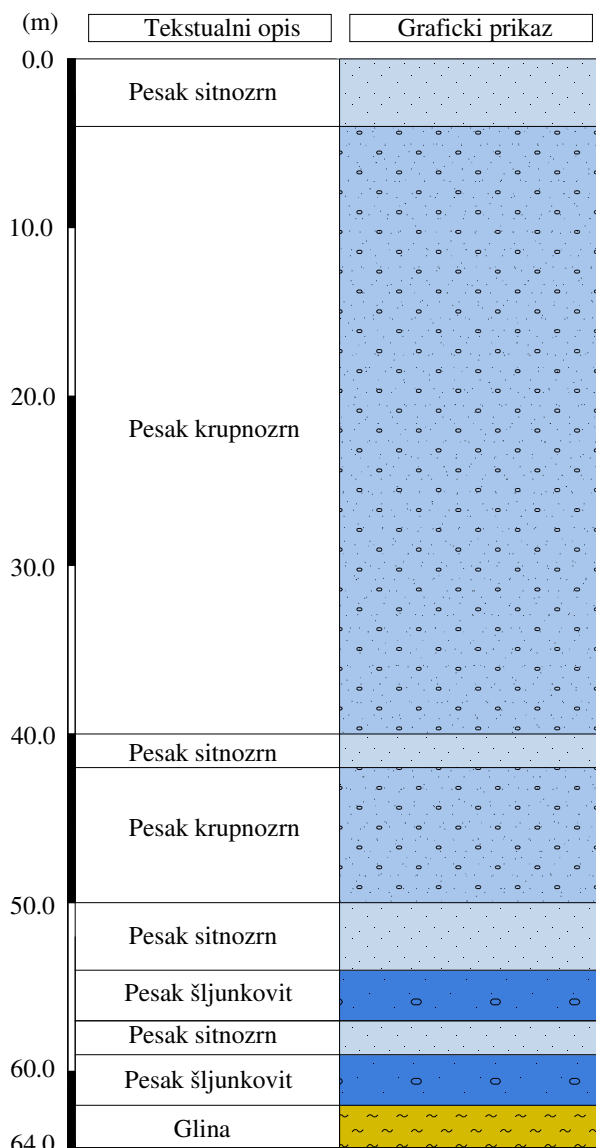
Na celoj teritoriji Pančevačkog rita, debljina peskovito-šljunkovitih sedimenata donjeg dela profila izdani (slojevi sa *Corbicula fluminalis*) kreće se od 3 m do 10 m, a najčešće 5-6 m (Grupa autora, 1984). Na području Sibnice (jugo-istočni delovi Pančevačkog rita) debljina slojeva sa *Corbicula fluminalis* se kreće od 10 m do 25 m. Na području Ovče debljina sa *Corbicula fluminalis* se kreće oko 10 m.

Povlatni sloj izdani predstavljen je sedimentnim kompleksom u kome preovladava glinovita komponenta: peskovite gline, barske gline, muljeviti pesak i humusni glinoviti pokrivač. Debljina ovih naslaga se kreće od 1 m do 6 m, a retko preko 10 m (delovi terena između Dunava i Ovče) (Grupa autora, 1984).

Na slici 65 prikazan je tipski litološki profil terena u zoni Krnjača-Ovča, a na slici 66 profil terena koji je karakterističan za severne delove Pančevačkog rita (područje Padinske Skele i Besnog Foka).



Slika 65. Tipični litološki profil terena Krnjača-Ovča
(modifikovano: bunar EBH-1 u Krnjači, Martinović, 2009)

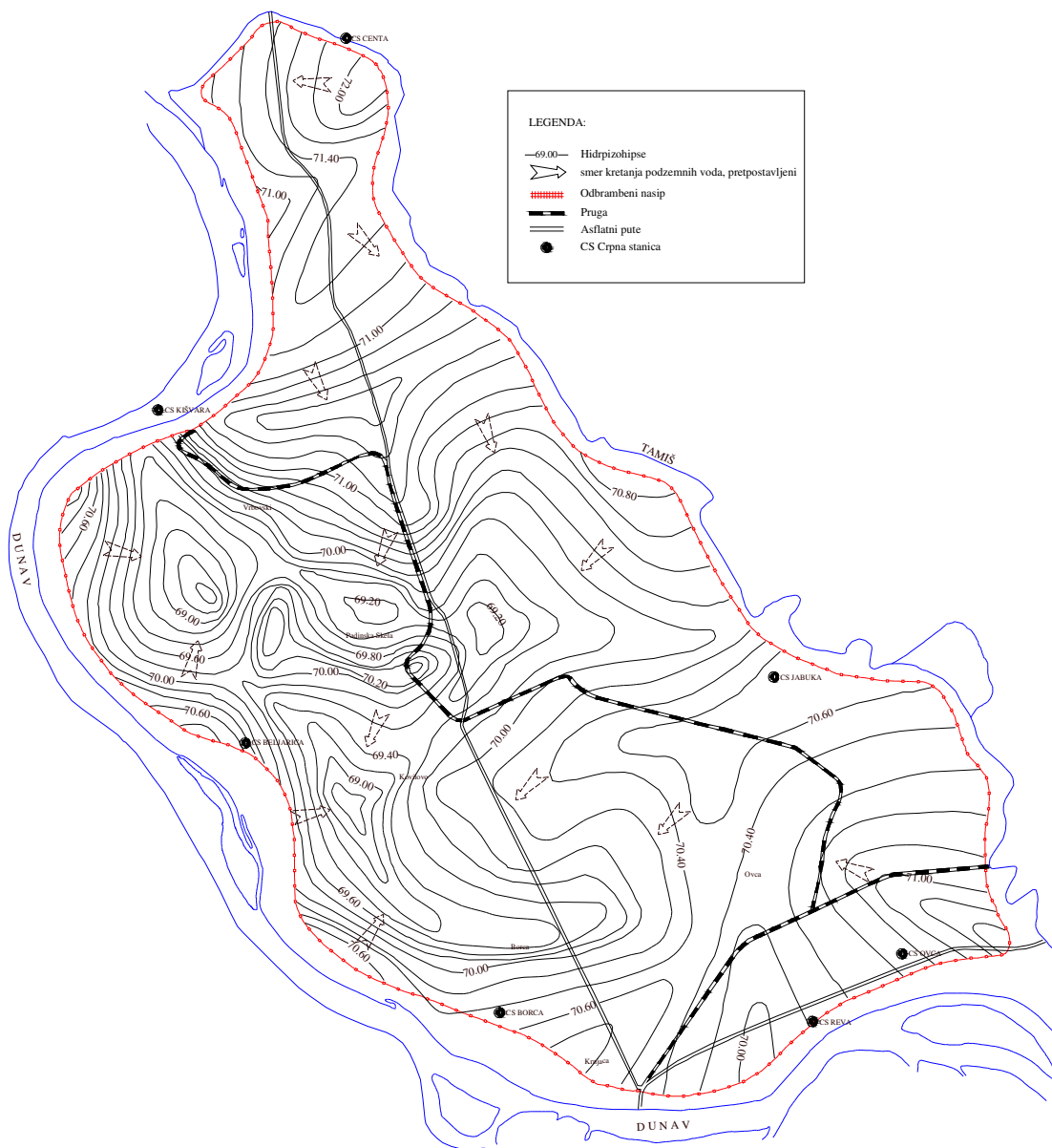


Slika 66. Tipski litološki profil terena Padinska Skela-Besni Fok (modifikovano: pjezometar CB-56, Grupa autora, 1984)

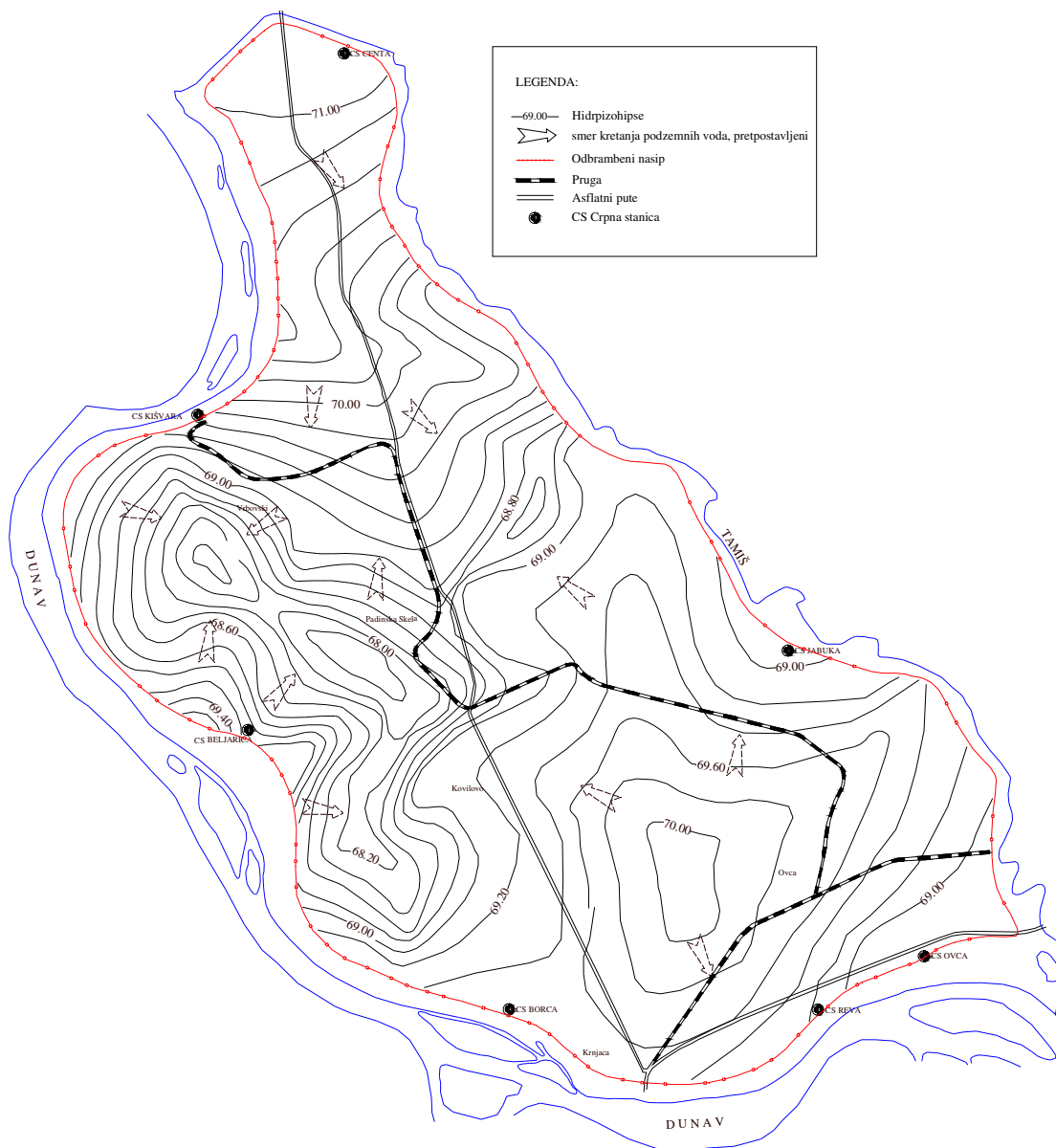
Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Uslovi prihranjivanja zbijenog tipa su veoma povoljni, obzirom da je posmatrana izdan formirana u otvorenoj hidrogeološkoj strukturi. Prihranjivanje se odvija na račun atmosferskih padavina, direktnom infiltracijom i infiltracijom površinskih voda. U priobalnim delovima terena reka Dunava i Tamiša ostvarena je dobra hidraulička veza između izdani i korita reka.

Izdan je formirana u peskovito-šljunkovitim sedimentima koji relativno plitko zaležu, te je kolebanje nivoa podzemnih voda u velikoj meri povezano sa periodom hidrološkog ciklusa. Najniže kote do nivoa izdani su u centralnom delu rejonu I (Grupa autora, 1984). Na slikama 67 i 68 su prikazane hidroizohipse sa generalnim pravcima kretanja podzemnih voda za 1973. godinu.



Slika 67. Hidroizohipse maksimuma nivoa podzemnih voda Pančevačkog rita sa stanjem na dan 11.04.1973 godine (Grupa autora, 1984)



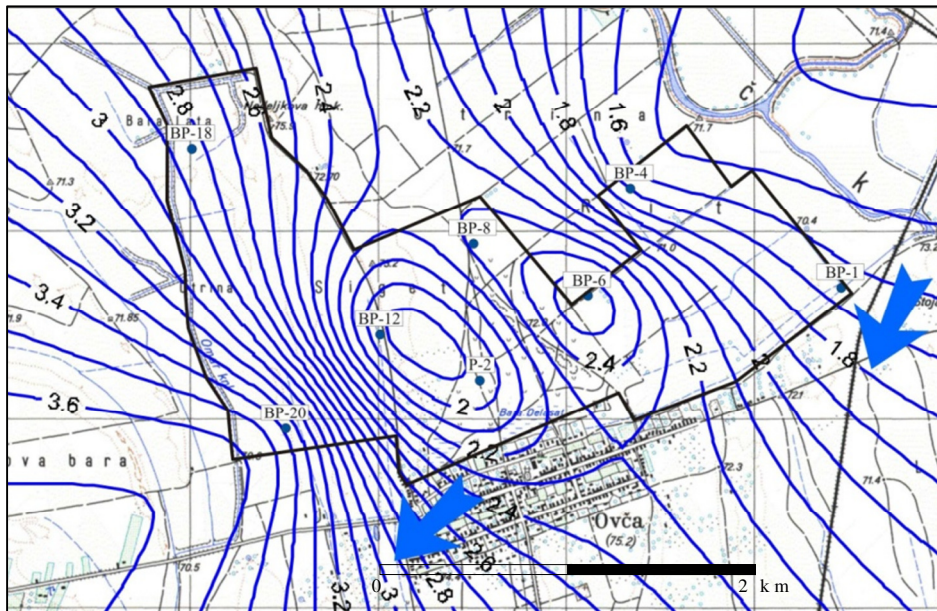
Slika 68. Hidroizohipse minimalnih nivoa podzemnih voda Pančevačkog rita sa stanjem na dan 01.10.1973 godine (Grupa autora, 1984)

Generalno, nivo podzemnih voda kreće se oko kote 72.00 do 69.00 m.n.v. Noviji podaci koji se odnose na dubine do nivoa podzemnih voda prikazani su za deo terena oko Borče, Krnjače i Ovče (slike 69, 70, 71). U zimskom periodu, u decembru mesecu 2005. godine dubine do nivoa podzemnih voda kretale su se oko 2.5-3 m.

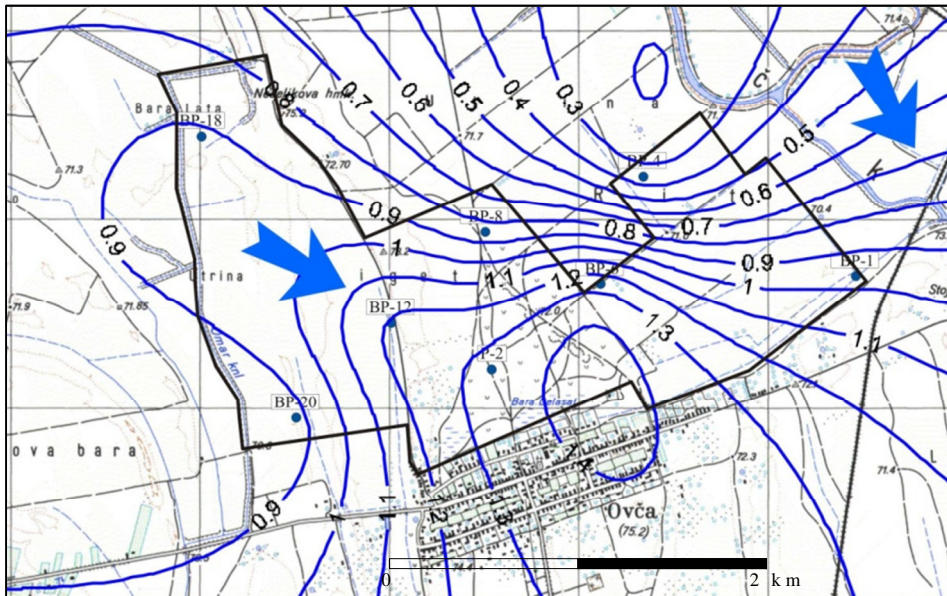
Minimalne vrednosti u mesecu maju 2008. godine kretale su se u opsegu od 0.3 m do 1.3 m. U istom mesecu, 2008. godine maksimalne vrednosti za područje oko Ovče kretale su se u opsegu od 1.6 m do 3.6 m.



Slika 69. Karta dubine do nivoa izdani na području Krnjače, Koteža i Borče na dan 29.12.2005. godine (Milenić, 2006)



Slika 70. Maksimalne dubine do nivoa podzemnih voda na području Ovče, maj 2008 (Grupa autora, 2008)



Slika 71. Minimalne dubine do nivoa podzemnih voda na području Ovče, maj 2008
(Grupa autora, 2008)

Heterogenost kvartarnih sedimenata u litološkom profilu Pančevačkog rita, počevši od šljunkovitih, pa do alevritičnih stena ukazuje na različitost u pogledu mogućnosti akumuliranja i kretanja podzemnih voda u okviru slojeva.

Filtracione karakteristike slojeva koji čine jedinstvenu izdan, od podine ka povlati su sledeće (Grupa autora, 1984):

- stariji članovi kvartara (pleistocen), peskovito-šljunkoviti sedimenti sa *Corbicula fluminalis* odlikuju se vrednostima koeficijenta filtracije od 2×10^{-3} m/s do 8×10^{-3} m/s. Veličina poroznosti se u proseku kreće oko 20%
- koeficijenti filtracije u okviru sivih i sivo-plavih peskova koji naležu na pomenute peskovito-šljunkovite sedimente se kreću u opsegu od 4×10^{-4} m/s do 8×10^{-4} m/s. Veličina poroznosti se u proseku kreće od 30% do 35%
- koeficijenti završnog člana vodonosnih slojeva se kreću u opsegu od 2×10^{-5} m/s do 2×10^{-6} m/s. Veličina poroznosti se kreće i do 40%

Na jugu, od zone priobalja Dunava ka severu postoji kontinuitet u rasprostranjenju peskovito-šljunkovitog slojeva. Takođe i vrednosti koeficijenata su ujednačene i kreću se u opsegu od 10^{-3} m/s do 10^{-4} m/s.

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Uslovi dreniranja podzemnih voda su povoljni. Dreniranje podzemnih voda odvija se:

- isticanjem u korito reka (Dunav i Tamiš)
- preko evapotranspiracije
- preko drenažne mreže kanala i crpnih stanica
- preko eksploatacionih bunara

Najznačajniji slojevi u okviru izdani su peskovi i šljunkovi sa *Corbicula fluminalis*, koji zapravo predstavljaju najdublji i najproduktivniji deo serije kvartarnih naslaga. Izdašnosti vodozahvatnih objekata nisu ujednačene na celoj teritoriji Pančevačkog rita. U zbirnoj tabeli 14 prikazane su izdašnosti bunara na području Panečevačkog rita.

Tabela 14. Izdašnosti bunara na delu Pančevačkog rita

| Bunar/oznaka | Izdašnost (l/s) | specifična izdašnost bunara (l/s/m') | Depresija (m) |
|---|-----------------|--------------------------------------|---------------|
| IZVORIŠTE SIBNICA | | | |
| / | 10.0 | 1.67 | 6.0 |
| / | 15.0 | 1.87 | 8.0 |
| / | 20.0 | 2.03 | 10.0 |
| BUNARI U KRNJAČI | | | |
| / | 4.4 | 4.4 | 1.0 |
| / | 6.6 | 4.28 | 1.5 |
| / | 9.5 | 4.35 | 2.0 |
| EBH-1 | 7.30 | / | 6.0 |
| BK-1 | 20.00 | / | 8.0 |
| IEBK-3/07 | 15.00 | / | 4.0 |
| TEREN IZMEĐU CRPNE STANICE REVA I OVČA | | | |
| / | 5.0 | 4.50 | 1.0 |
| / | 12.0 | 4.63 | 2.5 |
| / | 20.0 | 4.56 | 4.5 |
| IEBOV-1/12 | 6.00 | / | 2.0 |
| SREDNJA VREDNOST IZDAŠNOSTI BUNARA ≈11.5 | | | |

Izdašnosti bunara u ovom delu terena iznose preko 10 l/s za depresije od oko 4 m. Imajući u vidu rasprostranjenje peskovito-šljunkovitih slojeva, uslove prihranjivanja, hidrodinamičke karakteristike, posmatrana izdan praktično predstavlja neiscrpne rezerve podzemnih voda (Milojević, 1975).

Izdašnost zbijenog tipa izdani u okviru kvartarnih sedimenata Pančevačkog rita može se sagledati i na osnovu doticaja podzemnih voda po slivovima. Teritorija Pančevačkog rita, prema usvojenom rešenju za odvodnjavanje podeljena je na 8 slivnih područja. Za svako slivno područje proračunat je doticaj podzemnih voda i to za slučaj pojave maksimalnih nivoa voda u vodotocima i povećane koncentracije padavina (Grupa autora, 1984).

Tabela 15. Pretpostavljeni doticaj podzemnih voda po slivovima
(Grupa autora, 1984)

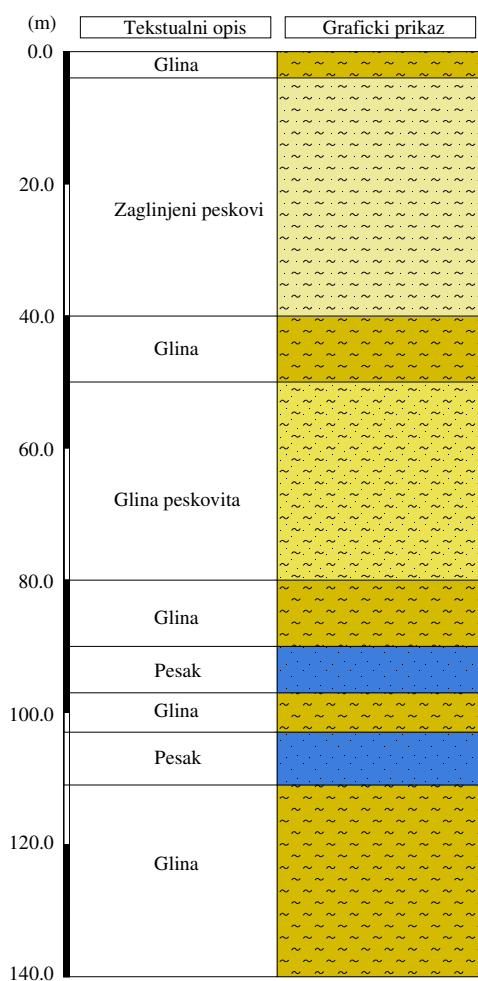
| Slivno područje | Površina sliva (ha) | Doticaj podzemnih voda (l/s/ha) |
|------------------------|----------------------------|--|
| Dunavac | 1600 | 0.42 |
| Beljarica | 7904 | 0.27 |
| Jabuka | 6510 | 0.29 |
| Borča | 6731 | 0.15 |
| Reva | 2430 | 0.30 |
| Belanoš Dunav | 1995 | 0.34 |
| UKUPNO | 27170 | 1.77 |

11.1.2. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata pliocenske starosti

U dubljim delovima terena, u okviru peskova pliocenske starosti formiran je zbijeni tip izdani. Podzemne vode u okviru ovog tipa izdani su pod pritiskom, što je konstatovano bušenjem u istočnom i severnom delu Pančevačkog rita. Debljine peskovitih sedimenata se kreću u granicama od 2 do 10 m (Milojević i dr., 1971).

U istočnom delu Pančevačkog rita (područje Sibnice) bušenjem konstatovana su dva peskovita horizonta, prvi na dubini od 90 m, drugi na dubini od 102.6 m. Debljina peskova prvog horizonta je oko 4.5 m, dok je drugi horizont debljine oko 8.5 m (Lazić, 1996). Na području Padinske Skele, prema podacima bušenja (dubina bušotine 136 m), slojevi sitnozrnog peska i peskovitih glina se smenjuju od 50 m do 136 m (Bogdanović, 2006). U severnom delu terena kod Opova izdan pod pritiskom se nalazi na dubini od 110 m i od 148 do 152 m (Milojević i dr., 1971).

Na slici 72 prikazan je šematizovan litološki profil terena na istočnom i severnom području Pančevačkog rita.



Slika 72. Šematizovani litološki profil istočnog i severnog područja Pančevačkog rita (modifikovano: bunar SB-1/96, iz Jeremić, 2007, prema Lazić M., 1996)

11.1.3. Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Rasprostranjenje karstnog tipa izdani na levoj obali Dunava, u okviru krečnjaka tortonske i sarmatske starosti pretpostavljeno je na osnovu nekoliko litoloških profila:

- bunar kod nekadašnje fabrike kože (leva obala Dunava)
- bunari u Ovči (leva obala Dunava)
- bunar kod nekadašnje klanice (desna obala Dunava)
- bunar u Dugi (desna obala Dunava)

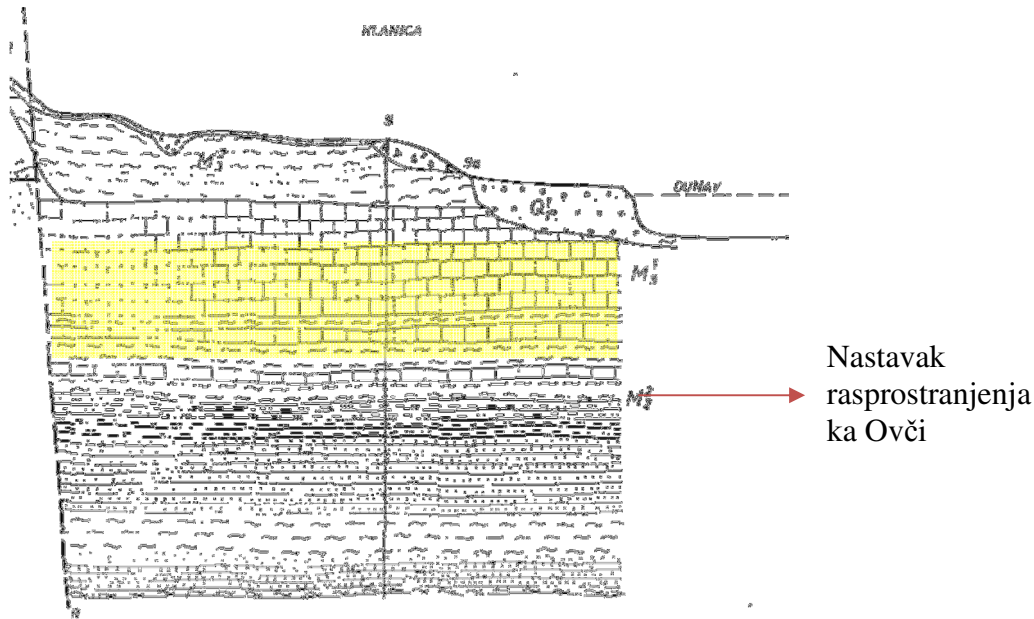
Sedimenti miocenske starosti na delu Pančevačkog rita otkriveni su bušenjem u Ovči i njenoj okolini. Hidrogeološka istraživanja su započeta 1939. godine za potrebe vodosnabdevanja, nastavljena 1952. godine u sklopu naftnih istraživanja, dok poslednja istraživanja (istražno bušenje) datiraju iz 1985. godine.

Izradom prve bušotine (B-37) u Ovči konstatovani su sarmatski krečnjaci na 90 m, i dobijen je samoizliv podzemnih voda od 3 l/s, temperature 19 °C. Mineralizacija podzemnih voda je iznosila 16 g/l (iz Petrović, 1995).

Izradom bušotine B-72 (454 m) konstatovan je vodonosni horizont u intervalu od 73 m do 333 m u okviru krečnjaka, glinovitih krečnjaka, peščara, konglomerata i šljunkova sa glinom.

Bušotina OB-1 dubine 162 m ušla je u vodonosni horizont u intervalu od 114 m do 158 m. Izradom bušotine OB-1 dobijem samoizliv podzemnih voda od 15 l/s, temperature 25 °C (iz Petrović, 1995).

Bušenjem kod nekadašnje klanice (bušotina S, 200 m, slika 73) na levoj obali Dunava utvrđeno je prisustvo peskovitih i krečnjačkih vodonosnih horizonata na sledećim dubinskim intervalima: 162.0–166.0; 177.0–182.0; 187.1–191.8; 196.0–199.0 m (Milojević i dr., 1975).



Legenda: Q_1^1 —peskovi i šljunkovi Save i Dunava (slojevi sa *Corbicula fluminalis*); M_3^2 —panonske gline; M_3^1 —sarmatski krečnjaci; M_2^2 —lajtovački krečnjaci, laporci, peščari i gline

Slika 73. Detalj sa geološko-hidrogeološkog profila od Makiša do Dunava preko Banovog brda, Točiderskog brda i Tašmajdana pravca jugo-zapad–severo-istok (Milojević i dr.,1975)

Krečnjaci koji su nabušeni na desnoj obali verovatno čine podlogu pliocenskim sedimentima Pančevačkog rita. Njihovo prisustvo je dokazano bušotinom kod nekadašnje fabrike kože i bušotinom u Ovči. Obzirom da su krečnjaci nastajali u uslovima prelivne sedimentacije, te u zavisnosti od izgleda paleoreljefa, podloga mlađim pliocenskim i kvartarnim sedimentima ne predstavlja kontinuum.

11.1.4. Hidrohemijske karakteristike rejonu I

Hemijske karakteristike podzemnih voda leve obale Dunava sagledane su prema tipu izdani u kome su formirane. Analiziran je hemizam podzemnih voda formiranih u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata kvartara i u okviru krečnjaka miocenske starosti.

Hemizam podzemnih voda zbijenog tipa izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

Prema rasprostranjenju kvartarnih naslaga, zbijeni tip izdani dominira na teritoriji Pančevačkog rita. Obzirom na povoljne filtracione karakteristike, i na velike akumulacione mogućnosti, peskovi i šljunkovi kvartara predstavljaju primarnu izdan za eksploataciju podzemnih voda. Hemizam i kvalitet podzemnih voda prati se u okviru osmatračke mreže bunara i piježometara na ovom delu terena.

Na osnovu velikog broja uzoraka podzemnih voda, analiziranih u laboratorijama, definisan je generalni hemijski sastav koji karakteriše podzemne vode formirane na levoj obali Dunava.

Prema autorima monografije „Hidrogeologije grada Beograda“ podzemne vode pančevačkog rita su malomineralizovane. Vrednosti mineralizacije se kreću u opsegu od 0.5098 g/l do 0.9053 g/l, retko se sreću vode čija vrednost mineralizacije prelazi 1 g/l. Autori pomenute monografije objašnjavaju vezu između mineralizacije i blizine Dunava, pa tako podzemne vode manje mineralizacije su formirane u sedimentima bliže reci, dok sa povećanjem udaljenosti od korita reke raste i mineralizacija podzemnih voda.

Vrednosti povišene mineralizacije se kreću u granicama od 1.1587 g/l do 1.5263 g/l. Podaci koji se tiču generalnih fizičkih i hemijskih karakteristika podzemnih voda Pančevačkog rita prikazani su u tabeli 16 (Milojević i dr., 1975). Formule Kurlova u priloženoj tabeli iskazuju hemijski sastav tipičan za malomineralizovane podzemne vode, zatim za vode srednje mineralizacije i vode povišene mineralizacije (preko 1 g/l).

Tabela 16. Fizičko-hemijske karakteristike podzemnih voda u okviru sedimenata kvartarne starosti na području Pančevačkog rita (Milojević i dr., 1975)

| PANČEVAČKI RIT | | |
|---|--------------|--|
| T (°C) | | 12-15 |
| pH | | 6.5-7.5 |
| Tvrdoća (°dH) | | 7.28-30.52 |
| Specifične komponente | | / |
| Klasifikacija po Alekinu | Klasa | HCO ₃ |
| | Grupa | Ca |
| Formula Kurlova | | $M_{0.43}CO_{0.04}^2 \frac{HCO_{91}^3Cl_9}{Na + K_{53}Ca_{3.0}Mg_{17}}$ |
| | | $M_{0.51}CO_{0.008}^2 \frac{HCO_{78}^3SO_{12}^4Cl_9}{Na + K_{62}Mg_{23}Ca_{15.0}}$ |
| | | $M_{1.15} \frac{HCO_{68}^3SO_{28}^4}{Na + K_{63}Mg_{21}Ca_{16}}$ |
| <ul style="list-style-type: none"> malomineralizovane vode–mineralizacije se kreće u granicama 400-800 mg/l povišene koncentracije gvožđa–Fe od 0.1 mg/l do 20 mg/l povišene koncentracije mangana–Mn do 5.6 mg/l povišene koncentracije jona NH₄⁺ >2 mg/l | | |

Hemijske analize podzemnih voda uzorkovanih na lokaciji Krnjače i Ovče prikazane su u uporednoj tabeli 17. Redosled prikazanih analiza je formiran na osnovu udaljenja bunara, iz kojih je uzet uzorak, od Dunava:

- Uzorak 1: Bunar EBH-1 „Holcim“ Krnjača, udaljenje od reke oko 1500 m
- Uzorak 2: Bunar BK-1 „BIP“ Krnjača, udaljenje od reke oko 200 m
- Uzorak 3: Bunar IEBO-1/12 Ovča, udaljenje od reke oko 4000 m

Tabela 17. Uporedna analiza hemijskog sastava podzemnih voda na delu Krnjače i Ovče

| Ispitivani parametar | Bunar EBH-1 03.02.2009 | Bunar BK-1 „BIP“ 24.08.2007. | Bunar IEBO-1/12 28.02.2012. | MDK |
|--|-----------------------------------|---|--|------------|
| Boja (Pt-Co skala) | 4.0 | - | <5 | |
| Mutnoća (NTU jedinice) | 8.5 | - | 25 | |
| pH | 7.2 | 7.5 | 6.9 | |
| Suvi ostatak–180°C | 620 | - | | |
| Elektroprovodljivost (µS/cm) | 880 | 1000 | 1567 | |
| Utrošak KMnO₄ (mg/l) | 6.6 | 3.40 | 30 | |
| Ukupna tvrdoća (°dH) | 24.4 | 28.0 | 18 | |
| Mineralizacija (mg/l) | 860 | 730.47 | - | |
| RASTVORENI GASOVI (mg/l) | | | | |
| Kiseonik (O₂) | 2.2 | - | - | |
| Ugljen-dioksid (CO₂) | 71.2 | 14.96 | - | |
| Vodonik-sulfid (H₂S) | 0.20 | - | - | |

...nastavak tabele

| MAKROKOMPONENTE (mg/l) | | | | |
|------------------------------------|--------|-------------|-------|-------|
| KATJONI | | | | |
| Kalcijum (Ca) | 110.5 | 120.24 | 71 | |
| Natrijum (Na) | 38.5 | - | 373 | |
| Magnezijum (Mg) | 38.4 | 49.64 | 35 | |
| Kalijum (K) | 2.2 | - | 3.4 | |
| ANJONI | | | | |
| Karbonati (CO ₃) | <0.5 | 281.99 | - | |
| Hidrokarbonati (HCO ₃) | 485.0 | 573.40 | - | |
| Hloridi (Cl) | 33.0 | 90.75 | 232 | |
| Sulfati (SO ₄) | 108.0 | 90.00 | - | |
| Nitrati (NO ₃) | 2.3 | 8.00 | <0.05 | 50 |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | | | | |
| METALI | | | | |
| Gvožđe (Fe) | 8.75 | 1.40 | <0.2 | |
| Mangan (Mn) | 0.33 | 0.02 | 0.16 | 0.5 |
| Stroncijum (Sr) | - | - | - | |
| Barijum (Ba) | - | - | - | 1.0 |
| Litijum (Li) | - | - | - | |
| Rubidijum (Rb) | - | - | - | |
| Arsen (As) | 0.075 | - | - | 0.01 |
| Selen (Se) | - | - | - | 0.01 |
| Cink (Zn) | 0.23 | - | - | |
| Bakar (Cu) | 0.003 | - | - | 1.0 |
| Nikl (Ni) | - | - | - | 0.02 |
| Hrom-ukupni (Cr) | - | - | - | 0.05 |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | | | | |
| METALI | | | | |
| Olovo (Pb) | <0.001 | - | - | 0.01 |
| Kadmijum (Cd) | <0.001 | - | - | 0.003 |
| Živa (Hg) | - | - | - | 0.001 |
| Aluminijum (Al) | - | - | - | |
| NEMETALI | | | | |
| Bor (B) | - | - | - | |
| Fluoridi (F) | - | - | - | 5.0 |
| Bromidi (Br) | - | - | - | |
| Silicijum (SiO ₂) | 33.6 | - | - | |
| Jodidi (J) | - | - | - | |
| Amonijak (NH ₃) | 0.15 | - | - | |
| Amonijum jon (NH ₄) | 3.20 | 1.20 | - | |
| Nitriti (NO ₂) | <0.005 | - | - | |
| Fosfor (P) | 0.14 | - | - | |
| Sulfidi (HS) | 0.30 | - | - | |
| RADIOLOŠKI SASTAV | | | | |
| Ukupna ALFA aktivnost (Bq/l) | <0.03 | - | - | |
| Ukupna BETA aktivnost (Bq/l) | 0.15 | - | - | |

U uzorku iz bunara EBH-1 „Holcim“ u Krnjači primećuju se povišene koncentracije pojedinih mikrokomponenti, poput metala: arsena, selena, bakara, nikla, hroma, olova, kadmijuma, žive. Poreklo teških metala u podzemnim vodama bunara EBH-1 može se dovesti u vezu sa obližnjom rafinerijom nafte (sličan slučaj zagađenja podzemnih voda konstatovan je na teritoriji Novog Beograda, u krugu Beogradskih Toplana). Pored pomenutih metala, u podzemnim vodama izmerene su povišene koncentracije gvožđa i mangana, čije poreklo nije antropogeno. Gvožđe i mangan su česti u podzemnim vodama formiranim u peskovito-šljunkovitim naslagama.

Hemizam podzemnih voda karstnog tipa izdani u okviru krečnjaka miocenske starosti

Na delu teritorije Pančevačkog rita, lokalitet Ovče, bušenjem su konstatovane termomineralne vode, vrlo specifičnog hemijskog sastava, formirane u okviru krečnjaka miocenske starosti. Sve tri bušotine kaptiraju tortonsko-sarmatske krečnjake, čiju povlatu čini debeo paket panonskih glinovitih sedimenata. Izdanci krečnjaka na površini terena nisu konstatovani na teritoriji Pančevačkog rita, te se zaključuje da je karstana izdan formirana u zatvorenoj hidrogeološkoj strukturi. Ovakvi geološki i hidrogeološki uslovi terena značajno su uticali na hemizam voda formiranih u okviru karbonata.

Tabela 18. Uporedni prikaz nekih karakteristika podzemnih voda iz bušotina B-37 i OB-1 u Ovči

| Bušotina | Bušotina B-37 (1939. god) | Bušotina OB-1 (1985. god) |
|-----------------|--|--|
| T (°C) | 19 | 25 |
| M (g/l) | 16 | 16.35 |
| pH | / | 7.6 - 7.9 |
| °dH | / | 25.76-29.4 |
| Formula Kurlova | $M_{16.2}CO_{0.09}^2H_2S_{0.0004}I_{0.008}Br_{0.03}\frac{Cl_{97}}{Na_{78}K_{15}Mg_5}T_{19}^{\circ}C$ | $M_{16.35}CO_{0.03}^2\frac{Cl_{96}}{Na + K_{96}}T_{23.7}^{\circ}C$ $M_{14.21}CO_{0.03}^2\frac{Cl_{96}}{Na + K_{96}}T_{23.7}^{\circ}C$ |

U hemijskom sastavu konstatovana je najveća koncentracija NaCl. Temperatura ovih visokomineralizovanih voda iznosi 19°C, pH vrednost 6,7. Na osnovu hemijskih analiza određeno je da je ova voda hloridno – magnezijumskog tipa. Prema hemijskim karakteristikama ovo bi bila murijatično, bromno-jodna visoko mineralizovana voda. Od mikrokomponenti konstatovano je prisustvo broma koji stoji u odnosu sa hlorom – 1 : 300, koji je karakterističan za morske vode. Prema hemijskim karakteristikama ovo bi bila murijatično, bromno-jodna visoko mineralizovana voda.

11.2. HIDROGEOLOŠKI REJON II–ZEMUNSKO-BEŽANIJSKI LESNI PLATO

Kopnene naslage lesa spuštaju se niz padine Fruške Gore tokom reke Dunav, te se, u okviru istražnog terena mogu pratiti duž desne obale Dunava počev od Batajnice do Zemuna, linijom Bežanijska Kosa–Surčin, sve do Dobanovaca. Kote lesnog platoa se kreću u opsegu od oko 75 m.n.v. do oko 85 m.n.v. Nadmorske visine lesa rastu bliže obalskoj liniji Dunava, gde dostižu i preko 100 m.n.v. formirajući karakteristične strme lesne odseke. Zbog svoje specifične vertikalne poroznosti na lesnom platou nisu razvijeni površinski rečni tokovi.

Na teritoriji Zemuna, lesni delovi terena poznati su pod nazivom “zemunski lesni plato”, koji je deo sremske lesne zaravni. Lesni pokrivač prostire se i van rejonu II, na desnoj obali Save, odnosno južno od korita Dunava na beogradskom pobrđu. Zapažene naslage lesa su uglavnom konstatovane na terazijskoj, vračarskoj i čuburskoj zaravni (Nedić, Bogićević, 2010).

U morfološkom pogledu teritorija rejonu II pripada prostranoj sremskoj ravnici izgrađenoj od aluvijalnih i lesnih sedimenata. Površina rejonu iznosi oko 375 km². Najvećim delom izgrađena je od terasnih sedimenata holocenske starosti i lesnih tvorevina starije pleistocenske starosti. U okviru terasnih sedimenata zapažaju se i sedimenti recentnih bara formiranih kao posledica meandriranja površinskih tokova. Na većem delu terena prisutan je glinoviti pokrivač (alevritske gline) male specifične izdašnosti, te teren generalno spada u slabo izdašne terene (Milojević i dr., 1975).

Jedna od odlika ovog dela terena je vertikalna litološka heterogenost, zbog čega se u dubljim delovima terena javljaju slojevi veoma izdašni podzemnim vodama. Izuzev na lesnim delovima terena, područje je pokriveno površinskim tokovima, uglavnom regulacionim kanalima od kojih se po veličini ističu Galovica, Veliki Begej, Veliki kanal, Rimski kanal. Posmatrano u okviru opštinskih granica teritorije grada Beograda, rejon II obuhvata opštinu Zemun, opštinu Surčin i deo opštine Novi Beograd. Udaljeni delovi opštine Zemun, te veći delovi opštine Surčin prema Generalnom planu Beograda 2021 (Grupa autora, 2009), svrstani su u privredne zone i poljoprivredne površine.

Na teritoriji rejona II izdvojeni su sledeći tipovi izdani:

1) u planu

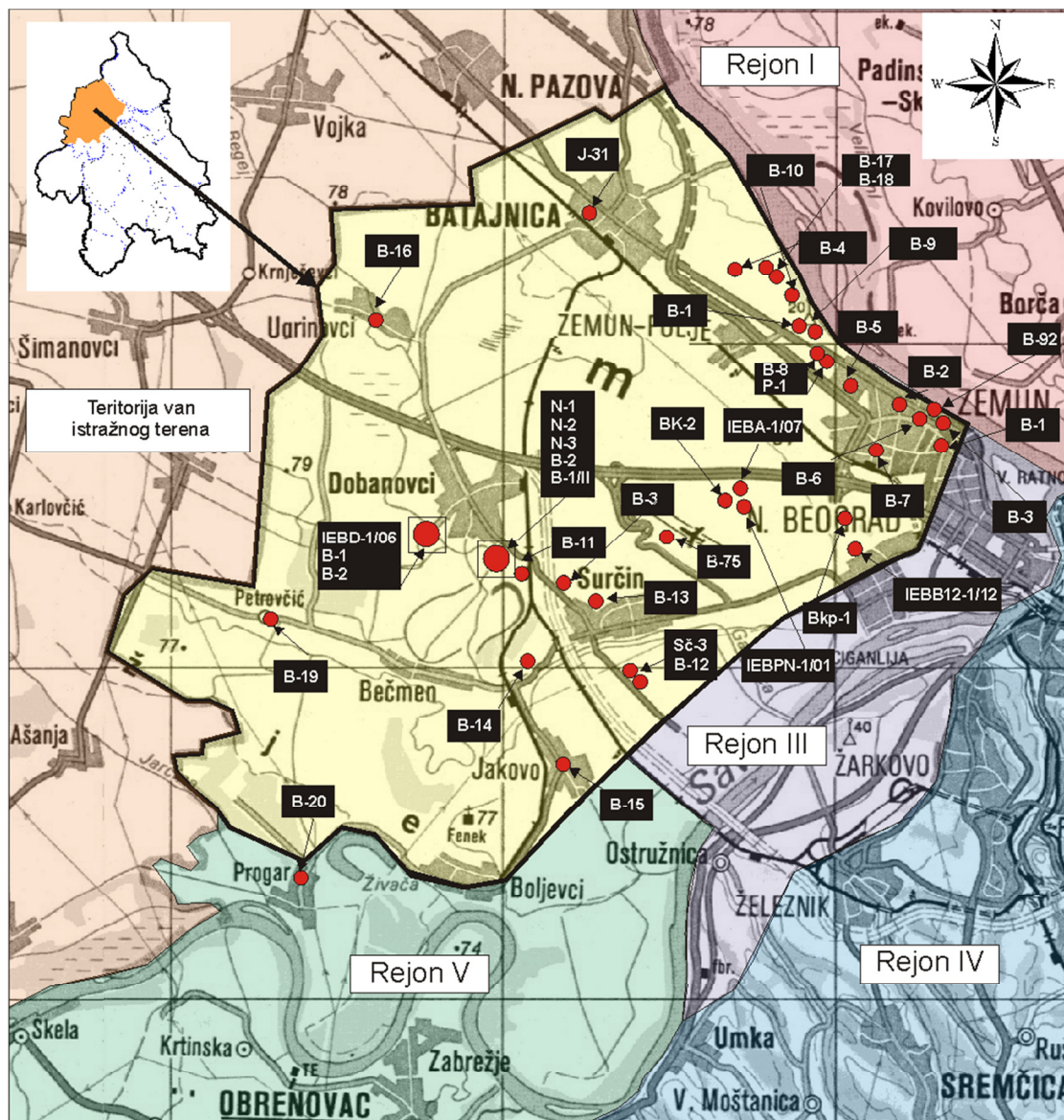
- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

2) u profilu

- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata tercijarne starosti

Na osnovu hidrodinamičkih karakteristika nivoa, u okviru naslaga kvartarne starosti formirana je izdan sa slobodnim nivoom, dok je u okviru sedimenata tercijarne starosti formirana izdan pod pritiskom. Izradom bušotina na teritoriji Jakova konstatovana je izdan sa pozitivnim piježometarskim nivoom.

Mreža bunara i piježometara prikazana je na položajnoj karti (slika 74), koju prati tabela analiziranih objekata na području Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa (tabela 19).



Legenda:

- Bunar/pijezometar
- Grupa pjezometra
- IEBA-1/07 Oznaka za bunar/pijezometar

Slika 74. Položajna karta analiziranih bunara i pjezometara u okviru hidrogeološkog rejona II

Tabela 19. Analizirani bunari i pijeometri na području Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa (rejon II)

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijeometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|--|---------------------------------|---------------|---|----------------------------|--------------------------|
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartrane starosti | | | | | | |
| 1. | Nelt Dobanovci 74 39 839 49 62 925 84 m | Nelt-3 | 54.00 | 38.20-48.00 | pesak | Milenić, 2010 |
| 2. | Pepsi Dobanovci 7440 248 4963 180 85 m | B-2 | 54.00 | 40.00-50.00 | pesak | iz Dragišić, 1997 |
| 3. | Bd Agro Dobanovci | B-1 | 153.00 | 36.00-41.00 46.00-48.50 | pesak | iz Milenić, 2006 |
| 4. | Surčin- Dobanovci | B-3 | 76.00 | 31.00-76.00 | pesak- šljunak | Milojević i dr.,1975 |
| 5. | Bečmen- Surčin | B-14 | 50.00 | 28.00-34.00 | pesak | Milojević i dr., 1975 |
| 6. | Progar* | B-20 | 98.00 m | 16.00-24.00 87.00-92.00 | pesak šljunak | Milojević i dr., 1975 |
| 7. | Batajnica | J-31 | 76.00 | 35.20-54.80 65.10-68.09 68.30-74.00 | pesak | Milojević i dr.,1975 |
| 8. | Ugrinovačka ul. Zemun | B-1 | 39.23 | 34.97-37.86 37.86-38.88 | krupan pesak šljunak | Milojević i dr.,1975 |
| 9. | Zemun Ul. Sibinjanin Janka | S-32 | 69 | 13.00-22.00 61.00-69.00 | pesak šljunak | Milojević i dr., 1975 |
| 10. | Ugrinovačka ul.92 7449.354 4968.544 58 m | B-1 | 65.00 | 25.7-27.6 33.1-37.9 39.1-40.8 46.5-48.8 50.2-62.6 | pesak šljunak | Bogdanović, 2011 |

* prema položaju bunar B-20 u Progaru pripada rejonu V. Radi uporednog prikaza bunara u okviru tersanih sedimenata Save, bunar B-20 pridodat je rejonu II

... nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|---|--|-------------------------------|---------------|--|-------------------------------|--------------------------|
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartrane starosti | | | | | | |
| 11. | Bežanijska Kosa | IEBB12-1/12 | 61.00 | 38.00-47.00 52.50-58.00 | pesak šljunkoviti pesak | Milenić, 2011 |
| 12. | Kvantaška pijaca | Bkp-1 | 100.00 | 28.40-39.00 45.40-53.50 | pesak | Jović P., 2005 |
| 13. | Radio Far Surčin | BK-2 | 96.00 | 39.20-47.80 55.50-65.50 | pesak | Jović P., 2005 |
| 14. | Surčin | B-13 | 200.00 | 7.40-15.20 30.30-42.00 42.00-44.60 | pesak | Milojević i dr., 1975 |
| 15 | Auto- Komerc Surčin | IEBA-1/07 | 70.00 | 52.00-62.00 | pesak | Milenić, 2007 |
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata tercijarne starosti | | | | | | |
| 16. | Ogledno polje Poljoprivred nog fakulteta | B-4 | 67.60 | 58.50-63.00 | pesak sa šljunkom | Milojević i dr.,1975 |
| 17. | Zemun- Svilara 7452.960 4967.300 95 | B-3 | 70.00 | 52.00-67.00 | šljunak | iz Šestak, 2006 |
| 18. | Insa-Zemun 7452.400 4968.550 108 m | B-6 | 67.00 | 53.00-66.30 | pesak | iz Milenić, 2006 |
| 19. | Navip 7452.456 4966.297 92 m | B-7 | 70.00 | 51-57 | pesak- šljunak | iz Milenić D., 2006 |
| 20. | Zemun- mlekara 7447.250 4970.600 250 m | B-8 | 73.8 | 60.50-66.50 | pesak | iz Šestak A., 2006 |

... nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|---|---|----------------------------------|---------------|--|-----------------------|------------------------|
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata tercijarne starosti | | | | | | |
| 21. | Zemun 7449.308 4970.530 99 | B-17 Banka biljnih gena | 80.00 | 55.00-73.00 | peščar pesak | Grupa autora, 1991 |
| 22. | Zemun Geofizički institut | B-18 | 78.00 | 56.00-72.50 | peščar pesak | Grupa autora, 1991 |
| 23. | Zemun Coca-Cola 7450.100 4969.500 90 | BCC-1/97 | 200.00 | 175.00-195.00 | šljunkovi- peskovi | Šestak, 2006 |
| 24. | Zemun- Zeleni Hit 7448.600 4971.500 91 | B-10 | 86.00 | 72.00-84.00 | pesak | Šestak, 2006 |
| 25. | Zemun- Teleoptik 7452.100 4967.900 99 m | B-2 | 70.00 | 60.00-61.50 61.50-66.00 | peščar pesak | iz Milenić, 2006 |
| 26. | Galenika 7449.600 4968.600 88 | B-5 | 100.00 | 76.80-80.00 | pesak | iz Šestak, 2006 |
| 27. | Zemun 7459.255 7449.800 | B-1 | 124.00 | 35.5-43.8 51.0-52.3 53.4-64.5 81.6-84.6 92.6-103.4 112.3-1148 | pesak šljunak | Bogdanović, 2008 |
| 28. | Batajnica 7440.835 4976.363 | B-4 | 79.00 | 51.0-62.0 70.0-79.0 | pesak šljunak | Lazić B, 2010 |
| 29. | Btajnica 7440.723 4976.381 | B-5 | 77.00 | 53.0-57.0 67.0-71.0 | pesak šljunak | Lazić B, 2010 |
| 30. | Aerodrom- Surčin | B-75 | 240 | 22-35 60.7-64.0 68.8-71.30 90.0-92.0 174.7-224.5 | pesak šljunak | iz Teodorović, 2002 |

... nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|---|-------------------------|----------------------------------|---------------|--|---------------------------------------|--------------------------|
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata tercijarne starosti | | | | | | |
| 31. | Surčin Radio Far | IEBPN-1/01 | 520.00 | 321.4-324.4 345.0-348.1 357.2-419.0 439.2-449.5 454.0-456.2 | glina, drobina kvarca, pesak | iz Đokić, 2003 |
| 32. | Farma svinja Surčin | Sč-3 | 232.00 | 22.00-35.00 174.70-224.50 | šljunak pesak | / |
| 33. | Farma svinja Surčin | B-12 | 228.00 | 175.00-206.00 206.00-223.00 | šljunak pesak | / |
| 34. | Dobanovci | S-D | 239.00 | 82.00-86.00 180.00-184.00 233.00-239.00 | pesak | Milojević i dr., 1975 |
| 35. | Ugrinovci | S-17 | 215.00 | 46.50-53.00 58.00-63.00 65.00-75.00 139.00-141.00 158.00-161.00 | pesak šljunak | Milojević i dr., 1975 |
| 36. | Jakovo | B-15 | 92.00 | 83.00-92.00 | pesak | Milojević i dr., 1975 |
| 37. | Petrovčić | B-19 | 201.50 | 18.40-37.00 40.00-45.00 55.00-56.00 71.00-73.30 84.30-89.00 97.5-100.00 108.00-112.00 151.00-154.40 171.00-176.00 198.00-201.50 | pesak | / |

Litologija terena do dubine od 200 m i dublje poznata je van gradskog jezgra. U delovima Zemuna dubine bunara se kreću oko 100 m. Bunari čije dubine dostižu 200 m kaptiraju podzemne vode formiranu u okviru peskovitih slojeva pod pritiskom (okolina Dobanovaca, Ugrinovaca, Jakova). Većina bunara pomenutih dubina je rađena pre oko 60 godina, te su van eksploatacije. Potrebno je napomenuti da je na teritoriji rejona II izbušena bušotina dubine 520 m u neposrednoj blizini aerodroma "Nikola Tesla" (Đokić, 2003). Prilikom bušenja nisu uzimani uzorci za litološko-stratigrafsku analizu sedimenata, te je nepoznata starost glina u kojima je bušotina završena.

11.2.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartrane starosti

Rasprostranjenje izdani

Zbijeni tip izdani formiran je u okviru peskova, ređe šljunkova, koji prema morfofenetskim karakteristikama pripadaju rečnoj terasi reke Save. Njihov nastanak se vezuje za fluvijalni proces, odnosno za “dinamičku evoluciju Save” koja je svoje korito pomerala ka jugu ostavljajući sa sobom bare i meandre. Sedimenti rečne terase su holocenske starosti i zauzimaju veliko prostranstvo zapadno od Save, a na jugu se završavaju odsekom visine od oko 4-6 m na području Progara i Boljevaca. (Grupa autora, 1984).

Terasni sedimenti prostrane Sremske ravnice izgrađeni su uglavnom od alevritskih glina i peskovitih naslaga različite granulacije. Karakterišu se čestom smenom vodonepropusnih i vodonosnih litoloških članova u vertikalnom profilu. Kvartarni sedimenti prelaze u tercijarne sedimente, čija je odlika takođe, česta smena vodonosnih peskovitih slojeva i vodonepropusnih glinovitih slojeva. Rasčlanjavajući litološke profile bušotina i bunara izdvojeni su karakteristični peskoviti, ređe šljunkoviti slojevi, nosioci podzemnih voda.

Kao što je u uvodnom delu rejonu II prikazano, zbijeni tip izdani u okviru kvartarnih sedimenata može se pratiti u planu i profilu. Naime, na delu teritorije bežanijskog lesnog platoa i na delu teritorije Zemuna, u podini lesnih naslaga konstatovani su kvartarni sedimenti. Podaci vezani za rasprostranjenje kvartarnih sedimenata na širem području rejonu II dobijeni su izradom istražnih bušotina, u sklopu radova na izgradnji obilaznice autoputa Dobanovci–Bubanj Potok (iz Nenadić, Bogićević, 2010 prema Knežević, 1998).

Prema pomenutim autorima, rasprostranjenje kvartarnih sedimenata novijim istraživanjima je konstatovano na sledećim delovima terena:

- uzvodno od Umke, na desnoj obali Save ka toku Kolubare i Tamnave. Debljina se kreće oko 7-30 m, povećavajući se ka severu.
- na području Zemuna (u bušotini ZK-1) kvartarni (makiški slojevi) nalaze se na dubinskom intervalu od 6.5 m do 49.1 m

- na području Zemuna (u bušotini ZK-14), ispod lesnih i barsko-rečnih naslaga konstatovani su rečni policiklični sedimenti u dubinskom intervalu od 38 m do 68.5 m
- kod bežanijskog groblja (bušotina ZK-26) konstatovane su rečne policiklične naslage u podini barskorečnih sedimenta na dubini od 38.4 m do 63 m
- na području Novog Beograda (bušotina ZK-11), kod zgrade starog “Merkatora” konstatovani su makiški slojevi debljina od 15 m do 30 m.

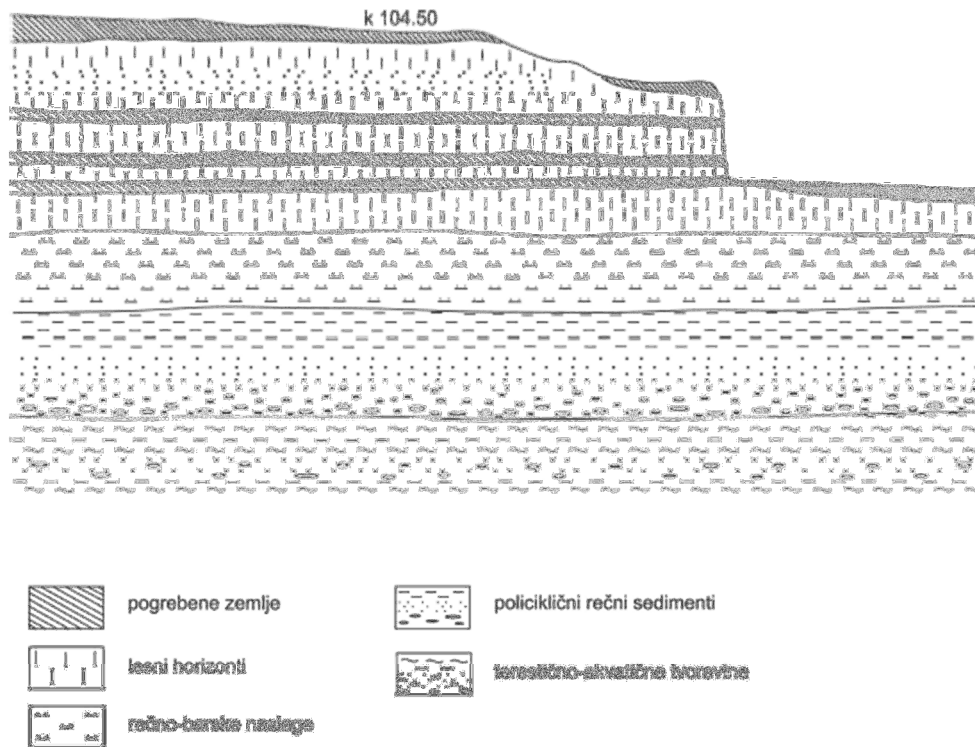
Zbijeni tip izdani u okviru rečnih sedimenta kvartarne starosti može se pratiti na celom prostoru Zemuna, Bežanije, Ledina, sve do Surčina, Dobanovaca i Batajnice.

Geometrija posmatranog tipa izdani u okviru rejonu II sagledana je krećući se od zapada ka istoku, odnosno od Dobanovaca, Surčina, Jakova i Progara ka Bežaniji, Zemunu i Batajnici. Dubina zaleganja kaptiranih vodonosnih slojeva se kreće oko 30 m, a slojevi se završavaju na oko 50 m dubine. U gornjem delu litološkog profila smenjuju se slojevi sitnozrnog peska, gline, peskovite fline, lesa. U okviru peskovitih glina i sitnozrnih peskova i alevrita formirana je izdan veoma male izdašnosti, podložna atmosferskim uticajima.

Na potesu Dobanovci-Surčin vodonosni peskovito-šljunkoviti slojevi konstatovani su u intervalu od 40 m do 50 m (bunar B-2 "Pepsi"), zatim od 30 m do 40 (bunar IEED-1/06 "BD Agro"). Na potesu Bečmen-Surčin, vodonosni slojevi nešto pliće zaležu, u intervalu od 28 m do 34 m (bunar B-14) i od 31 m do 52 m (bunar B-3).

Zbijeni tip izdani u okviru sedimenta kvartarne starosti na delu Bežanije, Zemuna i Batajnice formiran je u peskovito-šljunkovitim slojevima ispod lesnih naslaga. Nadmorske visine Zemunskog lesnog platoa se kreću u intervalu od 100 m do 114 m, sa tendencijom spuštanja ka zapadu (80-90 m.n.v.). Prosečna debljina lesnih naslaga se kreće između 20 m i 30 m.

Na slici 75 prikazan je profil kvartarnih naslaga na području zemunskog i bežanijskog lesnog odseka.



Slika 75. Profil kvartarnih pleistocenskih naslaga na području Zemunskog i Bežanijskog odseka (Nenadić, Bogičević, 2010)

Vodonosni slojevi formirani su u donjem delu profila lesnih naslaga, u okviru peskova i glinovitih peskova, i šljunkova. Prateći lesne naslage duž desne obale Dunava, od Batajnice do Zemuna, uočava se da se debljina lesnog pokrivača smanjuje. U delu terena oko Batajnice debljina lesnih naslaga dostiže vrednost oko 30 m, dok Zemunu oko 10 m. Analizirajući litološke profile bunara na teritoriji Zemuna zapaža se i odsustvo povlatnih lesnih naslaga u pojedinim delovima terena. Zatim debljina lesa se povećava u zoni Bežanijske Kose gde dostiže vrednosti do 30 m. Van gradske zone, ka Surčinu i Dobanovcima lesni pokrivač skoro da odsustvuje.

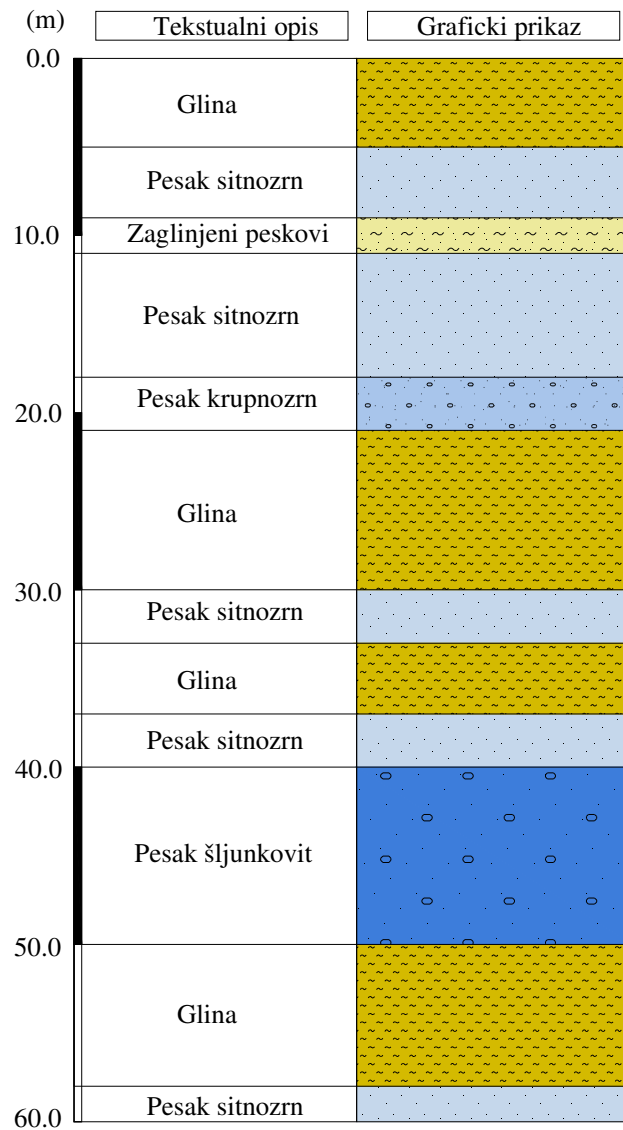
U podini naslaga eolskog procesa, u neprekidnoj smeni nalaze se peskovi različite granulacije i glinoviti sedimenti. Neretko, podzemne vode su formirane i u šljunkovitim sedimentima.

Na području Zemuna vodonosni peskovi konstatovani su u intervalu od 30 m do 60 m (bušotina B-1, Ugrinovačka 92, Zemun). Vodonosni slojevi se nalaze u čestoj smeni sa zaglinjenim peskovitim i glinovitim slojevima. Na delu Bežanijskog lesnog platoa vodonosni slojevi konstatovani su od 28 m do 39 m i od 45 m do 53 m (bušotina Bkp-1, Kvantaška pijaca), odnosno od 37 m do 47 m i od 52 m do 58 m (bunar IE BB12-1/12 na Bežanijskoj Kosi). Prosečna debljina vodonosnih peskovito-šljunkovitih slojeva na području Zemunsko-Bežanijskog lesnog platoa prikazana je u tabeli 20.

Tabela 20. Debljine peskovitih vodonosnih slojeva kvartarne starosti na području Zemunsko-Bežanijskog lesnog platoa

| Bunar | Lokacija | Litologija | Debljina vodonosnih slojeva (m) |
|---|-------------------------|-------------------|--|
| B-2 | Pepsi Dobanovci | pesak | 10 |
| Nelt-1 | Nelt Dobanovci | pesak | 16 |
| Nelt-3 | Nelt Dobanovci | pesak | 10 |
| IEBD-1/06 | BD Agro Dobanovci | pesak | 7 |
| B-2 | BD Agro Dobanovci | pesak | 14 |
| B-3 | Surčin-Dobanovci | pesak šljunak | 20 |
| B-14 | Bečmen-Surčin | pesak | 6 |
| Bk-2 | Radio far Surčin | pesak | 18 |
| B-1 | Ugrinovačka 92 Zemun | pesak šljunak | 20 |
| Bkp-1 | Kvantaška pijaca | pesak | 19 |
| IEBB12-1/12 | Bežanijska Kosa | pesak | 16 |
| PROSEČNA DEBLJINA VODONOSNIH SLOJEVA ≈14 m | | | |

Na slici 76 prikazan je litološki profil terena karakterističan za područje Dobanovci-Surčin (jugozapadni delovi rejona II).



Slika 76. Tipski litološki profil terena Dobanovci-Surčin
(modifikovano: bunar Nelt/09 u Dobanovcima, Milenić, 2010)

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Uslovi prihranjivanja zbijenog tipa izdani formiranog u okviru peskova i šljunkova su veoma povoljni. Prihranjivanje se odvija:

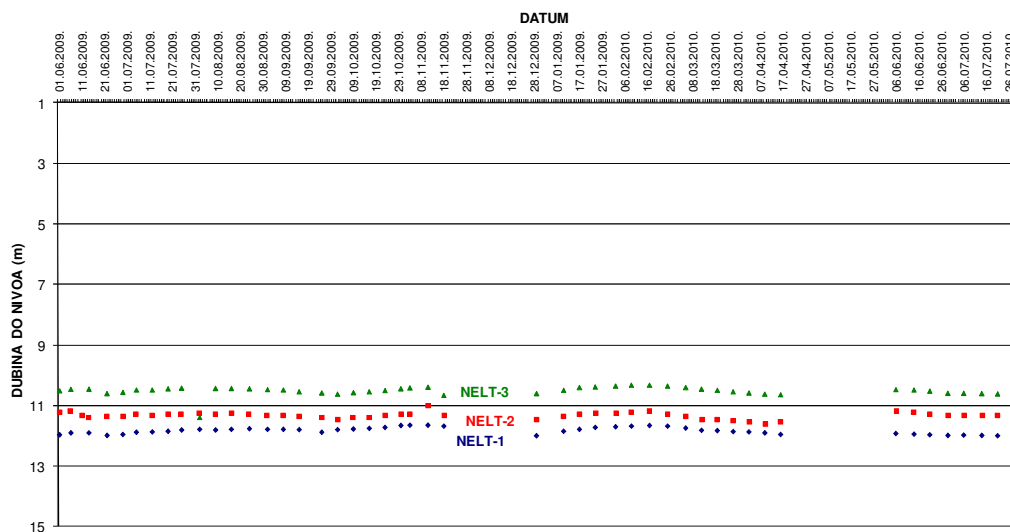
- putem infiltracije padavina
- putem infiltracije površinskih voda

U oblasti lesnih nalaga primetno je odsustvo površinskog oticaja. Na pojedinim delovima lesnog platoa razvijena su plitka udubljenja–vrtače u kojima se u periodu obilnih padavina zadržava voda, a koja se kasnije direktno infiltrira u podzemlje. Uslovi prihranjivanja su povoljni obzirom da povlatu izdani odlikuje znatna vertikalna vodopropusnost.

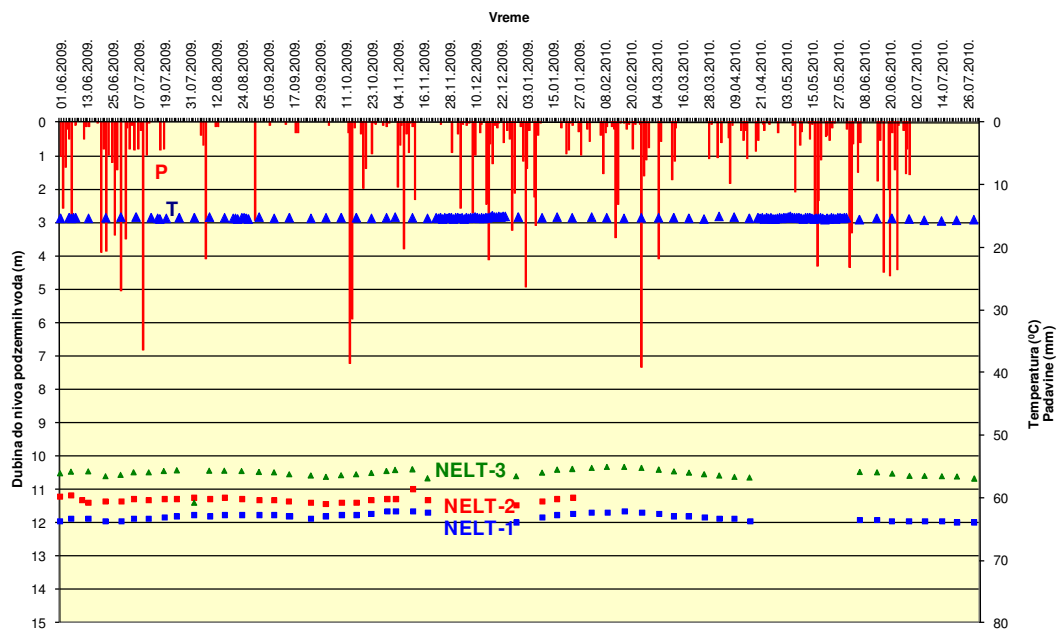
Na prihranjivanje izdani na delu Dobanovaca i Surčina značajno utiče geomorfološka građa terena. Teren je blago nagnut ka severoistoku, a posebno ga karakteriše pojava izražene depresije u centralnom delu područja. Površina depresije je velika i obuhvata područje Dobanovaca, Batajnice, i dalje van istražnog terena (N. Pazova, Popinci, Sremski Mihaljevci, Deč).

Unutar ove depresije prosečna kota iznosi 76 m (Grupa autora, 2007). Mali nagibi terena uslovljavaju neznatan površinski oticaj, te je prihranjivanje izdani intenzivno.

Kolebanja nivoa podzemnih voda sagledane su na osnovu rezultata režimskih osmatranja na području Dobanovaca u periodu od 12 meseci. U istom periodu je posmatran i uticaj atmosferskih padavina na nivoa podzemnih voda (slike 77 i 78).



Slika 77. Uporedni dijagram promena dubina do nivoa podzemnih voda na istražno-eksploatacionim bunarima Nelt-1, Nelt-2 i Nelt-3



Slika 78. Uporedni dijagram padavina i promena dubina do nivoa podzemnih voda na istražno-eksploatacionim bunarima Nelt-1, Nelt-2 i Nelt-3 u Dobanovcima

Ampplituda kolebanja nivoa podzemnih voda od 0.33 m do 0.42 m (slika 77) ukazuje na relativno stabilan režim nivoa podzemnih voda u delu Dobanovaca. Uporednom analizom dijagrama padavina i dubina do nivoa podzemnih voda (slika 78) vidi se da režim padavina ne utiče direktno na promenu nivoa podzemnih voda u istražno-eksploatacionim bunarima Nelt-1, Nelt-2 I Nelt-3 za period osmatranja: 01.06.2009–26.07.2010.

U zapadnom delu rejonu II (okolina Dobanovaca) prosečne vrednosti dubine do nivoa podzemnih voda iznose oko 10 m.

Na delu teritorije Dobanovaca i Surčina, peskoviti slojevi se karakterišu dobrim filtracionim karakteristikama (tabela 21).

Tabela 21. Vrednosti koeficijenta filtracije na delu terena Dobanovci-Surčin

| Bunar | K_f (m/s) | T m ² /s |
|-----------|-----------------------|-----------------------|
| Nelt-1 | 2.72×10^{-5} | 5.17×10^{-3} |
| Nelt-2 | 9.71×10^{-6} | $1.65 \cdot 10^{-3}$ |
| Nelt-3 | 2.54×10^{-5} | $4.31 \cdot 10^{-3}$ |
| B-2 Pepsi | $1.52 \cdot 10^{-3}$ | $1.60 \cdot 10^{-3}$ |
| IEBD-1/06 | 2.50×10^{-5} | - |

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Dreniranje izdani odvija se putem eksploatacionih bunara i isticanjem u drenažne kanale koji gravitiraju ka reci Savi. Na zapadnom delu rejonu II zapažaju se rezidualni fluvijalni oblici reljefa kao što su bara Živača, Ugrinovačka bara, Surčinovica, te razvijena mreža irigacionih kanala (Veliki kanal, Ugrinovački kanal, Mihaljevački kanal...).

Vrednosti izdašnosti bunara variraju od 5 l/s do 20 l/s za različite vrednosti depresije posmatrano u okviru kvartarnih sedimenata na području rejonu II. Izdašnost bunara zavisi, osim od hidrodinamičkih svojstava kaptiranog sloja i od konstruktivnih karakteristika bunara, pre svega vodoprijemne zone. “Loše” izveden bunar, sa velikim linijskim gubicima u prifilterskoj zoni daje i do skoro dva puta manju količinu od "dobro" izvedenog bunara u okviru istog vodonosnog sloja.

U zbirnoj tabeli 22 prikazane su izdašnosti bunara na području rejona II.

Tabela 22. Izdašnosti bunara na delu Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa

| Bunar/oznaka | Izdašnost (l/s) | Depresija (m) |
|---|----------------------------|--------------------------|
| Nelt-Dobanovci (3 bunara) | 30.00 | 3.43-12.36 |
| Pepsi-Dobanovci (2 bunara) | 20.00 | 0.84-4.66 |
| Bd Agro-Dobanovci | 7.00 | 4.90 |
| Surčin B-3 | 6.50 | 1.00 |
| Autokomerc | 6.00 | 17.00 |
| IEBB12-1/12 Bežanijska Kosa | 5.00 | 25.00 |
| SREDNJA VREDNOST IZDAŠNOSTI BUNARA \approx8.0 l/s | | |

11.2.2. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata tercijarne starosti

Rasprostranjenje izdani

U sevrenom delu rejona II, područje Batajnice, peskoviti vodonosni slojevi konstatovani su u intervalu od 51 m do 62 i od 70 do 79 m (bunar B-4), odnosno od 53 m do 57 m i od 67 do 71 m (bunar B-5). Na lokaciji bunara J-3, u krugu "Tanjuga" u Batajnici peskoviti slojevi se nalaze u dva intervala, prvi od 65 m do 68 m i drugi od 69 do 74 m (Milojević i dr., 1975).

Na području Zemuna peskoviti i šljunkoviti vodonosni slojevi konstatovani su u intervalu od 60 m do 74 m (bunar B-8, mlekara "Zemun"). Na lokaciji bušotine B-1 "Europolis" u Zemunu konstatovana su dva vodonosna intervala, od 53 m do 64 m peskoviti slojevi i od 92 m do 103 m peskovito-šljunkoviti slojevi (Bogdanović, 2008). U Zemunu, na lokaciji bunara u pogonu fabrike "Coca-Cola" peskoviti šljunkovi su konstatovani od 175 m do 195 m dubine.

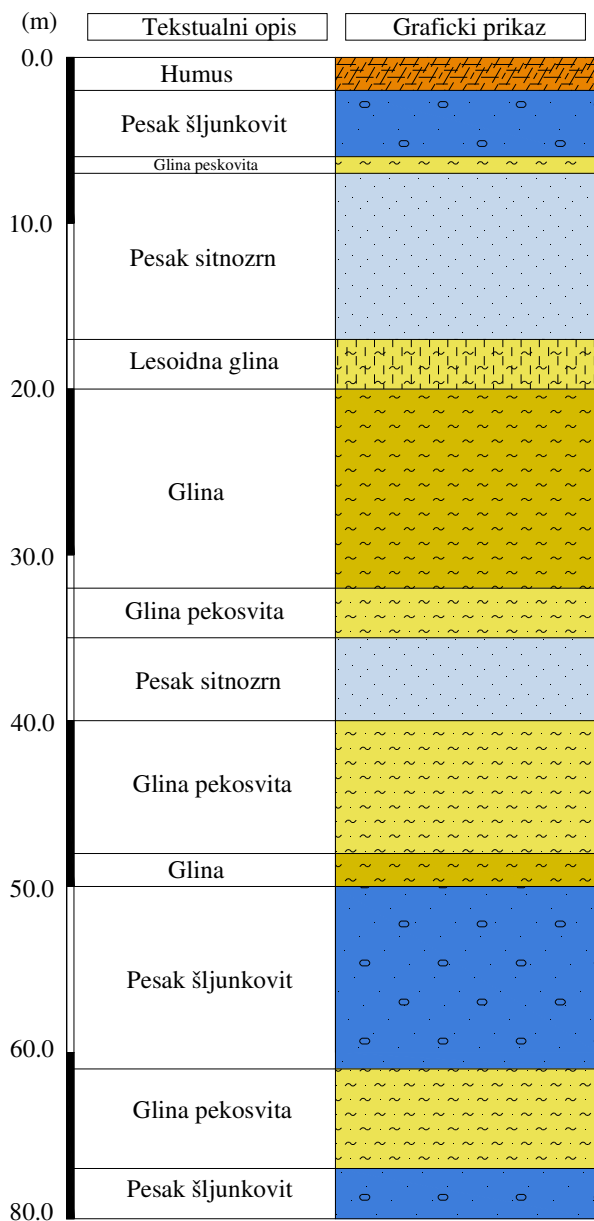
U zoni Surčina, Dobanovaca i Ugrinovaca konstatovano je nekoliko vodonosnih slojeva pod pritiskom. Okolina Surčina vodonosni sloj se nalazi u intervalu od 122.00 m do 124.00 m, zatim okolina Dobanovaca vodonosni sloj je u intervalu od 233.00 m do 239.00 m i u okolini Ugrinovaca kaptiran je sloj pod pritiskom u intervalu 158.00 m do 161.00 m. U južnom delu rejona II, u Jakovu, pored šljunkovitih slojeva (25 m-30 m) konstatovani su i peskoviti sedimenti (83 m-92 m) nosioci termomineralnih voda (Milojević i dr., 1975).

Prosečna debljina vodonosnih peskovito-šljunkovitih slojeva tercijarne starosti na području Zemunsko-Bežanijskog lesnog platoa prikazana je u tabeli 23.

Tabela 23. Debljine peskovito-šljunkovitih vodonosnih slojeva tercijarne starosti na području Zemunsko-Bežanijskog lesnog platoa

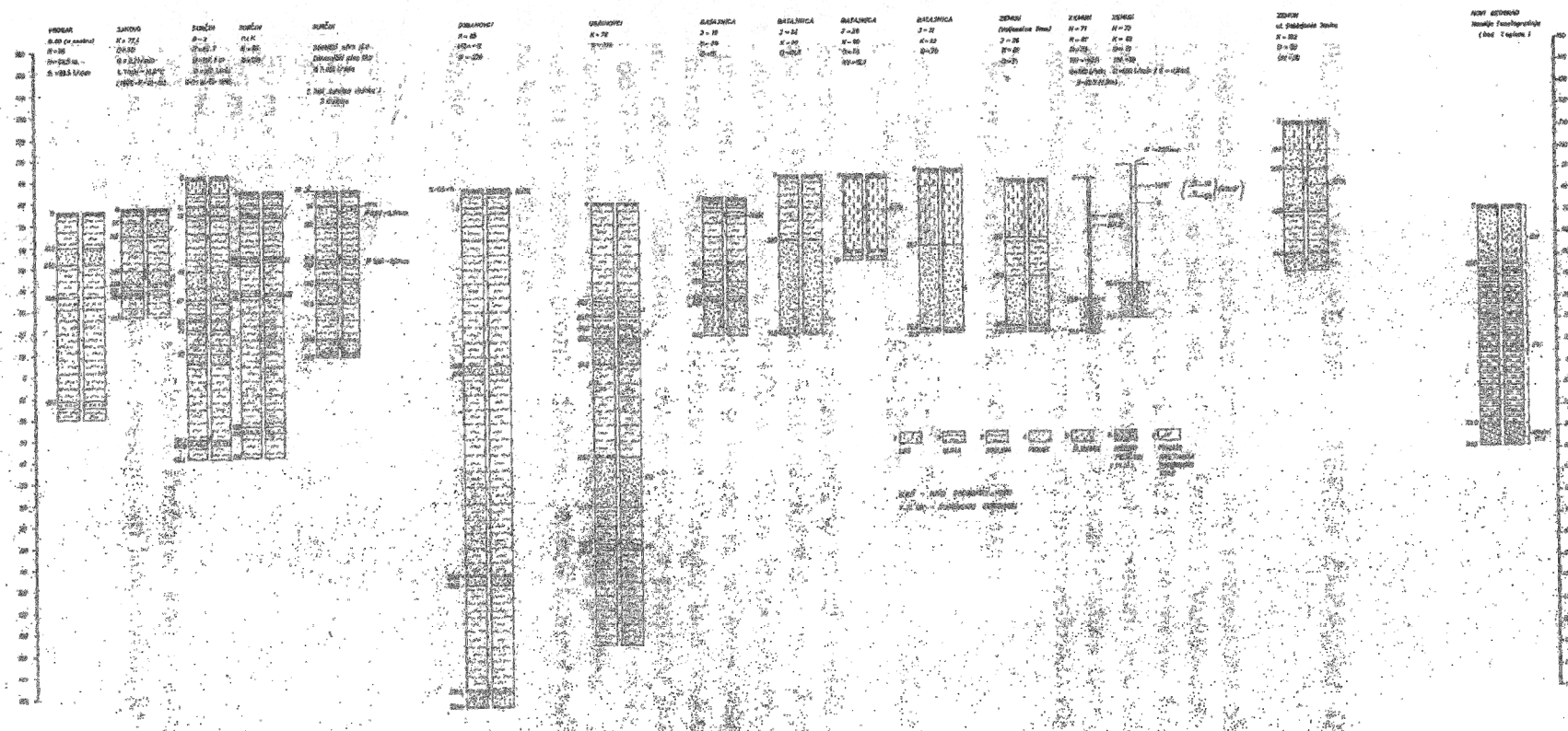
| Bunar | Lokacija | Litologija | Debljina vodonosnih slojeva (m) |
|---|-----------|------------------|---------------------------------|
| B-4 | Batajnica | pesak | 20.0 |
| B-5 | Batajnica | pesak | 8.0 |
| B-1 | Zemun | pesak šljunak | 22.0 |
| "Coca-Cola" | Zemun | pesak šljunak | 20.0 |
| "Insa" | Zemun | pesak | 13.0 |
| "Banka biljnih gena" | Zemun | pesak | 18.0 |
| B-5 | Galenika | pesak | 4.0 |
| S-D | Dobanovci | pesak | 8.0 |
| PROSEČNA DEBLJINA VODONOSNIH SLOJEVA ≈14.0 | | | |

Profil terena karakterističan za severne i severozapadne delove terena (Batajnica-Galenika) prikazan je na slici 79.



Slika 79. Tipski litološki profil područja Batajnice
(modifikovano: bunar B-4 u Batajnici, Lazić B., 2010)

Na slici 80. dat je uporedni prikaz geološko-hidrogeoloških profila bunara na teritoriji reiona II.



Slika 80. Uporedni geološko-hidrogeološki profili bunara na teritoriji rejonu II (Milojević, i dr., 1975)

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Prihranjivanje se odvija:

- putem infiltracije atmosferskih padavina
- putem infiltracije površinskih voda

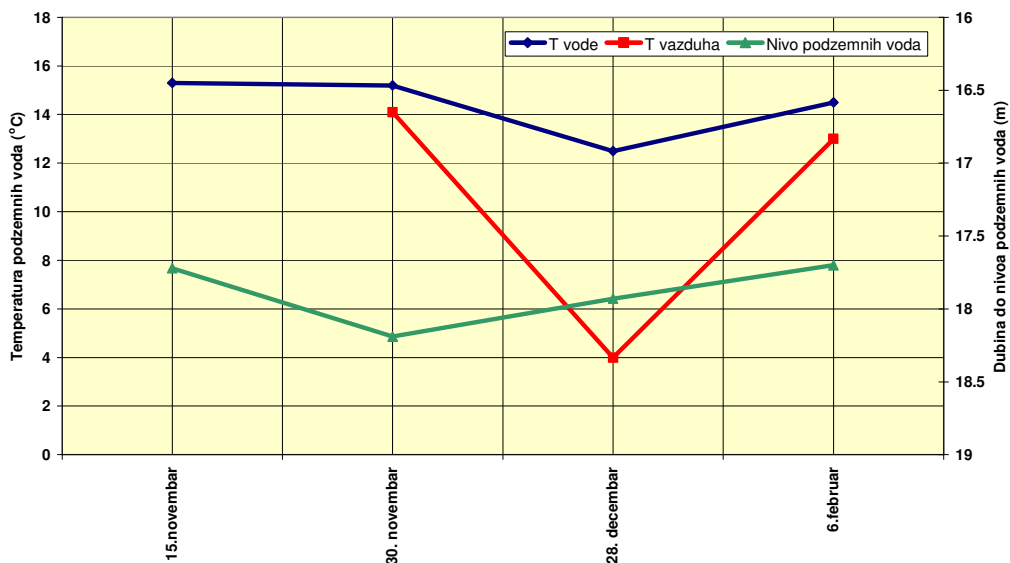
Prihranjivanje peskovitih i šljunkovitih slojeva je otežano usled postojanja debelih naslaga glinovite povlate, te su zone hranjenja udaljenije (na mestima gde peskovi isklinjavaju na površinu terena).

Otežane uslove vodozamene potvrđuje starost podzemnih voda u Jakovu. Naime, iz odnosa koncentracija argona i helijuma u podzemnim vodama utvrđena je starost od 230.000 godina (Dimitrijević N., 1975).

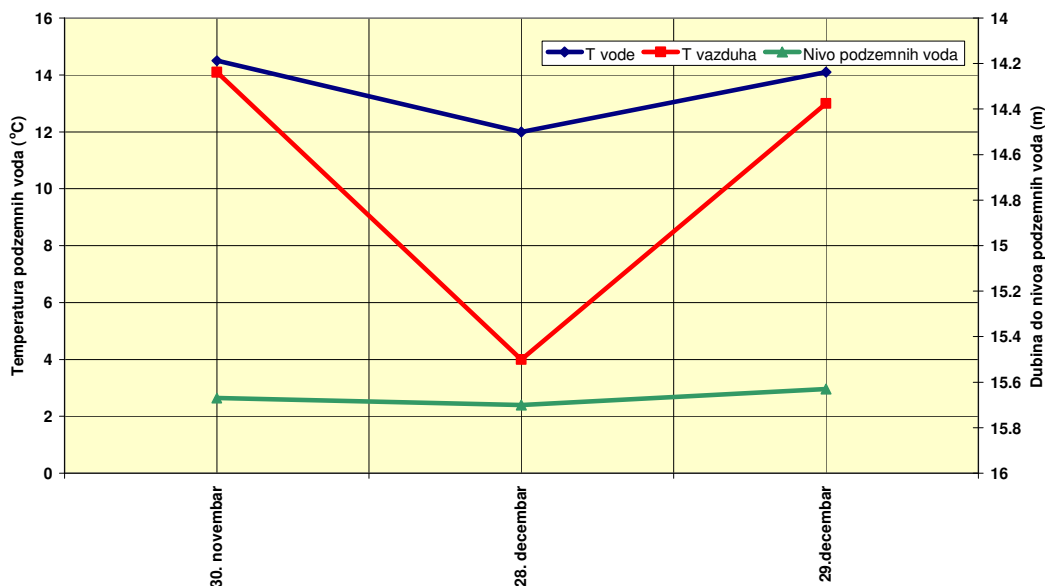
Na slici 81 prikazani su pravci kretanja podzemnih voda na delu teritorije Zemuna (Gornji grad), kao i oscilacije nivoa podzemnih voda. U zimskom periodu godine (novembar mesec 2005) dubine do nivoa podzemnih voda kretale su se od 16 m do 21 m. Na delu zemunskog lesnog platoa, tokom 2005. godine vršena su režimska osmatranja nivoa i temperature podzemnih voda. Dijagrami (slike 82, 83, 84) ukazuju na stabilan režim podzemnih voda tokom zimskih meseci.



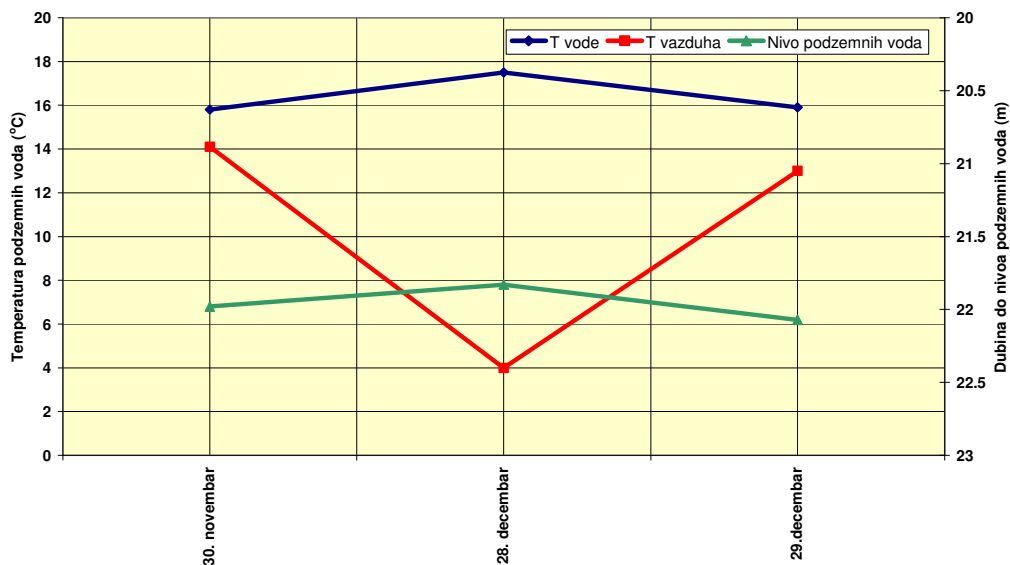
Slika 81. Pravci kretanja i dubine do nivoa podzemnih voda na teritoriji Zemuna na dan 30.11.2005. godine (Milenić, 2006)



Slika 82. Dijagram promene temperature podzemnih voda i dubine do nivoa podzemnih voda u bunaru u krugu fabrike "INSA"



Slika 83. Dijagram promene temperature podzemnih voda i dubine do nivoa podzemnih voda u bunaru u krugu instituta "INEP"



Slika 84. Dijagram promene temperature podzemnih voda i dubine do nivoa podzemnih voda u bunaru u krugu fabrike "IMPA"

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Dreniranje izdani odvija se isključivo putem istražno-eksploatacionih bunara. U zbirnoj tabeli 24 prikazane su izdašnosti bunara na području reiona II.

Tabela 24. Izdašnosti bunara na delu Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa u okviru peskova pliocenske starosti

| Bunar/oznaka | Izdašnost (l/s) | Depresija (m) |
|---|-----------------|---------------|
| B-4 Batajnica | 12.00 | 7.00 |
| B-5 Batajnica | 12.00 | 12.00 |
| Fabrika lekova "Galenika " | 12.00 | 1.50 |
| Fabrika "Teleoptik " | 5.00 | 2.00 |
| Svilara "Stevan Dukić" | 15.00 | 2.00 |
| Fabrika "Insa " | 11.00 | 5.00 |
| Fabrika "Navip" | 6.00 | / |
| "Banka biljnih gena" | 15.00 | 5.50 |
| SREDNJA VREDNOST IZDAŠNOSTI BUNARA ≈11.0 | | |

11.2.3. Hidrohemijske karakteristike rejonu II

Hidrohemijske karakteristike podzemnih voda na delu rejonu II sagledane su u okviru zbijenog tipa izdani formiranog u kvartarnim sedimentima i u sedimentima tercijarne starosti. Generalne hemijske karakteristike podzemnih voda prikazane su u tabelama 25 i 26 i u uporednoj tabeli 27.

Tabela 25. Hemijske karakteristike podzemnih voda u okviru sedimenata kvartarne starosti na području Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa (Milojević i dr., 1975)

| KVARTARNI SEDIMENTI | | |
|---|--------------|---|
| T (°C) | | 12-16 |
| pH | | 6.5-7.0 |
| Tvrdoća (°dH) po Clut-u | | 4.0-22 |
| Klasifikacija po Alekinu | Klasa | HCO ₃ |
| | Grupa | Ca |
| Formula Kurlova | | $M_{0.65}CO_{0.04}^2 \frac{HCO_{78}^3 Cl_{16} SO_5^4}{Na + K_{78} Ca_{17} Mg_{15}}$ |
| | | $M_{0.48}CO_{0.03}^2 \frac{HCO_{94}^3 Cl_6}{Na + K_{85} Ca_7 Mg_7}$ |
| <ul style="list-style-type: none"> malomineralizovane vode – mineralizacije se kreće u granicama 0.4247-0.4791 g/l | | |

Tabela 26. Hemijske karakteristike podzemnih voda u okviru sedimenata tercijarne starosti na području Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa (Milojević i dr., 1975)

| TERCIJARNI SEDIMENTI | | |
|--|--------------|---|
| T (°C) | | 12-16 |
| pH | | 6.5-7.0 |
| Tvrdoća (°dH) po Clut-u | | 4.0-22 |
| Klasifikacija po Alekinu | Klasa | HCO ₃ |
| | Grupa | Ca |
| Formula Kurlova | | $M_{0.48}CO_{0.06}^2 \frac{HCO_{95}^3 Cl_5}{Na + K_{68} Ca_{23} Mg_{10}}$ |
| <ul style="list-style-type: none"> mineralizacije se kreće u granicama 0.4-1.2 g/l razlika u mineralizaciji ukazuje na postojanje više vodonosnih horizonata | | |

Tabela 27. Uporedna analiza hemijskog sastava podzemnih voda na delu Dobanovaca i Bežanijske Kose

| Ispitivani parametar | Bunar Nelt 28.01.2010. | Bunar IEBB12-1/11 16.12.2011. | MDK |
|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------|
| Boja (Pt-Co skala) | <5 | <5 | |
| Mutnoća (NTU jedinice) | 0.1 | | |
| pH | 7.7 | 7.03 | |
| Suvi ostatak-105°C | 432 | 752 | |
| Elektroprovodljivost (µS/cm) | 620 | 1007 | 2500 |
| Utrošak KMnO ₄ (mg/l) | 0.6 | 4.0 | |
| Ukupna tvrdoća (°dH) | 19.1 | 8.7 | |
| Mineralizacija (mg/l) | | | |
| RASTVORENI GASOVI (mg/l) | | | |
| Kiseonik (O ₂) | 6.7 | | |
| Ugljen-dioksid (CO ₂) | 13.8 | | |
| Vodonik-sulfid (H ₂ S) | - | | |
| MAKROKOMPONENTE (mg/l) | | | |
| KATJONI | | | |
| Kalcijum (Ca) | 87 | 31 | |
| Natrijum (Na) | 21.6 | 162 | |
| Magnezijum (Mg) | 29.8 | 19 | |
| Kalijum (K) | 2.4 | 30 | |
| ANJONI | | | |
| Karbonati (CO ₃) | - | - | |
| Hidrokarbonati (HCO ₃) | 464.2 | - | |
| Hloridi (Cl) | 2.8 | 79 | |
| Sulfati (SO ₄) | 2.3 | 74 | |
| Nitrati (NO ₃) | 14.9 | - | 50 |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | | | |
| METALI | | | |
| Gvožđe (Fe) | 0.005 | <0.2 | |
| Mangan (Mn) | 0.0003 | <0.1 | 0.5 |
| Stroncijum (Sr) | - | 0.46 | |
| Barijum (Ba) | - | - | 1.0 |
| Litijum (Li) | - | - | |
| Rubidijum (Rb) | - | - | |
| Arsen (As) | <0.001 | <0.01 | 0.01 |
| Selen (Se) | - | <0.01 | 0.01 |
| Cink (Zn) | 0.033 | 0.14 | 0.02 |
| Bakar (Cu) | 0.001 | <0.1 | 1.0 |
| Nikl (Ni) | <0.006 | <0.01 | 0.02 |
| Hrom-ukupni (Cr) | 0.092 | <0.01 | 0.05 |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | | | |
| METALI | | | |
| Olovo (Pb) | <0.005 | <0.005 | 0.01 |
| Kadmijum (Cd) | <0.0008 | <0.005 | 0.003 |
| Živa (Hg) | <0.0005 | <0.001 | 0.001 |
| Aluminijum (Al) | - | <0.002 | |

...nastavak tabele

| NEMETALI | | | |
|---------------------------------|-------------|-------|-----|
| Bor (B) | - | 0.28 | |
| Fluoridi (F) | 0.07 | <0.05 | 5.0 |
| Bromidi (Br) | - | <0.05 | |
| Silicijum (SiO ₂) | - | 11 | |
| Jodidi (J) | - | - | |
| Amonijak (NH ₃) | <0.05 | - | |
| Amonijum jon (NH ₄) | - | <0.01 | |
| Nitriti (NO ₂) | <0.006 | <0.03 | |
| Fosfor (P) | - | - | |
| Sulfidi (H ₂ S) | - | - | |
| RADIOLOŠKI SASTAV | | | |
| Ukupna ALFA aktivnost (Bq/l) | <0.02 | <0.01 | 0.1 |
| Ukupna BETA aktivnost (Bq/l) | 0.073±0.014 | <1 | 1 |

Hemizam termomineralnih voda na delu teritorije Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa

U južnom delu rejona II, na lokaciji sela Jakovo konstatovana je pojava termomineralnih voda. Vode sa povišenim koncentracijama gasa H₂S formirane su u okviru peskovitih sedimenata tercijara. Termomineralne vode su pod pritiskom, što je potvrđeno izradom nekoliko bunara u Jakovu (Milojević i dr., 1971)

Tabela 28. Termomineralne pojave na teritoriji Jakova

| Oznaka* | T (°C) | Gasni sastav |
|---------|--------|------------------|
| B-1 | 19.2 | H ₂ S |
| B-2 | 18.8 | H ₂ S |
| B-3 | 19.5 | H ₂ S |
| B-4 | 18.5 | H ₂ S |

* oznake bunarima su dodeljene prilikom pisanja doktorske disertacije

pH vrednosti se kreću oko 7, a tvrdoća iznosi 4.2 °dH. Hemizam podzemnih voda jakova pikazan je kroz sledeće formule Kurlova:

$$M_{0.48} \frac{HCO_{92}^3 Cl_8}{Na + K_{84} Mg_{10} Ca_6} T_{19.5^\circ C}$$

Gasni sastav termomineralnih voda Jakova predstavljen je zapreminski sa (Dimitrijević N., 1975): N₂ (96.64%), O₂ (1.50%), i CO₂ (0.50%) . Na osnovu odnosa sadržaja argona i helijuma apsolutna starost termomineralnih voda je 230 000 godina.

11.3. HIDROGEOLOŠKI REJON III–SAVSKA ALUVIJALNA RAVAN

Aluvijalna ravan leve obale Save, u okviru istražnog terena, prostire se od ušća Save u Dunav na severu do sela Progar na jugu opštine Surčin. Na desnoj obali zahvata Adu Ciganliju, Čukarički rukavac preko Makiša do Ostružnice. Sedimenti kvartarne starosti izgrađuju i teren između Ostružnice i Umke, pod nazivom “Mali Makiš”, koji je svrstan u hidrogeološki rejon V.

Rejon III izgrađuju klastični sedimenti kvartarne starosti, u geološkoj literaturi poznati i kao “policiklični” sedimenti. Hidrogeološke karakteristike ovog dela terena su dobro ispitane, obzirom da je u okviru aluvijalnih naslaga Save formirano izvorište za vodosnabdevanje grada Beograda. Otuda i veliki broj podataka koji se tiču dubine i debljine zaleganja vodonosnih slojeva, granulometrijskog sastava terena, režima podzemnih voda, hemizma podzemnih voda.

Hidrogeološki rejon III podeljen je na Novobeogradski podrejon (IIIa) i Makiško-ostružnički podrejon (IIIb).

Podrejon IIIa obuhvata:

- teritoriju Novog Beograda,
- delove terena beogradskog izvorišta od ušća Save u Dunav do Ostružničkog mosta (Bežanijsko polje)
- Veliko ratno ostrvo

Podrejon IIIb obuhvata zonu beogradskog izvorišta na desnoj obali Save:

- Ada Ciganlija
- Makiš

11.3.1. Novobeogradski podrejon

Na teritoriji opštine Novi Beograd, koja je najveća opština po broju stanovnika u gradu Beogradu, prostiru se delovi dva rejonu. Severni delovi opštine, kao što je i napomenuto, pripadaju lesnom platou (rejon II), dok hipsometrijski niži delovi terena pripadaju novobeogradskom podrejonu (IIIa). Podrejon IIIa obuhvata visoko urbanizovane delove terena. Jedna od odlika ovih delova terena je prekrivenost asfaltom, što značajno utiče na mikroklimatske uslove, te na uslove vodozamene, odnosno na vodni bilans podzemnih voda.

Nadmorske visine krećući se od savskog priobalja ka lesnom bežanijskom platou rastu, u intervalu od oko 75 m.n.v. do 95 m.n.v. Deo atmosferskih voda palih na ovaj deo terena, otiče u Savu kanalom Galovica, zatim Dubovskim kanalom i kanalom Petrac.

Aluvijalni sedimenti Save na delu terena Novog Beograda predstavljani su šljunkovitim, peskovitim i glinovitim članovima različite granulacije, koji se karakterišu cikličnom sedimentacijom. Podina aluvijanih naslaga predstavljena je sedimentima panonske i pliocenske starosti (Jevremović, Kuzmić, 1999).

Rezultati novijih istraživanja ukazuju na prisustvo starijih članova miocena u podini kvartarnih sedimenata. Istražnim bušenjem konstatovani sedimenti su tortona i sarmata, odnosno flišni sedimenti donje i gornje krede. Dubine bušotina na ovom delu terena ne prelaze 150 m.

Na teritoriji podrejona IIIa izdvojeni su sledeći tipovi izdani:

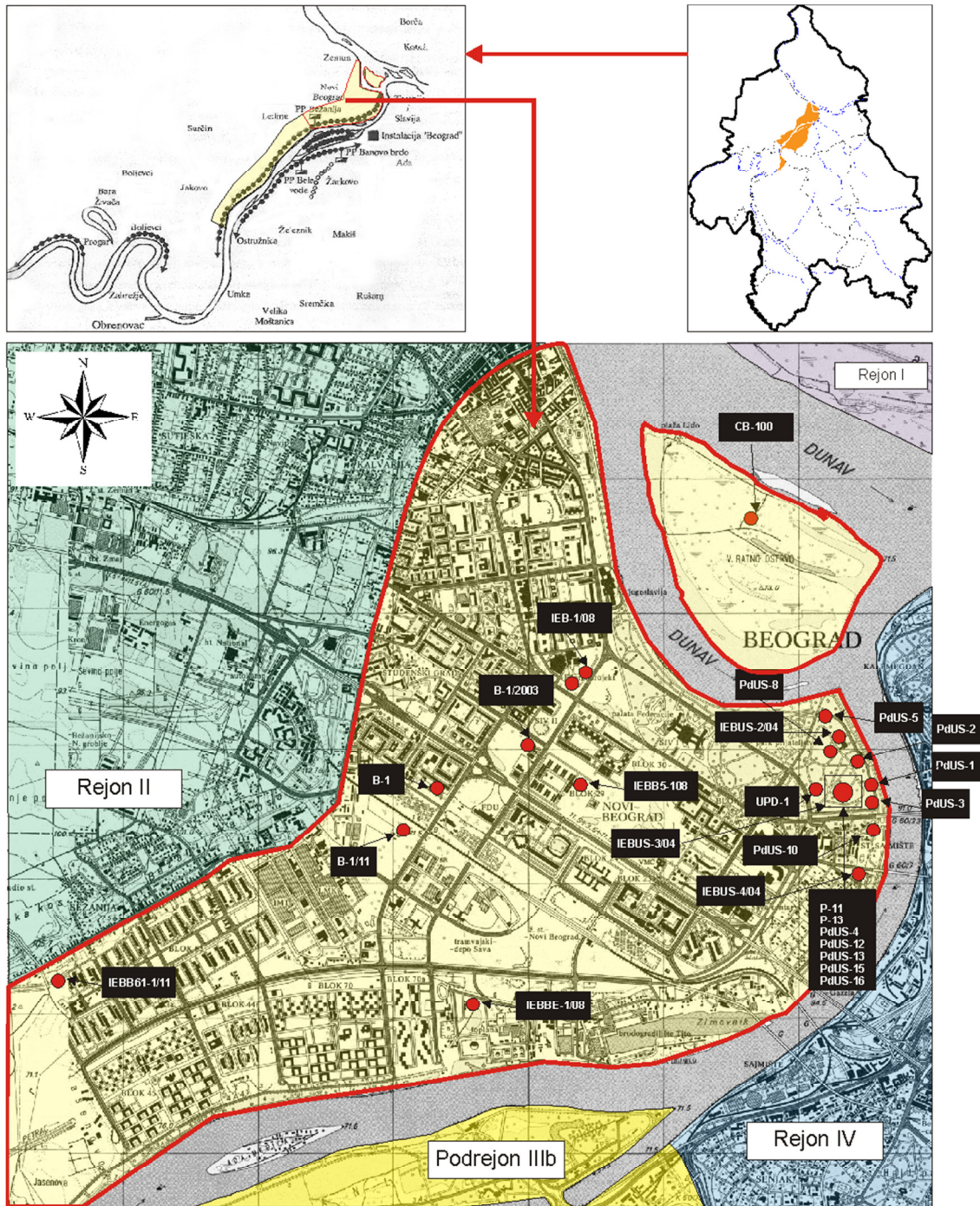
1) u planu

- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

1) u profilu

- Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Mreža bunara i pijezometara prikazana je na položajnoj karti (slika 85), koju prati tabela 29 analiziranih objekata na području Novobeogradskog podrejona (IIIa).



Legenda:

- Bunar/pijezometar
- Grupa bunara
- IEBB61-1/11 Oznaka za bunar/pijezometar

Slika 85. Položajna karta analiziranih bunara i pijezometara u okviru hidrogeološkog podrejon IIIa

Tabela 29. Analizirani hidrogeološki bunari i pijezometri na području Novobeogradskog podrejonu IIIa

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|--|----------------------------------|---------------|---|----------------------|-------------------------|
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti | | | | | | |
| 1. | JUBMES Banka 7454.078 4964.007 81 m | B-1/2003 | 22.50 | 10.50-20.50 | pesak- šljunak | Petrović D., 2003 |
| 2. | Blok 11 a 7454.375 4964.577 72 m | IEB-1/08 | 50.00 | 18.00-23.00 25.00-40.00 | pesak- šljunak | Milenić, 2009 |
| 3. | Blok 29 7454. 362 4963.649 79 m | IEBB5-1/08 | 42.00 | 20.00-29.00 31.00-40.00 | pesak | Milenić, 2011 |
| 4. | JKP Elektrane 7453.730 4962.208 74 m | IEBBE-1/08 | 33.00 | 18.00-30.00 | šljunkoviti pesak | Milenić, 2011 |
| 5. | Stari aerodrom Novi Beograd 7452 566 4963 447 74 m | B-1 | 100.00 | 24.00-32.50 79.00-81.40 82.60-91.00 | pesak | Bogdanović , 2006 |
| 6. | Blok 61 7450 569 4962 401 77 m | IEBB61-1/11 | 36.00 | 18.50-21.70 26.10-33.80 | pesak | Milenić, 2011 |
| 7. | Blok 65 7453 115 4963 255 74 m | B-1/11 | 29.00 | 16.00-22.00 24.00-27.00 | šljunak- pesak | Matić, 2012 |
| 8. | Ušće 40 m uzvodno od reni bunara | P-11 | 33.00 | 1.40-4.00 8.60-23.80 23.80-25.40 | pesak šljunak | Knežević M., 2004 |
| 9. | Ušće staro kupalište kod mosta | P-13 | 35.00 | 14.40-22.00 22.00-31.00 | pesak šljunak | Knežević M., 2004 |
| 10. | Veliko ratno ostrvo | CV-100 | 28.70 | 16.50-20.30 21.00-25.60 | pesak šljunak | Živković i dr., 1980 |

... nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pizozometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|--------------------------------------|----------------------------------|---------------|--|------------------------------|----------------------|
| Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 11. | Ušće 7455.050 4964.478 75 m | PdUS-1 | 80.00 | 62.00-74.00 | krečnjak | / |
| 12. | Ušće 7456.434 4963.925 76 m | PdUS-2 | 61.00 | 43.00-55.00 | krečnjak | / |
| 13. | Ušće 7456.547 4963.625 77 m | PdUS-3 | 130.00 | 47.00-53.00 | krečnjak | / |
| 14. | Ušće 7456.497 4963.670 76 m | PdUS-4 | 82.00 | 64.00-76.00 | krečnjak | / |
| 15. | Ušće 7462.237 4964.283 76 m | PdUS-5 | 79.00 | 61.00-76.00 | krečnjak | / |
| 16. | Ušće iza Muzeja | PdUS-8 | 56.00 | 1.40-4.00 8.20-29.20 32.20-49.60 | pesak krečnjak | Knežević M., 2004 |
| 17. | Staro Sajmište Novi Beograd | PdUS-10 | 142.00 | 13.80-30.00 58.80-83.00 119.00-134.60 | pesak šljunak krečnjak | Knežević M., 2004 |
| 18. | Ušće | PdUS-12 | 73.00 | 1.60-18.30 21.00-31.30 31.20-69.80 | pesak šljunak krečnjak | Knežević M., 2004 |
| 19. | Ušće | PdUS-13 | 135.00 | 4.80-27.00 27.00-32.50 98.40-107.80 116.00-119.60 123.60-126.60 128.60-131.40 | pesak šljunak krečnjak | Knežević M., 2004 |
| 20. | Ušće | PdUS-15 | 80.00 | 54.40-60.00 | krečnjak | Knežević M., 2004 |

... nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|---------------------------------|----------------------------------|---------------|-----------------------|------------|--------------------------|
| Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 21. | Ušće | PdUS-16 | 84.00 | 60.50-84.00 | krečnjak | Knežević M., 2004 |
| 22. | Brankov most | UPD-1 | 130.00 | 70.00-120.00 | krečnjak | Rundic et al., 2011 |
| 23. | Muzej savremene umetnosti | IEBUS-2/04 | 52 | 28.00-48.00 | krečnjak | Grupa autora, 2005 |
| 24. | Brankov most | IEBUS-3/04 | 109 | 52.00-106.00 | krečnjak | Grupa autora, 2005 |
| 25. | Stari železnički most | IEBUS-3/04 | 100 | 58.00-100.00 | krečnjak | Grupa autora, 2005 |

11.3.1.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

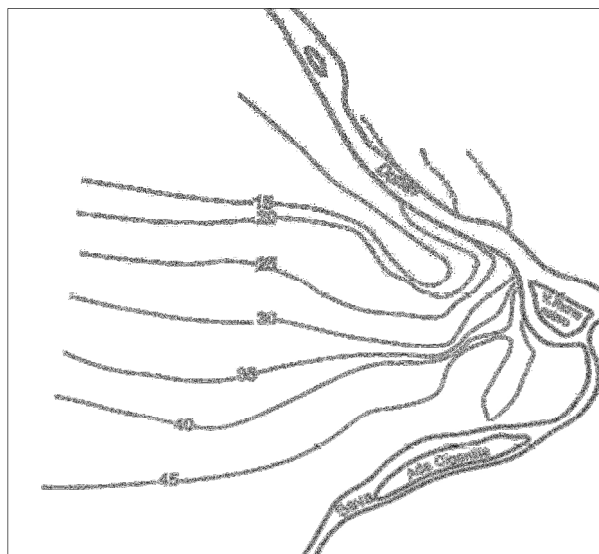
Rasprostranjenje izdani

Rasprostranjenje zbijenog tipa izdani može se pratiti u kontinuitetu na celoj površini podrejona IIIa, na oko 30 km². Sedimenti kvartarne starosti predstavljeni su peskovima, šljunkovima, glinama i alevritičnim sedimentima. Posebnu važnost sa aspekta formiranja značajnih količina podzemnih voda imaju peskovito-šljunkoviti sedimenti sa školjkom *Corbicula fluminalis*, u literaturi poznati kao “makiški slojevi”. Na području Novog Beograda makiški slojevi su nabušeni kod starog Merkatora (bušotina ZK-11). Njihova debljina iznosi oko 15 m (Nenadić, Bogićević, 2010).

Debljina kvartarnih sedimenata krećući se od Save ka Bežanijskoj Kosi varira i u proseku iznosi oko 12 m do 16 m, dok u delu Tošinog bunara dostiže debljinu i do 30 m (Jevremović, Kuzmić, 1999).

Vodonepropusnu podlogu kvartara čine gline, a na pojedinim delovima terena (zona Ušća) kvartarni sedimenti direktno leže preko krečnjaka sarmata. Završni članovi kvartara predstavljeni su glinovitim i alevritičnim sedimentima. Udaljavanjem od korita Save ka zapadu zapaženo je veće učešće prašinastih sedimenata (Jevremović, Kuzmić, 1999) što umanjuje filtracione sposobnosti povlate.

Na prostoru Bežanijskog polja glavni vodonosni slojevi izgrađeni su od peskovito-šljunkovitih sedimenata, čije debljine se kreću od 5 m do 25 m. Podina peskovito-šljunkovitih glina je predstavljena tercijskim glinama, koje su konstatovane na dubinama oko 30-35 m (u priobalnom delu Save na lokaciji jedne istražne bušotine konstatovana je podina glina na 105 m). U podini glinovitih sedimenata nataloženi su krečnjaci sarmata. Najstariji sedimenti su predstavljeni flišnim peščarima i glincima donjekredne starosti, kod Ostružničkog mosta, a najmlađi sedimenti predstavljeni su aluvijalnim (debljine 1-10 m) i lesninim naslagama (Živković, 1974).



Slika 86. Karta debljina rečnih policikličnih tvorevina na području Makiša, Novog Beograda, Bežanije i Zemuna (Jevremović, Kuzmić, 1999)

U centralnim delovima Novog Beograda (Blok 29) peskoviti vodonosni slojevi konstatovani su u dva intervala, od 14 m do 29 m i od 30 m do 40 m.

Na delu Novog Beograda, u blizini Bežanijskog lesnog platoa (Blok 61), vodonosni peskovi konstatovani su u intervalu od 16 m do 22 m i od 26 m do 34 m.

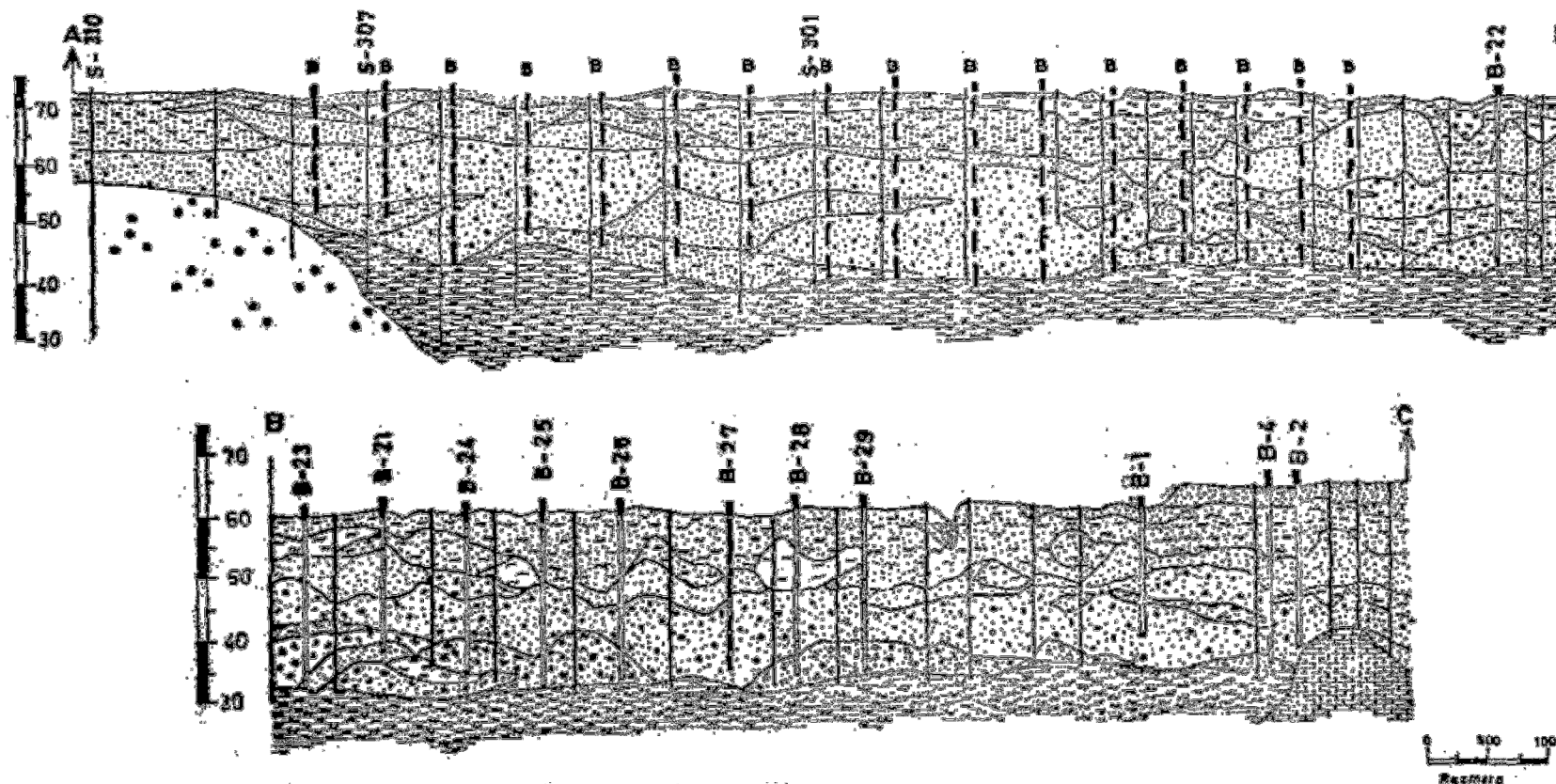
U priobalnom pojasu leve obale Save, na lokaciji JKP "Beogradskih elektrana" vodonosni slojevi konstatovani su u intervalu od 16 m do 30m, a predstavljeni su šljunkovitim peskovima (bunar IEBB-1/08). Na slici 87. prikazan je hidrogeološki profil terena priobalnog dela Save od njenog ušća u Dunav do Ostružničkog mosta.

Kvartarni sedimenti na Velikom ratnom ostrvu predstavljeni su peskovito-šljunkovitim sedimentima sa *Corbiculom fluminalis*. Njihova debljina kreće se od oko 15 m do 22 m. Podinu izdani čine tercijarne gline na dubini oko 25-30 m. Njihova debljina nije tačno utvrđena, pretpostavlja se da dostiže 100 m. Povlata je predstavljena prašinastim i glinovitim peskovima, promenljive debljine od 3 m do 15 m (Živković i dr., 1980).

Prosečna debljina vodonosnih peskovito-šljunkovitih slojeva na području Novobegradskog podrejana prikazana je u tabeli 30.

Tabela 30. Debljine peskovito-šljunkovitih vodonosnih slojeva kvartarne starosti na području Novobeogradskog podrejana

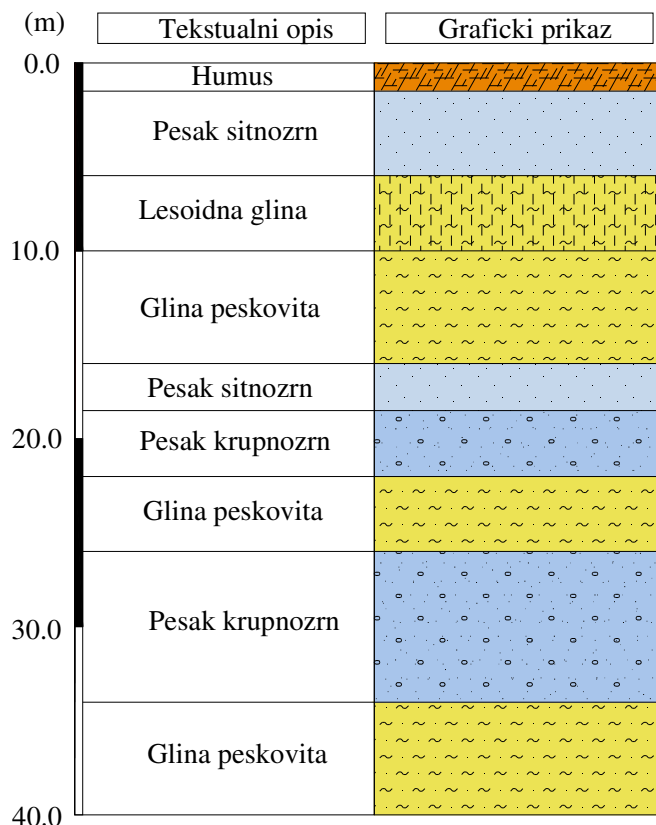
| Bunar | Lokacija | Litologija | Debljina vodonosnih slojeva (m) |
|---|---------------------|---------------|---------------------------------|
| B-1/2003 | "JUBMES" banka | pesak šljunak | 10 |
| IEB-1/08 | Blok 11a | pesak šljunak | 20 |
| IEBB5-1/08 | Blok 29 | pesak | 18 |
| IEBBE-1/08 | JKP Elektrane | pesak šljunak | 12 |
| IEBB61-1/11 | Blok 61 | pesak | 14 |
| B-1/11 | Blok 65 | pesak šljunak | 9 |
| CV-100 | Veliko ratno ostrvo | pesak šljunak | 10 |
| Delovi Bežanijskog polja | | | 5-25 |
| PROSEČNA DEBLJINA VODONOSNIH SLOJEVA ≈14 m | | | |



Legenda: 1—glina; 2—peskovita glina; 3—muljeviti pesak; 4—pesak; 5—šljunkoviti pesak; 6—peskoviti šljunak; 7—tercijarna glina; 8—kredni fliš; 9—sarmatski krečnjak

Slika 87. Hidrogeološki profil terena priobalnog dela Save od njenog ušća do Ostružničkog mosta (Živković, 1974)

Na slici 88 prikazan je litološki profil terena karakterističan za centralno područje Novog Beograda.



Slika 88. Tipski litološki profil Centralnog dela terena Novog Beograda (modifikovano, bunar IEBB61-1/11, Milenić, 2011)

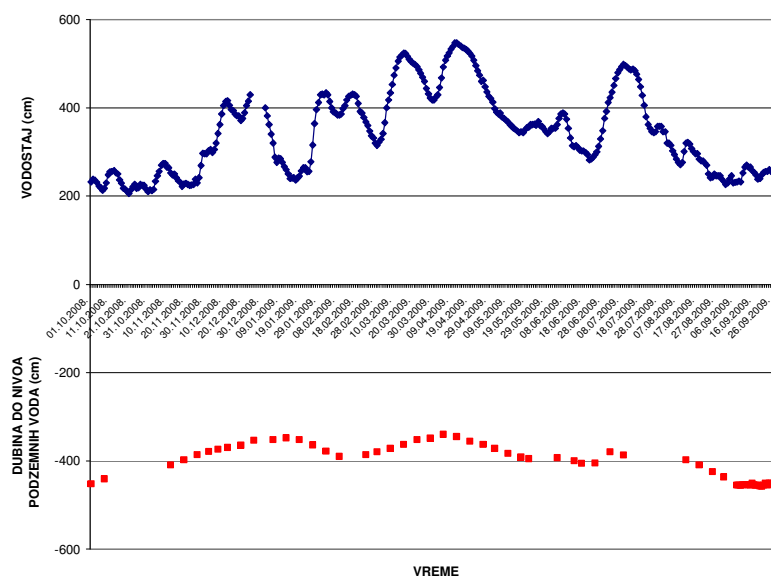
Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Zbijeni tip izdani formiran u sedimentima aluvijalne ravni Save prihranjuje se:

- direktnom infiltracijom padavina
- infiltracijom površinskih voda

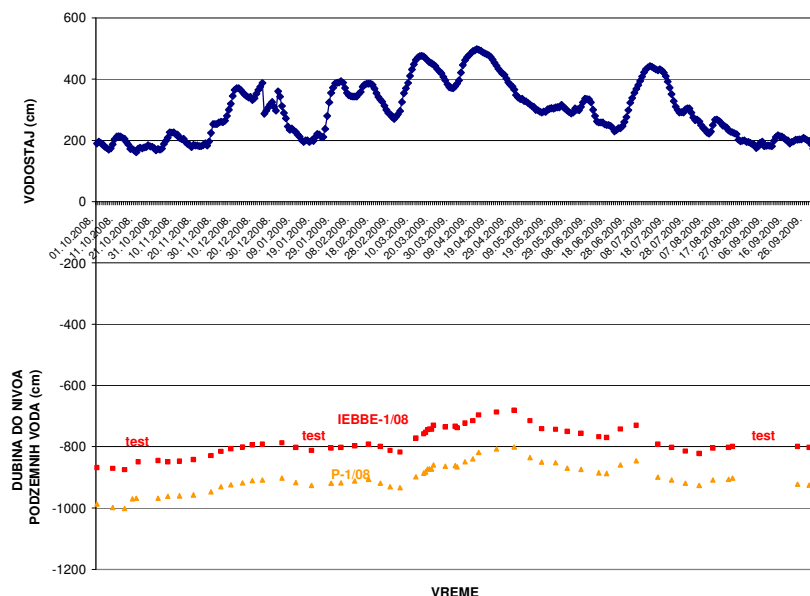
Uslovi prihranjivanja su veoma povoljni, obzirom da je izdan formirana u otvorenoj hidrogeološkoj strukturi. Litološki sastav kvartarne serije sedimenata omogućava akumulaciju velikih količina podzemnih voda. Strukturni položaj kvartarnih sedimenata je takav da izdan može da akumulira na duži vremenski period velike količine voda.

Povlata izdani predstavljena je sedimentima neujednačene granulacije, te je na pojedinim delovima terena smanjena infiltracija usled postojanja glinovitog pokrivača. Takođe, prisustvo sitnozrnih peskova ispoljava slabije filtracione karakteristike. Prema Živkoviću (1976) povlatne sedimente čine: sitnozrni peskovi, glinovito-muljeviti peskovi sa prosečnim srednjim vrednostima koeficijenta filtracije. Intenzivno prihranjivanje izdani odvija se slivanjem vode sa lesnog platoa (teritorija van reiona III), kako površinskim tako i podzemnim putem (Milojević i dr., 1975). Jedna od specifičnosti prihranjivanja zbijenog tipa izdani formiranog u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata na Novom Beogradu jeste prisustvo faktora koji se odnose na urbani hidrološki ciklus. Komponente urbanog hidrološkog ciklusa i njegov uticaj na prihranjivanje podzemnih voda prikazani u poglavlju 4 doktorata. Uticaj površinskih tokova na režim podzemnih voda sagledan je na osnovu korelacije vrednosti vodostaja i nivoa podzemnih voda u bunarima. Merenja su vršena tokom 2008. god i 2009. god. u trajanju od dvanaest meseci. Vodostaj reke Dunav meren je na osmatračkoj stanici “Zemun”, dok je vodostaj reke Save meren na osmatračkoj stanici “Beograd”. Na bunarima je osmatran nivo i temperatura podzemnih voda. Na slikama 98 i 90 prikazani su uporedni dijagrami kolebanja vodostaja reka i nivoa podzemnih voda na istražno-eksploatacionom bunaru IEB-1/08 u Bloku 11a i na istražno-eksploatacionom bunaru IEBBE-1/08 i pijezometru P-1 u krugu Beogradskih Elektrana na Novom Beogradu.



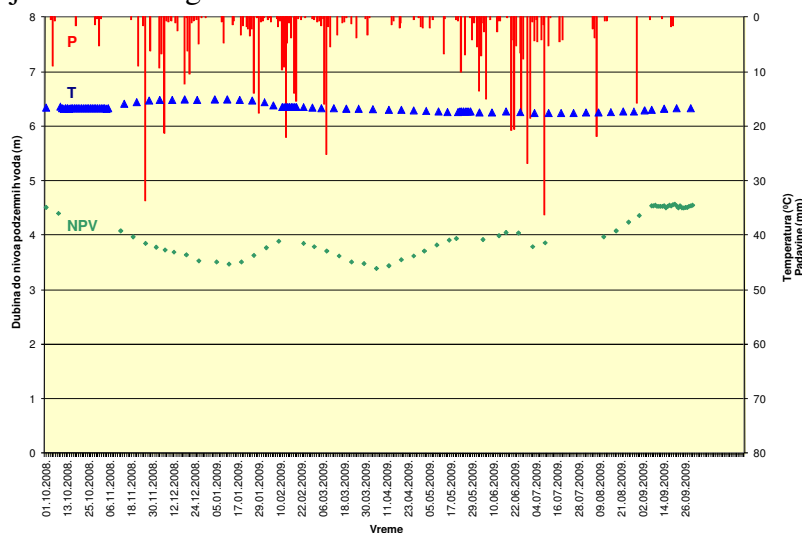
Slika 89. Uporedni dijagram dubine do nivoa podzemnih voda u istražno-eksploatacionom bunaru IEB-1/08 i vodostaja Dunava za period osmatranja od 01.10.2008. do 30.09.2009.

(Milenić, 2009)

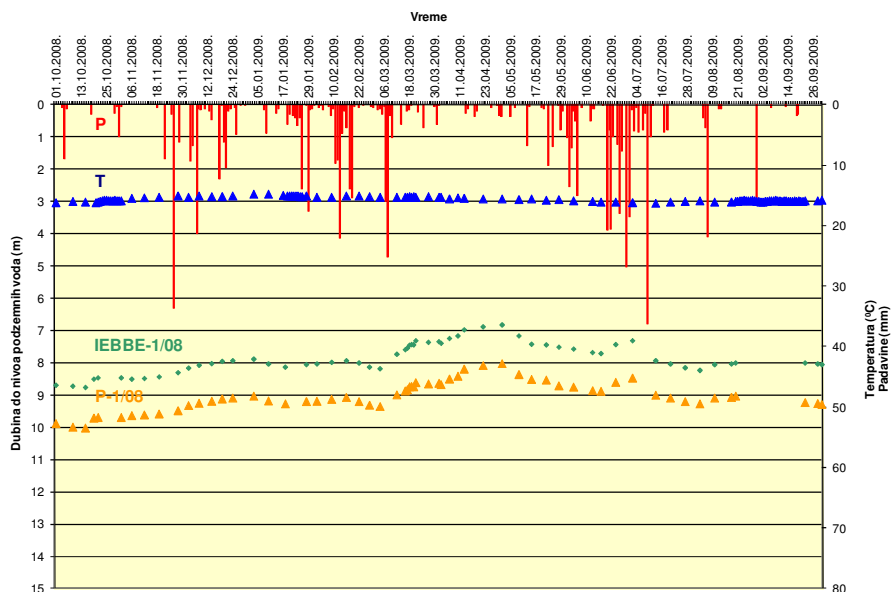


Slika 90. Uporedni dijagram promena vodostaja Save i dubina do nivoa podzemnih voda na istražno-eksploatacionom bunaru IEBBE-1/08 i piježometru P-1/08 (Milenić D., 2010)

Udaljenje bunara IEB-1/08 od desne obale Dunava je oko 550 m, a udaljenje bunara IEBBE-1/08 od reke Save je oko 580 m, piježometra P-1 oko 550 m (Goole Earth, 2012). Iskorelisani podaci su ukazali na postojanje hidrauličke veze izdan-reka. Korelacijom podataka padavina i kolebanja nivoa i temeperature podzemnih voda u bunarima tokom jednog hidrološkog ciklusa uočeno je da padavine značajnije ne utiču na promenu nivoa i temperature podzemnih voda (slike 91 i 92). Padavine su osmatrane na kišomernoj stanici “Beograd”.



Slika 91. Uporedni dijagram padavina, dubine do nivoa i temperature podzemnih voda sa istražno-eksploatacionog bunara IEB-1/08 u Bloku 11a na Novom Beogradu (Milenić, 2009)



Slika 92. Uporedni dijagram padavina, dubine do nivoa i temperature podzemnih voda na istražno-eksploatacionom bunaru IEBBE-1/08 i pijezometru P-1/08 (Milenić D., 2010)

Nivo izdanskih voda je i u direktnoj vezi sa vodostajem reke Save i Dunava pa su ove reke ujedno i regulatori nivoa podzemnih voda. Nivo podzemnih voda, koje su formirane u okviru aluviona Save, je pod uticajem Reni bunara i usled stalne eksploatacije ovih bunara stvorena je depresija koja prouzrokuje da izdan "prihranjuje" reku. Uticaj Reni bunara je na udaljenosti od oko 1000 metara od obale Save. Ovaj uticaj nije toliko izražen u okviru izdani u aluvijonu reke Dunav. Imajući u vidu dubine do nivoa podzemnih voda jasno je da i u ovom slučaju izdan hrani reku.

Filtracione karakteristike aluvijalnih sedimenata sagledane su na osnovu izvedenih testova crpenja. Ranije je napomenuto da se sedimenti kvartara stvarani na prostoru aluvijalne ravni Save i Dunava nazivaju policiklični sedimenti, što govori o načinu njihovog nastanka.

Na osnovu interpolacije bušotina od Železnika preko Novog Beograda do Velikog ratnog ostrva, prema granulometrijskom sastavu utvrđeno je da je taloženje klastičnih sedimenta vršeno u 5-7 ciklusa: "Način sedimentacije je takav da u okviru jednog ciklusa grubozrne frakcije korita (šljunkovi, peskovi) smenjuju se sa fino-zrnim frakcijom povodnja (zaglinjene prašine, prašinate gline)" (Jevremović, Kuzmić, 1999).

U pogledu vodopropusnosti kvartarnih sedimenata na teritoriji Novog Beograda mogu se u vertikalnom pravcu izdani izdvojiti (Živković, 1976.):

Dobro vodopropusne stenske mase koje se sastoje od šljunkovito-peskovitih sedimenata starijeg kvartara sa prosečnim koeficijentom filtracije $K > 1 \times 10^{-4}$ m/s

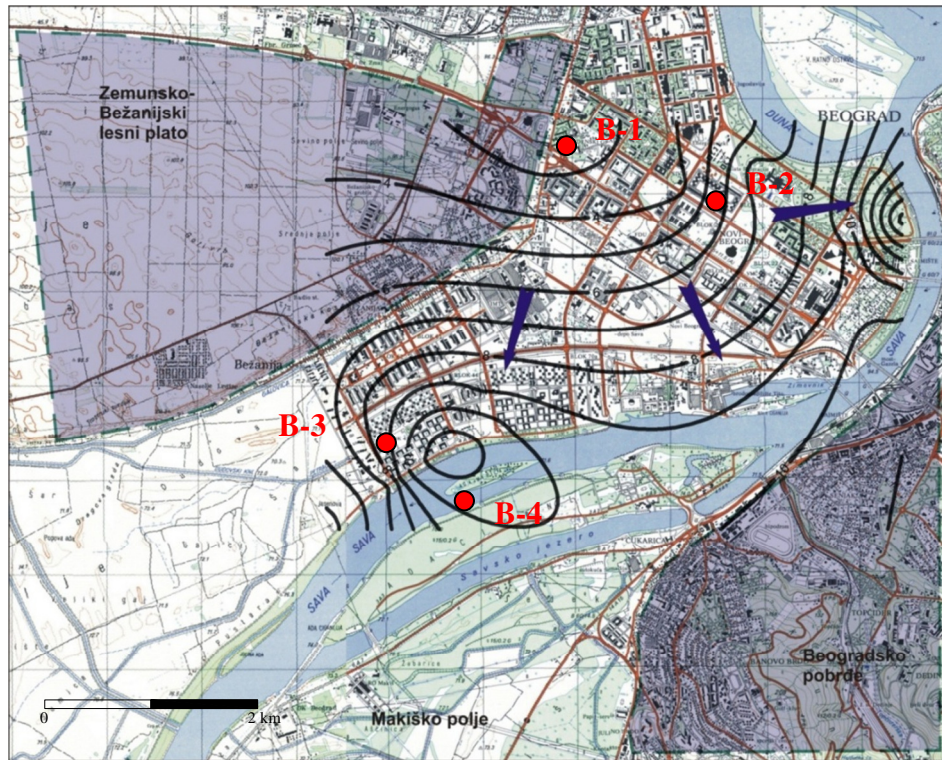
- Slabo vodopropusne stenske mase koje čine povlatni sedimenti: sitnozrni peskovi, glinovito-muljeviti peskovi sa prosečnim srednjim vrednostima koeficijenta filtracije $1 \times 10^{-4} > K > 1 \times 10^{-6}$ m/s. Debljina ove zone varira od 0.5 do 10 m
- Vodonepropusne stenske mase koje čine podinske laporovito-peskovite gline sa prosečnim koeficijentom filtracije $K < 1 \times 10^{-6}$ m/s
- Na teritoriji Bežanijskog polja vrednosti koeficijenta filtracije su reda veličine 5.54×10^{-3} m/s (Živković, 1974).

Tabela 31. Vrednosti hidrodinamičkih parametara zbijenog tipa izdani na području Novog Beograda

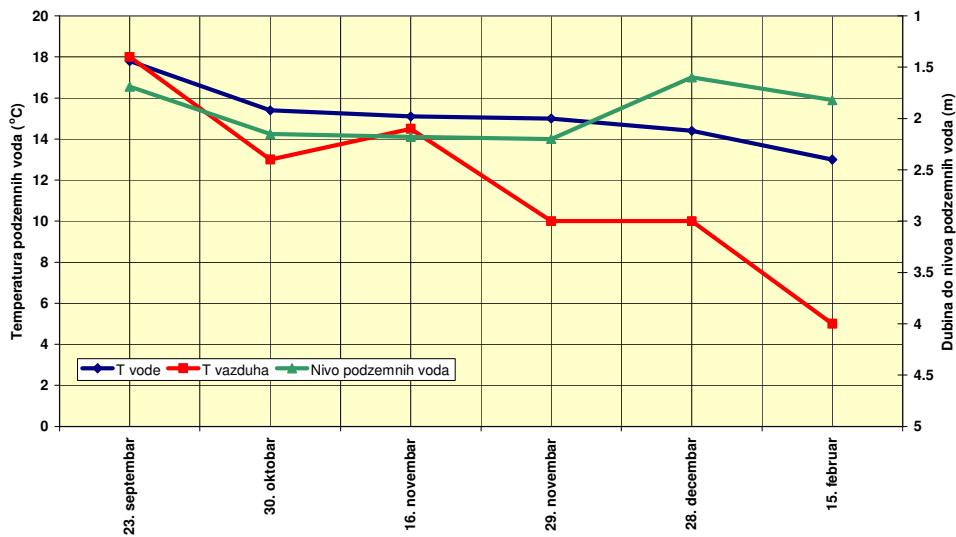
| Bunar | K_f (m/s) | T m ² /s |
|------------|-----------------------|-----------------------|
| IEB-1/08 | $6.28 \cdot 10^{-6}$ | $1.19 \cdot 10^{-3}$ |
| IEBB5-1/08 | 1.01×10^{-4} | 1.81×10^{-2} |
| IEBBE-1/08 | $1.37 \cdot 10^{-4}$ | $1.46 \cdot 10^{-2}$ |
| B-1/2003 | $7.87 \cdot 10^{-3}$ | $9.84 \cdot 10^{-3}$ |

Krećući se od zapada ka istoku, odnosno od lesnog platoa ka obali Save povećavaju se vrednosti dubine do nivoa podzemnih voda. Dubina do nivoa izdani varira od 1.60 m, pa do 16.30 m u pijezometrima koji se nalaze u blizini Reni bunara. Na slici 93 prikazane su hidroizobate na delu teritoriji podrejonu IIIa sa naznačenim pravcima kretanja podzemnih voda.

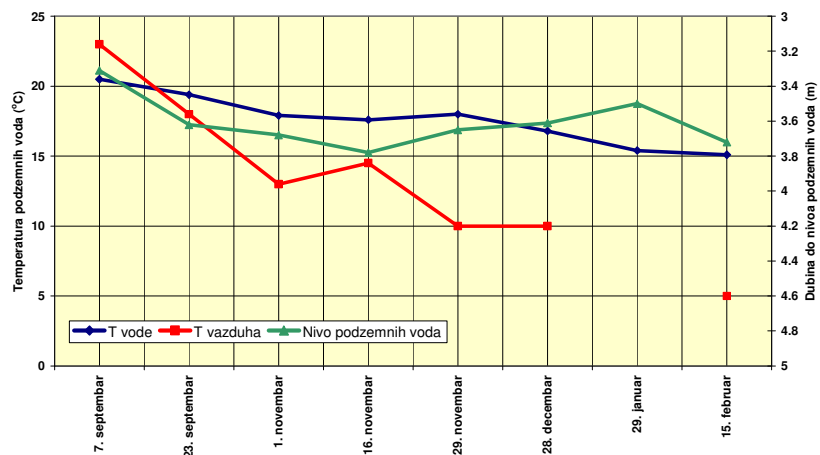
Na slikama 94, 95, 96 i 97 prikazana su četiri uporedna dijagrama na kojima su nanešene vrednosti dubine do nivoa, temperatura podzemnih voda i temperatura vazduha merenih u periodu od druge polovine 2005. godine do prve polovine 2006. godine. Sa dijagrama se uočava da su najmanja kolebanja nivoa podzemnih voda izmerena na bunarima lociranim dalje od reke Save, a da su kolebanja veća u bunarima i pijezometrima bliže obalskoj liniji. Veća kolebanja objašnjavaju se blizinom reke i postojanjem hidrauličke veze izdan reka, te uticajem rada Reni bunara. Lokacije bunara i pijezometara prikazane su na slici 93.



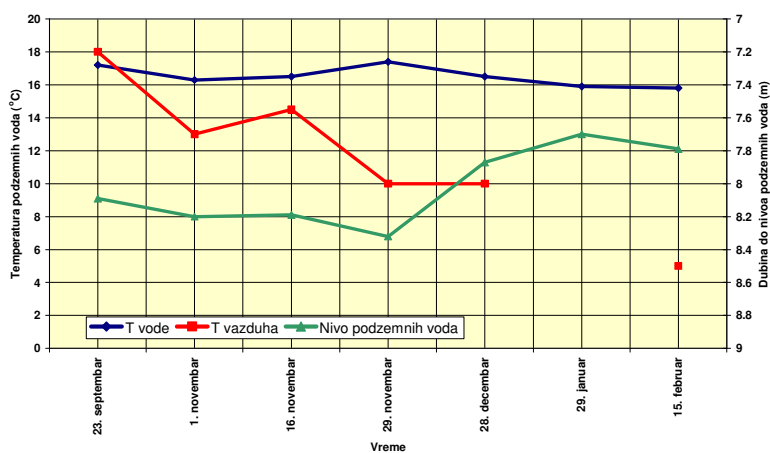
Slika 93. Dubina do nivoa podzemnih voda sa pravcima kretanja podzemnih voda na dan 16.11.2005. godine na području Novog Beograda



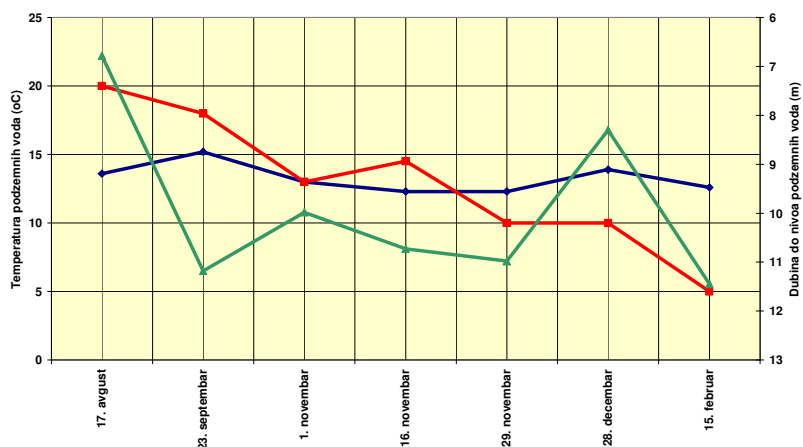
Slika 94. Dijagram promene temperature podzemnih voda i dubine do nivoa podzemnih voda u bunaru na stadionu FK "Radnički" (B-1) Novi Beograd



Slika 95. Dijagram promene temperature podzemnih voda i dubine do nivoa podzemnih voda u bunaru "Merkator" (B-2) Novi Beograd



Slika 96. Dijagram promene temperature podzemnih voda i dubine do nivoa podzemnih voda na pumpi "Sunce" (B-3) Novi Beograd



Slika 97. Dijagram promene temperature podzemnih voda i dubine do nivoa podzemnih voda na pijeometri P-II-5 (B-4) Novi Beograd

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Dreniranje izdani na delu teritorije Novog Beograda vrši se preko eksploatacionih bunara, čije se dubine kreću oko 50 m. Dreniranje izdani vrši se takođe i preko kanala za navodnjavanje, a jedan od najvećih je kanal Galovica.

Na delu Bežanijskog polja eksploatacija podzemnih voda vrši se preko reni bunara, počevši od 1953. godine (u periodu od 1953. do 1974. godine izbušeno je 12 reni bunara na udaljenje od 20 m do 80 m od reke, a njihovo međusobno rastojanje je od 300 m do 1000 m). Početna specifična izdašnost bunara je iznosila 15-25 l/s, odnosno oko 150 l/s po bunaru (Živković, 1974).

Na osnovu testa crpenja na bunaru CV-100 (Veliko ratno ostrvo) utvrđena je depresija od 4 m za $Q=15$ l/s. U nizu od 15 bunara sa proticajima za svaki bunar od 15 l/s, depresija u bunaru CV-100 je oko 5.5 m, a za dalje povećanje broja bunara u nizu, depresija se ne povećava (Živković i dr., 1980).

U zbirnoj tabeli 32 prikazane su izdašnosti bunara na području Novog Beograda izuzimajući Bežanijsko polje i Veliko ratno ostrvo.

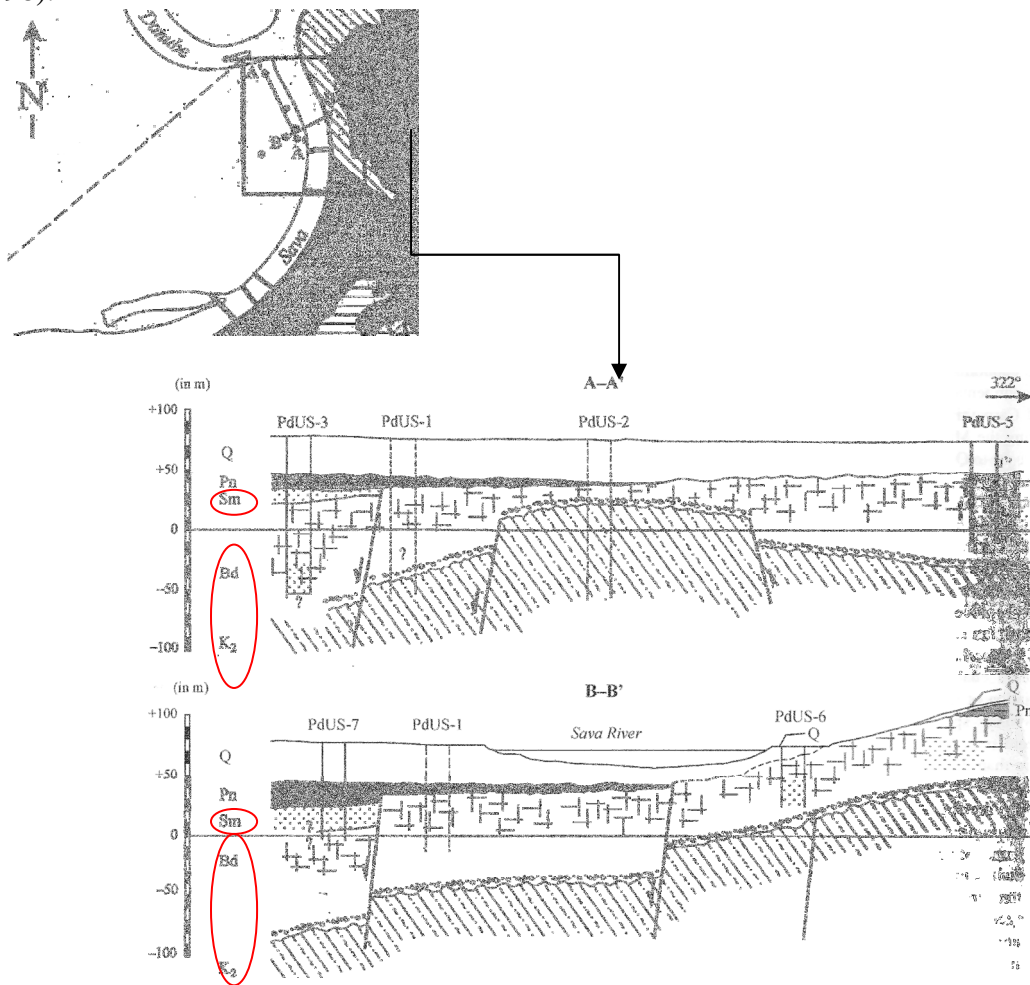
Tabela 32. Izdašnosti bunara na delu Novog Beograda u okviru peskovito-šljunkovitih slojeva kvartarne starosti

| Bunar/oznaka | Izdašnost (l/s) | Depresija (m) |
|--|--------------------|------------------|
| B-1/2003 "JUBMES" banka | 5.5 | 2.0 |
| IEB-1/08 Blok 11a | 6.0 | 4.0 |
| IEBB5-1/08 Blok 29 | 4.0 | 3.0 |
| IEBBE-1/08 JKP "Elektrane" | 10.0 | 2.0 |
| IEBB61-1/11 Blok 61 | 10.0 | / |
| B-1/11 Blok 65 | 8.0 | / |
| SREDNJA VREDNOST IZDAŠNOSTI BUNARA ≈ 7.0 l/s | | |

11.3.1.2. Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Rasprostranjenje izdani

Karstni tip izdani formiran je u okviru krečnjaka tortonske i sarmatske starosti. Krečnjaci miocena nisu konstatovani na površini terena, otkriveni su istražnim bušenjem u zoni Ušća, zatim u Bloku 11a, na Starom Sajmištu, u blizini Brankovog mosta. Na osnovu raspoloživih podataka dobijenih istražnim bušenjem konstruisan je geološki presek terena leve i desne obale Save na kome se vidi da krečnjaci miocenske starosti zaležu ispod korita reke i nastavljaju se dalje na zapad, ka lesnom platou (slika 98).



Legenda: *K₂*-gornja kreda, *Bd*- krečnjak i pesak tortonske starosti, *Sm*-pesak, laporci, krečnjak sarmatske starosti, *Pn*- glinci i prašinski glinci panonske starosti, *Q*- les i drugi klastični sedimenti

Slika 98. Geološki profil miocenskih sedimenata u blizini ušća Save u Dunav (Rundic, et. al., 2011)

Na lokaciji pijezometra PdUS-1, bušenjem kroz paket kvartarnih naslaga koji se završava glinenim sedimentima, na 40-tom metru nabušeni su krečnjaci. Ukupna debljina krečnjaka iznosi 30 m. Krečnjak je u smeni sa karbonatnim peščarom. Bušotina je završena u karbonatnim peščarima na 80-tom metru. Na litološkom profilu pijezometra PdUS-2 konstatovano je odsustvo krednih peščara u profilu krečnjaka koji počinje na 28-mom metru i završava se na 54-tom metru. Dubina bušotine iznosi 61 m i završena je u sedimentima kredne starosti. Debljina krečnjaka je oko 26 m. Paket kvartarnih sedimenata ima manju debljinu na profilu PdUS-2 u odnosu na profil PdUS-1. Litološki profil terena na lokaciji PdUS-3 definisan je do 130-tog m dubine. Dubina zaleganja klastičnih sedimenata dostiže skoro 52 m. Od 52 m do 80 m nabušeni su krečnjaci sa proslojcima peščara. Peščari se nastavljaju sve do dna bušotine. Debljina krečnjaka se kreće oko 28 m. Na litološkom profilu PdUS-4 krečnjak se takođe nalazi u smeni sa krednim peščarom do dubine od 82 m, gde je bušotina i završena. U povlati krečnjaka i peščara formiran je deblji sloj klastičnih sedimenata gde se zapaža smena peskovitih, šljunkovitih i glinovitih sedimenata. Debljina krečnjaka iznosi oko 28 m. Na litološkom profilu PdUS-5 (slika 100) nabušeni su čisti krečnjaci, naime vrlo malo se pojavljuju proslojci peščara. Krečnjaci su nabušeni na 30-tom metru i mogu se pratiti sve do dna bušotine, do 79-tog m. U povlati krečnjaka konstatovani su peskovito-šljunkoviti slojevi sa *Corbicula fluminalis*. Položaj ovog pijezometra u odnosu na prethodne je najbliži Dunavu, odnosno Ušću. Prosečna debljina krečnjaka na području Novobegradskog podrejonu prikazana je u tabeli 33.

Tabela 33. Prosečne debljine krečnjaka miocenske starosti na Novom Beogradu

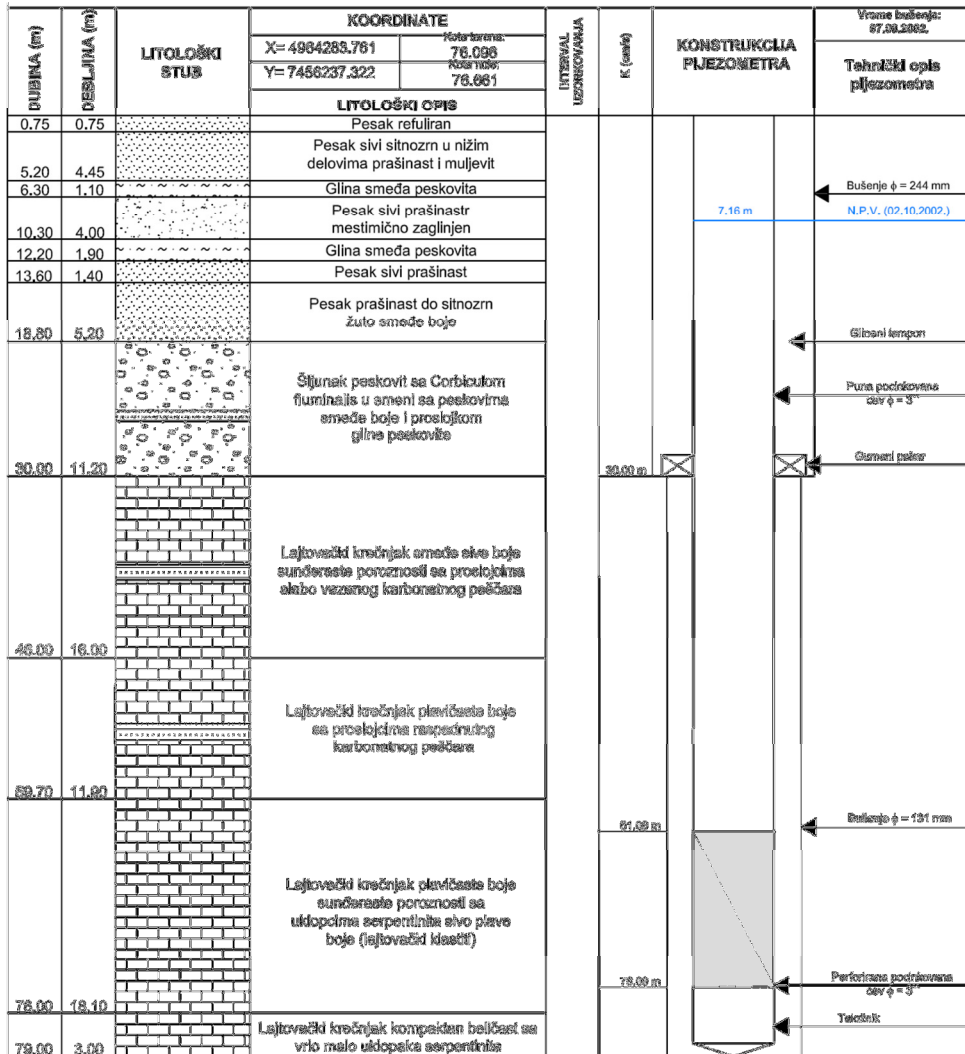
| Naziv/ Lokacija | Litologija | Debljina (m) |
|--|-----------------|--------------|
| PdUS-1/ Ušće | krečnjak | 30.00 |
| PdUS-2/ Ušće | krečnjak | 26.00 |
| PdUS-3/ Ušće | krečnjak | 28.00 |
| PdUS-4/ Ušće | krečnjak | 28.00 |
| PdUS-5/ Ušće | krečnjak | 49.00 |
| PdUS-8/ Ušće iza muzeja | krečnjak | 17.40 |
| IEBUS-2/04/ Muzej savremene umetnosti | krečnjak | 20.00 |
| IEBUS-3/04/ Brankov most | krečnjak | 54.00 |
| IEBUS-4/04/ Stari železnički most | krečnjak | 42.00 |
| PdUS-10/ Ušće Staro sajmište | krečnjak | 40.00 |
| PdUS-12/ Ušće | krečnjak | 38.60 |
| PdUS-13/ Ušće | krečnjak | 20.00 |
| PdUS-15/ Ušće | krečnjak | 5.60 |
| PdUS-16/ Ušće | krečnjak | 23.50 |
| UPD-1/ Brankov most | krečnjak | 40.00 |
| IEB-1/08/ Blok 11a | krečnjak | 4.00* |
| PROSEČNA DEBLJINA KREČNJAKA ≈30 m | | |

*bušotine označene crvenom bojom završene su u krečnjacima, te nije poznata njihova konačna debljina



U literaturnim podacima došlo je do neslaganja položaja pijezometra PdUS-1, odnosno PdUS-4, stoga su na slici 99 prikazane obe položajne karte. Takođe, uočeno je neslaganje između geološkog profila A-A' i litološkog profila PdUS-5.

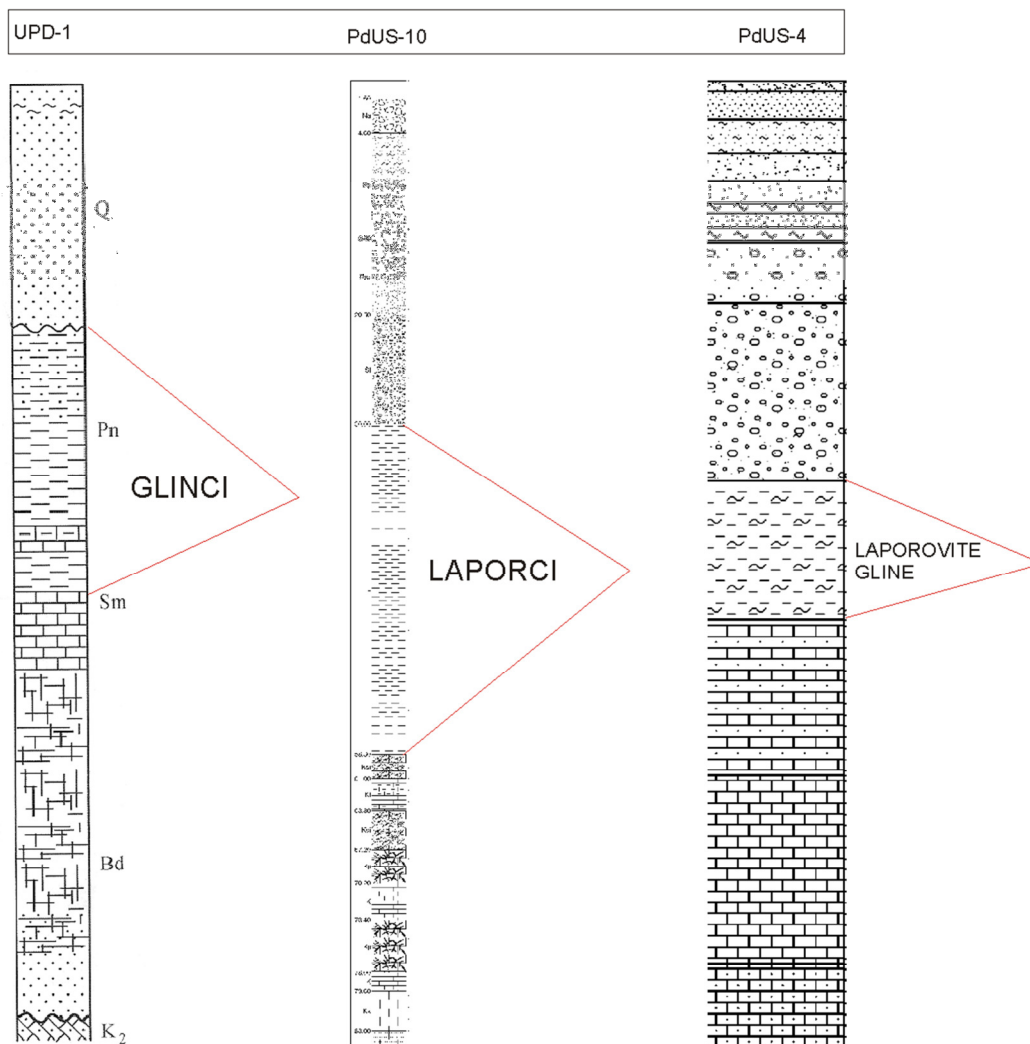
Slika 99. Položajne karte pijezometara u zoni Ušća–Novi Beograd



Slika 100. Litološki profil terena i konstrukcione karakteristike pijezometra PdUS-5

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Karstni tip izdani u okviru tortonsko-sarmatskim krečnjacima prihranjuje se na račun atmosferskih padavina i na račun površinskih voda (reka Sava i Dunav). Na terenu nisu otkriveni izdanci krečnjaka na površini, te se pomenuto prihranjivanje odvija zapravo na kontaktu zbijenog i karstnog tipa izdani. Povlata krečnjaka predstavljena je peskovito-šljunkovitim sedimentima, čije filtracione karakteristike dozvoljavaju akumuliranje značajnih količina podzemnih voda. U litološki profilima bušotina zapaženo je prisustvo glinovite serije koja naleže na krečnjake. Ovakav litološki odnos otežava prihranjivanje karstnog tipa izdani (slika 101).



Slika 101. Glinovita povlata karstnog tipa izdani na teritoriji Novog Beograda

U tabeli 34 priložene su vrednosti hidrodinamičkih parametara karstnog tipa izdani na području Novog Beograda

Tabela 34. Vrednosti hidrodinamičkih parametara karstnog tipa izdani na području Novog Beograda

| Bunar | K_f (m/s) | T m ² /s |
|------------|-----------------------|-----------------------|
| IEBUS-2/04 | 7.61×10^{-5} | 1.67×10^{-3} |
| IEBUS-3/04 | 5.55×10^{-4} | 3.00×10^{-2} |
| IEBUS-4/04 | 4.75×10^{-4} | 1.99×10^{-2} |

U periodu od avgusta 2005. godine do februara 2006. godine vršena su merenja dubine do nivoa i temperature podzemnih voda na osmatračkoj mreži bunara i piježometara koji kaptiraju karstni tip izdani na području Novog Beograda. Na piježometrima PpUS 16, P-1-1, P-1-2, P-1-4, P-1-5, P-1-6, P-1-7 je pretpostavljen litološki profil, odnosno prisustvo krečnjaka u profilu, obzirom na nedostupnost podataka za vreme pisanja doktorata.

U tabeli 35 prikazani su rezultati osmatranja dubine do nivoa i temperature podzemnih voda. Takođe, u tabeli su prikazani podaci dubina do nivoa podzemnih voda prikupljeni pre režimskih osmatranja (tokom 2002. godine).

Tabela 35. Dubine do nivoa podzemnih voda u karstnom tipu izdani na području Novog Beograda

| Naziv | Lokacija | Dubina do NPV (m) | T (°C) |
|------------------------|--------------------------------|-------------------|--------|
| 27.05.2002. | | | |
| PdUS-1 | Lev ob. Sav-PC Ušće | 14.71 | - |
| 26.07.2002. | | | |
| PdUS-2 | Lev ob. Sav-PC Ušće | 13.54 | - |
| 12.09.2002. | | | |
| PdUS-3 | Lev ob. Sav-PC Ušće | 14.70 | - |
| PdUS-4 | Lev ob. Sav-PC Ušće | 13.64 | - |
| 02.10.2002. | | | |
| PdUS-5 | Lev ob. Sav-PC Ušće | 7.16 | - |
| 17.-18.08.2005. | | | |
| PdUS1 | Lev ob. Sav. -PC Ušće | 9,43 | 14,7 |
| PdUS 5 | Lev ob. Sav.-PC Ušće | 13,96 | 15,2 |
| PdUs 4 | Lev. ob. Sav.-PC Ušće | 14,88 | 16,6 |
| PdUs 3 | Lev. ob. Sav.-PC Ušće | 15,52 | 15,6 |
| PpUS 16 | Lev. ob. Sav.-PC Ušće | 10,63 | 15,6 |
| PdUS 16 | Lev. ob. Sav.-PC Ušće | 13,98 | 15,6 |
| P-1-1 | Lev. ob. Sav.- Str.Sajmište | 8,00 | 15,5 |
| P-1-4 | Lev. ob. Sav.- Str.Sajmište | 15,80 | 15,7 |
| P-I-7 | Lev.ob.Sav.-Str. Sajmište | 10,95 | 15,4 |
| P-I-5 | Lev.ob.Sav.-Str. Sajmište | 10,85 | 14,8 |
| 30.10.2005. | | | |
| PdUS-5 | Leva ob. save-Ušće | 10,56 | 13,7 |
| P-1-1 | Lev.ob.Sav-Str.Sajmište | 9,38 | 14,1 |
| P-I-7 | Lev.ob.Sav-Str.Sajmište | 12,62 | 13,8 |
| P-I-5 | Lev.ob.Sav-Str.Sajmište | 11,78 | 13,4 |
| 16.11.2005. | | | |
| PdUS-5 | Leva ob. Save-Ušće | 10,65 | 14,2 |
| PpUs 1 | Leva ob. Save-Ušće | 15,33 | 15,4 |
| P-1-1 | Lev. ob. Save Str.Saj. | 9,69 | 14,4 |

... nastavak tabele

| | | | |
|--------------------|--------------------------|-------|------|
| P-I-7 | Lev. ob. Save Str.Saj. | 9,50 | 14,3 |
| P-I-5 | Lev. ob. Save Str.Saj. | 10,58 | 14,1 |
| 29.11.2005. | | | |
| PdUS-5 | Leva ob. Save-Ušće | 10,98 | 14,3 |
| PpUs 1 | Leva ob. Save-Ušće | 16,70 | 15,4 |
| P-1-1 | Lev.ob.Save-Str.Sajmište | 10,29 | 14,6 |
| P-I-7 | Lev.ob.Save-Str.Sajmište | 12,78 | 13,8 |
| P-I-5 | Lev.ob.Save-Str.Sajmište | 11,87 | 13,6 |
| 28.12.2005. | | | |
| PdUS-5 | Leva ob.Save-Ušće | 10,02 | 13,8 |
| PpUs 1 | Leva ob. Save-Ušće | 15,62 | 15,0 |
| P-1-1 | Le.ob. Save Sta. Sajm. | 8,40 | 14,8 |
| P-I-7 | Le.ob. Save Sta. Sajm. | 10,80 | 14,3 |
| P-I-5 | Le.ob. Save Sta. Sajm. | 9,70 | 14,4 |
| 15.02.2006. | | | |
| P-1-1 | Leva ob. Save-Str.Saj. | 10.30 | 13.2 |
| P-I-7 | Leva ob. Save-Str.Saj. | 12.39 | 13.2 |
| P-I-5 | Leva ob. Save-Str.Saj. | 12.18 | 14.2 |

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Dreniranje karstnog tipa izdani odvija se preko bunara i pijezometara. U tabeli 36 prikazane su izdašnosti bunara koji kaptiraju podzemne vode karstnog tipa izdani.

Tabela 36. Izdašnosti bunara na delu Novog Beograda u karstnom tipu izdani

| Bunar/oznaka | Izdašnost (l/s) | Depresija (m) |
|---|-----------------|---------------|
| IEBUS-2/04 Muzej savremene umetnosti | 15.0 | 10.0 |
| IEBUS-3/04 Brankov most | 30.0 | 4.0 |
| IEBUS-4/04 Stari železnički most | 35.0 | 3.0 |
| SREDNJA VREDNOST IZDAŠNOSTI BUNARA ≈27.0 l/s | | |

11.3.2. Makiško-ostružnički podrejon

Aluvijalna ravan desne obale Save, krećući se od Ade Ciganlije, preko Čukaričkog rukavca, Makiša do Ostružnice spada u dobro istražene terene sa hidrogeološkog aspekta, obzirom da je na ovom delu terena formiran deo izvorišta za vodosnabdevanje grada Beograda. Za potrebe sagledavanja mogućnosti proširenja beogradskog vodovoda, u aluvijalnoj ravni Save urađeno je preko 1200 istražnih bušotina, oko 6000 analiza granulometrijskog sastava i 250 hemijskih analiza (iz Teodorović, 2002).

Slično kao na teritoriji Novog Beograda, glavni vodonosni horizont formiran je u kvartarnim sedimentima. Karstni tip izadni formiran u podini nije bio predmet detaljnih hidrogeoloških istraživanja.

Na teritoriji podrejona IIIb izdvojeni su sledeći tipovi izdani:

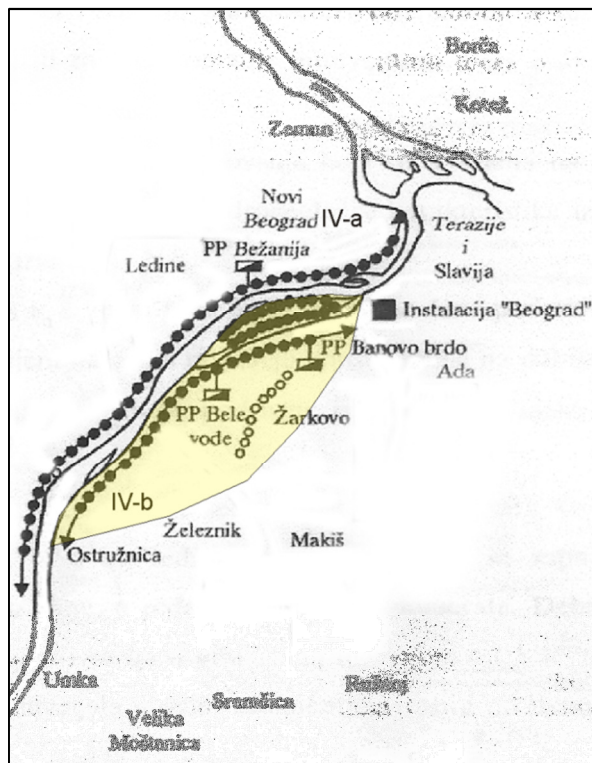
1) u planu

- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

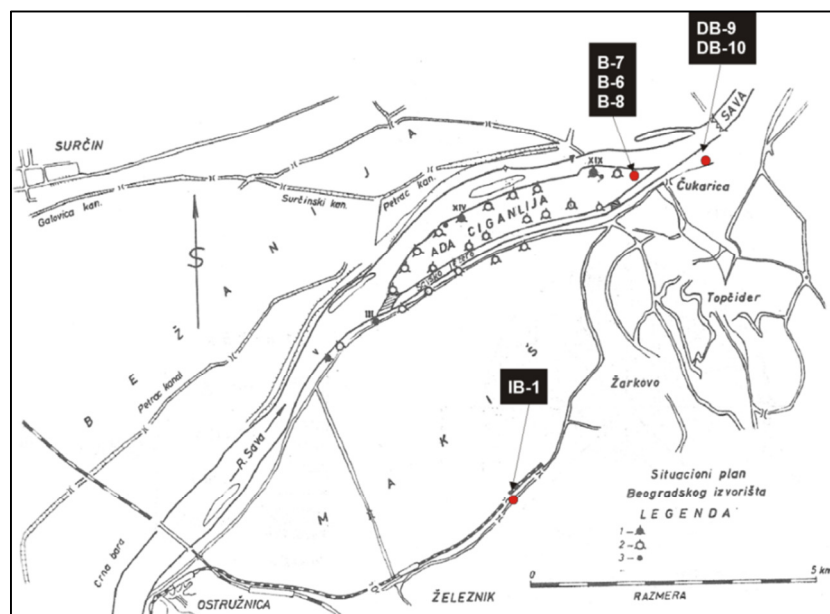
2) u profilu

- Karstno-pukotinski tip izdani u okviru sedimenata kredene starosti

Na slici 102 dat je prikaz Beogradskog izvorišta iz 2004. godine. U zoni Beogradskog izvorišta tokom 2008. godine vršena su istražna bušenja. Lokacije izvedenih bušotina prikazane su na položajnoj karti (slika 103) i tabeli 37.



Slika 102. Delovi Beogradskog izvorišta iz 2004. godine (iz Vasić, 2007)



Slika 103. Položajna karta analiziranih istražnih bušotina na delu Čukarice i Makiša

Tabela 37. Analizirane istražne bušotine na delu Čukarice i Makiša

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|-----|---|----------------------------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------|
| 1. | Makiš 7452.655 4956.045 213 m | IB-1 | 73.00 | 5.00-8.60 33.20-67.20 | pesak krečnjak | Bogdanović, 2008 |
| 2. | Jugopetrol skladište 7455.077 4961.080 77 m | DB-9 | 65.00 | 8.00-10.00 | šljunak | Bogdanović, 2008 |
| 3. | Jugopetrol skladište | DB-10 | 65.00 | 5.50-10.80 10.80-19.10 | pesak- šljunak krečnjak | Bogdanović, 2008 |
| 4. | Ada Ciganlija 7455.032 4961.304 78 m | B-7 | 61.00 | 9.40-17.80 49.20-58.00 | šljunak krečnjak | Bogdanović, 2008 |
| 5. | Ada Ciganlija 7455.037 4961.304 | B-6 | 76.60 | 8.00-20.00 47.80-58.00 | šljunak krečnjak | Bogdanović, 2008 |
| 6. | Ada Ciganlija | B-8 | 65.00 | 7.60-18.60 38.80-60.40 | šljunak krečnjak | Bogdanović, 2008 |

11.3.2.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

Rasprostranjenje izdani

Zbijeni tip izdani na desnoj obali Save formiran je u okviru donjih članova kvartarne serije, peskova i šljunkova. Rasprostranjenje izdani može se pratiti na čitavoj površini podrejonu IIIb. Između Čukarice i Ostružnice locirano je Makiško polje, površine oko 25 km², karakterističan lokalitet na kome su formirani peskovito-šljunkoviti sedimenti sa *Corbicula fluminalis*.

Na osnovu velikog broja izvedenih što cevastih, što Reni bunara, zatim pijezometara utvrđena je debljina produktivnog vodonosnog sloja koja varira od 5 m do 20 m (Živković, 1969).

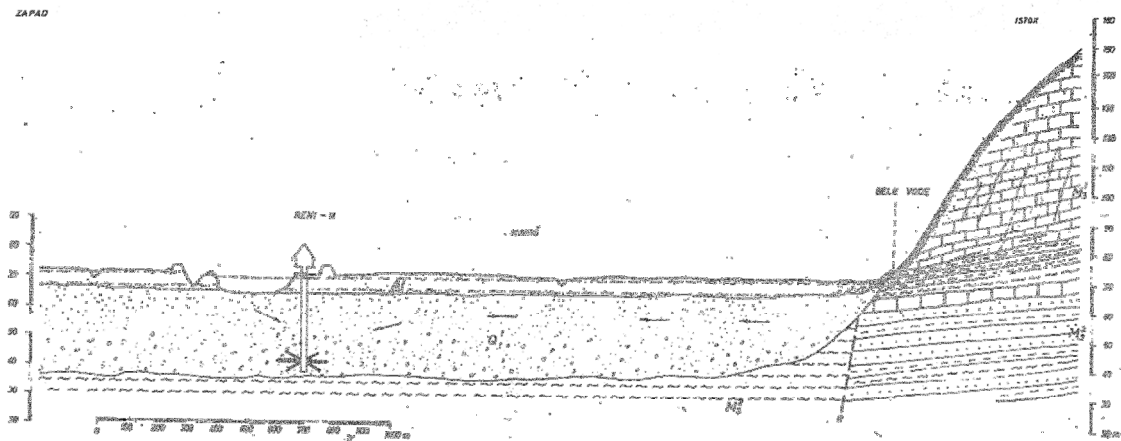
Slično naslagama kvartarne serije Pančevačkog rita i na teritoriji aluvijalne ravni desne obale Save zapaža se raslojavanje u vertikalnom profilu posmatrano kroz vrednosti koeficijenta filtracije. Prema Živkoviću kvartarni sedimenti u pogledu vodopropusnosti mogu se podeliti u dve zone: donja–grublje porozna i veće permeabilnosti; gornja–slabije permeabilnosti.

Profil u Makišu prema Laskarevu izgleda (iz Živković, 1976):

| | |
|---|--|
| H O L O C E N | Ispod barskog zemljišta i sivkaste peskovite gline na maloj dubini od 1,5-2 m leži.Sloj žućkastog finog liskunovitog peska sa sadašnjom slatkovodnom faunom od <i>Unio</i> , <i>Cyclas</i> , <i>Planorbis</i> i dr. debljine od 2-3 m. Niže dolaze sivkasti i zelenkasti više ili manje glinoviti peskovi ili peskovite gline, debljine 5-6 m. |
| S T A R I J I P L E I S T O C E N | Ispod njih leži vrlo promenljiva serija rečnih naslaga, sastavljenih od peskova i šljunkova, ređe od glina, koje su ponekad cementovane u krečnjačke konglomerate u njima je jak vodonosni sloj. Počev približno od 15-16 m u ovim sedimentima se nalazi velika količina fosila od kojih je najznačajniji <i>Corbicula fluminalis</i> . |
| T E R C I J A R | Većina bunara doseže dubinu od 28-32 m, sve do tercijarne sivkasto plave gline. |

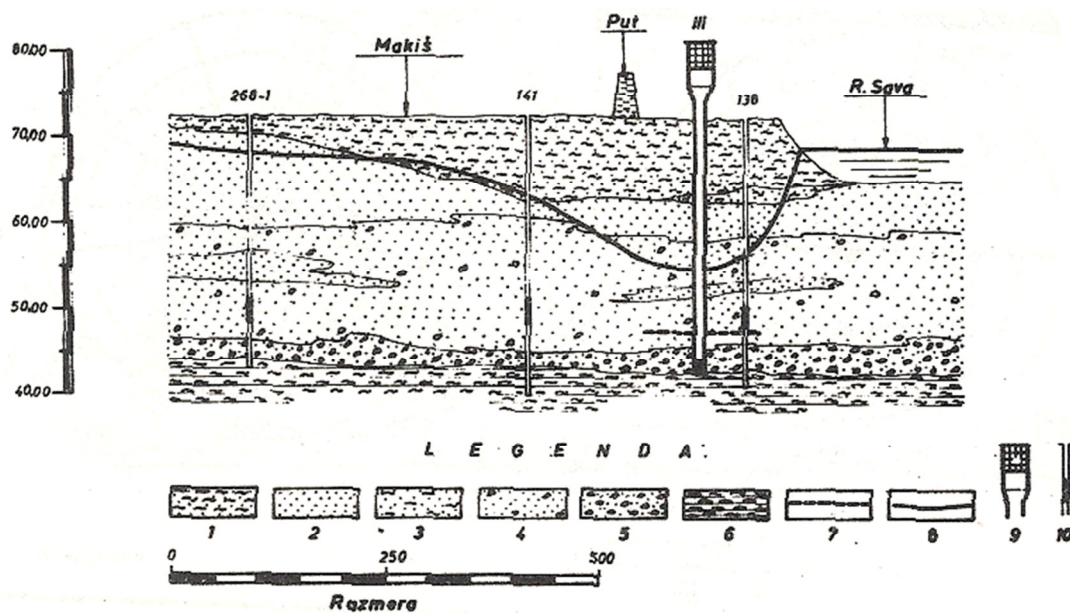
Podinu šljunkovito-peskovitim sedimentima čine pliocenske gline, dok po obodu polja vodonosni slojevi direktno leže preko krečnjaka. Istražnim bušenjem potvrđeno je da se na dubini od 20 m do 35 m nalaze masne laporovite gline. Debljina glina se povećava idući od Žarkova i Železnika ka reci Savi i dalje ka Bežanijskoj kosi, gde su nabušene na 105 m dubine (Živković J., 1969).

Na slici 104. prikazan je presek dela makiškog polja, od Banovog Brda do reke Save, dok je na slici 105 prikazan hidrogeološki profil na mestu reni bunara III.



Legenda: A_1 —aluvijalne sugline, Q_1^1 —kvartarni šljunkovi i peskovi velike debljine (ukupan nanos 33.29 m) i velike propustljivosti, M_3^2 —panonske gline, M_3^1 —sarmatski krečnjaci, laporoviti peskovi, M_2^2 —tortonski peščari, glinci i laporci, R—rased

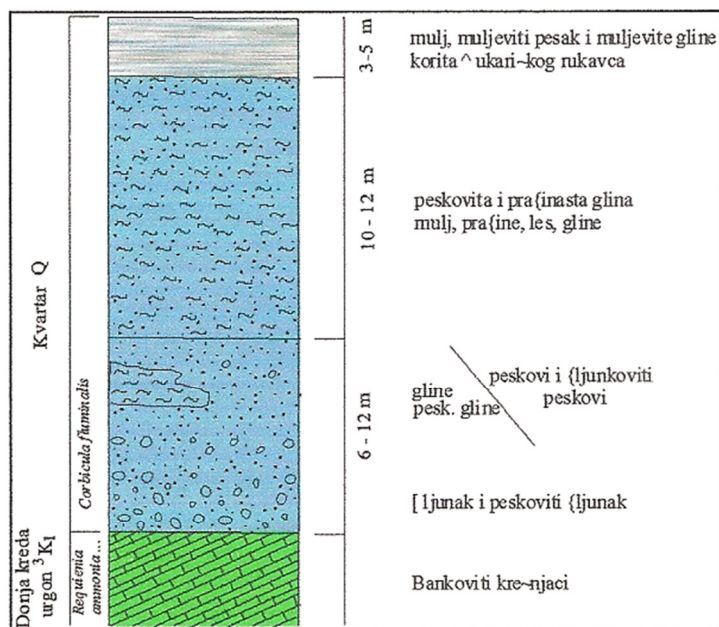
Slika 104. Geološko-hidrogeološki profil od Banovog Brda do Save, kod reni bunara III (Milojević i dr., 1975)



Legenda: 1—peskovita glina; 2—pesak; 3—glinoviti pesak; 4—šljunkoviti pesak; 5—peskoviti šljunak; 6—tercijarna glina; 7—horizontalni drenovi; 8—nivo izdanske vode pri radu bunara; 9—reni bunar; 10—pijezometarska bušotina

Slika 105. Hidrogeološki profil terena na mestu reni bunara III (Živković, 1972)

Novija istraživanja (istražno bušenje) izvedena su u delu Čukaričkog rukavca, na Adi Ciganliji i na obodu Makiškog polja. Na slici 106 prikazan je karakterističan litološki stub na delu Čukaričkog rukavca.

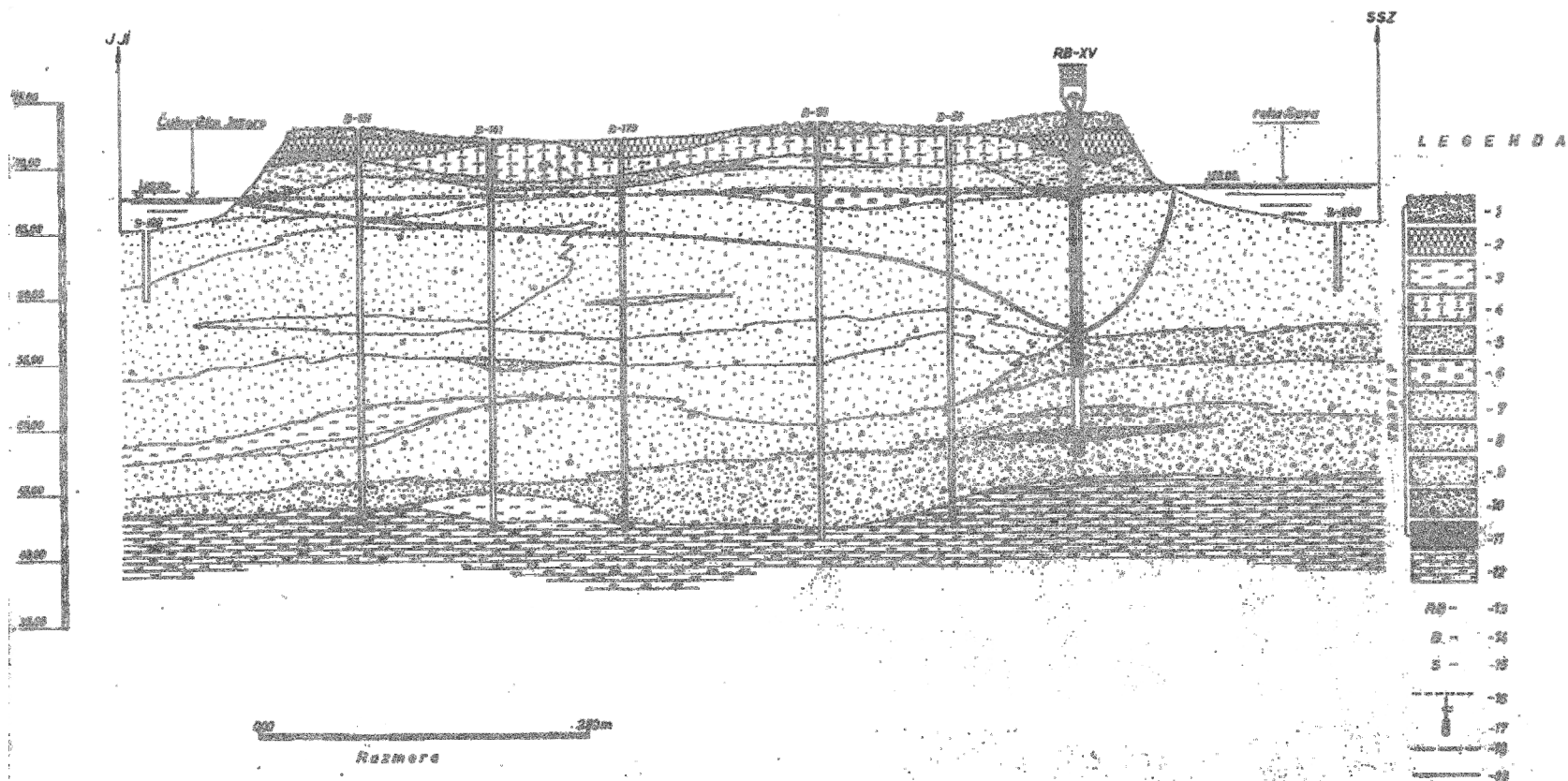


Slika 106. Šematski litološki stub Čukaričkog rukavca (Vasić Lj., 2007)

Istražnjim bušenjem je potvrđeno da podinu kvartarnih sedimenata izgrađuju krečnjaci. U bušotinama na području Čukaričkog rukavca (DB-9 i DB-10) krečnjaci su konstatovani na dubini od 10 m (Bogdanović, 2008)

Kvartarne tvorevine na području Ade Ciganlije su slične sa kvartarnim sedimentima leve i desne obali Save. Njihova debljina varira od 28 do 32 m. U bušotinama na području Ade Ciganlije (B-7, B-6 i B-8) Konstaovani su krečnjaci na dubini od oko 40 m. Preko krečnjaka nataložene su gline, čije se deblje kreću oko 20 m.

Na slici 107. prikazan je karakteristični geološki profil Ade Ciganlije.



1–humus; 2–les; 3–glina; 4–lesoidna glina; 5–peskovita glina; 6–mulj; 7–pesak; 8–muljeviti pesak; 9–šljunkoviti pesak; 10–peskoviti šljunak; 11–uslojen peščar; 12–tercijarna glina; 13–reni bunar u eksploataciji; 14–pijezometarska bušotina; 15–geološka bušotina; 16–horizontalni drenovi u reni bunaru; 17–usisna korpa; 18–prirodni nivo izdanske vode; 19–nivo izdanske vode pri radu reni bunara

Slika 107. Poprečni geološki profil terena Ade Ciganlije (Živković, 1972)

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Zbijeni tip izdani formiran u okviru šljunkovito-peskovitih sedimenata kvartara prihranjuje se višestruko (Živković, 1969):

- infiltracijom padavina
- infiltracijom voda reke Save
- infiltracijom voda formiranih u dolini Železničke reke
- infiltracijom voda iz obodnih krečnjačkih masa

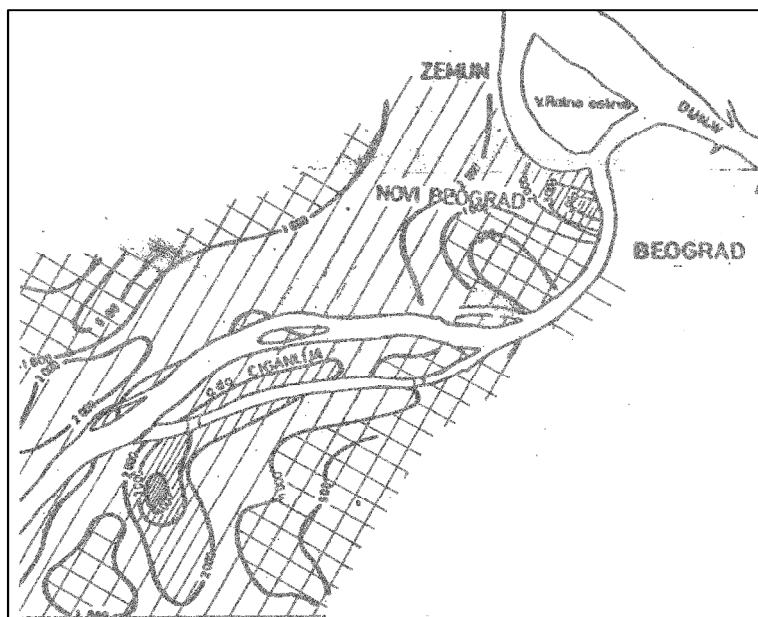
Prema granulometrijskom sastavu vodonosnih slojeva, srednji prečnik zrna se kreće u granicama od 3.5-4.5 mm (Đinđić i dr., 1974). Istražnim radovima dokazano je prihranjivanje iz obodnih krečnjačkih delova terena (osmatranja na pijezometrima lociranim po obodu makiškog polja) i prihranjivanje iz pravca korita reke Save.

Na kontaktu krečnjaka i kvartarnih sedimenata pojavljuju se izvori značajnih izdašnosti, koji dreniraju karstnu izdan u zaleđu polja, a prihranjuju makiške slojeve. Najizdašniji izvor je Bele vode (10-15 l/s). Pored pomenutog izvora karstnu izdan drenira izvor Rapište i izvor Zmajevac. Izneti podaci odnose se na period pre 1970. godine (Živković, 1969), te je trenutno stanje na terenu izmenjeno u smislu regulisanja isticanja podzemnih voda. Dužinom celog polja ostvarena je hidraulička veza izdan-reka, koja je u najvećoj meri regulisana radom reni bunara.

Posmatrajući kvartarne naslage u profilu, generalno, u aluvijalnim delovima reke Save izdvajaju se sledeći članovi (Milojević i dr., 1971):

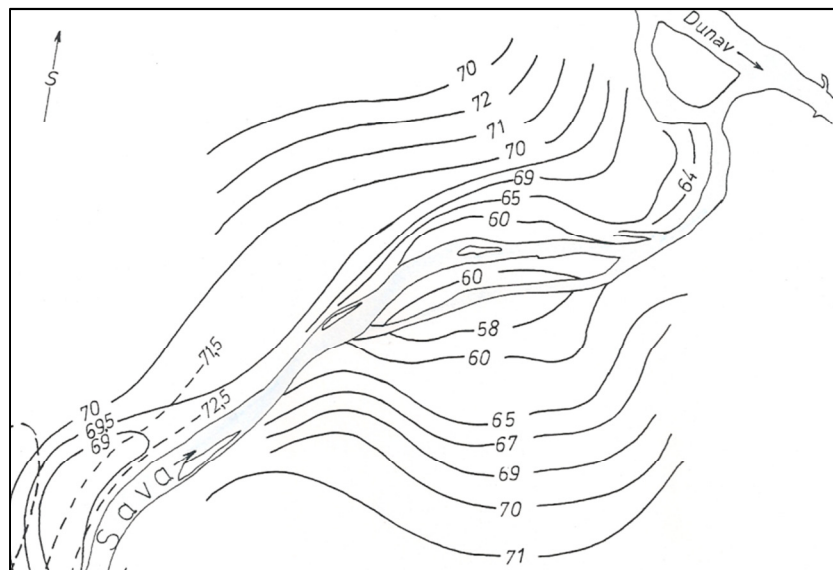
| | |
|---|---|
| Donji deo profila predstavljen je šljunkovitim peskovima i peskovitim šljunkovima sa <i>Corbicula fluminalis</i> , velike vodopropusnosti. Debljina iznosi oko 5-6 m | Koeficijenti filtracije su reda veličine 10^{-2} m/s |
| Iznad šljunkovito-peskovitih naslaga formiran je sloj koji po svojoj debljini dominira u kvartarnom paketu naslaga. Predstavljen je sitnozrnim i srednjozrnim peskovima, sa proslojcima glinovitih sedimenata. Njihova debljina se kreće od 10 m do 20 m. | Koeficijenti filtracije su reda veličine 10^{-3} – 10^{-4} m/s |
| Sledeći članovi kvartarnog litološkog stuba su prašinski i glinoviti peskovi i peskovite gline. Pomenuti sedimenti nemaju kontinualno rasprostranjenje, a debljina im se kreće od 2 m do 10 m. | Koeficijenti filtracije su reda veličine 10^{-5} – 10^{-6} m/s. Poroznost je preko 40% |
| Završni član kvartarne serije većim delom je predstavljen glinovitim sedimentima, koji predstavljaju slabo vodopropusnu povlatu. Debljina ovih naslaga se kreće od 2 m do 5 m. | Koeficijenti filtracije su reda veličine $<10^{-6}$ m/s |

Prema karti (slika 108) vrednosti koeficijenta transmisibilnosti za deo terena makiške ravni, i dalje ka severu se kreću $T=2000-3000$ m²/dan, odnosno $T=1000-2000$ m²/dan. Posmatrajući samo produktivan sloj kvartarnih sedimenata, na osnovu testova crpenja dobijena je srednja vrednost koeficijenta filtracije kolektora na beogradskom izvorištu 8×10^{-3} m/s (Đinđić i dr., 1974). U zoni makiškog polja vršeni su proračuni brzine kretanja podzemnih voda. U briobalnoj zoni, u radijusu dejstava reni bunara brzina kretanja iznosi 23 m/dan, dok brzina kretanja van uticaja reni bunara iznosi 0.9 m/dan (Živković, 1969).



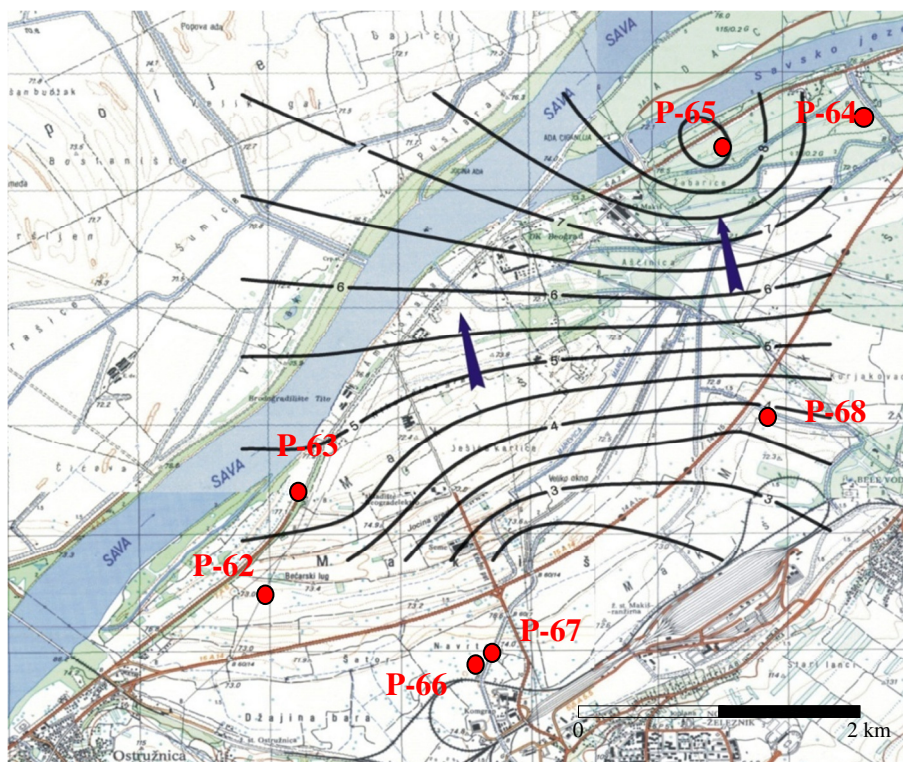
Slika 108. Karta vodoprovodnosti osnovnog vodonosnog sloja
(iz Teodorović, 2002)

Vrednosti dubina do nivoa podzemnih voda prikazane su za dva različita vremenska perioda. Na slici 109. nivo je osmatran 17.10.1975. godine pri vodostaju Save od 71.35 m.



Slika 109. Hidroizohipse na priobalnom delu terena reke Save (iz Teodorović, 2002)

Na slici 110. prikazane su vrednosti dubina do nivoa podzemnih voda na dan 21.11.2005. godine.



Slika 110. Karta dubine do nivoa podzemnih voda sa pravcima kretanja podzemnih voda na području Makiša

Na području Makiškolg polja, u periodu od novembra 2005. godine do februara 2006. godine vršena su osmatranja dubine do nivoa i temperature podzemnih voda (tabela 38). Položaj pijezometara prikazan je na karti hidroizobata (slika 110).

Tabela 38. Dubine do nivoa podzemnih voda u zbijenom tipu izdani na području Makiša

| Naziv | Lokacija | Dubina do NPV (m) | T (°C) |
|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------|--------|
| 21.11.2005. $T_{vaz}=3^{\circ}C$ | | | |
| P-68 | Levo od puta ka Obrenovcu | 3.32 | 14.0 |
| P-67 | Desno od puta ka Obrenovcu | 2.02 | 15.8 |
| P-66 | Desno od puta ka Obrenovcu | 2.12 | 16.0 |
| P-63 | Desna obala Save-plovni put Bg | 12.03 | 17.4 |
| P-Ut-5m/3 | Desna obala Save | 4.80 | 15.0 |
| PM-1 | Desna obala Save-FV Makiš | 7.22 | 13.1 |
| P-2 | Desna obala Save-FV Makiš | 8.69 | 12.5 |
| 29.11.2005. $T_{vaz}=10.5^{\circ}C$ | | | |
| P-68 | Levo od puta ka Obrenovcu | 3.38 | 14.6 |
| P-67 | Desno od puta ka Obrenovcu | 2.18 | 15.2 |
| P-63 | Desna obala Save-plovni put Bg | 11.90 | 17.7 |
| P-Ut-5m/3 | Desna obala Save | 4.90 | 15.0 |
| PM-1 | Desna obala Save-FV Makiš | 7.27 | 13.5 |
| P-2 | Desna obala Save-FV Makiš | 8.92 | 13.2 |
| 28.12.2005. $T_{vaz}=10.2^{\circ}C$ | | | |
| P-67 | Desno od puta ka Obrenovcu | 2 | 10.2 |
| P-63 | Desna obala Save-plovni put Bg | 13.11 | 17 |
| PM-1 | Desna obala Save-FV Makiš | 7.62 | 12.6 |
| P-2 | Desna obala Save-FV Makiš | 9.28 | 12.8 |
| 6.02.2006. $T_{vaz}=13^{\circ}C$ | | | |
| P-67 | Desno od puta ka Obrenovcu | 2.79 | 12.4 |
| P-63 | Desna obala Save-Plovni put Bg | 2.89 | 17.8 |
| P-Ut-5m/3 | Desna obala Save | 11.58 | 14.6 |
| PM-1 | Desna obala Save-FK Makiš | 7.44 | 13.0 |
| P-2 | Desna obala Save-FK Makiš | 16.36 | 13.5 |

Temperature podezmnih voda osmatrane na pijezometru P-63 značajno su povišene u odnosu na temearture merene u ostalim pijezometrma. Uzrok anomalije nije definisan, pretpostavlja se da je povišena temperatura posledica nekog akcidenta (pucanje kanalizacione cevi i sl.).

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Aluvijalna ravan desne obale Save predstavlja jedan od najmoćnijih rezervoara podzemnih voda formiranih u okviru peskovitih i šljunkovitih stena kvartarne starosti na celom istražnom terenu. Dreniranje izdani odvija se preko Reni bunara, čije se početne vrednosti specifične izdašnosti kreću od 15 do 25 l/s (Živković, 1972).

“Današnji beogradski vodovodni sistem zasniva se na zahvatanju i prečišćavanju podzemne vode od oko 5 200 l/s i rečne oko 2 400 /s. Savska se direktno zahvata i dalje prečišćava na dva postrojenja beogradskog vodovoda. Zahvat CS “Šabačka” se nalazi u zoni Makiša i kapaciteta je 500-600 l/s. Zahvat vode CS “Sava” nalazi se na uzvodnom špicu Ade Ciganlije, sa kapacitetom 3 000 l/s, sa mogućnošću proširenja do 7 000 l/s” (iz Vasić, 2007).

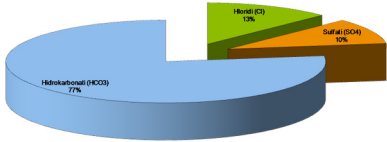
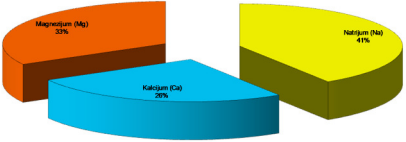
11.3.3. Hidrohemijske karakteristike rejonu III

Hidrogeološke karakteristike podzemnih voda rejonu III razmatrane su u okviru novobeogradskog podrejonu (leva obala Save) i u okviru makiško-ostružničkog podrejonu (desna obala Save). Na delu teritorije Novog Beograda priložene su fizičko-hemijske analize podzemnih voda formiranih u okviru zbijenog tipa izdani..

Novobeogradski podrejon–zbijeni tip izdani

Režim kvaliteta podzemnih voda iz istražno-eksploatacionog bunara u krugu Toplane na Novom Beogradu ispraćen je u trajanju jednog hidrološkog ciklusa. Izradom kompletnih hemijskih analiza dobijene su vrednosti hemijskih pokazatelja kvaliteta podzemnih voda (tabela 39).

Tabela 39. Fizičko-hemijske karakteristike podzemnih voda iz istražno-eksploatacionog bunara u krugu Toplane "Novi Beograd"

| NOVI BEOGRAD-PRIOBALNI DEO SAVE (TOPLANA NOVI BEOGRAD) | | |
|--|---|------------------|
| T (°C) | | 14.7-16.1 |
| pH | | 7.3-8.0 |
| Suvi ostatak (mg/l) na 180 °C | | 646-684 |
| Klasifikacija po Alekinu | Klasa | HCO ₃ |
| | Grupa | Na |
| Formula Kurlova | $M_{0.59-0.63} \frac{HCO_3^3 Cl_{13} SO_4^4}{Na_{41} Mg_{33} Ca_{26}} Q_{10} T_{14.7-16.1}$ | |
| <p>malomineralizovane vode – mineralizacija se kreće u granicama 0.59-0.63 g/l</p> <ul style="list-style-type: none"> povišene koncentracije gvožđa 0.283-1.61 mg/l povišene koncentracije mangana 0.292- 0.339 mg/l prisutno bakteriološko zagađenje iz reda <i>aerobnih mezofilnih bakterija</i>, <i>koliformnih bakterija</i> i <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <p>Anjoni: -77% HCO₃ -13% Cl -10% SO₄</p>  <p>Katjoni: -33% Mg -41% Na -26% Ca</p>  | | |

Režim kvaliteta podzemnih voda iz istražno-eksploatacionog bunara u Bloku 29 na Novom Beogradu ispraćen je u trajanju jednog hidrološkog ciklusa. Izradom kompletnih hemijskih analiza dobijene su vrednosti hemijskih pokazatelja kvaliteta podzemnih voda (tabela 40).

Tabela 40. Fizičko-hemijske karakteristike podzemnih voda iz istražno-eksploatacionog bunara u Bloku 29 na Novom Beogradu

| NOVI BEOGRAD-CENTRALNI DEO | | |
|---|--|------------------|
| T (°C) | | 13.4-17.1 |
| pH | | 7.2-7.7 |
| Suvi ostatak (mg/l) na 105 °C | | 614-758 |
| Specifične komponente | | / |
| Klasifikacija po Alekinu | Klasa | HCO ₃ |
| | Grupa | Mg |
| Formula Kurlova | $M_{0.614-0.758} \frac{HCO_3^-}{72.4} \frac{SO_4^{2-}}{18.1} \frac{Cl^-}{9.5} Q_4 \frac{Mg^{2+}}{46} \frac{Ca^{2+}}{38.3} Na + K^+_{13.7} T_{13.4-16.1}$ | |
| <ul style="list-style-type: none"> malomineralizovane vode-mineralizacije se kreće u granicama 0.61-0.75 g/l povišene koncentracije gvožđa 0.06- 0.495 mg/l povišene koncentracije mangana 0.031- 0.578 mg/l | | |

Hemizam podzemnih voda formiranih u karstnom tipu izdani na levoj obali Save u zoni Ušća i dalje ka Zemunu, razmatran je u okviru rejona IV, odnosno u okviru hidrohemijskih karakteristika rejona IV (poglavlje 11.4.3.). Krečnjaci na levoj obali Save i krečnjaci konstatovani na delu centralnog gradskog pobrđa čine jedinstvenu karstnu izdan.

Makiško-ostružnički podrejon

Prema Milojeviću (1975), hemizam podzemnih voda formiranih na makiškom polju generalno se odlikuje sledećim karakteristikama (tabela 41)

Tabela 41. Opšte hemijske odlike podzemnih voda Makiškog polja

| MAKIŠKO POLJE | | |
|---------------------------------|--------------|---|
| T (°C) | | 10-15 |
| pH | | ≈ 7 |
| Tvrdoća voda °dH | | 6.44-9.52 |
| Klasifikacija po Alekinu | Klasa | HCO ₃ |
| | Grupa | Ca |
| Formula Kurlova | | $M_{0.26}CO_{0.02} \frac{HCO_{83}^3 SO_{10}^4 Cl_6}{Na + K_{54} Ca_{28} Mg_{18}}$ |

- malomineralizovane vode
- povišene koncentracije gvožđa 0.3-1.5 mg/l
- povišene koncentracije jona amonijuma 0.4-3 mg/l

Prema Đinđiću (1974), hemizam podzemnih voda formiranih na Adi Ciganliji generalno se odlikuje sledećim karakteristikama (tabela 42)

Tabela 42. Opšte hemijske odlike podzemnih voda Ade Ciganlije

| ADA CIGANLIJA | | |
|---------------------------------|--------------|------------------|
| T (°C) | | 10-15 |
| pH | | 7-7.5 |
| Tvrdoća voda °dH | | 11.2-15.3 |
| Klasifikacija po Alekinu | Klasa | HCO ₃ |
| | Grupa | Ca |

- malomineralizovane vode
- povišene koncentracije gvožđa 1-2.5 mg/l
- povišene koncentracije jona amonijuma 0.1-0.5 mg/l

11.4. HIDROGEOLOŠKI REJON IV– CENTRALNO GRADSKO PODRUČJE

Oblast rejona IV proteže se od Dunava na severu do linije Železnik–Rakovica–Jajinci–Kumodraž–Veliki Mokri Lug–Vinča na jugu. Za razliku od, uglavnom, ravničarske teritorije do sada opisanih rejona, rejon IV obuhvata brdovit, blago zatalasan reljef na kome je lociran najveći deo gradskog jezgra. Obzirom da su obodni delovi na severu, severozapadu i severoistoku oivičeni Dunavom i Savom, najmlađi sedimenti su predstavljeni peskovima i šljunkovima kvartarne starosti. Na ostalom delu rejona najmlađi sedimenti su predstavljeni lesnim naslagama, koje prekrivaju platoe i doline potoka. Na mestima gde odsustvuje lesni pokrivač proviruju sedimenti panona, koji i dominiraju na čitavoj površini rejona IV.

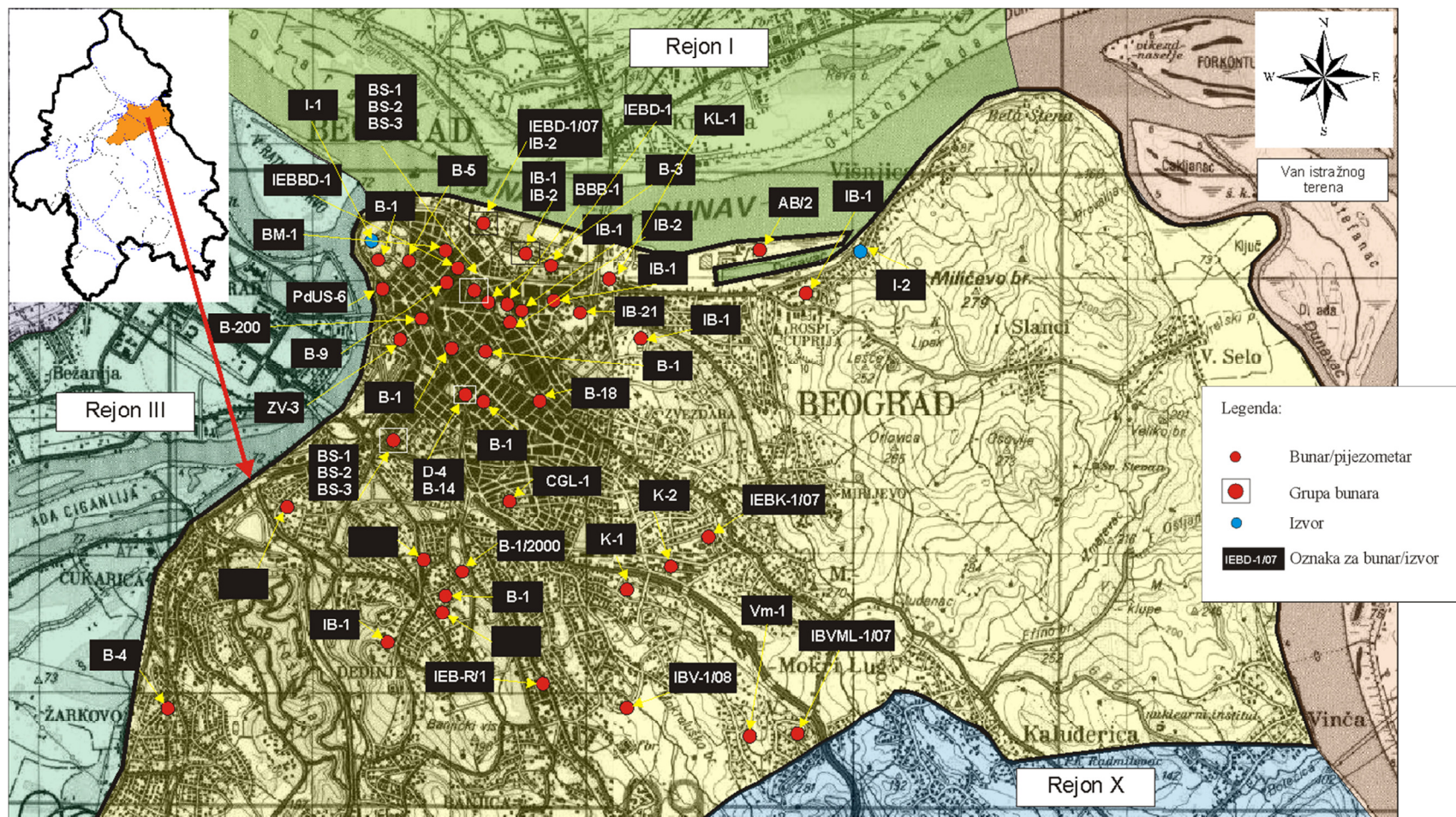
Na terenu se ističu uzvišenja Tašmajdan, Lekino Brdo, Banjički vis (198 mnv), Banovo Brdo (208 mnv), Miljakovac (196 mnv), Straževica (209 mnv), Petlovo brdo (205 mnv), Devojački Grob (287 mnv). Na ušću Save u Dunav nalazi se Kalemegdanski rt sa kotom od (125 mnv). Najviša kota terena uže teritorije grada je na Torlaku i iznosi 303 m, dok najniža izmerena kota iznosi 70.15 m na Adi Huji.

Hidrogeološki rejon IV podeljen je na dva podrejona:

- Beogradsko pobrđe
- Područje Slanci–Veliko Selo,

koja se razlikuju kako po morfologiji terena, tako i prema geološkoj građi.

Analizirani bunari i pijezometri na centralnom gradskom području prikazani su na položajnoj karti (slika 111), koju prati tabela 43.



Slika 111. Položajna karta analiziranih pojava i objekata na centralnom gradskom području

Tabela 43. Analizirani bunari, pijezometri i izvori na području rejonu IV

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|---|----------------------------------|---------------|---|-------------------------------|-----------------------|
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti | | | | | | |
| 1. | Desna obala Save 7456 870 4963 863 76 m | PdUS-6 | 32.00 | 6.00-8.90 16.00-28.00 | pesak-šljunak krečnjak | / |
| 2. | Toplana Dorćol | IEBD-1/07 | 36.00 | 18.60-31.60 | pesak-šljunak | Milenić, 2007 |
| 3. | “Idea” Beograd 7459 001 4964 294 75 m | B-2 | 70.00 | 20.00-29.00 32.00-49.00 55.00-67.00 | pesak krečnjak krečnjak | Lazić M., 2003 |
| 4. | “Duga” Beograd 7459 870 4964 310 75 m | IEBD-1 | 102.00 | 35.50-39.40 45.00-76.00 82.00-94.00 | pesak krečnjak | Lazić M., 2001 |
| 5. | Ada Huja | Geofizička ispitivanja | AB/2 80 | 12.00-15.00 35.00-40.00 | pesak | iz Milenić, 2010 |
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 6. | Klanica- Pančevački most | KL-1 | 240.00 | 221.00-223.00 231.00-234.00 | pesak | Milojević i dr., 1975 |
| 7. | Rospi Čuprija fudbalski teren | B-1 | 46.00 | 25.30-27.60 33.10-39.80 41.10-44.40 | pesak | Bogdanović, 2007 |
| 8. | Toplana Konjarnik | IEBK-1/07 | 115.00 | 53.70-107.70 | pesak glinoviti pesak | Milenić, 2008 |
| 9. | Konjarnik | K-1 | 190.00 | 168.00-178.60 | pesak-šljunak | Milojević i dr., 1975 |
| 10. | Soko-Štark Kumodraž 126 m | Km-1 | 333.60 | 139.00-158.00 262.00-326.00 | peščari konglomerati | Milojević i dr., 1975 |
| 11. | Kaluđerica 7465 907 4958 518 256 m | B-1 | 240 | 26.60-29.10 57.20-62.0 81.20-85.30 113.60-117.00 138.6-143.00 | pesak | Knežević M., 2011 |

.. nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|--|----------------------------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 12. | Ušće-desna obala Save N 44° 48' 57.4" E 20° 26' 42.4" | B-1 | 70.00 | 35.00-45.00 65.00-70.00 | krečnjak | Rundić i dr., 2011 |
| 13. | Toplana Dorćol 7458 390 4964 927 | IB-2 | 150.00 | 22.00-32.20 109.50-119.80 | pesak- šljunak krečnjak | Knežević M., 2008 |
| 14. | Skender Begova 51 7458 164 4964 320 99 m | BM-1 | 101.00 | 88.00-98.40 | krečnjak | Bogdanović, 2010 |
| 15. | Skadarlija 7458 155 4963 786 95 m | BS-1 | 61.00 | 47.00-55.00 | krečnjak | iz Despinić, 2001 |
| 16. | Skadarlija 7458 206 4963 891 88 m | BS-2 | 103.00 | 61.00-103.00 | krečnjak | iz Despinić, 2001 |
| 17. | Skadarlija 7458 206 4963 879 88 m | BS-3 | 321.00 | 64.50-90.00 | krečnjak | iz Despinić, 2001 |
| 18. | Dobračina 8 7457 733 4963 819 121 m | IEBBD-1 | 141.00 | 97.30-137.00 | krečnjak | Čanić, 2009 |
| 19. | Botanička bašta 7458 826 4963 573 118 m | BBB-1 | 100.00 | 67.00-90.00 | krečnjak | / |
| 20. | Takovska 48 7458 883 4963 447 115 m | IEBT-1 | 120.00 | 63.80-83.00 | krečnjak | Dragišić, 2009 |
| 21. | Osmana Đikića 18 7459 450 4963 664 108 m | B-1 | 83.00 | 72.00-82.00 | krečnjak | Bogdanović, 2011 |
| 22. | Stadion OFK | B-1 | 142.00 | 110.00-111.00 | laporoviti krečnjak | Jović P., 2004 |
| 23. | Čumićeva ulica 7457 873 4963 447 125 m | B-200 | 145.70 | 54.00-82.00 | krečnjak | Milojević i dr., 1975 |

... nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|---|----------------------------------|---------------|-----------------------|------------|---|
| Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 24. | Pionirski park 7458 118 4963 005 126 m | B-1 | - | 50.00-100 | krečnjak | Dokmanović, 1997 |
| 25. | BIP Mostar 7457 194 4961 373 140 m | B-3 | 144.50 | 45.00-90.00 | krečnjak | Dokmanović, 1997, prema Tomiću, 1994 |
| 26. | BIP Mostar 7457 064 4961 427 140 m | B-2 | 94.00 | 6.00-94.00 | krečnjak | Dokmanović, 1997, prema Tomiću, 1994 |
| 27. | BIP Mostar 7457 118 4961 286 140 m | B-4 | 87.00 | 0.50-55.00 | krečnjak | Dokmanović, 1997, prema Tomiću, 1994 |
| 28. | Lamartinova Vračar 7458 604 4961 108 108 m | CGL-1 | 80.00 | 55.00-80.00 | krečnjak | Milivojević, 2001 |
| 29. | Krunska 70 7458 688 4962 249 129 m | B-1 | 61.00 | 7.60-50.50 | krečnjak | Bogdanović, 2012 |
| 30. | Njegoševa Slavija 7458 931 4962 336 124 m | D-4 | 20.00 | 18.00-20.00 | krečnjak | Knežević, Šumar, 1994 |
| 31. | Žanke Stokić Senjak 7455 395 4960 915 103 m | IBS-1/11 | 100.00 | 6.50-90.00 | krečnjak | Bogdanović, 2011 |
| 32. | Američka ambasada 7457 083 4958 812 199 m | IB-1 | 152.00 | 21.00-150.00 | krečnjak | Bogdanović, 2011 |
| 33. | FK Crvena Zvezda 7458 194 4959 876 116 m | B-1/2000 | 100.00 | 24.00-78.00 | krečnjak | Simić, 2000 |
| 34. | Šekspirova 8 7457 614 4959 909 149 m | IBŠ-1/12 | 101.00 | 38.00-101.00? | krečnjak | Milenić, 2012 |

... nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pizjometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|---|--|---------------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|---|
| Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 35. | Serdar Jola 7457 817 4959 469 153 m | B-1 | 100.00 | 35.00-82.00 | krečnjak | Knežević, Šumar, 1993 |
| 36. | Jevrema Grujića 7457 754 4959 421 165 m | B-1 | 90.00 | 54.00-90.00 | krečnjak | / |
| 37. | FK Rad Banjica | IEB-R/1 | 130.00 | 68.50-76.00 | laporoviti krečnjak | Petrović, 2004 |
| 38. | Toplana Voždovac 7459 784 4956 738 193 m | IEBV-1/08 | 106.00 200.00* | 68.80-105.80 | krečnjak | Milenić, 2008 |
| 39. | Žarkovo 7454 349 4956 534 106 m | B-4 | 89.50 | 18.20-25.60 | krečnjak | Milojević i dr., 1975 |
| Izvori | | | | | | |
| 40. | Sveta Petka | | I-1 | | krečnjak | Milenić, 2006 |
| 41. | Višnjička banja | | I-2 | | krečnjak | Milenić, 2006 |
| 42. | Bele Vode Žarkovo | | I-3 | | krečnjak | Milojević i dr., 1975 |
| Karstno-pukotinski tip u okviru sedimenata kredne starosti | | | | | | |
| 43. | Tadeuša Koščušskog | B-5 | 40.00 | 33.00-40.00 | krečnjak | Knežević, Šumar, 1993 |
| 44. | Tašmajdan | B-1 | 40.00 | 12.00-40.00 | krečnjak | Knežević, Šumar, 1993 |
| 45. | Bulevar revolucije | B-18 | 66.00 | 25.00-66.00 | krečnjak | Milojević i dr., 1975 |
| 46. | BIP Mostar | B-1 | 100.00 | 25.00-100.00 | krečnjak | Dokmanović, 1997, prema Tomiću, 1994 |
| 47. | Čukarička padina-Makiš | S-1 | 30.00 | 25.00-30.00 | krečnjak | Rabrenović, Jovanović, 1992 |
| 48. | Miloja Zakića 59 Vidikovac 7455 299 4959 916 202 m | GEB-1 | 97.00 | 7.60-26.00 | krečnjak | Knežević M., 2008 |

* dubina istražne bušotine

... nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|---|---|----------------------------------|---------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Karstno-pukotinski tip u okviru sedimenata kredne starosti | | | | | | |
| Izvori | | | | | | |
| 49. | Izvor kod restorana "Košuta" u Košutnjaku | | I-3 | | kredni sedimenti | Dimitrijević N., 1966 |
| 50. | Hajdučka česma u Košutnjaku | | I-4 | | kredni sedimenti | Dimitrijević N., 1966 |
| 51. | Izvor u Lisičijem potoku ispod Belog dvora | | I-5 | | urgonski krečnjaci | Dimitrijević N., 1966 |
| 52. | Izvor na Topčideru iznad crkve | | I-6 | | kredni sedimenti | Dimitrijević N., 1966 |
| Uslovno "bezvodni" delovi terena | | | | | | |
| 53. | Ugao Francuske i Gospodar Jevremove | B-9 | 55.00 | - | glina | Knežević, Šumar, 1993 |
| 54. | Palmoćićeva | B-3 | 63.00 | - | glina | Knežević, Šumar, 1993 |
| 55. | Georgi Dimitrova Beogradska | B-14 | 24.00 | - | gline i lapori | Knežević, Šumar, 1993 |
| 56. | Rovinjska 12 Geološki zavod | - | 103.00 | - | laporci | Milojević i dr., 1975 |
| 57. | Dvorište RGF-a | B-2 | 26.00 | - | peskovite gline alevroliti | Knežević, Šumar, 1993 |
| 58. | Iznad Hale "Pionir" | B-21 | 26.00 | - | laporci | Knežević, Šumar, 1993 |
| 59. | Zeleni Venac dvorište II BG gimnazije | ZV-3 | 24.00 | - | lapori | Knežević, Šumar, 1993 |
| 60. | Konjarnik | K-2 | 223.00 | - | peščari lapori | Milojević i dr., 1975 |
| 61. | VML | IBVML-1/07 | 102.00 | - | glina | Bogdanović, 2007 |
| 62. | VML | Vm-1 | 204.00 | - | glina, pesak | Milojević i dr., 1975 |

11.4.1. Beogradsko pobrđe

Na teritoriji podrejona IV izdvojeni su sledeći tipovi izdani:

- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti
- Karstni tip izdani u okviru krečnjaka tortonско-sarmatske starosti
- Karstno-pukotinski tip izdani u okviru krečnjaka urgonske starosti
- Uslovno “bezvodni” delovi terena i okviru glina panonske starosti

11.4.1.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

Rasprostranjenje izdani

Zbijeni tip izdani formiran je u okviru peskova i šljunkova duž desnih obala Save i Dunava. U okviru hidrogeološkog rejona IV aluvijalne naslage mogu se pratiti od čukaričkog rukavca do Vinče krećući se obalom od zapada ka istoku. U zoni ulivanja Topčiderske reke i Mokroluškog potoka u Savu, aluvijalni sedimenti zauzimaju površinu oko 800 m², odnosno oko 1500 m². Od mesta ulivanja Save u Dunav ka Karaburmi površina priobalnih naslaga Dunava se kreće oko 5000 m².

Najmanju površinu peskovito-šljunkoviti sedimenti zauzimaju u delu terena oko Višnjice, da bi najveću dostigli u dunavskom ključu, odnosno na potezu Ključ–Vinča (oko 10000 m²). Aluvijalni sedimenti registrovani su i u dolini gornjeg toka Topčiderske reke, u dolini Bulbuderskog potoka, Kumodraškog i Mokroluškog potoka, zatim u dolini Manastirskog potoka.

Na osnovu istražnog bušenja (pijezometar PdUS-6) utvrđeno je da se debljina peskova i šljunkova na desnoj obali Save, u zoni ušća, kreće svega par metara..

Na litološkim profilima većine bunara i pijezometara lociranih na desnim obalama Save i Dunava, u peskovito-šljunkovitoj podini konstatovani su i krečnjaci.

Na desnoj obali Save, u zoni ušća Save u Dunav, na dubini od 3.50 m konstatovan je peskovito-šljunkovit sloj, čija debljina iznosi svega 0.5 m. U podini peskovito-šljunkovitog sloja do dubine od 12 m smenjuju se slojevi gline, peskovite gline sa proslojcima zaglinjenih peskova. Od 12 m do 32 m litološki profil izgrađuju krečnjaci.

U delu aluvijalnih naslaga desne obale Dunava, u zoni beogradskog pristaništa, na lokaciji bušotine (IEBD-1) od površine terena do 40 m dubine konstatovani su peskovi i zaglinjeni peskovi u smeni sa glinama i peskovitim glinama. Od 40 m dubine do 94 m konstatovani su krečnjaci u smeni sa peskovima i peskovitim glinama. Podina krečnjaka predstavljena je glinama, od 94 m do 102 m.

U blizini bušotine IEBD-1, izradom bunara B-2 ("Idea") konstatovani su peskovi u intervalu od 16 m do 28 m. Podina peskova predstavljena je krečnjacima u smeni sa laporcima, Krečnjaci su konstatovani u intervalu od 30 m do 50 m i od 55 m do 70 m.

Na lokaciji Toplane "Dorćol" (bunar IEBD-1/07), u intervalu od 19 m do 32 m konstatovani su peskoviti sedimenti. U podini peskova, od 32 m do 36 m nabušeni su glinoviti i glinovito-peskoviti slojevi. Povlata vodonosnih peskova, takođe je predstavljena glinovitim sedimentima, od 19 m do površine terena.

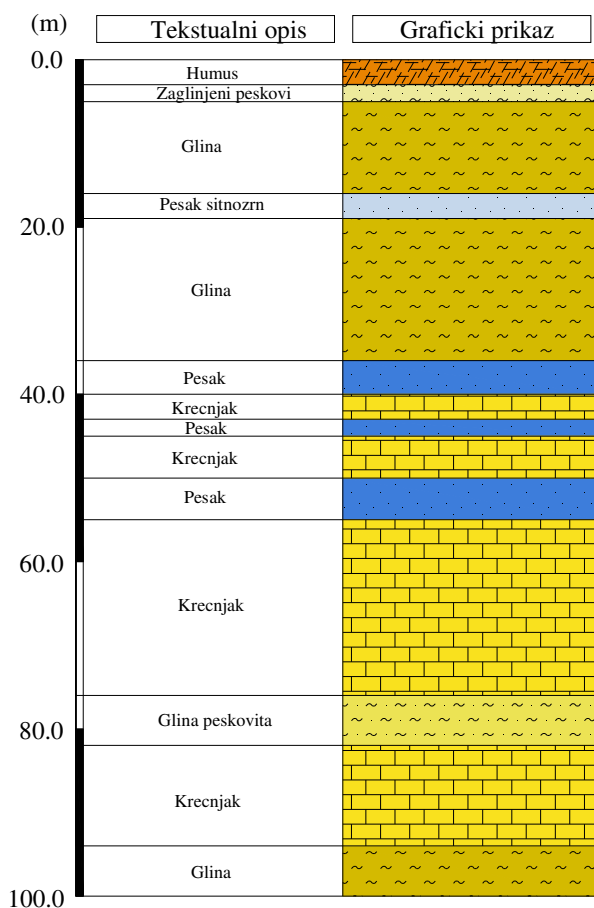
Na području Ade Huje, geofizičkim ispitivanjima terena u varijanti geoelektričnog sondiranja sa zahvatom polustrujnih elektroda AB/2 do 80 m dubine, konstatovana su dva peskovita sloja (Milenić, 2010, prema Samolov). Prvi peskoviti sloj nalazi se u intervalu od 15 m do 20 m, a drugi u intervalu od 30 m do 35. Podina peskovitih slojeva predstavljena je glinama i peskovitim glinama.

Prosečna debljina vodonosnih peskovitih slojeva desne obale Save i Dunava, na potezu od ušća do Ade Huje prikazana je u tabeli 44.

Tabela 44. Debljine peskovitih vodonosnih slojeva kvartarne starosti na području desne obale Save i Dunava, od Ušća do Ade Huje

| Bunar/pijezometar | Lokacija | Litologija | Debljina vodonosnih slojeva (m) |
|---|-----------------------|---------------|---------------------------------|
| PdUS-6 | desna obala Save/Ušće | pesak-šljunak | 0.50 |
| IEBD-1 | “Duga” luka Beograd | pesak | 7.00 |
| B-2 | “Idea” luka Beograd | pesak | 12.00 |
| IEBD-1/07 | Toplana "Dorćol" | pesak | 11.00 |
| PROSEČNA DEBLJINA VODONOSNIH SLOJEVA ≈ 8 m | | | |

Na slici 112 prikazan je litološki profil terena karakterističan za priobalne delove Dunava, od ušća Save do Ade Huje.



Slika 112. Karakterističan litološki profil dela terena desne obale Dunava, od ušća Save do Ade Huje (modifikovano, bunar IEBD-1, Lazić M., 2001)

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike

Zbijeni tip izdani formiran u aluvijalnim sedimentima desne obale Save i desne obale Dunava prihranjuje se dvojako:

- infiltracijom površinskih rečnih voda
- infiltracijom padavina

Dominantni vid prihranjivanja peskova i šljunkova je putem infiltracije površinskih voda. Najveće količine voda u podzemlje dospevaju na račun hidrauličke veze izdan-reka. U prihranjivanju zbijenog tipa izdani učestvuju i tokovi Kumodraškog i Mokrolušskog potoka. Tokom vremena uslovi prihranjivanja su se izmenili pod uticajem antropogenog faktora. Mnogi površinski tokovi su regulisani (Bulbuderski potok, Duboki potok...).

Pod uticajem antropogenog faktora, infiltracija atmosferskih padavina odvija se otežano, prvenstveno zbog asfaltnih površina terena. Obzirom da se radi o urbanizovanom delu terena, neophodno je spomenuti veštačko prihranjivanje izdani do kojeg dolazi usled pucanja vodovodnih cevi (poglavlje 4).

Aluvijalne naslage Save odlikuju se dobrom vodopropustljivošću. Koeficijenti filtracije povlatnog sloje kreću se u intervalu od 1.2×10^{-6} m/s do 9×10^{-7} m/s. (Musladin, Mićović, 1971). Generalno posmatrajući, aluvijalni sedimenti desne obale Save (u zoni ušća) i Dunava karakterišu se slabijim filtracionim karakteristikama u odnosu na kvartarne sedimente leve obale Dunava. Nivoi podzemnih voda u pijezometrima i bunarima se kreću od oko 3.40 m koliko je zabeleženo po izradi bunara u „Dugi“ do 5.60 m na IEBD-1/07 (Toplana Dorćol).

Dreniranje izdani i raspoložive rezerve podzemnih voda

Dreniranje izdani odvija se preko istražno-eksploatacionih bunara. Izdašnosti bunara kreću se od 3.5 l/s (IEBD-1), do 10 l/s (IEBD-1/07). Obzirom na ograničeno rasprostranjenje peskovitih sedimenata kvartara na desnoj obali Dunava, sa aspekta rezervi podzemnih voda ovaj tip izadni nema veći značaj.

11.4.1.2. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Na užem području grada Beograda, sedimenti sarmatske starosti razvijeni su u faciji krečnjaka, zatim u faciji glinovitih sedimenata i u faciji peskova. Čest je slučaj da se sedimenti sarmatske starosti javljaju u peskovito-glinovitoj seriji.

Na Topčiderskom brdu sarmat je razvijen u faciji peskova i peščara, koji leže preko karstifikovanih krečnjaka. U Ulici Teodora Drajzera konstatovani su ooltski peskovi i šljunkoviti peščari.

Na delu teritorije Konjarnika istražnim bušenjem konstatovane su podzemne vode povišene temperature. Bušotinom K-1 izbušenom pre sedamdesetih godina prošlog veka (rezultati bušenja pojavljuju se u literaturi sedamdesetih godina prošlog veka i kasnije), registrovan je priliv podzemnih voda temperature 18°C, u intervalu od 168.00 m do 178.60 m. Na osnovu temperature i hemijskog sastava voda zaključeno je da su podzemne vode formirane u poluotvorenoj hidrogeološkoj strukturi, u peskovito-šljunkovitim sedimentima.

Bušenjem tokom 2007. godine, na delu teritorije Konjarnika potvrđena je pojava podzemnih voda povišene temperature. Bušotinom IEBK-1/07 kaptiran je sloj peska i glinovitog peska u intervalu od 53.70 m do 107.70 m. Temperatura vode je iznosila 17°C. Obe bušotine su malih izdašnosti. Izmerena izdašnost na bušotini K-1 je iznosila 0.1 l/s, a na bunaru IEBK-1/07 0.8 l/s.

Glinoviti tip sarmata je konstatovan je kod Mirijeve i Malog Mokrog Luga, u peskovito-glinovitoj faciji. Istražnom bušotinom u Velikom Mokrom Lugu (100 m) do dubine od 60 m konstatovana je smena slojeva gline i zaglinjenih peskova, a od 60 m do 100 m konstatovani su samo glinoviti sedimenti. Prosečna debljina proslojaka se kreće oko 3 m. Izdašnost izvedene bušotine je $Q < 0.2$ l/s.

Severno od Velikog Mokrog Luga, na lokalitetu Rospri Čuprije, na fudbalskom terenu izbušena je istražna bušotina do dubine od 46 m. Istražnom bušotinom registravani su peskoviti slojevi i peskovito-glinoviti slojevi. Debljina peskovitih sedimenata je oko 10 m. Bušotina je završena u zaglinjenim peskovima, te podina ovih sedimenata nije poznata, kao ni konačna dubina zaleganja peskova (Bogdanović, 2007).

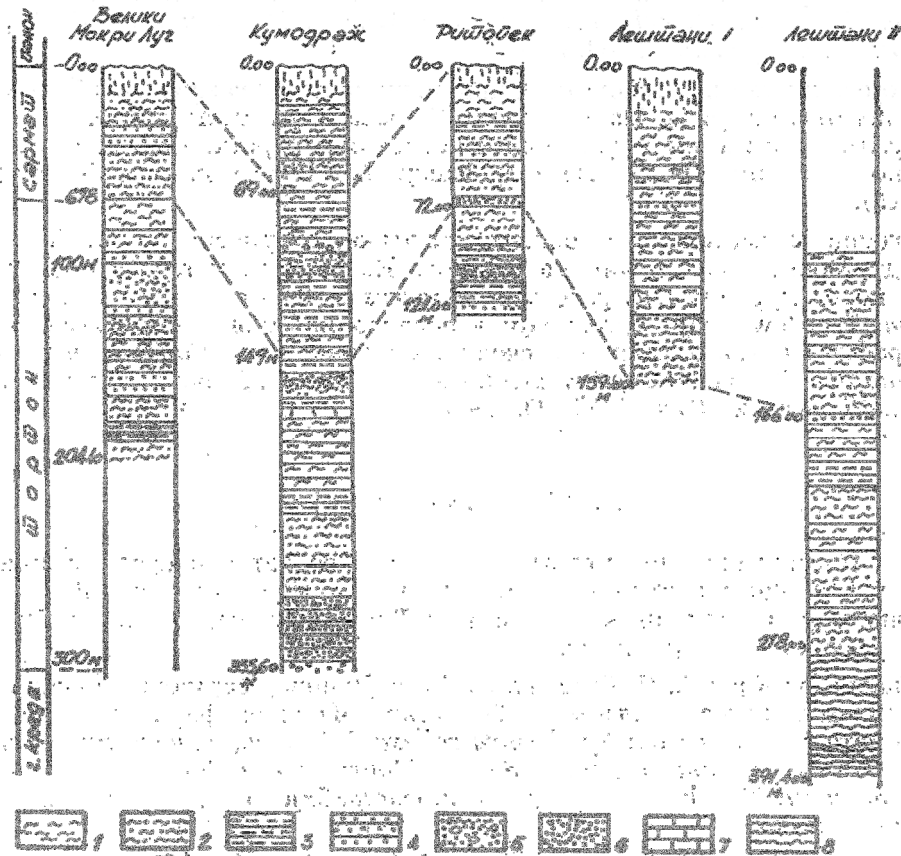
Na lokaciji Kumodraža, u krugu "Soko Štarka" izbušena je bušotina dubine 333 m. Bušotinom su kaptirana dva vodonosna horizonta, prvi horizont je registrovan u intervalu od 139 m do 158 m, a drugi u intervalu od 262 m do 326 m. Sedimenti prvog vodonosnog horizonta su sarmatske starosti (prema O. Spajić), dok drugi vodonosni sloj izgrađuju sedimenti tortonske starosti.

Izradom bušotine Km-1 dobijen je samoizliv podzemnih voda temperature 18°C (prvi sloj), odnosno temperature 29°C (drugi sloj) (Filipović, Mirković, 1972). Izdašnost prvog sloja je iznosila pod samoizlivom 2 l/s, a drugog 7 l/s. Koeficijent filtracije prvog vodonosnog sloja iznosi 4×10^{-4} m/s.

Delovi terena u okolini Bolečke reke (šira okolina Vinče) izgrađeni su od peskova sarmatske starosti (Milojević i dr., 1971). Krećući se dalje na jug, na području Boleča, Ritopeka, Leštana, Vrčina, Zaklopače, eksploatacioni bunari kaptiraju peskovite sedimente panonske i sarmatske starosti.

Na slici 113. dat je uporedni prikaz litostratigrafskih stubova na četiri lokaliteta: 1–Veliki Mokri Lug, 2–Kumodraž, 3–Ritopek, 4–Lešatani I i 5–Lešatani II Na bušotinama:

- Veliki Mokri Lug sedimenti sarmata predstavljani su peskovitim glinama i pešćarima, javljaju se na dubini od 0.00 do 67.80 m
- Kumodarž sedimenti sarmata predstavljani su glinama i peskovitim glinama, javljaju se na dubini od 69.00 do 149.00 m
- Ritopek sedimenti sarmata predstavljani su peskovitim glinama i pešćarima, javljaju se na dubini od 0.00 do 72 m
- Leštane I sedimenti sarmata predstavljani su glinama, peskovitim glinama i pešćarima, javljaju se na dubini od 0.00 m do 159.00 m
- Leštane II sedimenti sarmata predstavljani su peskovitim glinama i glinama, javljaju se na dubini od 0.00 m do 172.00 m



Legenda: 1–gline, 2–peskovite gline, 3–laporač, 4–peščari, 5–konglomerati, 6–peskovi, 7–krečnjaci, 8–kredni fliš

Slika 113. Uporedni litološki profili bušotina jugoistočnog užeg područja grada (Spajić, Tomić, 1973)

11.4.1.3. Karstni tip izdani u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti

Rasprostranjenje izdani

Karstni tip izdani formiran u tercijarnim krečnjacima ima ograničeno rasprostranjenje (Milojević i dr., 1975). Noviji podaci dobijeni istražnim bušenjem na užoj teritoriji grada, međutim ukazuju na značajno rasprostranjenje krečnjaka tortona i sarmata. Karstna izdan je posmatrana u okviru “paketa” krečnjaka tortona i sarmata, tj. nije vršeno stratigrafsko rasčlanjavanje, iako postoje izvesne razlike u pogledu mehaničkih svojstava stena tortonske i sarmatske starosti.

Tortonski krečnjaci su jedri, manje ispucali u odnosu na krečnjake sarmatske starosti, koji su kavernozi (usmene konsultacije M.Ganić). Krečnjaci sarmatske starosti i tortonske starosti razlikuju se i prema boji. Sarmatski krečnjaci su belo-žute boje, dok su tortonski, sivo-plave, nalikuju urgonskim krečnjacima.

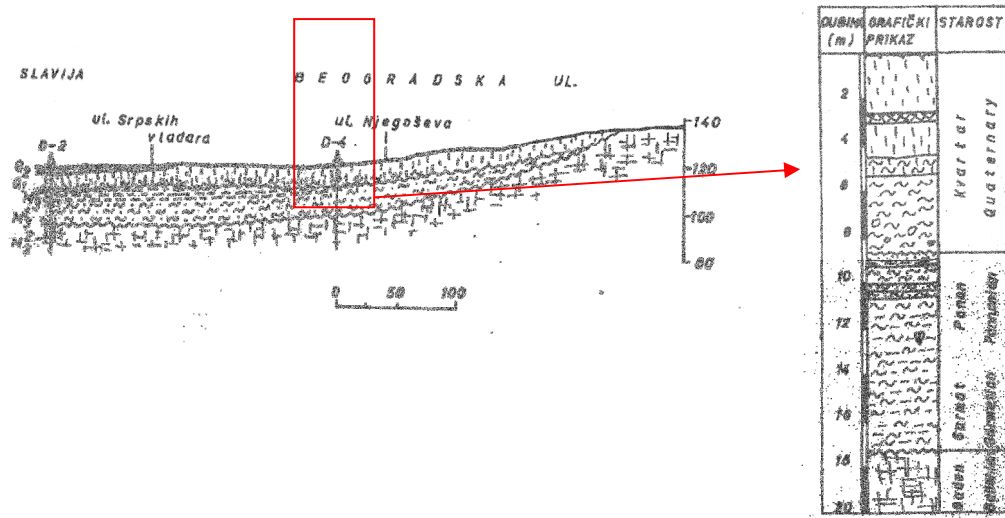
Na užoj teritoriji grada podina terciarnih krečnjaka često je predstavljena krednim krečnjacima (bunari u krugu BIP-a na Mostaru, bušotina B-5 u Tadeuša Košćuška, bušotina B-1 na Tašmajdanu). Na litološkim profilima primećeno je i odsustvo mlađeg člana miocena, sarmata (bušotina na B-1 na Tašmajdanu). Odsustvo sedimenata sarmata Knežević i Šumar (1994) objašnjavaju "pojavom recesije, tj. snažnog uticaja talasa i struja u plitkom sarmatskom moru, zbog čega nije obavljeno taloženje novih slojeva, a čak je erodovan i pretaložen materijal tortonskog bioherma".

Povlata karstnog tipa izdani predstavljena je uglavnom panonskim glinama i laporima. Preko neogenih sedimenata formirane su kvartarne naslage predstavljene lesom i ređe alevritičnim klastitima. Prema Laskarevu, les na teritoriji grada pripada mlađem pleistocenu. Na osnovu detaljnih istraživanja vršenih, uglavnom od strane S. Kneževića, definisano je rasprostranjenje lesnih naslaga na užoj teritoriji grada:

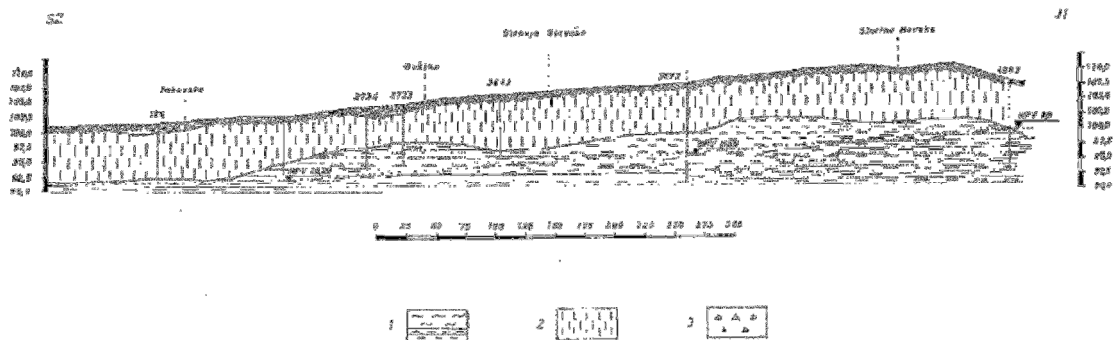
- Les prekriva terazijsku, vračarsku i čubursku zaravan. Spušta se niz padine Mokroluškog, Kumodraškog potoka, zatim prekriva donji tok Topčiderske reke, Bulbuderskog potoka (Zvezdara), Kaljavog potoka na Banjici, Mirijejskog potoka.

Debljine lesnih naslaga su promenljive i iznose (Nenadić, Bogičević, 2010):

- na Kalemegdanu i Tašmajdanu oko 2-3 m
- na Čuburi oko 15 m
- na Vračaru oko 4-10 m (les se javlja sa proslojcima proluvijalnih sedimenata)
- na Slaviji (ugao Beogradske i Njegoševe) oko 4.5 m (slika 114)
- u Botaničkoj bašti lesne naslage debljine oko 16 m leže iznad panonskih laporaca (slika 115)
- na lokalitetu Vukovog spomenika oko 7 m
- u Višnjici i dunavskom ključu oko 20 m
- na Banovom Brdu i na Topčideru lesne naslage leže direktno preko urgonskih krečnjaka. Debljina lesa dostiže oko 5 m



Slika 114. Geološki profil na potezu Slavija–Beogradska ulica, sa prikazom litološkog profila bušotine D-4 (Knežević, Šumar, 1994)



Legenda: 1–sarmatski laporci i gline, 2–les, 3–drobina

Slika 115. Geološko-hidrogeološki profil na potezu od Botaničke bašte do Dalmatinske ulice (Milojević i dr., 1975)

Prema Musladin i Mićović (1971) tortonski krečnjaci se javljaju u vidu dva odvojena spruda. Rasprostranjenje jednog spruda može se pratiti od Kalemegdana do Tašmajdana (tašmajdanski sprud konstatovan je u Ulici Kraljice Marije, prilikom izgradnje temenja zgrade na broju 22, 24 i 26), a drugog u Krunskoj ulici, između Ulice Prote Mateje i Molerove. Na ovom delu terena tortonski krečnjaci su beličasto-žuti i sivi, masivni i kavernozni.

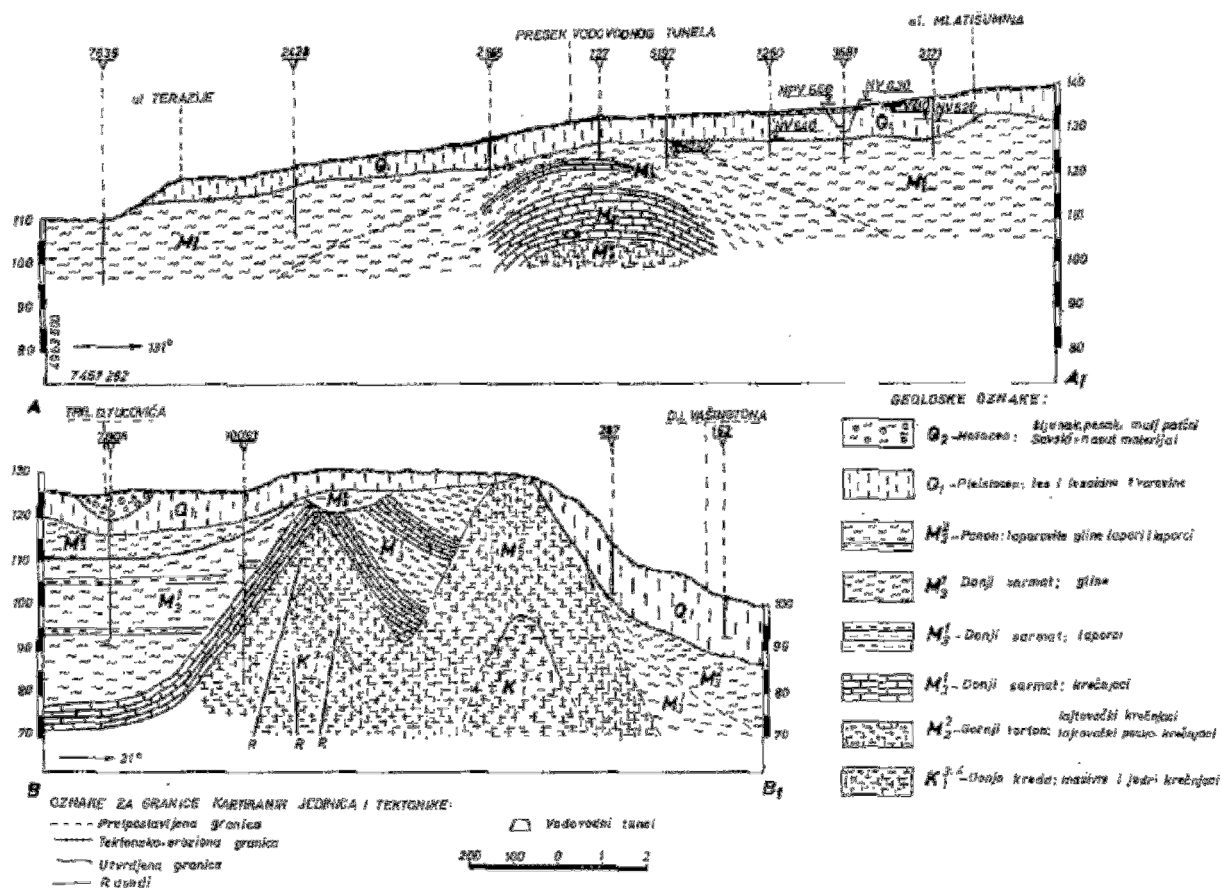
Tortonski krečnjaci izbijaju na površinu na Kalemegdanu, Tašmajdanu, u Krunskoj ulici, na Čuburi, utičući na strmi reljef užeg gradskog područja i predstavljaju deo velikog beogradskog tortonskog bioherma (Knežević, Šumar, 1994). Prema P. Stevanoviću, tortonski krečnjaci na Kalemegdanu su ubrani u blagu antiklinalu pravca pružanja severozapad-jugoistok. Predpostavlja se da “istočnom stranom beogradske terazijske grede ide jedan rased, od Kalemegdana preko Tašmajdana prema Malom Mokrom Lugu. Njegova aktivnost počela je posle taloženja sarmata (Musladin, Mićović, 1971).

Izgradnjom vodovodnog tunela i kanalizacionog tunela i pojedinih bušotina u centralnim delovima grada sagledani su tektonski odnosi na terenu. Izradom vodovodnog tunela konstatovani su rasedi u Krunskoj ulici (slika 116, profil A-A₁).

Izradom bušotina na Tašmajdanu i u Čumićevoj ulici konstatovano je sledeće: “Ako se uzme kao donja granica lajtovca na Tašmajdanu (32 m) i Čumićeve (144.40 m), izlazi da je lajtovac u Čumićevoj niži od tašmajdanskog za čitavih 128 m, što je najverovatnije posledica rasedanja” (Musladin O., Mićović M., 1971).

Tortonsko-sarmatski krečnjaci konstatovani su bušenjem počevši od desnih obala Save i Dunava preko Dorćola, Starog grada, Vračara i dalje prema Dedinju, Senjaku i Topčideru. Krećući se od desne obale Save ka istoku zapažena je postepena promena facije sarmatskih krečnjaka, te na delu Konjarnika, Šumica, Mirijeve, uglavnom su predstavljeni glinovito-peskovitim, peskovitim i laporovitim članovima. Sarmatski sedimenti u faciji krečnjaka nisu konstatovani na beogradskom sprudu. Krećući se ka centralnim delovima debljina im se povećava, da bi značajne debljine dostigli na delu Dedinja (bušotina B-1 u Serdar Jolinoj ulici, bunar u Šekspirovoj i u Ulici Jevrema Grujića).

Rasprostranjenje karstnog tipa izdani formiranog u okviru krečnjaka tortonske i sarmatske starosti može se pratiti od desne obale Dunava ka jugu, sve do linije Žarkovo–Veliki Mokri Lug–Vinča, odnosno od desne obale Save ka istoku do linije Zvezdara–Konjarnik–Voždovac. Na pojedinim delovima terena krečnjaci su predstavljeni samo sedimentima srednjeg miocena, negde krečnjaci tortona izostaju, te sarmatski direktno naležu na urgonske krečnjake. Ako, tortonske i sarmatske krečnjake posmatramo kao jedinstvenu karstnu izdan, na užem području grada njihovo rasprostranjenje se može posmatrati kao kontinuum.



Slika 116. Hidrogeološki profili na delu terena od Terazija do Mlatišumina i od Slavije do Ulice Džordža Vašingtona (Musladin, Mićović, 1971)

Na području Dorćola istražnom bušotinom dubine 70 m konstatovani su krečnjaci tortonske starosti na dubini od 36 m. Povlata krečnjaka je predstavljena glinama panonske starosti, preko koje su nataloženi lesni sedimenti (Rundić i dr., 2011).

Na lokaciji istražne bušotine (BM-1) u Skenderbegovoj ulici krečnjaci su konstatovani u intervalu od 77.5 do 78.5 m i u intervalu od 88 m do 98 m. Povlata krečnjaka predstavljena je smenom peskovitih i glinovitih sedimentata, dok je podina predstavljena peskovitim glinama (Bogdanović, 2010).

U Takovskoj ulici izradom bunara IEBT-1/09, dubine 120 m, krečnjaci sarmatske starosti konstatovani su u intervalu od 62 m do 86 m. Podina krečnjaka predstavljena je peščarima i krečnjacima urgonske starosti. Povlata je glinovita, debljine oko 50 m .

Na području Vračara, izradom bunara CGL-1 u Lamartinovoj ulici, dubine 80 m konstatovani su krečnjaci sarmatske starosti u intervalu od 30 m do 55 m i krečnjaci tortonske starosti u intervalu od 55 m do 80 m. Povlata krečnjaka predstavljena je glinama i laporima panonske starosti (Milivojević M., 2001).

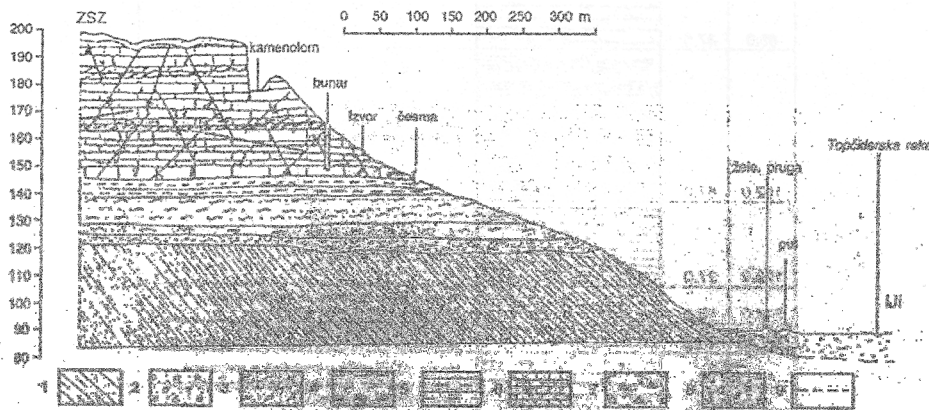
Na lokaciji Američke ambasade na Dedinju, u intervalu od 21 m do 151 m konstatovani su krečnjaci. Litološki stub krečnjaka predstavljen je čistim i glinovitim krečnjacima. U stubu se smenjuju zone kompaktnih, slabije i jače ispucalih krečnjaka. Bušotina je završena u krečnjacima, te nije poznata njihova debljina, kao ni podina. Po završetku bušenja, ustanovljen je vrlo mali priliv podzemnih voda. Glinovita zapuna u krečnjacima ukazuje na nekadašnji tok podzemnih voda. Step en ispucalosti krečnjaka govori o intenzivnosti procesa karstifikacije, što je i uslovalo spuštanje nivoa podzemnih voda u težnji ka lokalnom erozionom bazisu. Nadmorska visina kote terena iznosi 200 m.n.v. što predstavlja razliku skoro 100 m u odnosu na bušotine u okolini na kojima je konstatovan značajan priliv podzemnih voda (IEBŠ-1/12 Šekspirova ulica, bunar na Marakani, bušotina u Ulici J. Grujića).

Izradom bušotine dubine 100 m u Šekspirovoj ulici, krečnjaci su konstatovani u intervalu od 40 m do 80 m (na 80 m završena su karotažna merenja, zbog obrušavanja zidova bušotine). Povlata krečnjaka predstavljena je glinovitim sedimentima.

U neposrednoj blizini bušotine IEBŠ-1/12, u Ulici Serdar Jolinoj bušotinom dubine 100 m konstatovani su krečnjaci sarmatske starosti u intervalu od 40 m do 50 m, odnosno krečnjaci sa proslojcima karbonatnog peska u intervalu od 50 m do 70 m. Krečnjaci tortonske starosti konstatovani su u intervalu od 70 m do 80 m. Podina krečnjaka tortonske starosti predstavljena je peščarima, peskovima, kao i peskovima sa valucima urgonskih krečnjaka (Knežević, Šumar, 1993).

Na području Senjaka, u Ulici Žanke Stokić, izradom bušotine dubine 100 m, konstatovani su krečnjaci u intervalu od 3 do 100 m. Na litološkom stubu, smenjuju se jače i manje ispucali krečnjaci, laporoviti krečanjaci, čisti krečanjci i krečnjačka drobina (Bogdanović, 2010). Na Toplani "Voždovac" izradom bunara IEBTV-1/09, krečnjaci sarmatske starosti konstatovani su u intervalu od 68 m do 106 m dubine. Podina krečnjaka predstavljena je glinama. Dok povlatu izgrađuju glinoviti i peskovito-glinoviti sedimenti (Milenić, 2009).

Odnosi između sedimenata tercijarne i mezozojske starosti uočljivi su u dolini Topčiderske reke (u gornjem toku), zatim u Rakovici kod krečane i kod kijevskih česama (Milojević i dr., 1975). Debljina karstifikovanih krečnjaka sarmatske starosti na lokalitetu "Krečane" u Rakovici je oko 50 m. Na obodu Makiškog polja, u zoni izvora "Bele vode" debljina krečnjaka sarmatske starosti je oko 60 m. Na slici 117 prikazan je hidrogeološki presek terena na lokalitetu krečane u Rakovici.



Legenda: 1–peščari i laporci kredne starosti (fliš), 2–bazalni konglomerati neogene starosti, 3–glinoviti peskovi neogene starosti, 4–laporovite gline neogene starosti, 5–laporci sarmatske starosti, 6–karstifikovani krečnjaci sarmatske starosti, 7–deluvijalni nanosi, 8–aluvijalni nanosi, 9–nivo izdani

Slika 117. Hidrogeološki profil u okviru rasprostranjenja karstnog tipa izdani u krečnjacima sarmatske starosti u lokalnosti „Krečane“ u Rakovici (Milojević i dr.,1975)

Prosečna debljina krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti na centralno beogradskom području prikazana je u tabeli 45.

Tabela 45. Debljine krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti na centralno beogradskom području

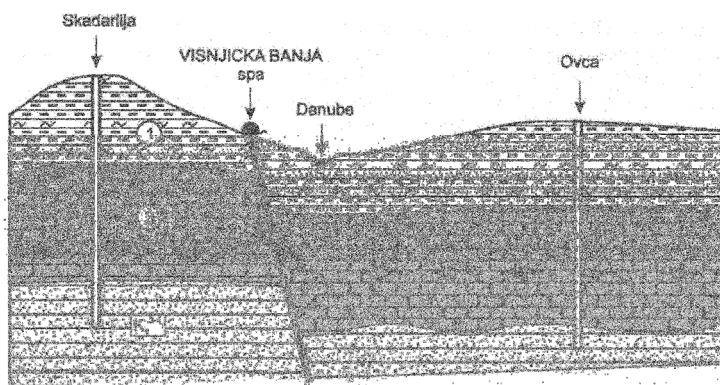
| Rb. | Bunar/ pijezometar | Lokacija | Litologija | Debljina karstne izdani (m) |
|---|-----------------------|---------------------|------------|--------------------------------|
| 1. | PdUS-6 | Desna obala Save | krečnjak | 12.0 |
| 2. | B-1 | Ušće-desna ob. Save | krečnjak | 15.0 |
| 3. | B-5 | Tadeuša Košćuška | krečnjak | 7.0 |
| 4. | IB-2 | Toplana Dorćol | krečnjak | 13.0 |
| 5. | IEBD-1 | “Duga”Beograd | krečnjak | 31.0 |
| 6. | B-2 | “Idea”Beograd | krečnjak | 29.0 |
| 7. | BM-1 | Skender Begova 51 | krečnjak | 10.0 |
| 8. | BS-1 | Skadarlija | krečnjak | 8.0 |
| 9. | BS-2 | Skadarlija | krečnjak | 42.0 |
| 10. | BS-3 | Skadarlija | krečnjak | 25.0 |
| 11. | BBB-1 | Botanička bašta | krečnjak | 23.0 |
| 12. | IEBBD-1 | Dobračina 8 | krečnjak | 48.0 |
| 13. | IB-1 | Takovska 48 | krečnjak | 23.0 |
| 14. | B-1 | Osmana Đikića 18 | krečnjak | 10.0 |
| 15. | B-200 | Čumićeva ulica | krečnjak | 28.0 |
| 16. | B-1 | Pionirski park | krečnjak | 50.0 |
| 17. | B-1 | Tašmajdan | krečnjak | 15.0 |
| 18. | B-18 | Bulevar revolucije | krečnjak | 41.0 |
| 19. | CGL-1 | Lamartinova | krečnjak | 25.0 |
| 20. | B-1 | Krunska 70 | krečnjak | 43.0 |
| 21. | BS-1 | BIP Mostar | krečnjak | 75.0* |
| 22. | BS-2 | BIP Mostar | krečnjak | 88.0* |
| 23. | BS-3 | BIP Mostar | krečnjak | 45.0* |
| 24. | BS-4 | BIP Mostar | krečnjak | 55.0 |
| 25. | IBS-1/11 | Žanke Stokić | krečnjak | 84.0 |
| 26. | IB-1 | Američka ambasada | krečnjak | 129.0** |
| 27. | B-1/2000 | FK Crvena Zvezda | krečnjak | 54.0 |
| 28. | IBŠ-1/12 | Šekspirova | krečnjak | 63.0*** |
| 29. | IB-1 | J. Grujića-Dedinje | krečnjak | |
| 30. | B-1 | Serdar Jola | krečnjak | 47.0 |
| 31. | IBV-1/08 | Toplana Voždovac | krečnjak | 37.0 |
| 32. | B-4 | Žarkovo | krečnjak | 7.0 |
| 33. | Krečana | Rakovica | krečnjak | 50.0 |
| 34. | Bele Vode | Žarkovo | krečnjak | 60.0 |
| PROSEČNA DEBLJINA KARSTNE IZDANI | | | | |
| ≈35 m | | | | |

*Na bunarima u krugu BIP-a na Mostaru, prikazana je ukupna debljina krečnjaka, koja podrazumeva i krečnjake urgonske starosti

**Na istražnoj bušotini u krugu Američke ambasade na Dedinju celim profilom su konstatovani krečnjaci, ali nije utvrđena starost krečnjaka (kredna ili miocenska)

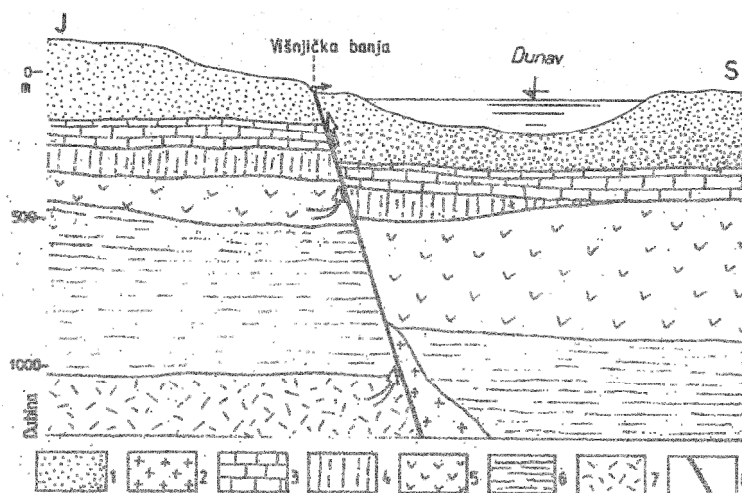
***Istražna bušotina bila je prohodna do 79-tog m, te nije poznata konačna dubina krečnjaka nabušenih na ovoj lokaciji

Stariji, miocenski sedimenti konstatovani su na delu teritorije Višnjice, odnosno Višnjičke Banje. Na površini terena registrovano je isticanje mineralne vode, sa povišenim sadržajem H₂S. Prema Mileniću (2005), hemijski sastav podzemnih voda Višnjičke banje je rezultat mešanja voda u okviru miocenskih krečnjaka leve i desne obale Dunava, slika 118. Prema Protiću (1995) geneza voda Višnjičke banje vezana je za blizinu Avalskog plutonita, slika 119.



Legenda: 1–laporac i pesak; 3–krečnjak; K₁³⁻⁴–peščar

Slika 118. Hidrogeološki profil terena Višnjičke Banje (Milenic et.al., 2005)



Legenda: 1–gornjomiocenski i kvartarni sedimenti; 2–plutoniti (granitoidi); 3–ceritski krečnjaci; 4–slanačka serija; 5–donjomiocenske i vulkanogene tvorevine; 6–gornjokredni sedimenti (fliš); 7–donjokredni (urgonski) krečnjaci; 8–rased (strelice duž raseda prikazuju tok termomineralne vode)

Slika 119. Hidrogeološki profil terena Višnjičke Banje (Protić, 1995)

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Karstna izdan formirana u okviru tortonskih i sarmatskih prihranjuje se:

- infiltracijom padavina
- infiltracijom površinskih voda
- na kontaktu zbijenog tipa izdani formiranog u peskovito-šljunkovitim sedimentima povlate
- na kontaktu karstnog tipa izdani i zbijenog tipa izdani u okviru peskovitih sedimenata sarmatske starosti

Na delovima terena gde krečnjaci izbijaju na površinu terena (Kalemegdan, Tašmajdan, Krunska...) prihranjivanje odvija se direktnom infiltracijom atmosferskih padavina. Na površini terena konstavana je dobra ispucalost krečnjaka, što svakako olakšava infiltraciju atmosferskih taloga u podzemlje. Tašmajdanski krečnjaci odlikuju se kavrenoznom poroznošću, te se voda u njima ne zadržava, već koristi kaverne za svoj prolaz (Dimitrijević N., 1966).

Kako je već konstatovano, lesni sedimenti (prašinski pesak, fina prašina) su skoro na čitavoj površini terena centralnih gradskog područja. Les se odlikuje slabom vodopropustljivošću i velikom apsorpcionom moći. Koeficijenti filtracije se kreću u granicama od 1.1×10^{-6} m/s do 9.1×10^{-7} m/s (Musladin, Mićović, 1971). Podzemne vode formirane u okviru lesnih naslaga prihranjuju dublje delove izdanu u okviru sedimenata sarmatske starosti.

Faktori koji utiču na prihranjivanje su:

- velike površine terena pod asfaltom
- razvijena podzemna mreža kišnih kolektora i kanala (usmereno odvođenje atmosferskih voda)
- izražena transpiracija
- izražen površinski oticaj, naročito u centralnim delovima grada, zatim Topčider, Dedinje, Senjak

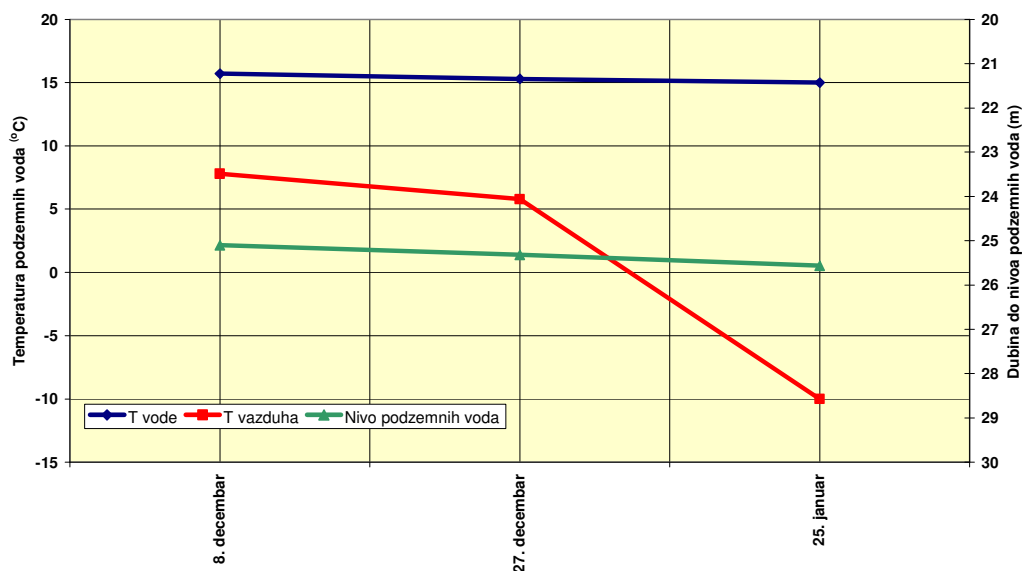
Površinski vodotoci koji su nekada tekli na užoj teritoriji grada imali su veliki udeo u prihranjivanju karstnog tipa izdani. Danas svi potoci su kanalisani, uređeni, te vrlo mali procenat tih voda dospe u podzemlje. To su Mokroluški potok, Duboki potok, Bulbuderski potok, Mirijevski potok, Topčideraska reka.

Trebalo bi imati u vidu trasu vodovoda kroz centralne delove grada (Makiš-Tašmajdan), te gubitke u mreži koji se direktno infiltriraju u podzemlje.

Na delu Tašmajdana, tačnije na lokaciji tašmajdanske pećine za potrebe sagledavanja uslova pojave voda u objektu izvedena su hidrogeološka i speleološka istraživanja (Stevanović Z., Milanović, 2004). Izvedena istraživanja, između ostalog su obuhvatala i ocenu količine prokapane vode i režim isticanja u pećini. Procenjeni prosečni priliv u pećinu u periodu najintenzivnije infiltracije tokom januara iznosio je oko 10-15 m³/dan, dok su tokom prolećnih meseci zabeleženi prilivi oko 2-3 m³/dan.

Generalno, prema Z. Stevanoviću (2004) „veličina efektivne infiltracije može se proceniti na oko 30-50% od ukupnih padavina, zavisno od karakteristika stenskih masa mikro lokaliteta, nagiba terena, vegetacionog faktora i dr.“

U periodu od novembra 2005. godine do februara 2006. godine osmatran je nivo i temperatura podzemnih voda na odabranim bunarima i pijezometrima na užoj teritoriji grada. Na slici 120 prikazani su rezultati osmatranja nivoa i temperature podzemnih voda na bunaru B-1/2000 ("Marakana").



Slika 120. Dijagram promene temperature podzemnih voda i dubine do nivoa podzemnih voda u bunaru na stadionu Marakana

Temperatura podzemnih voda koje su formirane u krečnjacima tortonsko-sarmatske starosti ne menja u toku vremena. Razlog tome je dubina do nivoa podzemnih voda koja iznosi preko 15 m, sporija vodozmena i odsustvo temperaturne zavisnosti u odnosu na aktuelno godišnje doba.

Hidrodinamički parametri na pojedinim lokacijama gde je nabušen karstni tip izdani dati su u tabeli 46. Iz ove tabele se vidi da se karstna izdan odlikuje dobrim filtracionim svojstvima. Koeficijent filtracije je reda veličine 10^{-4} m/s.

Tabela 46. Vrednosti hidrodinamičkih parametara karstnog tipa izdani na centralnom gradskom području

| Bunar | K_f (m/s) | T m^2/s |
|-----------------|-----------------------|---|
| Marakana | 6.59×10^{-2} | 8.8×10^{-3} |
| Ušće | - | $19.1 \times 10^{-3} - 22.7 \times 10^{-3}$ |
| Botanička bašta | 2.35×10^{-4} | 5.40×10^{-4} |
| BIP- Skadarlija | 6.76×10^{-4} | 5.58×10^{-4} |
| Fabrika „Duga“ | 3.5×10^{-4} | - |

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Dominantan vid dreniranja karstnog tipa izdani je preko eksploatacionih bunara. Jedan deo izdani drenira se i preko izvora čija izdašnost dostiže oko 10 l/s ili podzemno u rečne nanose Save (Milojević i dr., 1971). U tabeli 47 prikazane su izdašnosti analiziranih bunara na centralnom gradskom području u okviru karstnog tipa izdani.

Tabela 47. Izdašnosti bunara na centralno gradskom području

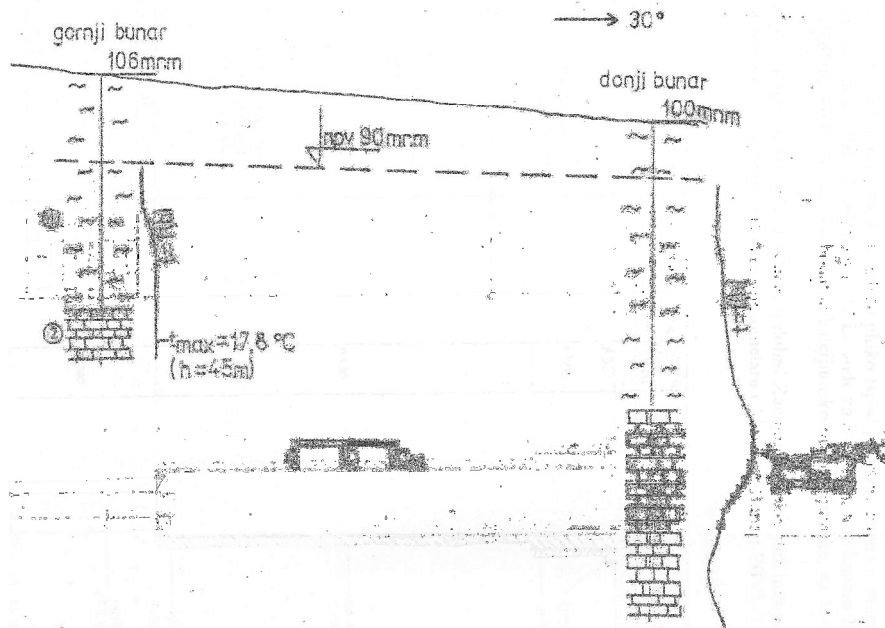
| Bunar/pijezometar | Izdašnost (l/s) | Depresija (m) |
|--|--------------------|------------------|
| IB-2 Toplana Dorćol | 10.0 | 4.0 |
| IEBD-1 "Duga" Beograd | 3.50 | - |
| B-2 "Idea" Beograd | 5.0 | - |
| BS-1 Skadarlija | 9.0 | 12.0 |
| BS-2 Skadarlija | 4.50 | - |
| BS-3 Skadarlija | 15.0 | 17.0 |
| BBB-1 Botanička bašta | 10.0 | - |
| IEBBD-1 Dobračina 8 | 4.0 | 6.0 |
| IB-1 Takovska 48 | 7.0 | - |
| B-1 Pionirski park | 7.5 | - |
| CGL-1 Lamartinova | 1.0 | 1.0 |
| IBS-1/11 Žanke Stokić | 2.0 | - |
| B-1/2000 FK Crvena Zvezda | 10 | 2.5 |
| IEBŠ-1/12 Šekspirova | 5.0 | - |
| IBV-1/08 | 3.0 | - |
| B-1 Jevrema Grujića | 5.0 | - |
| SREDNJA VREDNOST IZDAŠNOSTI BUNARA ≈6.0 l/s | | |

11.4.1.4. Karstno-pukotinski tip izdani u okviru krečnjaka urgonske starosti

Rasprostranjenje izdani

Na užoj teritoriji grada Beograda podinu tercijarnim sedimentima uglavnom predstavljaju sedimenti krede i to u faciji urgonskih krečnjaka. Na površini terena krečnjaci urgona su otkriveni u krugu Univerzitetskih klinika, kod Mostara, na desnoj strani Mokrolušskog potoka (Milojević i dr., 1975). Bušenjem krečnjaci urgonske starosti konstatovani su na Ušću (bušotina B-5 u Tadeuša Košćuška), u Čumićevoj ulici, ispod Terazija na Tašmajdanu, na Bulevaru kralja Aleksandra (B-18), u Krunskoj, u krugu BIP-a na mostarskoj petlji, Topčiderskom Brdu, Banovom Brdu.

Na lokaciji bušotine B-5 preko urgona leži krečnjak tortonske starosti, isti odnos konstatovan je i na bušotini B-1 na Tašmajdanu, dok je u krugu BIP-a preko krečnjaka urgonske starosti nataložen krečnjak sarmatske starosti. Pojedini autori povišene temperature podzemnih voda kaptirane bunarima u krugu Skadarlije (BS-2, $T_{\text{vode}}=34^{\circ}\text{C}$) objašnjavaju prilivom voda iz kredne izdani (slika 121).

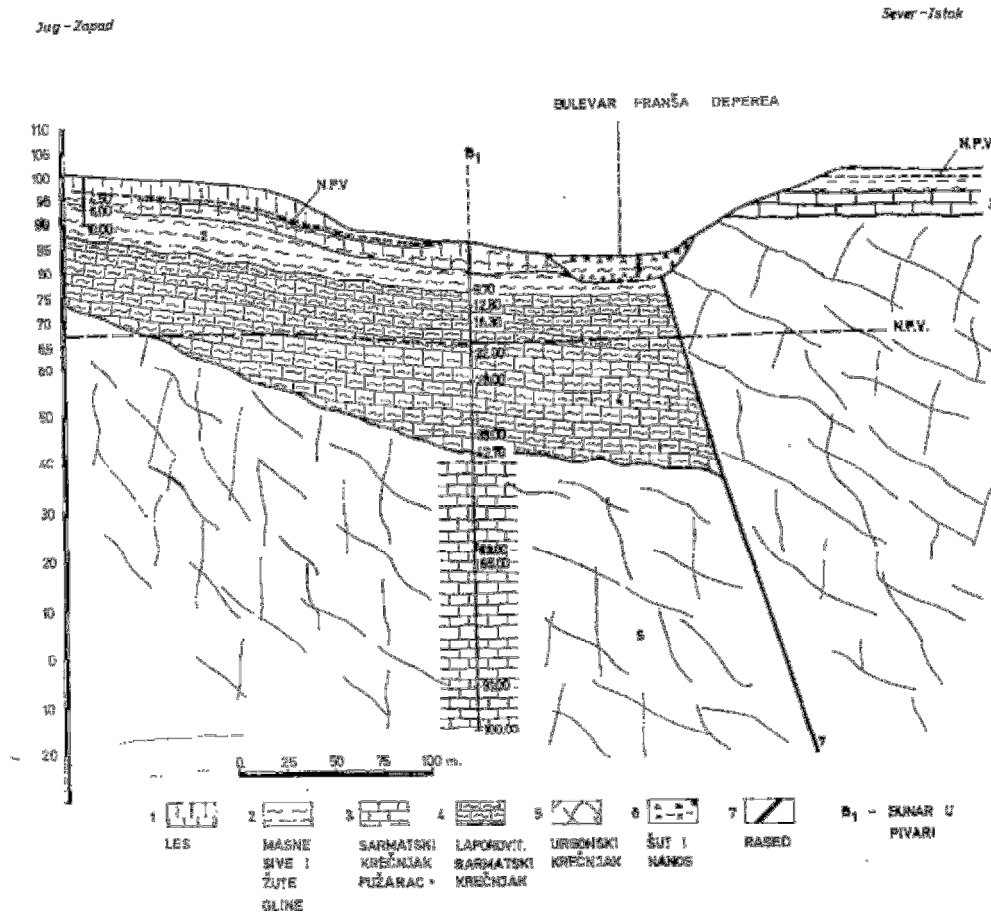


Legenda: 1–gline, 2–krečnjaci

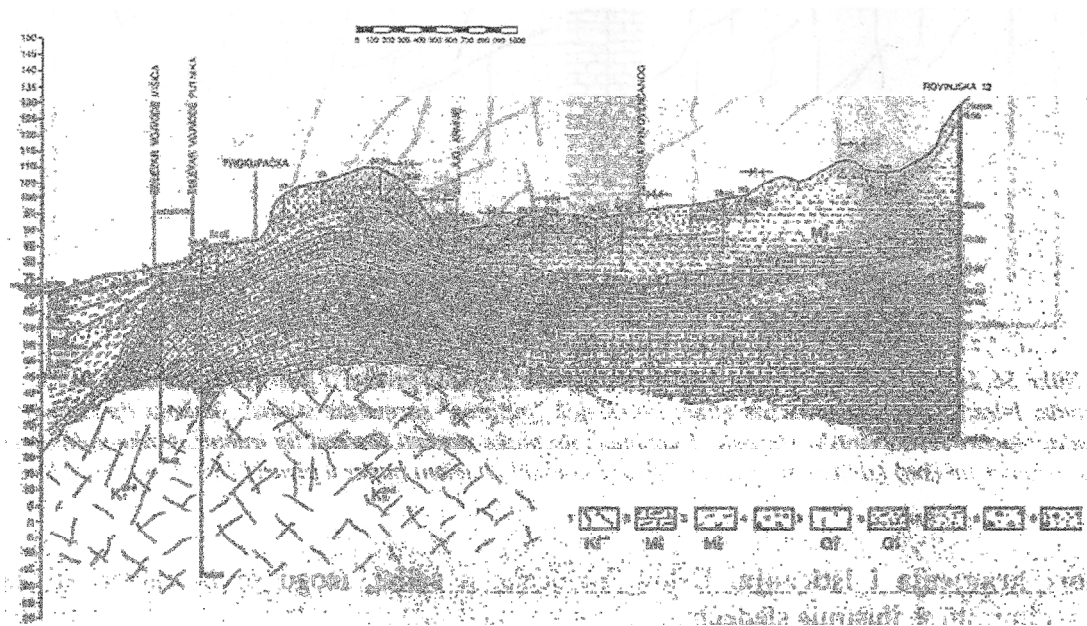
Slika 121. Hidrogeološki profil terena u Skadarliji (iz Dokmanović, 1997)

Krečnjaci urgonske starosti, na bušotini B-1 "Tašmajdan" konstatovani su na 28 m. Bušotina je završena na 40 m, te končna debljina krečnjaka nije poznata. Povlata krečnjaka urgonske starosti predstavljena je krečnjacima tortonske starosti i kvartarnim sedimentima. Debljina kvartarane serije iznosi oko 15 m (Knežević, Šumar, 1993)

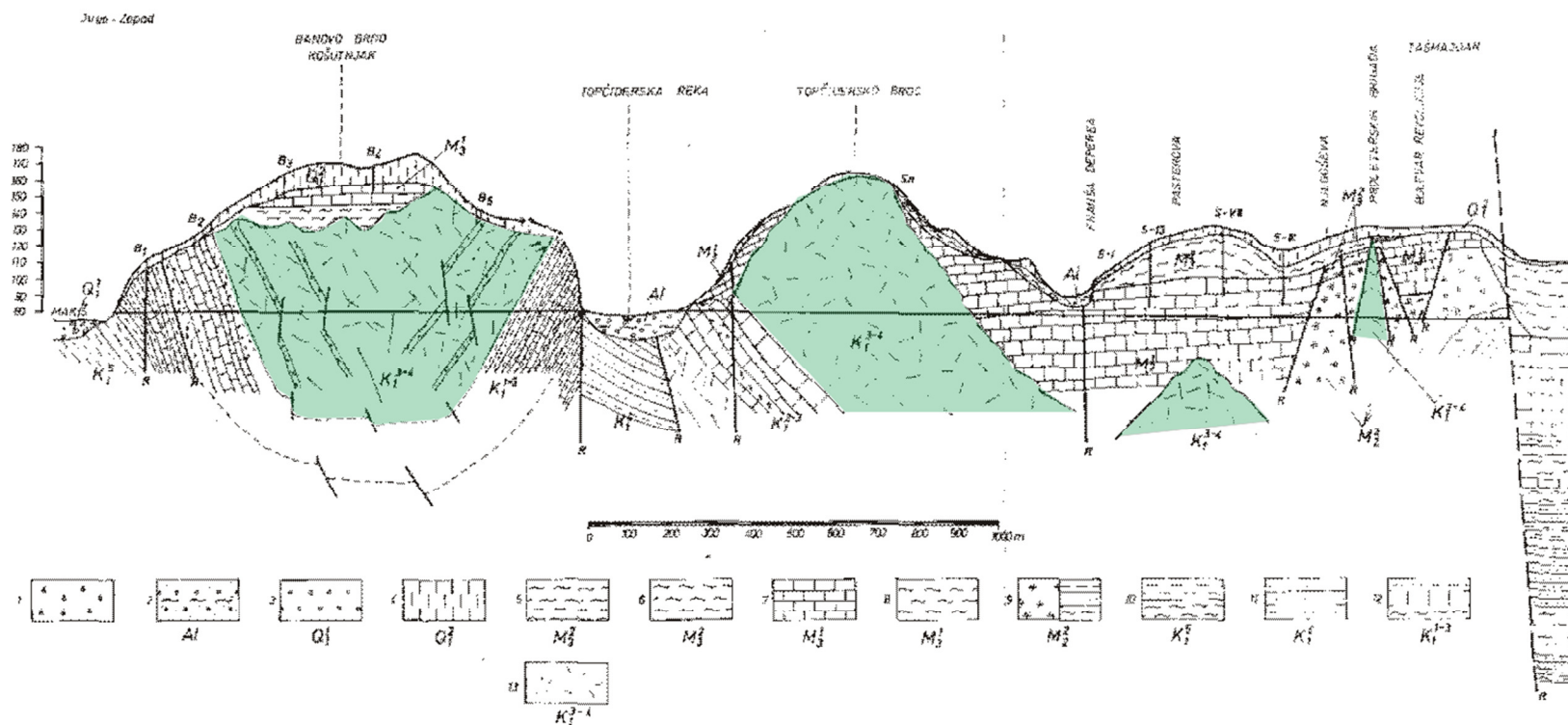
Na užoj teritoriji grada rasprostranjenje krečnjaka urgona sagledano je na osnovu profila terena od gradske bolnice preko Mostara (slika 122), duž Mokroluškog potoka, od Save do Konjarnika (slika 123) i od Makiša do Dunava, preko Banovog Brda, Topčiderskog brda i Tašmajdana (slika 124).



Slika 122. Geološko-hidrogeološki profil od gradske bolnice preko Mostara (Milojević i dr., 1975)



Slika 123. Geološko-hidrogeološki profil duž Mokroluškog potoka od Save do Konjarnika (Milojević i dr., 1975)



Legenda: 1) drobina; 2) aluvijalni nanosi topčiderske reke i mokrolušskog potoka; 3) peskovi i šljunkovi Save i Dunava (slojevi sa *Corbicula fluminalis*); 4) les; 5) panonske gline i lapori; 6) panonske gline; 7) sarmatski krečnjaci; 8) sarmatske gline; 9) lajtovački krečnjaci i lapori, peščari i gline; 10) albski laporci i glinci; 11) urgonski peščari; 12) serija krečnjaka, laporaca i peščara donje krede; 13) urgonski krečnjaci

Slika 124. Geološko/hidrogeološki profil od Makiša do Dunava preko Banovog Brda, Topčiderskog brda i Tašmajdana (Milojević i dr. 1975)

Krečnjaci donje krede, u urgonskoj faciji konstatovani su na levoj i desnoj strani Topčiderske reke i u zoni njenih pritoka (potok Jelezovac, Kaljavi potok i Banjički potok). Urgonski krečnjaci konstatovani su i na delu oboda Makiškog polja. Prema Milojeviću (1975) rasprostranjenje urgonskih krečnjaka na delu ovog rejona je ograničeno i javljaju se u vidu oaza u flišnim sedimentima.

Na potesu Čukarička padina, Rakovica, Straževica vršena su detaljna geološka istraživanja. Izradom istražne bušotine na delu terena Čukarička padina–Makiš, u intervalu od 3 m do 5 m i u intervalu od 25 m do 30 m konstatovani su krečnjaci kredne starosti (Rabrenović, Jovanović, 1992).

Na području Vidikovca izvedena je istražna bušotina do dubine od 97 m. Bušenjem su konstatovani krečnjaci u intervalu od 7 m do 26 m i od 41 m do 93 m. Sa povećanjem dubine povećava i glinovita komponenta u krečnjacima. U intervalu od 7.60 m do 26.00 m nabušeni su čisti krečnjaci, dok se od 56.00 m javljaju laporoviti krečnjaci. Starost krečnjaka nije određena, obzirom da nisu vršene stratigrafske analize nabušenog materijala. Povlata i podina krečnjaka predstavljena je glinovitim sedimentima (Bogdanović, 2008):

Područje Straževice izgrađen je od jurskih i krednih sedimenata. Jurski sedimenti su malog rasprostranjenja. Podinu krečnjačko-laporovitim sedimentima donje krede čine titonski krečnjaci, koji su konstatovani na istočnoj, zapadnoj i severozapadnoj strani Straževice (Obradović, 1958).

Debljina krečnjaka urgonske starosti nije poznata, obzirom da bušotine i bunari nisu ušli u podinu urgonskih sedimenata. Prosečna debljina karstno-pukotinskog tipa izdani na centralnom gradskom području prikazana je u tabeli 48.

Tabela 48. Debljina karstno-pukotinskog tipa izdani na centralnom gradskom području

| Bunar | Lokacija | Litologija | Debljina (m) | |
|--------|--------------------|------------|---|---------------------------------------|
| PdUS-6 | Desna obala Save | krečnjak | na 20 m konstatovan lajtovački krečnjak sa odlomcima pretaloženog krečnjaka urgonske starosti | bušotina završena na 32 m |
| B-5 | Tadeuša Košćuška | krečnjak | na 38 m konstatovan krečnjak urgonske starosti | bušotina završena na 40 m |
| BS-3 | Skadarlija | krečnjak | na 202 m konstatovani sedimenti gornje krede, ali u faciji kvarcnih pešćara | bušotina završena na 321 m |
| B-200 | Čumićeva ulica | krečnjak | na 144.40 m konstatovan silifikovani kredni krečnjak | bušotina završena na 145.70m |
| B-1 | Tašmajdan | krečnjak | na 28 m konstatovan krečnjak urgonske starosti | bušotina završena na 40 m |
| B-18 | Bulevar revolucije | krečnjak | na 66 m konstatovan krečnjak urgonske starosti | profil bušotine je analiziran do 66 m |
| B-1 | BIP Mostar | krečnjak | na 47.7 m konstatovan krečnjak urgonske starosti | bušotina završena na 100 m |

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Uslovi prihranjivanja krečnjaka urgonske starosti slični su uslovima prihranjivanja karstne izdani formirane u tortonskim i sarmatskim krečnjacima. Na delovima terena gde mlađi miocenski krečnjaci naležu na starije urgonske prihranjivanje se odvija procurivanjem voda na kontaktu ova dva tipa izdani. Prema Milojeviću (1975) „Na nekim mestima stari karstni morfološki oblici i pukotine su ispunjeni glinom crvene boje, dok su mestimično ovi krečnjaci karstifikovani do te mere da se u njima voda spušta lako do nivoa erozionog bazisa“.

Za krečnjake urgonske starosti karakteristični su duboki nivoi izdanskih voda. Prema Milojeviću (1975) dubina do nivoa podzemnih voda u karstno-pukotinskom tipu izdani dostiže vrednosti i do 40-60 m. Dubine do nivoa podzemnih voda na bunarima u okviru fabrike "BIP" kreću se od 14 m do 23 m (iz Dokmanović, 1997).

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Dreniranje karstno-pukotinskog tipa u okviru krečnjaka urgonske starosti odvija se preko bunara i preko manjeg broja izvora.

U zbirnoj tabeli 49 prikazane su izdašnosti bunara i izvora karstno-pukotinskog tipa izdani na centralnom gradskom području.

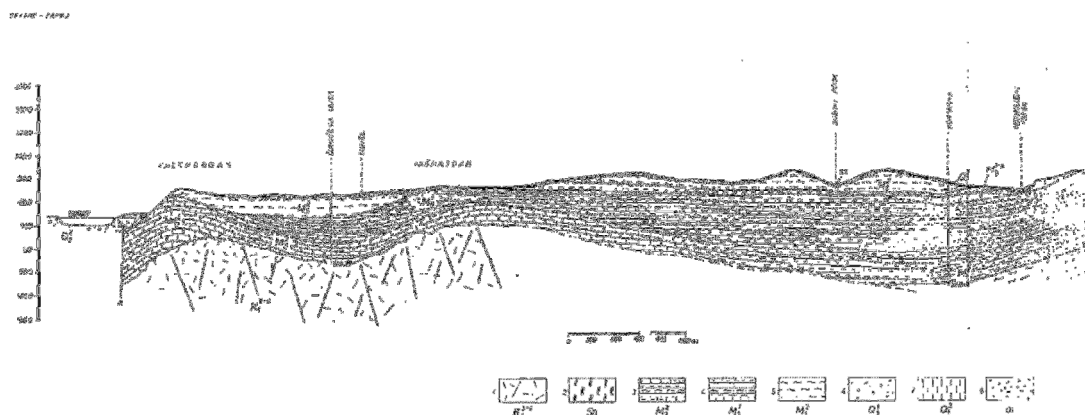
Tabela 49. Izdašnosti bunara i izvora karstno-pukotinskog tipa izdani na centralnom gradskom području (iz Dokmanović, 1997)

| Bunar/oznaka | Izdašnost (l/s) | Depresija (m) |
|---|-----------------|---------------|
| B-1 BIP Mostar | 14.0 | 12.0 |
| B-2 BIP Mostar | 12.0 | 20.0 |
| B-3 BIP Mostar | 4.0 | 27.0 |
| B-4 BIP Mostar | 9.0 | 24.0 |
| SREDNJA VREDNOST IZDAŠNOSTI BUNARA ≈10.0 l/s | | |
| Izvori | | |
| Izvor u Košutnjaku | 0.02 l/s | |
| Izvor u Lisičijem potoku | 1.30 l/s | |
| Hajdučka česma-Košutnjak | 0.50 l/s | |
| U Topčideru iznad crkve | 0.30 l/s | |
| SREDNJA VREDNOST IZDAŠNOSTI IZVORA ≈0.5 l/s | | |

11.4.1.5. Uslovno "bezvodni" delovi terena u okviru glina panonske starosti

Panonski sedimenti mogu se pratiti skoro na čitavoj površini beogradskog pobra i šire. Predstavljeni su glinama i laporima u čijoj povlati su lesni sedimenti. Podinu panonskih sedimenta čine sarmatski sedimenti, ali ima i primera kada panonski sedimenti direktno naležu na lajtovačke krečnjake. Takav odnos litoloških članova miocena konstatovan je na Savskoj padini (Ulica Gavрила Principa i Jug Bogdanova) (Musladin, Mićović, 1971).

Na slici 125. dat je profil terena na kome su prikazani odnosi mlađih, panonskih članova miocena i starijih sarmatskih.



Slika 125. Geološko-hidrogeološki profil na potezu od Dunava do Bolečke reke preko Kalemegdana (Milojeić i dr., 1975)

Na Slaviji (vodovodni tunel), panonski sedimenti nabušeni su na 16 m dubine (Musladin, Mićović, 1971).

Debljina panonskih sedimenata je promenljiva i na pojedinim delovima grada iznosi (Anđelković, 1987, prema Stevanović P., 1977):

- Na trasi saobraćajnog tunela od Brankove ulice konstatovani su žutomrki do sivi laporci debljine od 30 m do 40 m
- Debljina krečnjačkih laporaca kod Mostarske petlje je oko 5 m
- Facija krečnjaka i laporaca razvijena preko sarmata konstatovana je u bušotini u pivari “7 juli”. Debljina panona je oko 25-35 m
- Kod crkve Sv. Save na Vračaru od 12 m do 44 m konstatovani su panonski laporci

Generalno, debljina panonskih sedimenata se kreće od 10 m do 40 m, dok na Novom groblju debljine prelaze 40 m (Musladin, Mićović, 1971). Panonski sedimenti su praktično vodonepropusne stene. Vrednosti koeficijenta filtracije kreću se od oko 2.4×10^{-6} m/s do 8×10^{-7} m/s (Musladin, Mićović, 1971).

11.4.2. Slanci–Veliko Selo

Područje Slanci–Veliko Selo obuhvata teritoriju od Rospi Ćuprije do dunavskog ključa, uključujući i aluvijalne naslage Dunava. Na teritoriji podrejona IV izdvojeni su:

- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- Uslovno “bezdvodni” delovi terena

11.4.2.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

Zbijeni tip izdani formiran je u okviru aluvijalnih naslaga desne obale Dunava, na delu terena poznatim pod nazivom “dunavski ključ”. Površina rasprostranjanja peskovito-šljunkovitih naslaga je oko 11 km², a debljine pomenutih sedimenata ne prelaze 15 m. Iako na prostoru ključa peskovito-šljunkoviti sedimenti zauzimaju značajnu površinu, zbog velike zaglinjenosti ovi kolektori podzemnih voda nisu izdašni poput sedimenata na levoj obali Dunava ili u priobalju Save (Milojević, i dr.,1975).

Filtracione karakteristike peskovitih i šljunkovitih sedimenata u dunavskom ključu su reda veličine 10⁻⁴ m/s (Milojević i dr.,1975).

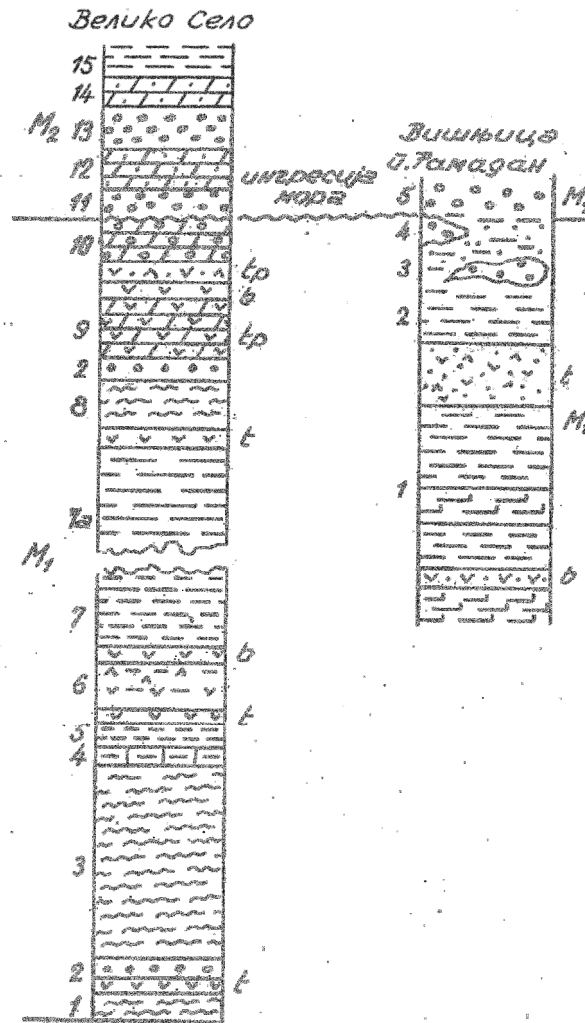
11.4.2.2. Uslovno “bezdvodni” delovi terena u okviru sedimenata tercijarne starosti

Na delu terena između Višnjice, Slanaca i Velikog Sela formirani su slojevi, u geološkoj literaturi poznati kao „Slanačka serija“. Dolić (1997) smatra da je „Slanačka serija“ deo „Jezerskih sedimenata Dunavskog ključa“, u čijoj građi zapaža tri formacije (Made J Van Der., et al., 2007):

- formacija V. Sela–peščari, konglomerati, tufovi i tufiti, debljine između 150 m i 200 m
- Slanačka formacija–laporci sa tufovima i tufitima, debljine između 50 i 70 m
- Bučvarska formacija–konglomerati, breče, uslojeni škriljci i laporci, debljine oko 100 m.

U ranijoj geološkoj literaturi ovaj deo Beograda označen je kao teren koji izgrađuju najstariji sedimenti neogena. Prema P. Stevanoviću (1957, 1975, 1977), zatim prema Stangačiloviću (1954) starost ovih naslaga je procenjena na donjomiocensku epohu (burdigal-helvet), dok Luković (1922) i Krstić (1978, 1992) svrstavaju slojeve u tortonsku starost (Made J Van Der., et al., 2007).

Na slici 126 prikazani su geološki stubovi kroz “slanačku” seriju V. Sela i Višnjice.



Legenda: 1–10–Slanačka serija, 11–15–marinski srednji torton

1–zelenkasti trošni tufit (7.5 m), 2–sitan šljunak (0.95 m), 3–trošni sivi glinci sa proslojcima listastih bituminoznih škriljaca (17 m), 4–beli laporac (0.5 m)

Slika 126. Litološki stubovi kroz “slanačku seriju” Velikog Sela i Višnjice, Dunavski ključ (Andelković, 1987, prema P. Stevanoviću, 1975)

Sa prikazanih geoloških profila uočava se da na ovom delu terena dominira glinovita komponenta. Prema usmenim konsultacijama sa S. Kneževićem, debljina sedimenata koji prema hidrogeološkoj funkciji predstavljaju izolatore ide i preko 500 m na ovom delu terena.

11.4.3. Hidrohemijske karakteristike rejonu IV

Hemijske karakteristike podzemnih voda uže teritorije grada razmatrane su prema tipu izdani u kome su formirane, počevši od zbijenog tipa izdani u najmlađim aluvijalnim naslagama, do karstno-pukotinskog tipa u krečnjacima urgonske starosti. Na delu rejonu VI konstatovane su i termomineralne pojave, čiji je hemizam posebno analiziran. To su pojave termalnih voda u Skadarliji, pojava termomineralnih voda u Kumodražskom potoku ("Soko Štark") i pojava mineralnih voda u Višnjičkoj Banji.

Sa hidrogeološkog aspekta, najznačajni tip izdani na užoj teritoriji grada je karstni tip izdani u okviru krečnjaka tortonske i sarmatske starost. Kao što je ranije napomenuto, na pojedinim delovima terena (BIP Mostar), krečnjaci sarmatske ili tortonske starosti direktno naležu na krečnjake urgona, te čine jedinstvenu karstnu izdan.

Hidrohemijske odlike podzemnih voda zbijenog tipa izdani

Hidrohemijske odlike podzemnih voda zbijenog tipa izdani na centralnom gradskom području analizirane su na uzorku podzemnih voda iz bunara IEBD-1/07 (Toplana "Dorćol"). Podzemne vode aluvijalnih sedimenata desne obale Dunava karakterišu se povišenom mineralizacijom (mineralizacija podzemnih voda zbijenog tipa izdani u aluvijalnim sedimntima je <0.5 g/l). Posledica povišene mineralizacije je kontakt zbijenog tipa izdani sa panonskim glinama, laporima i lesom (Milojević, 1975).

Tabela 50. Analiza hemijskog sastava podzemnih voda na delu priobalja desne obale Dunava na centralnom gradskom području

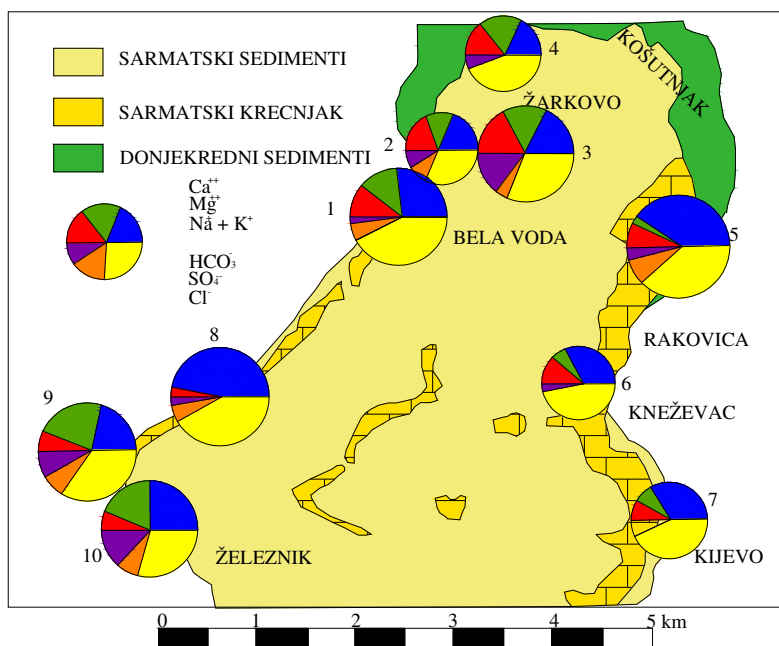
| Ispitivani parametar | Bunar IEBD-1/07 |
|--|-----------------|
| Boja | Slabo žuta |
| Mutnoća | Slabo mutna |
| pH | 7.21 |
| Suvi ostatak-105°C | / |
| Elektroprovodljivost (µS/cm) | 1570 |
| Utrošak KMnO₄ (mg/l) | 3.75 |
| Stalna tvrdoća (°dH) | 7.8 |
| Mineralizacija (mg/l) | 990.0 |
| MAKROKOMPONENTE (mg/l) | |
| KATJONI | |
| Kalcijum (Ca) | 178.0 |
| Natrijum +Kalijum (Na+K) | 58.35 |
| Magnezijum (Mg) | 97.3 |

... nastavak tabele

| ANJONI | |
|------------------------------------|-------|
| Karbonati (CO ₃) | 420.0 |
| Hidrokarbonati (HCO ₃) | 854.0 |
| Floridi (Cl) | 70.9 |
| Sulfati (SO ₄) | 165.0 |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | |
| METALI | |
| Gvožđe (Fe) | 2.3 |
| Mangan (Mn) | 0.03 |

Hidrohemijske odlike podzemnih voda karstnog tipa izdani

Hemijske karakteristike podzemnih voda karstnog tipa izdani na centralnom gradskom području prikazane su za deo terena (područje između Makiša i Topčiderske reke) na hidrohemijskoj karti (slika 127) i za deo terena (između Vračara i Dorćola) u tabeli 51.



Legenda: 1–izvor Bele Vode, 2–Zmajevac Žarkovo, 3–Mali izvor Žarkovo, 4–Repište Žarkovi, 5–Rakovica, 6–Kneževac, 7–Kijevo, 8–Železnik bunar, 9– Železnik bunar, 10– Železnik bunar

Slika 127. Modifikovana hidrohemijska karta rasprostranjenja sarmata između Topčiderske reke i Makiša (prema Filipović B., Dimitrijević N., 1974)

Tabela 51. Analiza hemijskog sastava podzemnih voda karstnog tipa izdani na području
Vračara i Dorćola

| Ispitivani parametar | CGL-1 Lamartinova ulica (Vračar) | IEED-1 Dobračina ulica (Dorćol) |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Tempertaura (°C) | 16.9 | 20.0 |
| pH | 7.42 | 7.32 |
| Suvi ostatak-105°C | 552 | 462 |
| Utrošak KMnO ₄ (mg/l) | 0.3 | / |
| Ukupna tvrdoća (°dH) | 23.4 | / |
| Mineralizacija (mg/l) | | / |
| MAKROKOMPONENTE (mg/l) | | |
| KATJONI | | |
| Kalcijum (Ca) | 101.0 | 36.7 |
| Natrijum (Na) | 13.20 | 43.1 |
| Magnezijum (Mg) | 40.1 | 43.0 |
| Kalijum (K) | 1.0 | / |
| ANJONI | | |
| Hidrokarbonati (HCO ₃) | 420.1 | 390.4 |
| Hloridi (Cl) | 37.2 | / |
| Sulfati (SO ₄) | 8.6 | / |
| Nitrati (NO ₃) | 9.0 | / |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | | |
| METALI | | |
| Gvožđe (Fe) | 0.02 | / |

Hidrohemijske odlike podzemnih voda karstnog-pukotinskog tipa izdani

Hidrohemijske karakteristike podzemnih voda u okviru karstno-pukotinskog tipa izdani sagledane su na osnovu analiza podzemnih voda izvora u Košutnjaku, Hajdučka česma i Lisičiji potok (tabela 52).

Tabela 52. Analiza hemijskog sastava podzemnih voda izvora u Košutnjaku, Hajdučka
česma i Lisičiji potok (Dimitrijević N., 1966)

| Ispitivani parametar | Izvori |
|--------------------------------|-------------|
| Tempertaura (°C) | 10.0-11.5 |
| Ukupna tvrdoća (°dH) | 12.04-14.56 |
| Mineralizacija (g/l) | 0.49-0.60 |
| Slobodan CO ₂ (g/l) | 0.04-0.10 |

Hemijske odlike mineralnih, termalnih i termomineralnih voda na teritoriji reiona IV

Na užem području grada analiziran je hemizam podzemnih voda "Skadarlije", "Soko Štarka". Višnjičke Banje. U tabeli 53 prikazana je uporedna analiza hemijskog sastava podzemnih voda iz tri istražno-eksploataciona bunara u "Skadarliji". U tabeli 54 prikazana je analiza hemijskog sastava podzemnih voda u "Soko Štarku" i Višnjičkoj banji.

Tabela 53. Uporedna analiza hemijskog sastava podzemnih voda u "Skadarliji"
(iz Despinić, 2001)

| Ispitivani parametar | BS-1 | BS-2 | BS-3 |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Boja | bez | bez | bez |
| Mutnoća | prozračna | prozračna | prozračna |
| pH | 7.40 | 7.50 | 7.45 |
| Elektroprovodljivost (μS/cm) | 1223.00 | 1003.00 | 1048.00 |
| Utrošak KMnO₄ (mg/l) | | | |
| Stalna tvrdoća (°dH) | 9.24 | 8.55 | 5.63 |
| Mineralizacija (mg/l) | 902.01 | 753.10 | 777.65 |
| MAKROKOMPONENTE (mg/l) | | | |
| KATJONI | | | |
| Kalcijum (Ca) | 140.28 | 108.22 | 110.22 |
| Magnezijum (Mg) | 85.12 | 72.96 | 66.88 |
| Natrijum (Na)+Kalijum (K) | 74.85 | 66.42 | 89.67 |
| ANJONI | | | |
| Karbonati (CO₃) | 321.00 | 250.38 | 269.64 |
| Hidrokarbonati (HCO₃) | 652.70 | 509.11 | 548.27 |
| Hloridi (Cl) | 95.72 | 85.08 | 120.53 |
| Sulfati (SO₄) | 185.00 | 170.00 | 120.00 |
| Nitrati (NO₃) | 0.00 | 0.00 | 0.66 |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | | | |
| METALI | | | |
| Gvožđe (Fe) | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

Tabela 54. Analiza hemijskog sastava podzemnih voda
u "Soko Štarku" i Višnjičkoj Banji

| Ispitivani parametar | "Soko Štark" | Višnjička Banja |
|------------------------------------|--------------|-----------------|
| Tempertaura (°C) | 25 | 14-15 |
| pH | 7.65 | 7.5 |
| Suvi ostatak-105°C | 502.61 | / |
| Ukupna tvrdoća (°dH) | 5.88 | 9.52 |
| Mineralizacija (mg/l) | / | 1.21 |
| RASTVORENI GASOVI (mg/l) | | |
| Ugljen-dioksid (CO ₂) | 15.40 | / |
| MAKROKOMPONENTE (mg/l) | | |
| KATJONI | | |
| Kalcijum (Ca) | 24.04 | 50.0 |
| Natrijum (Na) | / | 225.4 |
| Magnezijum (Mg) | 10.94 | 49.0 |
| Kalijum (K) | | 1.9 |
| ANJONI | | |
| Karbonati (CO ₃) | 233.99 | / |
| Hidrokarbonati (HCO ₃) | 475.80 | 500.0 |
| Hloridi (Cl) | 19.85 | 206.0 |
| Sulfati (SO ₄) | 44.23 | 106.0 |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | | |
| METALI | | |
| Gvožđe (Fe) | 0.07 | / |
| Mangan (Mn) | - | / |

11.5. HIDROGEOLOŠKI REJON V–SAVSKO-KOLUBARSKA ALUVIJALNA RAVAN

Hidrogeološki rejon V obuhvata delove terena beogradskog izvorišta na levoj obali Save u zoni Boljevaca i Progara i delove terena južno od toka Save, a zapadno od toka Kolubare i Tamnave. Zapadna granica rejona je administrativnog tipa i predstavlja najzapadniju tačku istražnog terena. Teren pripada ravničarskom tipu, obzirom da se kote kreću oko 80 m.n.v, izuzev južnog dela rejona, počevši od linije Dren–Orašac–Grabovac, gde kote terena dostižu nadmorsku visinu od oko 120 m.n.v. Površina rejona iznosi oko 220 km². Hidrogeološki rejon V podeljen je na:

- Boljevačko-progarski podrejon–Va
- Obrenovački podrejon–Vb

Boljevačko-progarski podrejon zapravo predstavlja teritoriju beogradskog izvorišta, Sektor 3-Boljevci i Sektor 4-Progar. Podrejon Va obuhvata i manje područje na desnoj obali Save, "Mali Makiš". Na teritoriji podrejona Va izdvojen je:

- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartrane starosti

Obrenovački podrejon obuhvata teren oivičen tokom reke Save na severu, zatim tokom Kolubare i Tamnave na istoku, dok je južna i zapadna granica istovremeno administrativna granica teritorije grada Beograda. Na teritoriji obrenovačkog podrejona rasedna linija Dren–Grabovac razdvaja dve različite geomorfološke celine na severni deo i južni deo terena, koji se razlikuju i prema geološkom sastavu. Južni deo terena predstavlja višu rečnu terasu čije se nadmorske visine kreću u opsegu od 100 m do 125 m (Milojević N., i dr., 1975). Sedimenti više rečne terase su stariji u odnosu na sedimente severnog dela rejona V, i pripadaju pliocensko-kvartarnim sedimentima. Najveći deo podrejona pripada opštini Obrenovac, čije administrativne granice prelaze korito reke Kolubare na istoku i dopiru do padina Parcanskog visa, a obuhvataju lokalnost Mislođin u kome je stratotipski profil pliocenskih sedimenata. Na teritoriji podrejona Vb izdvojeni su sledeći tipovi izdani:

1) u planu

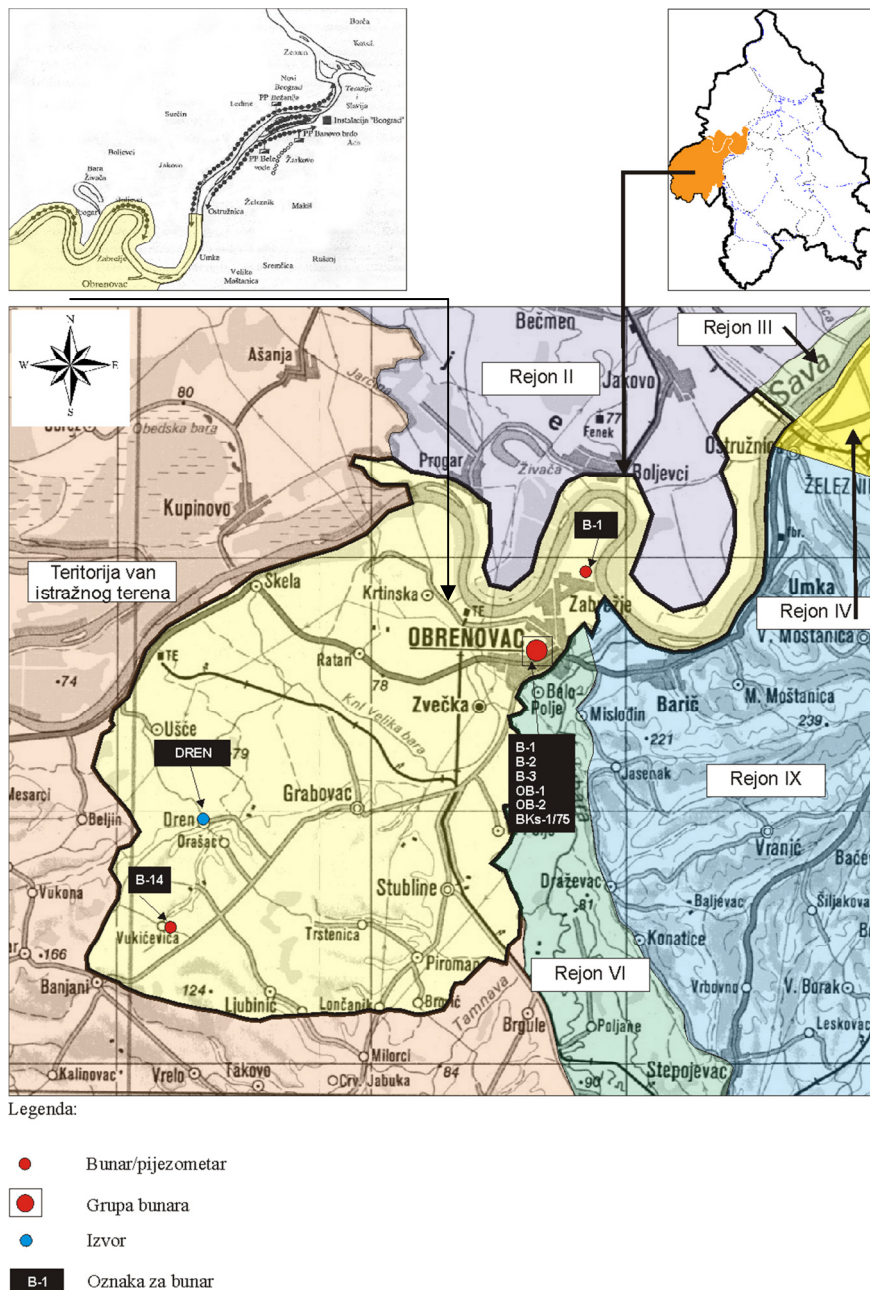
- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

2) u profilu

- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata micenske starosti
- Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Na osnovu hidrodinamičkih karakteristika izdani, u okviru sedimenata miocenske starosti formirana je izdan pod pritiskom. Izradom bušotina na teritoriji Obrenovca konstatovana je izdan sa pozitivnim pijezometarskim nivoom.

Mreža bunara i pijezometara prikazana je na položajnoj karti (slika 128), koju prati tabela analiziranih objekata na području Savsko-kolubarske aluvijalne ravni (tabela 55).



Slika 128. Položajna karta analiziranih bunara i pijezometara u okviru hidrogeološkog rejona V

Tabela 55. Analizirani bunari i pijezometri na teritoriji rejona V

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|-------------------------------|----------------------------------|---------------|--------------------------------|--|---|
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartrane starosti | | | | | | |
| 1. | Zabrežje | B-1 | 20.00 | 15.80-18.40 | šljunak | Milojević i dr., 1975 |
| Izvor | | | | | | |
| 2. | Dren | Drenovačka voda | | Q = 5 l/s | | Milojević i dr., 1975 |
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 3. | Hotel "Obrenovac" | OB-1 | 605.00 | 275.00-335.00 420.00-425.00 | pesak, ređe laporci i krečnjaci | Filipović B., Stevanović Z., 1987 |
| 4. | Hotel "Obrenovac" | OB-2 | 450.00 | 290.00-326.00 412.00-430.00 | pesak | Martinović, 2006 |
| Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 5. | Obrenovačka banja | B-1 | 176.00 | 176 | | iz Petrović S., 1995 |
| 6. | Obrenovačka banja | B-2 | 185.00 | - | peskoviti krečnjak | Filipović B., Stevanović Z., 1987 |
| 7. | Obrenovačka banja | B-3 | 183.70 | 162.00-183.7 | peskoviti krečnjak | Filipović B., Stevanović Z., 1987 |
| 8. | Kasarna "Bora Marković" | BKs-1/75 | 257.00 | 167.00-245.00 | krečnjak | Filipović B., Stevanović Z., 1987 |
| 9. | Vukićevica | V-373 | 373.00 | 329.70-348.45 363.00-373.00 | krečnjak | Milojević i dr., 1975 |

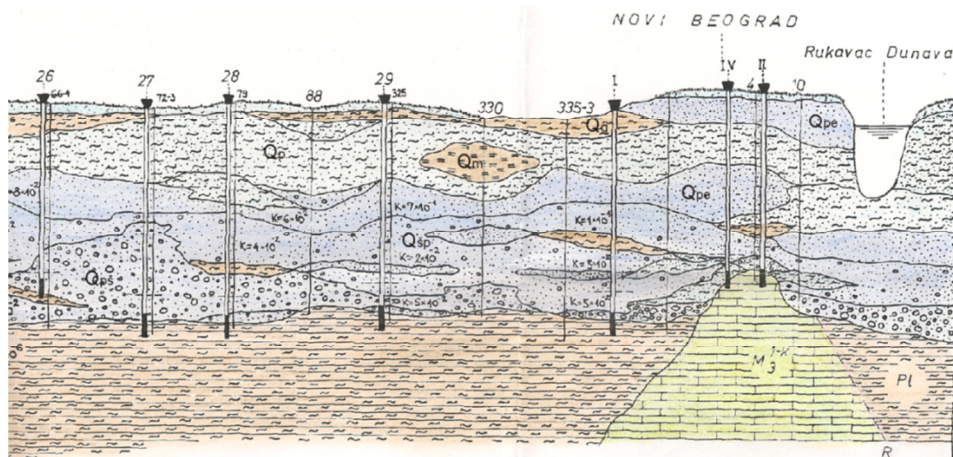
11.5.1. Boljevačko-progarski podrejon

11.5.1.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

Rasprostranjenje izdani

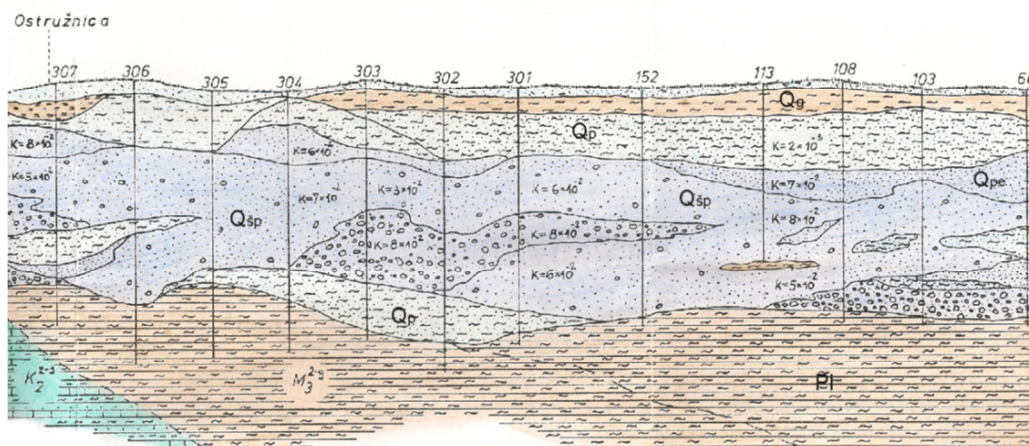
Rasprostranjenje zbijenog tipa izdani u planu može se pratiti od ušća Save u Dunav na severu, preko Novog Beograda, Surčina, Jakova, Boljevaca, Progara na jugozapadu krećući se levom obalom Save. Uslovi sedimentacije duž korita Save nisu ujednačeni, obzirom da je završna serija kvartara negde predstavljena glinovitim sedimentima, negde glinovito-alevritskim, a vrlo često na površinu isklinjavaju vodonosni peskovito-šljunkoviti sedimenti. Uslove sedimentacije uglavnom je diktirao tok reke Save, formirajući meandre, bare i mrtvaje.

Zbijeni tip izdani na području Boljevačko-progarskog podrejona može se pratiti u kontinuitetu. Na osnovu rezultata istražnog bušenja zapaženo je da se moćnost kvartarnih sedimenata povećava idući od južnog oboda savske izdani prema severu. Na slikama 129 i 130. prikazani su detalji uzdužnog hidrogeološkog profila terena leve obale Save od Boljevaca do Ušća (iz Teodorović, 2002). Sa profila je uočljiva promena debljine peskovito-šljunkovitih sedimenata, zatim smena u granulometrijskoj građi kvartarnih sedimenata. Debljina vodonosnih slojeva generalno se kreće oko 10 m.



Legenda: Q_{pe}–pesak, Q_p–peskovita glina, Q_m–mulj, Q_{sp}–šljunkoviti pesak, Q_{ps}–peskoviti šljunak, Pl–miocenske laporovite i peskovite gline, M₃¹–krečnjaci, laporci i pesak

Slika 129. Detalj uzdužnog hidrogeološkog profila terena leve obale Save od Boljevaca do Ušća u zoni Novog Beograda (iz Teodorović, 2002)



Legenda: Q_{pe} –pesak, Q_p –peskovita glina, Q_m –mulj, Q_{sp} –šljunkoviti pesak, Q_{ps} –peskoviti šljunak, Pl –miocenske laporovite i peskovite gline, M_3^2 –peščari i laporci, K_2^{2+3} –krečnjaci, peščari i glinci

Slika 130. Detalj uzdužnog hidrogeološkog profila terena leve obale Save od Boljevaca do Ušća u zoni Ostružnice (iz Teodorović, 2002)

Na delu terena između Jakova i Boljevaca na sektoru Zidine izvedena su detaljna hidrogeološka istraživanja aluvijalnih naslaga Save (iz Zuber, 2004). Istražnim bušenjem definisana je:

- debljina aluvijona oko 8-25 m, prosečno oko 16 m
- debljina vodonosne sredine oko 6-16 m
- debljina polupropusne povlate oko 3-7 m, prosečno oko 4 m
- debljina peskovitog dela vodonosne sredine oko 1-10 m, prosečno oko 4 m
- debljina peskovito-šljunkovitog dela vodonosne sredine oko 1-15 m, prosečno oko 7 m

Podaci vezani za rasprostranjenje aluvijalnih sedimenata na delu leve obale Save, na sektoru Zidine potvrđuju vrednost vezanu za debljinu vodonosnih slojeva.

Uslovi prihranjivanja i filtarcione karakteristike izdani

Uslovi prihranjivanja zbijenog tipa izdani u okviru peskova i šljunkova kvartarne starosti su povoljni obzirom da je:

- izdan formirana o otvorenoj hidrogeološkoj strukturi
- povlata vodonosnih slojeva relativno povoljnih filtarcionih karakteristika
- ostvarena hidraulička veza izdan–reka
- sposobnost akumuliranja podzemnih voda u peskovito-šljunkovitim sedimentima značajna
- veći deo terena uglavnom nenaseljen

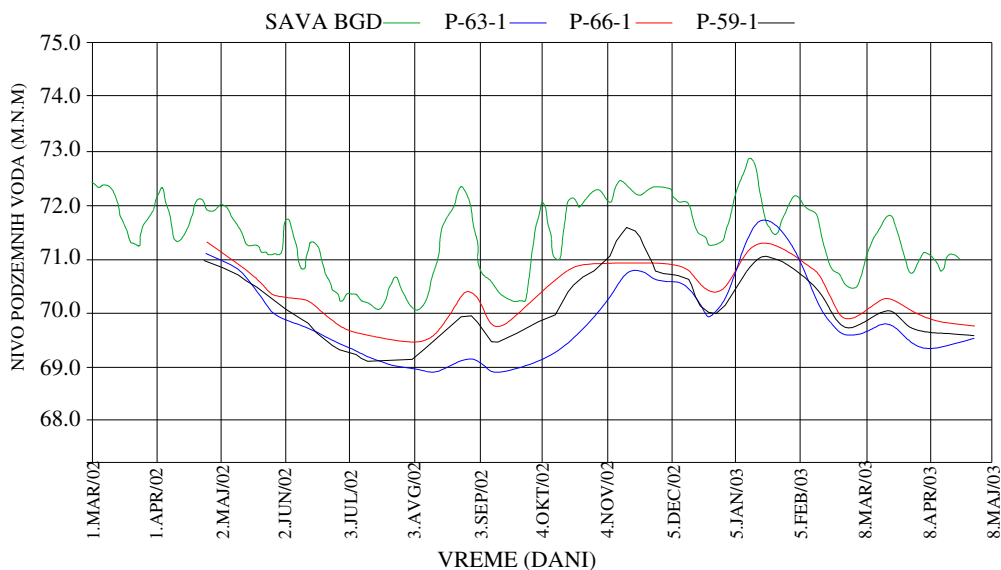
Prihranjivanje izdani odvija se:

- infiltracijom padavina
- ifiltracijom površinskih voda

Osnovni vid prihranjivanja peskovitih i šljunkovitih sedimenata je na račun padavina. Morfologija terena je veoma povoljana, teren je realtivno ujednačenih nadmorskih visina, te površinski oticaj nije izražen i odvija se aktivna infiltracija padavina.

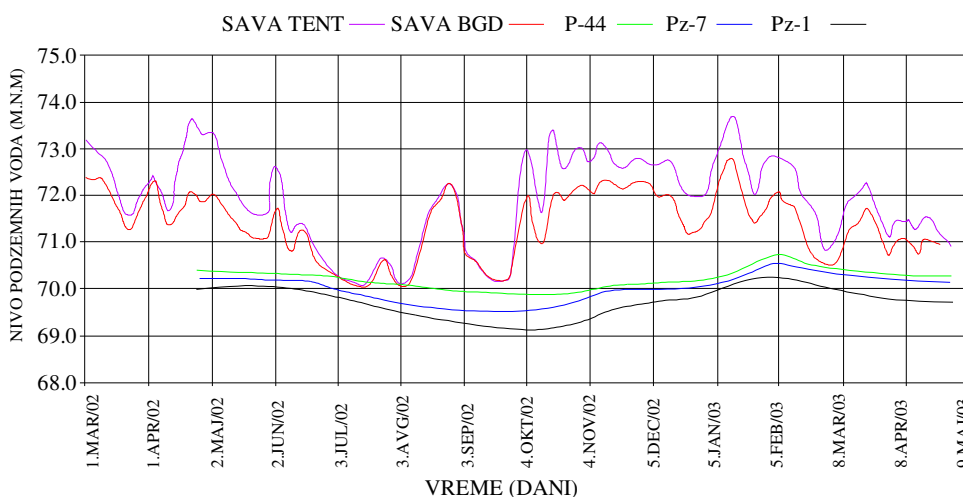
Drugi vid prihranjivanja se odvija na račun hidrauličke veze izdan–reka. Mreža regulacionih kanala takođe ima veliku ulogu u prihranjivanju ovog tipa izdani. Od većih kanala trebalo bi pomenuti kanal Galovica, Petrac, Zidinski kanal, Dubovski kanal, Okruglički kanal, Labudički kanal. Nivo vode u kanalima je regulisan radom crpnih stanica. Osmatranjem režima podzemnih voda utvrđeno je da pijezometri na udaljenju od oko 100 m od Save nisu toliko pod uticajem reke, već da nivoi podzemnih voda prate nivo vode u kanalima (osmatranja su vršena na sektoru Zidine).

Na slici 131. prikazane su oscilacije nivoa podzemnih voda u pijezometrima lociranim na oko 50-80 m od nasipa. Oscilacije nivoa podzemnih voda prate oscilacije nivoa vode u Savi (iz Zuber, 2004).



Slika 131. Promena nivoa reke Save i nivoa podzemnih voda, pod uticajem reke Save u periodu 2002.-2003. godina, (modifikovano iz Zuber, 2004)

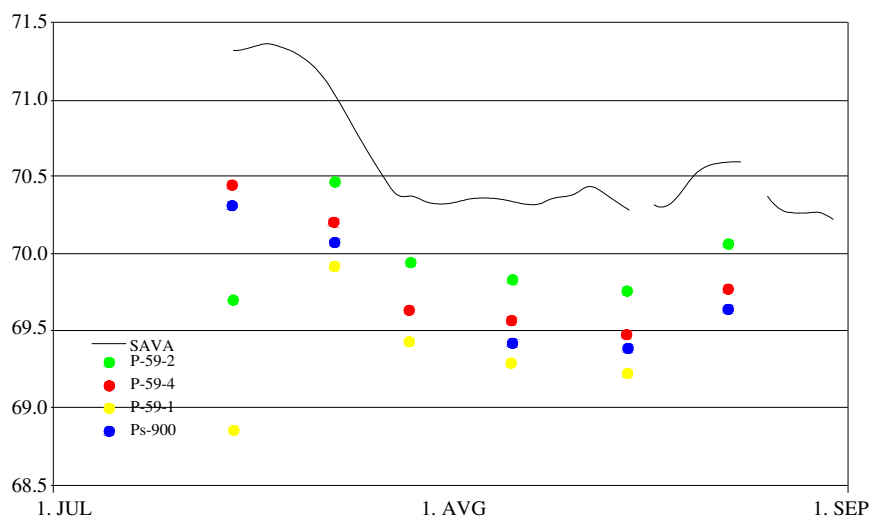
Na slici 132. osmatrački objekti se nalaze unutar područja (na udaljenjenosti većoj od 100 m od nasipa), te su nivoi pod uticajem nivoa u kanalima. Veoma je blagi odziv u odnosu na nivo vode u reci.



Slika 132. Promena nivoa reke Save i nivoa podzemnih voda van uticaja reke Save u periodu 2002.-2003. godina, (modifikovano iz Zuber, 2004)

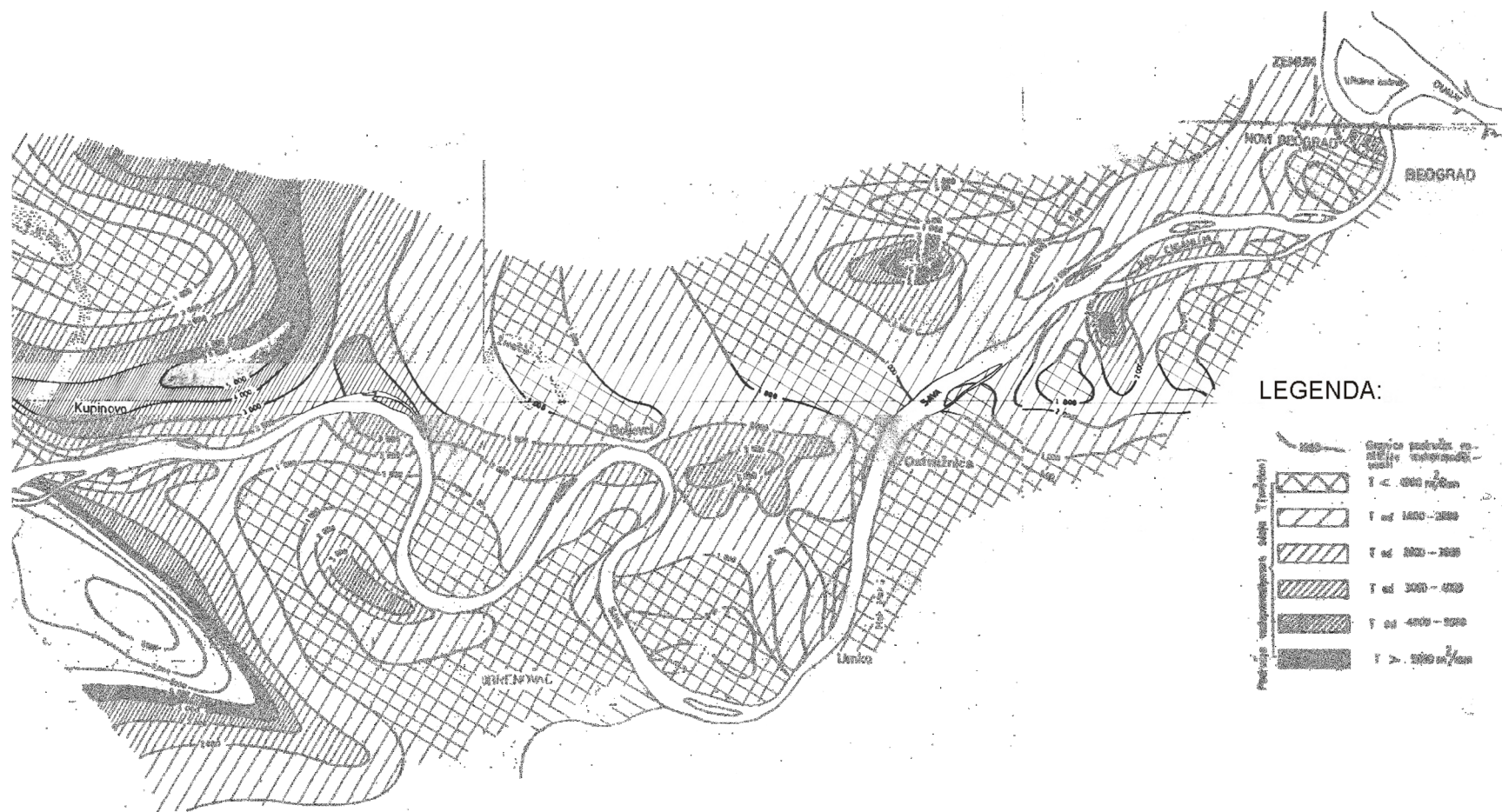
Prikazani podaci odnose se na levu obalu donjeg toka reke Save (sektor Zidine), između Boljevac i Jakova. Posmatrajući teren severnije, na području Boljevci–Ostružnica (slika 133), na osnovu simultanih praćenja oscilacija nivoa vode u reci i nivoa podzemnih voda registrovan je priobalni tip režima.

U zoni Novog Beograda takođe je uočena veza između izdani i reke i na udaljenosti od oko 500 m. Oscilacije nivoa podzemnih voda su blage pod uticajem rečnog režima (slika 133).

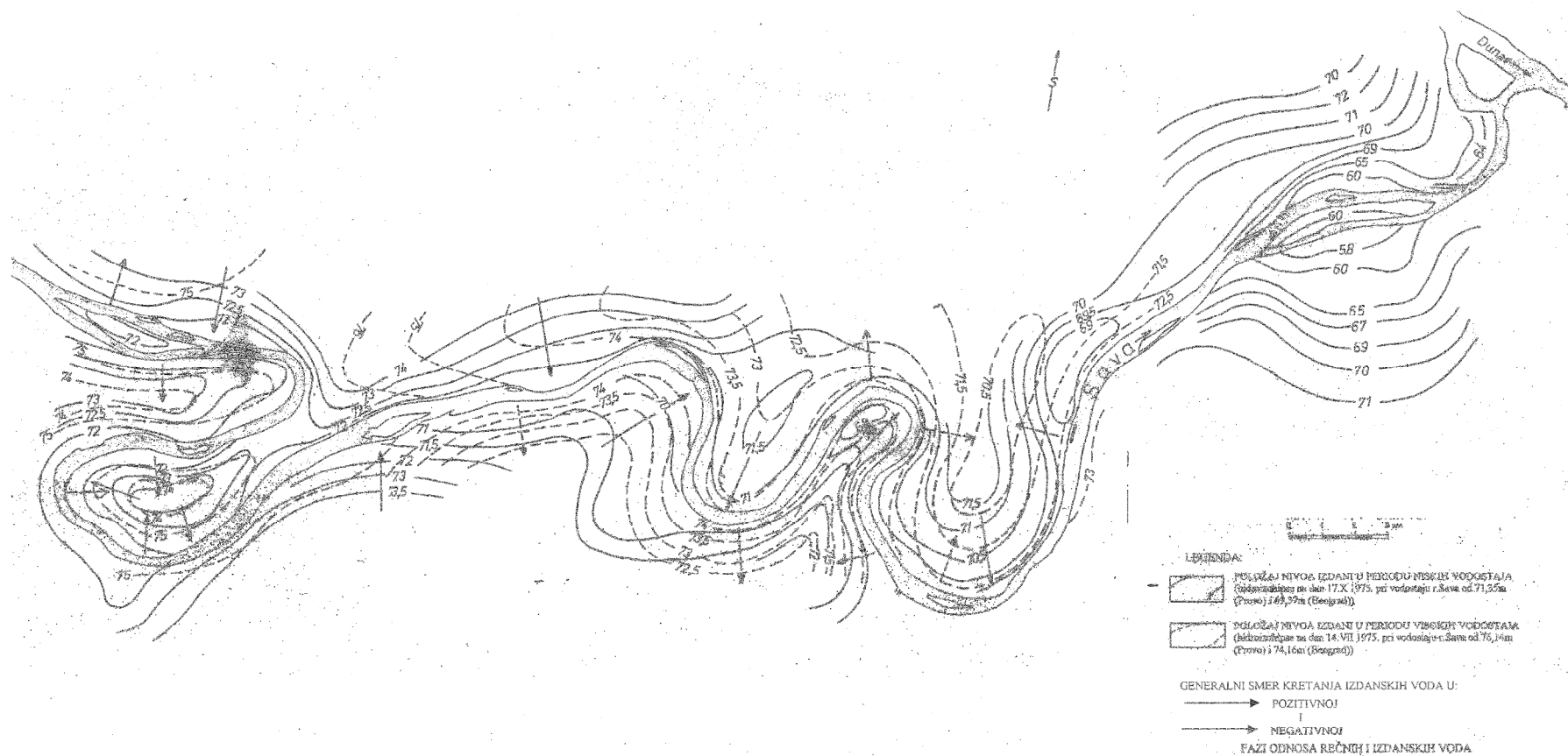


Slika 133. Uporedni dijagram Save i podzemnih voda u osmatračkim piježometrima na području Boljevci–Ostružnica, period 15.07.-31.08.1996. godina, (modifikovano iz Teodorović M., 2002)

Kvartarni sedimenti leve obale save sličnih su filtracionih sposobnosti poput sedimenata na desnoj obali, a čije su karakteristike prikazane u okviru rejona III. Na slici 134. prikazana je karta vodoprovodljivosti osnovnog vodonosnog sloja (peskova i šljunkova) na celom području toka reke Save, dok je na slici 135 prikazana karta hidroizohipsi.



Slika 134. Karta vodoprovodljivosti osnovnog vodonosnog sloja priobalnog područja reke Save (iz Teodorović, 2002)



Slika 135. Karta hidroizohipsi sa prikazom smerova kretanja izdanskih voda u periodima niskih i visokih vodostaja (iz Teodorović, 2002)

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Dominantan vid dreniranja zbijenog tipa izdani u okviru peskova i šljunkova kvartarne starosti odvija se preko eksploatacionih bunara i regulacionih kanala. Na ovom području terena izražena je i evapotranspiracija. Prema Živkoviću, na delu Boljevaca količine podzemnih voda koje se eksploatišu iznose oko 0.4 m³/s, a na delu Progara oko 0.8 m³/s.

11.5.2. Obrenovački podrejon

Hidrogeološke karakteristike ovog dela terena sagledane su na osnovu bunara bušenih u Obrenovcu i njegovoj okolini.

Ukupno je izbušeno šest bunara u periodu od 1898. godine (bunar B-1) do 2004. godine (bunar OB-2). Rasprostranjenje peskova i krečnjaka tortonske i sarmatske starosti u planu i profilu nije jasno definisano zbog nedostatka podataka, obzirom na mali broj dubokih bušotina izvedenih na ovom području. Na južnom delu terena postoji samo jedna duboka bušotina na lokalitetu sela Vukićevica (373 m). Rasprostranjenje sedimenata miocenske starosti, odnosno njihovih facija teško je utvrditi korelacijom, obzirom da rastojanje vazdušnom linijom između pomenutih lokacija iznosi oko 17 km.

Hidrogeološke karakteristike terena na području aluvijalne ravni Save sagledane su na osnovu rezultata izvedenih za potrebe vodosnabdevanja u delu izvorišta "Vić bare" i šire.

11.5.2.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

Rasprostranjenje izdani

Rasprostranjanje zbijenog tipa izdani može se pratiti na čitavoj površini podrejona V. Na severu rejona zbijeni tip izdani formiran je u okviru sedimenata niže rečne terase, a na jugu u okviru više rečne terase.

Dubine zaleganja vodonosnih slojeva na delu teritorije Ušća i Rataru, na osnovu litoloških profila kopanih bunara kreću se oko 2 m do 3 m. Debljine peskovito-šljunkovitih sedimenata se kreću oko 5 m do 6 m.

Na delu više rečne terase dubine zaleganja peskova i šljunkova su veće, i kreću se u opsegu od 18 m do 25 m (Milojević i dr., 1975). U podini vodonosnih slojeva uglavnom se javljaju glinoviti sedimenti.

Na području izvorišta "Vić bare" dubina aluvijalnih naslaga se kreće oko 20 m. U okviru aluvijalnih naslaga, debljina vodonosnih slojeva iznosi oko 15 m (Hajdin i dr., 2012). Povlata vodonosnih sedimenata izgrađena je od glina, peskovitih glina i glinovitih peskova. Podina vodonosnog sloja predstavljena je takođe glinama.

Na litološkom profilu bunara B-1 u zoni "Vić bare" aluvijalnih sedimenata peskovi su konstatovani u intervalu od 4 m do 12 m i od 12.50 do 18 m (Milojević i dr., 1975)

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Uslovi prihranjivanja izdani su različiti u zavisnosti od meteoroloških prilika tokom godine, a koje najviše imaju uticaja na glineni pokrivač (debljina 2m-8m). Javljaju se dva scenarija, prema prvom glineni povlata se ponaša kao vodonepropusna stena usled obilnih padavina kada se gline zasite vodom, a u drugoj varijanti tokom sušnog perioda glineni pokrivač usled nedostratka vlage ispuca, formiraju se prsline i pukotine kroz koje se odvija infiltracija padavina. U delu aluvijalnih sedimenata Save poroznost glinenog pokrivača je u granicama od 44% do 46% (Milojević i dr., 1975).

Posmatrano u profilu, vrednosti koeficijenata filtracije vodonosnog sloja i povlate izdani se znatno razlikuju. U vodonosnom sloju vrednosti K_f se kreću od 10^{-2} m/s do 10^{-3} m/s. Vrednosti koeficijenta filtracije u glinovitim sedimentima povlate iznose od 10^{-5} m/s do 10^{-7} m/s.

Uslovi obnavljanja resursa su povoljni, obzirom na blizinu reke Save, otvorenost hidrogeološke strukture i litologiju terena.

Južnije od aluvijalnih naslaga Save, krećući se ka višoj rečnoj terasi, debljina peskovito-šljunkovitih i peskovitih sedimenata opada, opadaju i vrednosti koeficijenata filtracije, a povećavaju se dubine do nivoa podzemnih voda. U delu terena Dren, Orašac i Grabovac dubina do nivoa podzemnih voda se kreće oko 18 m do 25 m. Merene dubine do nivoa podzemnih voda u severnom delu podrejona V iznose oko 1 m (Milojević i dr., 1975).

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Izdan se drenira dvojako, u nižoj rečnoj terasi preko kopanih i bušenih bunara, a u višoj terasi preko izvora i bunara.

U zoni izvorišta "Vić bare" zahvatanje podzemnih voda odvija se preko 30 bušenih i dva kopana bunara sa korizontalnim drenovima. U proteklom periodu sa ovog izvorišta prosečno je eksploatisano oko 345 l/s. Na osnovu rezultata hidrodinamičkih ispitivanja, eksploatacijom podzemnih voda u količinama iznad 370 l/s došlo bi do značajnog opadanja nivoa podzemnih voda pri postojećim uslovima prihranjivanja (Hajdin i dr., 2012).

Izvori izdašnosti od 0.5 l/s do 5 l/s javljaju se na terasnom odseku duž razloma Dren–Grabovac. Najizdašniji izvor se nalazi u lokalnosti Dren i nosi naziv "Drenovačka voda". Izdašnost pomenutog izvora u minimumu iznosi 5 l/s (Milojević i dr., 1975).

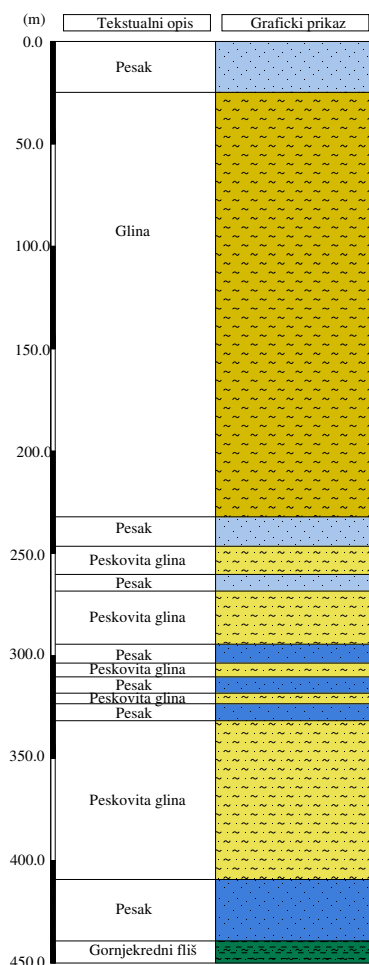
11.5.2.2. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Rasprostranjenje izdani

Izradom bunara OB-1 konstatovani su peskovi sarmatske starosti u intervalu od 172 m do 220 m i peskovi tortonske starosti u intervalu od 220 m do 452 m. Bunarom su kaptirani peskoviti intervali tortona od 275 m do 335 i od 420 m do 425 m. Povlata peskovitih sedimenata sarmata predstavljena je glinama i laporovitim glinama. Bušotina je završena u peščarima, glincima i laporcima kredne starosti. Sedimenti tortonske starosti konstatovani su i kod Boždarevca i Bačevca, čime je dokazano rasprostranjenje zbijenog tipa izdani i sa desne strane Kolubare ka Šumadijskoj mezozojskoj gredi (Filipović B., Stevanović Z., 1987).

Izradom bušotine OB-2 u neposrednoj blizini bušotine OB-1, takođe su konstatovani peskoviti sedimenti tortonske starosti. Bunarom su kaptirani peskoviti intervali od 290 m do 326 m i od 412.5 m do 430.5 m (Martinović, 2006).

Na slici 136 prikazan je karakteristični litološki profil terena na levoj obali Kolubare, kod hotela "Obrenovac".



Slika 136. Litološki profil terena na području leve obale Kolubare, kod hotela "Obrenovac"(modifikovan litološki stub bunara OB-2, Martinović, 2006)

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Izdan formirana u peskovima miocenske starosti nalazi se u poluzatvorenoj hidrogeološkoj strukturi, čije su zone prihranjivanja delimično poznate. Zone prihranjivanja su udaljene od mesta eksploatacije termomineralnih voda, obzirom da se izdan prostire na desnoj obali Kolubare ka Šumadijskoj mezozojskoj gredi, na području Boždarevca i Bačevca. U okviru zbijenog tipa izdani vrši se preticanje iz dubljih u više vodonosne horizonte (iz tortonskih u sarmatske naslage), pod uticajem hidrostatičkog pritiska. Glinoviti slojevi između peskovitih su relativno male debljine, te je preticanje moguće, usled čega dolazi do mešanja podzemnih voda.

Vrednost koeficijenta transmisibilnosti u okviru tortonskih peskova iznosi $T = 2.5 \times 10^{-4}$ m²/s. Vredost je dobijena pri izvođenju testa crpenja sa izdašnošću od 5 l/s i depresiji od 75 m (Filipović B., Stevanović Z., 1987).

Nivo podzemnih voda u bunaru OB-2 pri izdašnosti od 6 l/s iznosi 52 m, na bunaru OB-1 20 m.

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Izradom bunara OB-1 dobijen je samoizliv od 2.6 l/s. Izdašnost bunara OB-2 iznosi 6 l/s pri depresiji od 54 m.

11.5.2.3. Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Rasprostranjenje izdani

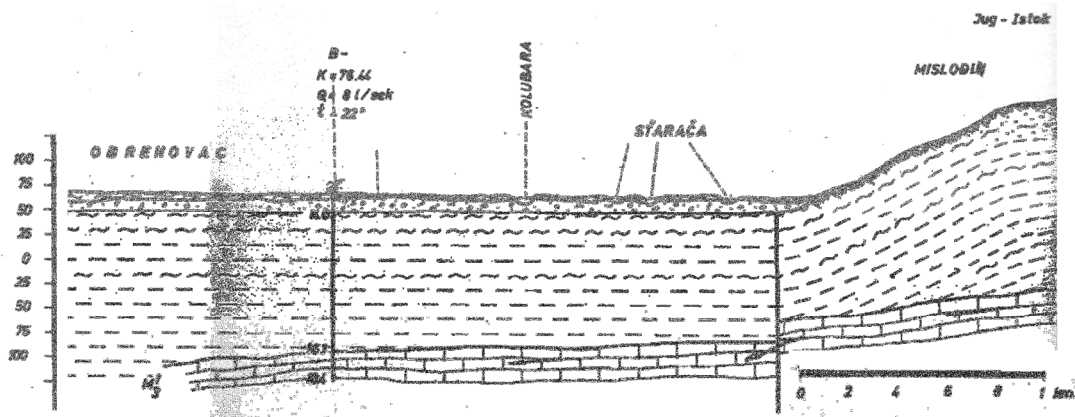
Krečnjaci tortonske i sarmatske starosti konstatovani su izradom bušotina u Obrenovačkoj banji i njenoj okolini. Na bunaru B-3 krečnjaci sarmatske starosti konstatovani su u intervalu od 161 m do 184 m (bunar je završen u sarmatskim krečnjacima). Na slici 137 prikazan je geološko-hidrogeološki profil terena od Mislođina do Save preko Obrenovca.

Na profilu se uočava da krečnjaci formirani na području Barajeva i Boždarevca tonu ka zapadu i da je na levoj i desnoj strani Kolubare formirana jedinstvena karstna izdan.

Na bunaru OB-1 laporoviti krečnjak sarmata konstatovan je u intervalu od 172 m do 220 m. U intervalu od 220 m do 452 smenjuju se proslojci krečnjaka, ređe lapora sa peskovima i glinama.

Na litološkom profilu bunara u blizini kasarne „Bora Marković“ kod Obrenovca krečnjaci sarmata konstatovani su u intervalu od 167 m do 245 m (Filipović B., Stevanović Z., 1987).

U južnom delu rejonu V izradom bušotine V-373 nabušeni su krečnjaci na različitim dubinskim intervalima. U intervalu od 288 m do 301 m konstatovani su peskoviti krečnjaci, u intervalu od 303 m do 322 m konstatovani su krečnjaci i peščari, u intervalu od 330 m do 348 m krečnjak tortonske starosti, a od 363 m do 373 m konstatovani su krečnjaci i konglomerati tortonske starosti. Bušotina je završena u lajtovačkim krečnjacima na 373 m dubine.



Legenda: M_3^1 –rečni nanos-prašinasti peskovi i sugline, Q_1^1 –Savski nanos-šljunkovi peskoviti, veoma propustljivi sa $K = \frac{-1.0 \times 10^{-1}}{86}$ u završnim horizontima ima i peskova, M_3^2 –panonski lapori i gline, M_3^1 –sarmatski krečnjaci, strelice pokazuju pravce kretanja podzemnih voda

Slika 137. Geološko-hidrogeološki profil od Misločina do Save, preko Obrenovca (modifikovano prema Milojević i dr.,1975)

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Prihranjivanje karstnog tipa izdani formiranog u okviru krečnjaka tortona i sarmata je otežano. Povlata krečnjaka predstavljena je debelim paketom glina. Moguće zone prihranjivanja su dosta udaljene od mesta eksploatacije podzemnih voda obrenovačke banje, a nalaze se istočno od banje, na delu terena Barajeve i okoline.

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Istražno-eksploatacionim bunarima u Obrenovačkoj banji i okolini kaptirane su podzemne vode formirane u okviru karstne izdani pod pritiskom. Izradom svih šest bunara dobijen je samoizliv termomineralnih voda, čije su količine opadale vremenom. U tabeli 56. prikazane su vrednosti samoizliva dobijenih po izradi bunara i kasnije.

Tabela 56. Izdašnosti bunara u okviru karstne izdani na području Obrenovačke banje
(iz Petrović, 1995)

| Rb. | Lokacija | Oznaka bunara | Početni samoizliv (l/s) | Samoizliv u toku vremena (l/s) |
|-----|-------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------------|
| 1. | Obrenovačka banja | B-1 | 7.24 | 0.27* |
| 2. | Obrenovačka banja | B-2 | 32.0 | 3.81** |
| 3. | Obrenovačka banja | B-3 | 8.7 | 8.7 |
| 4. | Kasarna "Bora Marković" | BKs-1 | 40.0 | 26.6*** |

* izdašnost je opala posle skoro 50 godina eksploatacije

** izdašnost je opala posle skoro 25 godina eksploatacije

*** izdašnost je opala nakon ugradnje preventerske glave

11.5.3. Hidrohemijske karakteristike rejonu V

Hidrogeološki rejon V karakterističan je po pojavama termomineralnih voda u delu Obrenovca i Obrenovačke banje. Pojave termomineralnih voda vezuju se za krečnjačke sedimente sarmata i tortonske peskovite sedimente.

Obične, malomineralizovane podzemne vode zbijenog tipa izdani vezuju se za aluvijalne sedimente leve i desne obale Save i za više rečne terase na lokaciji Drena, Orašca, Vukićevce, Ljubinića, Trstenice.

Hemijske odlike podzemnih voda zbijenog tipa izdani– leva obala Save

Na levoj obali Save, na delu terena beogradskog izvorišta, u zoni Boljevaca i Progara podzemne vode se karakterišu sledećim fizičko-hemijskim svojstvima (tabela 57).

Tabela 57. Fizičko-hemijske karakteristike podzemnih voda leve obale Save u zoni Ostružnica-Provo (iz Teodorović, 2002)

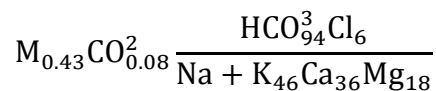
| LEVA OBALA SAVE | | |
|---------------------------------|---|------------------|
| T (°C) | 9-15 | |
| pH | 6.5-8.5 | |
| Tvrdoća voda °dH | 2.28-29.4 | |
| Klasifikacija po Alekinu | Klasa | HCO ₃ |
| | Grupa | Ca, Mg, Na+K |
| Formula Kurlova | $M_{0.17}CO_{0.02}^2 \frac{HCO_{87}^3 SO_8^4 Cl_5}{Ca_{47} Mg_{35} Na + K_{18}} \text{ Ostružnica (1975)}$ $M_{0.45}CO_{0.03}^2 \frac{HCO_{91}^3 SO_6^4}{Mg_{37} Na + K_{35} Ca_{28}} \text{ Boljevci (1975)}$ $M_{0.41}CO_{0.02}^2 \frac{HCO_{87}^3 Cl_7 SO_5^4}{Mg_{51} Na + K_{35} Ca_{13}} \text{ Provo(1975)}$ | |

- malomineralizovane vode, 300-500 mg/l
- povišene koncentracije gvožđa i do 6 mg/l

Hemijske odlike podzemnih voda zbijenog tipa izdani– desna obala Save

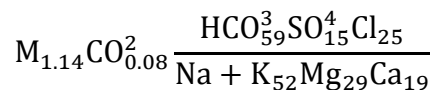
Podzemne vode formirane u okviru zbijenog tipa izdani kvartarnih sedimenata, odlikuju se raznovrsnim hemijskim sastavom. Na području Drena, Orašca, Vukićevice, Ljubinića, Trstenice mineralizacija se kreće od 0.5 g/l do 1 g/l, dok se vrednosti tvrdoće kreću od 12.88 °dH do 17.08 °dH. Temperature podzemnih voda kolebaju se u intervalu od 13.5°C do 14.5°C.

Formulom Kurlova prikazan je hemijski sastav podzemnih voda u okolini Trstenice je:

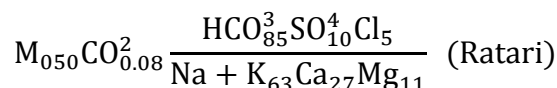


Krećući se od juga ka severu, iz više ka nižoj rečnoj terasi, na lokaciji Ušća, Ratar, Skele, zapaža se povećanje mineralizacije podzemnih voda. Tvrdoća podzemnih voda kreće se u intervalu od 9.8°dH do 28.56°dH, dok se temperature kreću oko 14°C.

Hemijski sastav podzemnih voda povišene mineralizacije u selu Grabovac predstavljen je formulom Kurlova (Milojević i dr, 1975):



dok su malomineralizovane vode severnog dela podrejona V predstavljene sledećim hemijskim sastavom:



Za podzemne vode aluvijalnih naslaga desne obale Save (izvorište "Vić bara") karakteristične su povišene koncentracije gvožđa i mangana.

Hemijske odlike podzemnih voda zbijenog tipa izdani u okviru peskova tortonske starosti

Hemijske odlike podzemnih voda u okviru peskovitih naslaga tortona prikazane su u tabeli 58.

Tabela 58. Hemijski sastav podzemnih voda zbijenog tipa izdani u okviru peskova tortonske starosti

| Ispitivani parametar | Bunar OB-1 | Bunar OB-2 |
|------------------------------------|------------|------------|
| Temperatura (°C) | 30.5 | 33-34 |
| pH | 7.88 | 7.7 |
| Suvi ostatak-105°C | 1720.38 | 1730.00 |
| Ukupna tvrdoća (°dH) | 4.48 | 2.9 |
| RASTVORENI GASOVI (mg/l) | | |
| Ugljen-dioksid (CO ₂) | 10.40 | 8.0 |
| MAKROKOMPONENTE (mg/l) | | |
| KATJONI | | |
| Kalcijum (Ca) | 10.02 | 7.4 |
| Natrijum (Na) +Kalijum (K) | 703.80 | 706.2 |
| Magnezijum (Mg) | 13.37 | 9.8 |
| ANJONI | | |
| Karbonati (CO ₃) | 839.99 | / |
| Hidrokarbonati (HCO ₃) | 1708.0 | 1715 |
| Hloridi (Cl) | 141.80 | 103 |
| Sulfati (SO ₄) | 2.75 | 1.6 |
| Nitrati (NO ₃) | 8.65 | / |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | | |
| METALI | | |
| Gvožđe (Fe) | 0.05 | 1.08 |
| Mangan (Mn) | - | 0.06 |

Hemijske odlike podzemnih voda karstnog tipa izdani u okviru krečnjaka sarmatske starosti

Hemijske odlike podzemnih voda u okviru krečnjaka sarmata prikazane su u tabeli 59.

Tabela 59. Hemijski sastav podzemnih voda karstnog tipa izdani u okviru krečnjaka sarmatske starosti

| Ispitivani parametar | Bunar B-2 | Bunar B-3 |
|------------------------------------|-----------|-----------|
| Temperatura (°C) | 21-22 | 22 |
| pH | 7.7 | 7.8 |
| Suvi ostatak-105°C | 1205.71 | 1108.83 |
| Ukupna tvrdoća (°dH) | 6.72 | 7.42 |
| RASTVORENI GASOVI (mg/l) | | |
| Ugljen-dioksid (CO ₂) | 9.68 | 5.28 |
| MAKROKOMPONENTE (mg/l) | | |
| KATJONI | | |
| Kalcijum (Ca) | 15.03 | 18.03 |
| Natrijum (Na) +Kalijum (K) | 473.80 | 422.28 |
| Magnezijum (Mg) | 20.06 | 21.28 |
| ANJONI | | |
| Karbonati (CO ₃) | 632.99 | 569.99 |
| Hidrokarbonati (HCO ₃) | 1287.01 | 1159.0 |
| Hloridi (Cl) | 60.26 | 60.26 |
| Sulfati (SO ₄) | 3.60 | 9.20 |
| Nitrati (NO ₃) | 10.80 | 7.79 |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | | |
| METALI | | |
| Gvožđe (Fe) | 0.31 | 0.22 |
| Mangan (Mn) | - | - |

U gasnom sastavu termomineralnih voda sa bunara B-1 zapreminski odnos je sledeći (Dimitrijević N., 1975):

- 74.11% N₂
- 2.00% CO₂
- 18.50% O₂
- 4.20% H₂S

Na osnovu odosa helijuma i argona starost termomineralnih voda Obrenovačke banje je 332.500 godina.

11.6. HIDROGEOLOŠKI REJON VI–KOLUBARSKO-TAMNAVSKA ALUVIJALNA RAVAN

Prema Komatini (1976), Kolubarska hidrogeološka oblast obuhvata prostranu kolubarsku depresiju, površine oko 1630 km². Oblast je pravougaonog oblika, dužine preko 60 km i širine oko 25 km. Prostor koji je označen kao hidrogeološki rejon VI je znatno manje površine u odnosu na pomenutu kolubarsku hidrogeološku oblast. Rejon VI obuhvata aluvijalnu ravan Kolubare i njenih pritoka, reka Turije, Peštan, i Tamnave.

Teren između sliva reke Turije na severu i reke Peštan na jugu, je deo kolubarskog produktivnog basena površine oko 100 km². Krećući se od istoka na zapad u zoni kopova nalaze se Baroševac, Junakovac, Zeoke, Medoševac, Vreoci, V. Crljeni. Kopovi se prostiru i na levoj obali Kolubare, van istražnog terena. Izuzimajući terene aluvijalne ravni Kolubare, Turije, Peštani i Tamnave nadmorske visine dostižu vrednosti oko 200 m.n.v. Južni i centralni delovi terena rejona VI pripadaju opštini Lazarevac, dok severni delovi, uz korito reke Kolubare pripadaju opštini Obrenovac.

Teritorija hidrogeološkog rejona VI obuhvata aluvijalne sedimente kvartara i panonske sedimente. Aluvijalna ravan reke Kolubare proteže se od Lazarevca na jugu do ušća u Savu na severu (posmatrano u granicama istražnog terena). Desne pritoke Kolubare, koje su takođe formirale aluvijalnu ravan su Očaga, Peštan, Turija, dok levu pritoku Kolubare čini reka Tamnava. Panonski sedimenti su formirani između pomenutih desnih pritoka Kolubare, reka Turije i Peštani.

Istraživanja vršena na ovom delu terena uglavnom su bila vezana za ugljonosni basen, za odvodnjavanje kopova, te za vodosnabdevanje rudarskih naselja. Za potrebe istraživanja rezervi uglja na ovom delu rejona izveden je veliki broj istražnih bušotina. Na lokalitetu Vreoci izradom istražno-eksploatacionog bunara konstatovana je termomineralna pojava, temperature podzemnih voda 28-32°C (Filipović B., 2003).

Aluvijalni sedimenti reke Kolubare i njenih pritoka, sa aspekta rasprostranjenja, filtracionih karakteristika i eksploatacionih rezervi znatno su manje istraženi u odnosu na aluvijalne naslage reke Save.

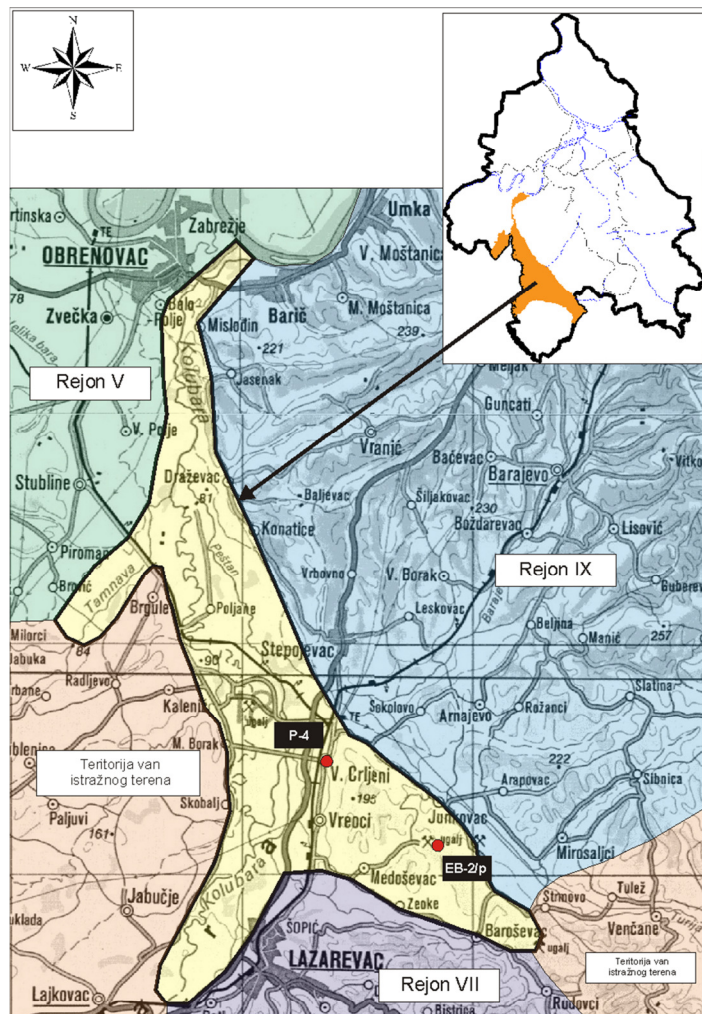
Posmatrano u planu u okviru hidrogeološkog rejonu VI izdvojen je:

- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

Posmatrano u profilu pliocenski sedimenti izgrađuju produktivnu ugljunosnu seriju, značajnu sa aspekta eksploatacije uglja. U podini donjopliocenskih naslaga formirane su miocenske naslage, razvijene uglavnom u faciji glina i peskova. Sedimenti pliocena osim što su predstavljani ugljunosnom serijom, javljaju se i u faciji peskova:

- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata tercijarne starosti

Na slici 138 prikazana je položajna karta analiziranih bušotina na području rejonu VI.



Legenda:

- Bunar/pijezometar
- EB-2p Oznaka za bunar/pijezometar

Slika 138. Položajna karta analiziranih bušotina u okviru hidrogeološkog rejonu VI

11.6.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

Rasprostranjenje izdani

Zbijeni tip izdani formiran je u aluvijalnim sedimentima reke Kolubare i njenih pritoka, reke Turije i reke Peštan. Dužina toka Kolubare na istražnom terenu iznosi oko 30 km, a širina aluvijalne ravni je oko 6 km. Vodonosni horizonti su izgrađeni od peskova i šljunkova, promenljive debljine i granulacije. Debljina vodonosnog sloja u aluvijonu Kolubare se kreće od 4 m do 12 m, dok debljina povlatnih sedimenata se kreće od 1 m do 2 m. Povlata je predstavljena glinovito-peskovitim sedimentima.

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Zbijeni tip izdani formiran u okviru aluvijalnih peskova i šljunkova prihranjuje se dvojakom, infiltracijom rečnih voda i infiltracijom padavina. Uslovi prihranjivanja su veoma povoljni. Peskovi i šljunkovi predstavljaju dobre kolektore podzemnih voda imajući u vidu debljinu naslaga (prosečne vrednosti se kreću oko 6m) i površinu rasprostranjenja.

Izradom niza bunara za potrebe vodosnabdevanja rudarskih naselja (Zeoke, Medoševac, Vreoci) dobijeni su podaci o filtracionim karakteristikama kvartarnih sedimenata (Komatina, 1976). Na području aluvijona Turije vrednosti koeficijenata peskovito-šljunkovitih sedimenata se kreću u granicama od 2.5×10^{-2} m/s do 2.5×10^{-4} m/s.

U selu Medoševac (sliv Peštani), koeficijent filtracije vodonosnih slojeva debljine 5.5 m iznosi 3.3×10^{-4} m/s, dok u Vreocima filtracione karakteristike peskovito-šljunkovitih slojeva debljine oko 3.5 m su definisane sa $K=$ od 4×10^{-2} m/s do 4×10^{-3} m/s.

U selu Potez, aluvijon reke Kolubare (van istražnog terena) utvrđena je maksimalna debljina vodonosnog sloja od 5.8 m. Za kaptirani vodonosni sloj vrednosti koeficijenta filtracije se kreću u opsegu od 1.4×10^{-2} m/s do 4.7×10^{-2} cm/s, a vrednosti koeficijenta transmisibilnosti se kreću u opsegu od 2.2×10^{-2} m²/s do 3.3×10^{-2} m²/s.

Plitko zaleganje vodonosnih peskovito-šljunkovitih sedimenata u aluvijonima je uslovalo direktnu izloženost izdani atmosferskim uticajima, te je izraženo kolebanje nivoa podzemnih voda. Prema Komatini (1976) nivo vode u bunarima u lokalnosti Junkovac iznosio je 3.53 m, u Zeokama 2.18 m, u Medoševcu 1.15 m. Navedeni podaci su iz pedesetih godina prošlog veka.

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Dreniranje izdani odvija se putem kopanih i bušenih bunara, rađenih uglavnom za potrebe vodosnabdevanja. Iz napred izloženog zaključuje se da je na delu aluvijalnih naslaga reke Kolubare i njenih pritoka (Peštan i Turija) formirana izdan povoljnih hidrodinamičkih karakteristika sa aspekta akumuliranja i eksploatacije podzemnih voda. Hidrogeološka istraživanja, koja su pedesetih godina bila u začetku na ovom delu terena, ukazala su da je iz aluviona Kolubare i njenih pritoka moguće eksploatisati preko 45 l/s podzemnih voda (Komatina, 1976).

11.6.2. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata tercijarne starosti

Rasprostranjenje izdani

Zbijeni tip izdani u okviru peskova miocena i pliocena posmatran je na delu kolubarskog ugljunosnog basena formiranog između između Turije, Kolubare i Peštani. Prema autorima tumača lista Obrenovac, ugljunosni sedimenti taložili su se u blizini obale reka. Dominira peskovita facija sa proslojcima glina relativno velike debljine.

Na lokalnosti Rudovci litološki profil terena je sledeći:

- ugljeni sloj sa proslojcima glina debljine 20 m do 35 m
- ugljevite gline
- gline sa proslojcima i sočivima peska
- sloj dijatomejske zemlje debljine do 1 m
- raznobojne gline i peskovi

Prema Komatini (1976) u lokalnosti Junkovac istražnim bušenjem sarmat je konstatovan na dubini od 230 m (bušotina VI-II). Drugom bušotinom sarmat je konstatovan na 134 m, a na 137 m i ušlo se u sloj sarmatskih peskova pod pritiskom. Debljina tog sloja je 4 m.

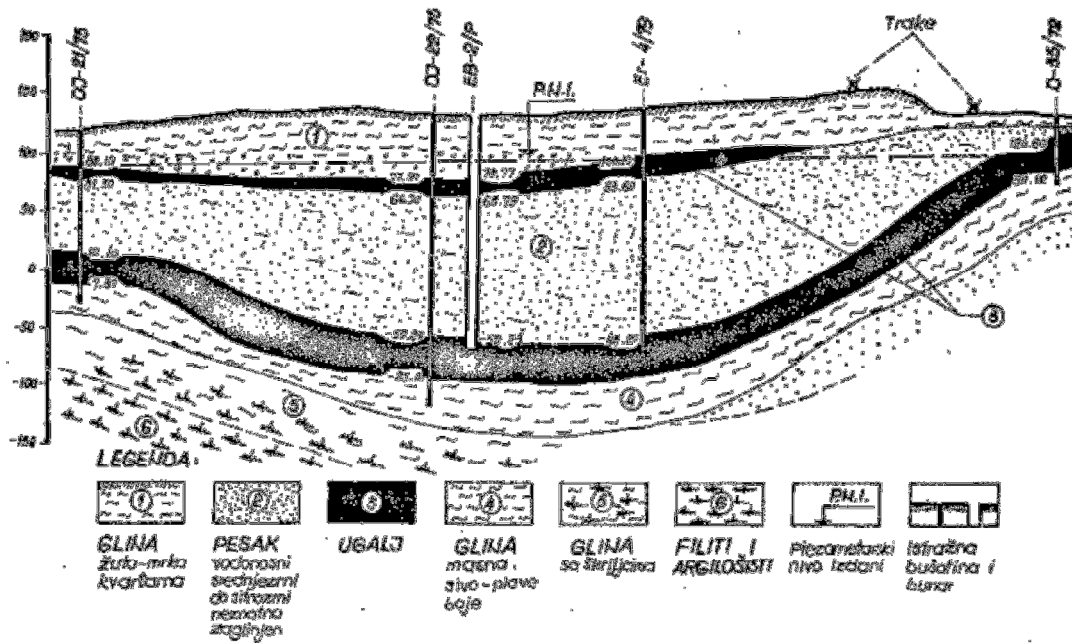
U okolini Vreoca bušotinom je takođe konstatovan peskoviti sloj pod pritiskom u intervalu od 31 m do 64 m. Na istom lokalitetu dva istražno-eksploataciona bunara kaptiraju karstnu izdan. Dubine bunara su 235 m i 275 m (Filipović B., 2003)

U okolini Stepojevca (Poljane) nabušeni su sarmatski krečnjaci u intervalu od 291 m do 352 m. Bušotinom su kaptirane termalne vode, temperature 36 °C, izdašnosti 4 l/s (Filipović B., Stevanović Z., 1987). Na udaljenju od oko 6 km SZ od Stepojevca, na levoj obali Kolubare (lokalitet Poljane) istražnom bušotinom Po-190/80 konstatovana je termomineralna voda temperature 30.2 °C. Bušotina dubine 353 m rađena je za potrebe istraživanja ležišta uglja, ali su nabušeni krečnjaci tortonsko-sarmatske starosti. Izdašnost bušotine iznosi 16.6 l/s (bušotina je pod samoizlivom).

Povlata i podina ugljonosnih slojeva uglavnom je izgrađena od peskovitih naslaga koje mogu biti nosioci značajnih količina podzemnih voda. U zapadnom delu kolubarskog basena (Tamnava) debljina peskovite povlate se kreće od 20 m do 30 m.

Na lokalnosti V. Crljeni izvedena je istražna bušotina P-4 u cilju ispitivanja slojeva podine pliocena. Istražnim bušenjem konstatovani su glinoviti i peskoviti sedimenti različite granulacije. Krupnoća zrna peska postepeno se povećava ka površini terena, prelazeći iz prašinastih u srednjozrne peskove. Debljina ugljonosnog sloja iznosi 15 m. Povlatu uglja čine šljunkoviti i glinoviti sedimenti ukupne debljine oko 10 m. Od 25 m dubine do 110 m liološki profil izgrađuju peskovi, koji čine podinu ugljonosnog sloja. Ispod peskova nataloženi su glinoviti sedimenti do 150 m. Obzirom da je bušotina P-4 završena u glinovitim sedimentima njihova konačna debljina nije poznata. Debljina donjopliocenskih naslaga u zapadnom delu kolubarskog basena dostiže i do 300 m (Komatina., 1976).

Na lokalnosti Zeoke u cilju odbrane površinskog kopa "Polje E", izveden je veći broj bunara i pijeometara početkom osamdesetih godina prošlog veka. Izradom pomenutih istražnih radova sagledane su hidrogeološke karakteristike terena do dubine od oko 200 m. Na slici 139 prikazan je hidrogeološki profil terena polja "E".



Slika 139. Karakterističan hidrogeološki presek polja "E" po Radovanoviću (Mišić, Polić, 1982)

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Zbijeni tip izdani u okviru peskova miocena i pliocena prihranjuje se na račun:

padavina, odnosno proceđivanjem padavinskih taloga kroz aluvijalne sedimente ili perkolacijom atmosferskih voda kroz peskovito-glinoviti pokrivač površinskih rečnih voda, na kontaktu kvartarnih naslaga i starijih pliocenskih naslaga infiltracijom površinskih voda (padavine i površinski tokovi) sa udaljenih delova terena (Drlupa, Sibnica, Dučina)

Prihranjivanje peskova u podini ugljonošnog sloja je otežano, jer ugljonošna serija je praktično vodonepropusna.

Peskovi pliocena ne odlikuju se povoljnim filtracionim karakteristikama za razliku od mlađih kvartarnih. Testom crpenja na istražnoj bušotini P-4 u V. Crljenima dobijena je vrednost koeficijenta filtracije $K=5.26 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ (Komatina, 1976). Zabeležen je prodor izvesnih količina podzemnih voda (7 l/s) u rudarske radove iz podine i povlate

ugljonosnih slojeva, što ukazuje na mogućnost akumuliranja značajnijih količina podzemnih voda u okviru peskova.

Na istražnom bunaru EB-2/p u Zeokama, koji kaptira peskove između dva sloja uglja (peskovi su u intervalu od 69 m do 195 m), hidrodinamički parametri sredine su $K=3.23 \times 10^{-4}$ m/s, $T_{sr}=4.08 \times 10^{-3}$ m²/s, pri izdašnosti $Q_{opt}=53$ l/s, za depresiju od 100 m (Mišić, Polić, 1982).

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Vodonosni sedimenti povlate i podine ugljonosnih slojeva, predstavljeni uglavnom peskovima, nisu bili predmet detaljnih hidrogeoloških istraživanja. Najveći obim istraživanja izveden je za potrebe definisanja eksploatacionih rezervi uglja, a potreba u vodi za piće rešavana je kaptiranjem peskovito-šljunkovitih sedimenata aluviona.

Dreniranje izdani se odvija preko eksploatacionih bunara, i preko bunara za odvodnjavanje ugljonosnih kopova. Na terenu konstatovani su i izvori manje izdašnosti (u južnom delu predela Junkovca postoji nekoliko izvora izdašnosti ispod 0.2 l/s) (Komatina, 1976).

11.6.3. Hidrohemijske karakteristike rejonu VI

Hemizam podzemnih voda u zbijenom tipu izdani aluvijalnih sedimenata Kolubare i njenih pritoka odlikuju se niskom mineralizacijom i heterogenim hemijskim sastavom. Prema Komatini (1976) vodeći tipovi voda su NaCa–sulfatnohidrokarbonatni i MgCa–hloridnohidrokarbonatni.

U centralnim delovima rejonu, u okviru naslaga pontu, hemizam podzemnih voda sagledan je na uzorku iz bušotine P-4 (V. Crljeni). Podzemne vode su NaCa–hloridnohidrokarbonatne. Mineralizacija je 500 mg/l, a tvrdoća se kreće od 17-18 °dH.

U Vreocima konstatovana je pojava termomineralnih voda (Filipović B., 2003). Podzemne vode formirane u tortonsko-sarmatskim krečnjacima kaptiraju dva istražno-eksploataciona bunara. Bunar Q1m-11/80 dubine 235 m i bunar BG-1/88 dubine 275 m. Izdašnost prve bušotine je 8 l/s, a druge 6.8 l/s.

Hemizam termomineralnih voda u okviru krečnjaka na lokalitetu Vreoca prikazan je u tabeli 60. U tabeli 61 prikazan je hemijski sastav termomineralnih voda iz bušotine Po-190/80 na lokalitetu Poljana.

Tabela 60. Hemijske karakteristike podzemnih voda u okviru krečnjaka na području Vreoca (Filipović B., 2003)

| TERMOMINERALNE VODE VREOCI | | |
|---|-------|--|
| T (°C) | | 28-32 |
| pH | | ≈7.8 |
| Ukupna mineralizacija g/l | | 0.60 |
| Specifične komponente | | F, Sr, SiO ₂ |
| Klasifikacija po Alekinu | Klasa | HCO ₃ |
| | Grupa | Na |
| Formula Kurlova | | $M_{0.4}CO_{0.02}^2 \frac{HCO_{88}^3}{Na + K_{75}Mg_{15}Ca_{10}} Q$ > 10 |
| <ul style="list-style-type: none"> • u gasnom sastavu preovlađuje N₂ • specifične komponente SiO₂– 22 mg/l; F–11.2 mg/l; Sr–4 mg/l • | | |

Tabela 61. Hemijske karakteristike podzemnih voda iz bušotine Po-190/80 na lokalitetu Poljana

| Ispitivani parametar | Bušotina Po-190/80 |
|------------------------------------|--------------------|
| Temperatura (°C) | 30.2 |
| Mineralizacija (g/l) | 1.43 |
| MAKROKOMPONENTE (mg/l) | |
| KATJONI | |
| Kalcijum (Ca) | 5.50 |
| Natrijum (Na) | 370.0 |
| Magnezijum (Mg) | 2.30 |
| Kalijum (K) | 2.50 |
| ANJONI | |
| Hidrokarbonati (HCO ₃) | 972 |
| Hloridi (Cl) | 29.6 |
| Sulfati (SO ₄) | 0.2 |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | |
| METALI | |
| Silicijum (Si) | 49.2 |

11.7. HIDROGEOLOŠKI REJON VII– KRISTALASTI KOMPLEKS VAGANA I BUKULJE

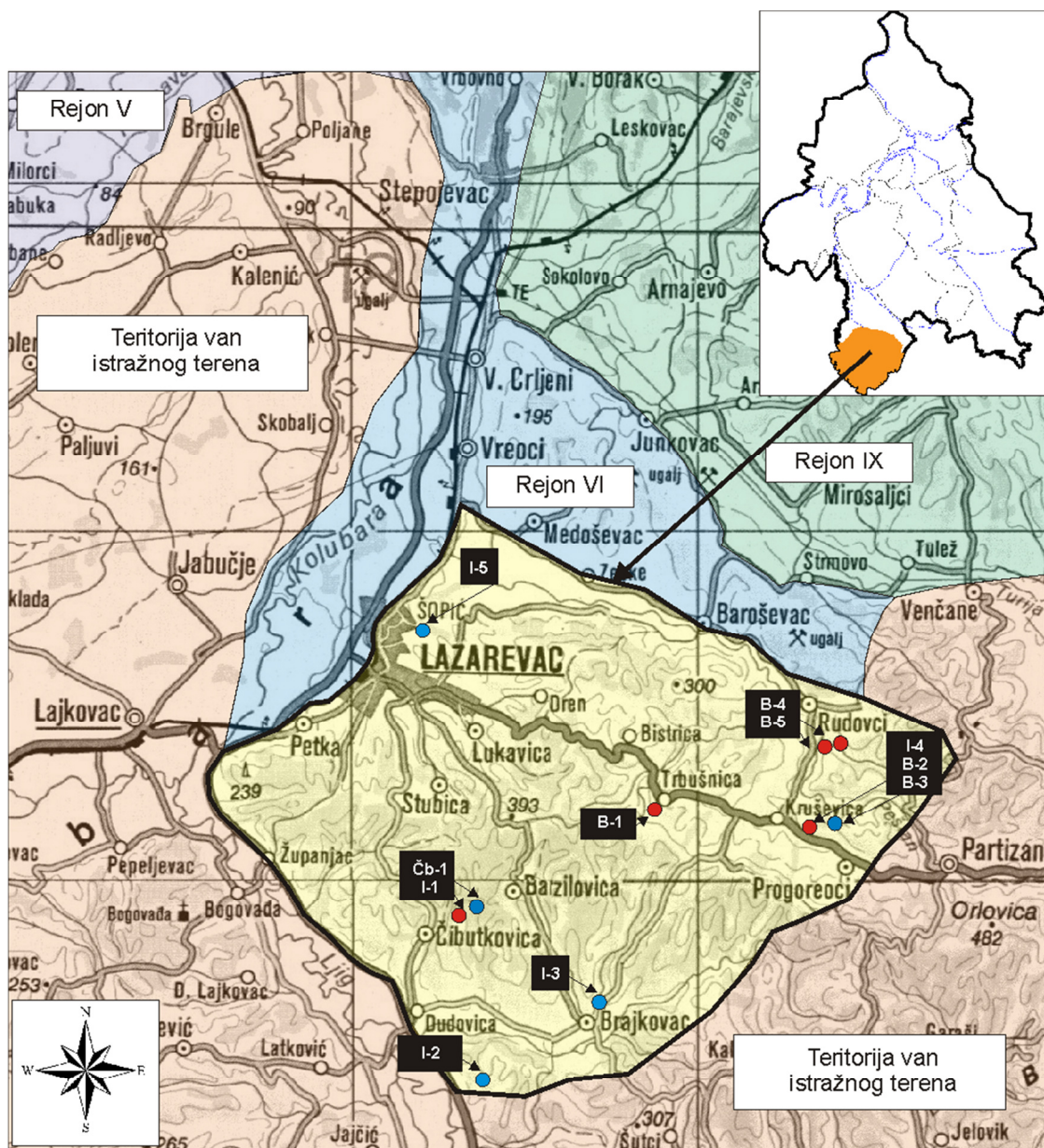
Najjužniji delovi teritorije grada Beograda svrstani su u hidrogeološki rejon VII, koji se u potpunosti razlikuje po geološkoj građi od ostalih delova istražnog terena. Rejon VII izgrađen je od filita, metamorfisanih alevrita, metamorfisanih peščara, kornita, gnajseva, liskunskih škriljaca, metapješčara paleozojske starosti. Kompleks paleozojskih stena oivičen je rekom Peštan na severu, rekom Ljig na jugu i Kolubarom na zapadu. Istočni deo rejonu VII nastavlja se na metamorfni kompleks Vagana i Bukulje. Tektonski, ovaj deo terena pripada bloku Bukulja-Venčac.

Površina posmatranog rejonu iznosi oko 160 km². Najniži delovi terena su na obodu rejonu, u aluvionima reka, dok u centralnim oblastima nadmorske visine dostižu vrednosti oko 400 m.n.v. Generalno, teren je slabo naseljen. Veća gustina naseljenosti je u severnom delu (Lazarevac, Dren, Baroševac).

Rejon VII karakteriše se pojavom mineralnih voda sa povišenim sadržajem CO₂. Isticanje mineralnih, ugljokiselih voda konstatovano je u Čibutkovici, u dolini reke Onjeg, Brajkovcu, Trbušnici, Kruševici, Rudovci. U selu Čibutkovici, u južnom delu rejonu izbušena je duboka bušotina, dubine 1000 m. Sa hidrogeološkog aspekta, ovaj rejon je značajan po pojavama mineralnih i termomineralnih podzemnih voda, ali ne i po količinama istih.

Podzemne vode na području hidrogeološkog rejonu VII formirane su u pukotinskom tipu izdani.

Analizirani bunari i pojave podzemnih voda prikazane su na položajnoj karti (slika 140), koju prati tabela 62.



Legenda:

- Bunar
- Izvor
- B-1/I-1 Oznaka za bunar/izvor

Slika 140. Položajna karta analiziranih bunara i izvora u okviru hidrogeološkog rejon VII

Tabela 62. Analizirani bunari i izvori na području kristalastog kompleksa Vagana i Bukulje

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /izvora | Dubina (m) | Lit. izvor |
|------------------------------|---|--------------------------|---------------|-------------------------|
| Pukotinski tip izdani | | | | |
| 1. | Čibutkovic 7444 140 4910 000 135 m | bušotina Čb-1 | 1002 | Filipović B., 2003 ? |
| 2. | Trbušnica 7444 800 4911 000 | kopani bunar B-1 | / | Filipović B., 2003 ? |
| 3. | Kruševica | bušotina B-2 | 56 | ? |
| 4. | Kruševica | bušotina B-3 | 82.4 | ? |
| 5. | Rudovci | bušotina B-4 | 105 | Filipović B., 2003 ? |
| 6. | Rudovci | bunar B-5 | 119 | Filipović B., 2003 ? |
| Izvori | | | | |
| 7. | Čibutkovic | izvor I-1 | / | ? |
| 8. | Onjeg 7445 300 4906 600 250 m | izvor I-2 | / | Filipović B., 2003 ? |
| 9. | Brajkovac 7446 500 4908 000 200 m | Izvor I-3 | / | Filipović B., 2003 ? |
| 10. | Kruševica | izvor I-4 | / | Filipović B., 2003 ? |
| 11. | Šopić | izvor I-5 | / | ? |

Izdašnosti izvora u pukotinskom tipu izdani kreću se od 0.02 l/s (izvor u Onjegu) do 1 l/s (izvor u Šopićima).

Najizdašnija bušotina je u Čibutkovici, dubine 1000 m sa 3.5 l/s. U Čibutkovici je izmerena i najveća temperatura podzemnih voda (25 °C). Izradom bušotine Čb-1, u intervalu od 400 m do 1000 m izmerena je temperatura vode od 48 °C. Temperatura na ortu bušotine iznosila je 66.4°C.

Najmanja izdašnost izmerena je na bušotini B-3 u Kruševici, 0.6 l/s.

Sve pojave se karakterišu povišenom mineralizacijom, osim pojave u Trbušnici. U gasnom sastavu preovladava CO₂, a pored pomenutog gasa javlja se i N₂. U tabeli 63 prikazan je hemijske karakteristike podzemnih voda pukotinskog tipa izdani u okviru kristalastog kompleksa Vagana i Bukulje.

Tabela 63. Hemizam mineralnih voda pukotinskog tipa izdani u okviru kristalastog kompleksa Vagana i Bukulje (Filipović B., 2003)

| | pH | Formula Kurlova | Klasa/Podklasa |
|---------------|-----|--|-----------------------------|
| Čibutkovica * | 6.5 | $M_{3.8-4.3} \frac{HCO_{97}^3}{Na + K_{63}Mg_{18}Ca_{14}} Q > 3$ | HCO ₃ /Na |
| Onjeg | 6.4 | $M_{3.0} \frac{HCO_{99}^3}{Na + K_{39}Mg_{21}Ca_{34}} Q > 0.02$ | HCO ₃ /Na-Ca-Mg |
| Brajkovac | 6.5 | $M_{2.65} \frac{HCO_{64}^3}{Ca_{42}Na + K_{35}Mg_{21}} Q > 0.03$ | HCO ₃ /Na-Ca-Mg |
| Trbušnica | 5.8 | $M_{0.54} \frac{HCO_{90}^3 Cl_8}{Ca_{41}Mg_{26}Na + K_{20}}$ | HCO ₃ / Ca-Mg-Na |
| Kruševica | 6.3 | $M_{2.6} \frac{HCO_{99}^3}{Ca_{64}Mg_{18}Na + K_{15}} Q > 0.05$ | HCO ₃ /Ca |
| Rudovci | 6.5 | $M_{5.98} \frac{HCO_{90}^3 Cl_9}{Na + K_{80}Ca_{11}} Q > 0.2$ | HCO ₃ /Na |

*Ukupna mineralizacija podzemnih voda je 4.3 g/l, a sadržaj CO₂ iznosi oko 1.6 g/l. Vrednosti SiO₂ u podzemnim vodama dobijene bušenjem nisu poznate, dok je vrednost SiO₂ u izvorskoj vodi 30 mg/l.

11.8. HIDROGEOLOŠKI REJON VIII–ŠUMADIJSKO–MEZOZOJSKA GREDA

Rejon “Šumadijske mezozojske grede” izdvojen je u centralnom delu teritorije grada Beograda na osnovu litološko-stratigrafske građe terena. Građa ovog dela terena predstavljena je peščarima, glincima, rožnacima, konglomeratima dobro cementovanim krečnjacima, eruptivnim stenama i serpentinitima (Milojević i dr. 1975). Naziv rejona ukazuje na starost stena koje dominiraju u ovom delu terena, i na geografsku oblast kojoj pripada. Površina cele oblasti Šumadije koja se prostire između reka Save, Dunava, Velike i Zapadne Morave, i Kolubare iznosi oko 8500 km² (Komatina M., 1976). Površina dela šumadijske oblasti koja je predmet istraživanja i koja se nalazi u okviru administrativnih granica grada Beograda iznosi oko 1800 km².

Oblast rejona VIII, na jugu obuhvata Kosmaj, Drlupu, Rogaču, Dučinu, Nemenikuće, Sopot, Barajevo, Guncate do Rušnja, gde se račva u dva kraka. Prvi krak se pruža ka severo-istoku, preko Avale do Leštana, a drugi krak ostružničkom rekam izlazi na Savu. Severni krak mezozojske grede koji se od brda Straževice dolinom Topčidarske reke spušta na desnu obalu Save posamtran je u okviru hidrogeološkog rejona IV. U okviru ovog rejona nalazi se najviša kота na istražnom terenu sa 626 m.n.v (Kosmaj). Rejon je neravnomerno naseljen, a naselja uglavnom seoskog tipa. Posmatrajući administrativne granice, rejon VIII se prostire na delu teritorije opštine Mladenovac, opštine Sopot, opštine Barajevo, Voždovac i Čukarica.

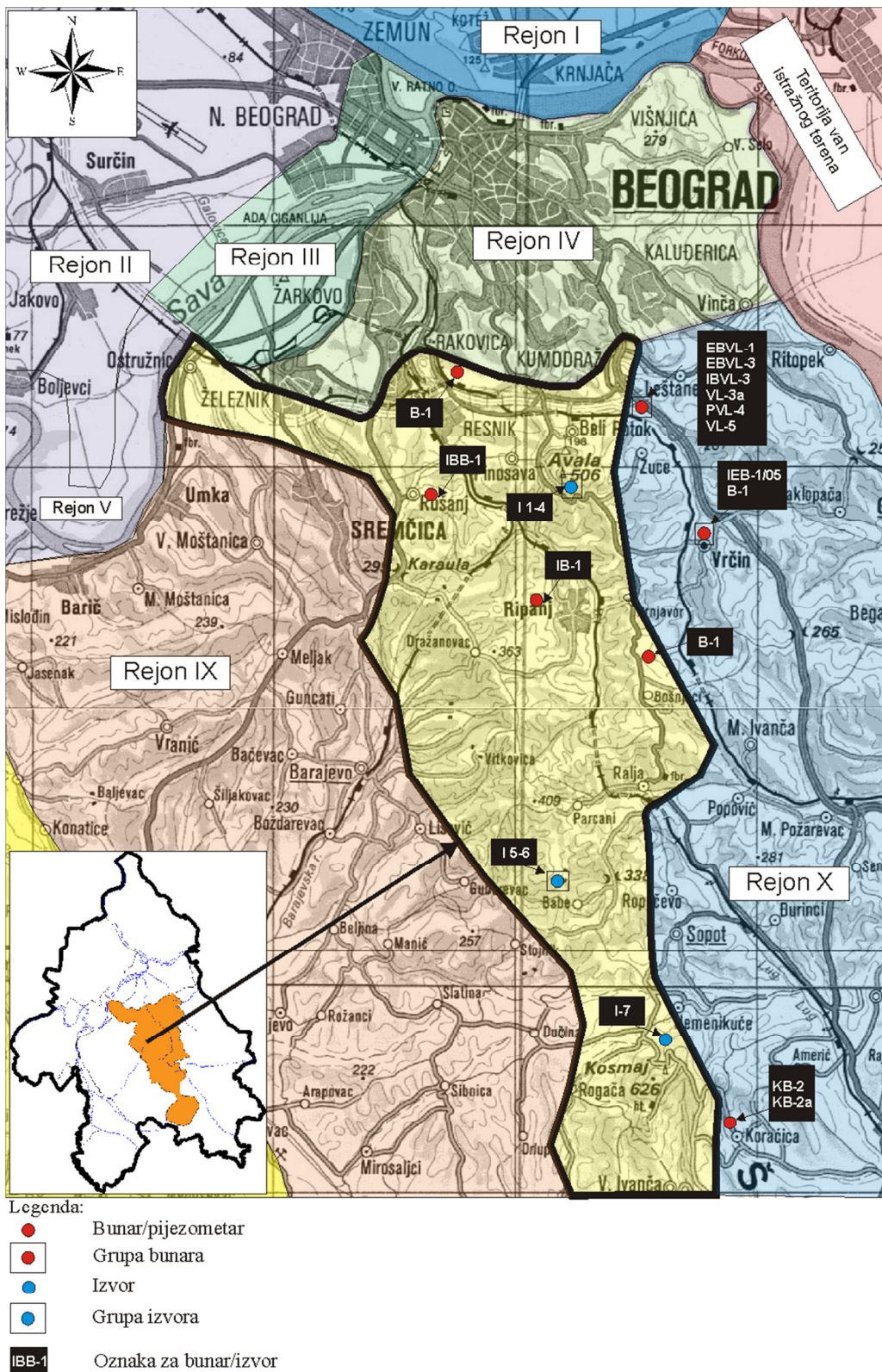
Šumadijska mezozojska greda uglavom je izgrađena od stena kredne starosti. Značajne delove terena izgrađuju i sedimenti jurske starosti (gornjojurske), dok manje površine zauzimaju sedimenti tercijara i kvartara.

U okviru hidrogeološkog rejona VIII, izdvojeni su sledeći tipovi izdani:

- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti
- pukotinski tip izdani u okviru serpentinita jurske starosti

U okviru sedimenata kredne starosti izdvojeni su i uslovno „bezvodni“ delovi terena.

Mreža bunara i pijezometara prikazana je na položajnoj karti (slika 141), koju prati tabela analiziranih bunara i izvora na području Šumadijsko-mezozojske grede (tabela 64).



Slika 141. Položajna karta analiziranih pojava i objekata u okviru hidrogeološkog rejona VIII

Tabela 64. Analizirani bunari, pijezometri i izvori području Šumadijsko-mezozojske grede (rejon VIII)

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodnosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|---|--|----------------------------------|---------------|---|------------------------|------------------------|
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 1. | Ripanj farma "Jugokoka" | IB-1 | 117 | 41.00-45.80 | pesak | Jović P., 2004 |
| 2. | Trešnja 7465 884 4942 938 256 m | B-1 | 109 | 81.00-82.80 84.00-85.90 94.00-96.10 | pesak peščar | Bogdanović, 2009 |
| 3. | Koraćička banja | KB-2 | 1800 | 170-230 | pesak | Perić, 1989 |
| Pukotinski tip izdanu u okviru serpentinita jurske starosti | | | | | | |
| 4. | Manastir Rakovica 7456 984 4954 947 | B-1 | 150 | 4.00-150.00 | serpetiniti | Bogdanović, 2011 |
| 5. | Zavojnička reka | VL-5 | 60 | 40.00-60.00 | serpetiniti | Milivojević, 1982 |
| 6. | Vrčin ben. pumpa | IEB-1/05 | 185 | 85.80-92.40 168.00- 185.00 | šljunak serpetiniti | Bogdanović, 2005 |
| 7. | Vrčin | B-1 | 92 | 78.00-92.00 | serpetiniti | Bogdanović, 2007 |
| Uslovno „bezvodni“ delovi terena u okviru sedimenata kredne starosti | | | | | | |
| Izvori | | | | | | |
| 8. | Avala | I-1 | | 0.09 l/s | | iz Ninković, 2012 |
| 9. | Avala | I-2 | | <0.01 l/s | | iz Ninković, 2012 |
| 10. | Avala | I-3 | | <0.01 l/s | | iz Ninković, 2012 |
| 11. | Avala | I-4 | | <0.01 l/s | | iz Ninković, 2012 |
| 12. | Babe 7462 253 4932 586 222 m | I-5 | | 0.12 | | iz Perović J., 2010 |
| 13. | Sopot 7462 163 4932 475 208 m | I-6 | | 0.20 | | iz Perović J., 2010 |
| 14. | Nemenikuće 7466 112 4925 470 422 m | I-7 | | 0.15 | | iz Perović J., 2010 |

11.8.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

Zbijeni tip izdani formiran je u okviru peskovitih i šljunkovitih naslaga većih rečnih tokova, kao što su Topčiderska reka, Ostružnička reka, izvorišni delovi reke Ralje i Barajevske reke. Iako po površini rasprostranjenja zauzimaju znatan deo terena, aluvijalne naslage nisu nosioci značajnih količina podzemnih voda. Vodonosni slojevi su male debljine i veoma su zaglinjeni. U dolini Topčiderske reke, na delovima terena gde korito reke ne useca flišne sedimente, debljina aluvijalnih naslaga se kreće oko 5-6 m, maksimalno 10 m. (Milojević i dr., 1971).

11.8.2. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Zbijeni tip izdani u okviru rejonu Šumadijske mezozojske grede konstatovan je u okviru peskova panonske starosti.

Panonski sedimenti predstavljeni su glinovitim laporcima, glincima, peskovima i šljunkovima. Navedeni članovi panona se smenjuju u litološkom profilu terena.

Panonske naslage konstatovane su u okolini Brđana i Ripnja (leva strana Topčiderske reke, u njenom gornjem toku), zatim manji delovi terena u dolini Hajdučkog potoka izgrađeni su od panonskih sedimenata, kao i delovi terena oko Ripnja. Panonski sedimenti izgrađuju prostrane delove terena istočno od Šumadijske mezozojske grede, a konstatovani su i zapadno, na delu terena u dolini reka Turije i Beljanice.

Zbijeni tip izdani na području Šumadijske mezozojske grede nije značajan sa aspekta formiranja većih količina podzemnih voda, zbog (Milojević i dr.,1975):

- debljina vododržljivih stena je mala
- ograničena površina hranjenja
- velika poroznost
- mala specifična izdašnost
- visoko kapilarno podizanje
- fina intergranularna poroznost sa dosta glinoviti čestica u pojedinim njenim delovima

U Ripnju, izradom istražne bušotine (IB-1 "Jugokoka") konstatovani su peskoviti slojevi u intervalu od 41 m do 46 m, zatim od 48 m do 56 m, treći peskoviti sloj konstatovan je u intervalu od 87 m do 89 m i četvrti od 108 m do 114 m. Bušotina je završena u glinovitim sedimentima panonske starosti na 117 m. Peskoviti slojevi nalaze se u smeni sa peskovitim glinama, zaglinjenim peskovima i glinama (Jović P., 2004).

Na području Trešnje peskoviti sedimenti konstatovani su u intervalu od 81 m do 83. Duž celog litološkog profila smenjuju se slojevi gline, peskovite gline, peščara, laporovite gline. Bušotina B-1 završena je u peskovitim krečnjacima na dubini od 109 m (Bogdanović, 2009).

Na području Koraćičke banje izradom duboke bušotine KB-2 (1.800 m) konstatovana je bazalna serija vodonosnih peskova neogene starosti na dubini od 170 m do 230 m. Bušotina je završena u laporcima neokomske starosti. Izradom bušotine dobijen je samoizliv podzemnih voda od 1.9 l/s. Crpenjem je dobijeno 12 l/s podzemnih voda, temperature 30°C (Milivojević, 2004).

11.8.3. Pukotinski tip izdani u okviru serpentinita jurske starosti

Rasprostranjenje izdani

Pukotinski tip izdani formiran je u okviru serpentinita jurske starosti na području Šumadijske mezozojske grede.

Serpentiniti predstavljaju najstarije stene na ovom delu terena i pripadaju gornjoj juri. Serpentiniti su na površni terena otkriveni u zoni Avale i to „...u jugoistočnom i južnom delu u jednom pojasu pravca pružanja sever-jug, na severu do sela Zuca, na jugu do železničke stanice Klenje, širine oko 2 km. Sa zapada serpentinita masa ograničena je Dubokim potokom i donekle Točiderskom rekom. Istočna granica serpentinita vidljiva je u izvorišnim delovima potoka Karagače i Slatine“ (Milojević i dr., 1963).

Severnije od pomenutog terena, mase serpentinita su otkrivene u dolini Zavojničke reke i njenih pritoka, potok Bučvar, potok Konopljište, potok Bujanj (u zoni auto-puta Beograd-Niš). Ukupna otkrivena površina serpentinita iznosi oko 10 km².

Odnos serpentinita i okolnih mlađih stena je složen, što potiče od intenzivnih tektonskih pokreta odigranih u ovom delu terena. „Avala i njena okolina u strukturnom pogledu

predstavljaju jednu veliku, rasedima jako deformisanu antiklinalnu strukturu“ (Milivojević, 1982). U zapadnom delu Avale preko serpentinita razvijena je kreda, dok u istočnom delu tercijarni sedimenti naležu preko serpentinita. Na terenu su konstatovani serpentiniti koji leže preko sedimenata tercijara .

Dosadašnjim istraživanjem u zoni Avale utvrđene su paleohidorgeotermalne pojave, nastale pod uticajem hidrogeotermalnih procesa. Pomenuti procesi na pojedinim delovima terena u okviru serpentinita doveli su do promene mineraloškog sastava, te je došlo do obrazovanja karbonatnih i silicijumskih stena (Milojević, i dr., 1963).

U dolini Zavojničke reke od Vrčina ka Leštanima, na osnovu rezultata istražnih bušenja konstatovani su serpentiniti:

- bušotina IEB-1/05 (benziska pumpa Vrčin)–serpentiniti nabušeni u intervalu od 168 m do 185 m (bušotina je završena na 185 m)
- bušotina B-1 u Vrčinu– serpentiniti nabušeni u intervalu od 78 m do 92 m (bušotina je završena na 92m)
- na bušotinama u dolini Zavojničke reke (EBVL-1, VL-3a, IBVL-3, EBVL-3, PVL-4, VL-5)–serpentiniti konstatovani na dubinama od 60 m do 140 m (sve bušotine su završene u serpentinitima)

Na udaljenju oko oko 5 km² od najbližeg izdanka serpentinita, u Rakovici (miljakovačke livade) izbušena je istražna bušotina do dubine od 150 m i duž celog litološkog profila su konstatovani serpentiniti. Duž profila se smenjuju kompaktni serpentiniti i slabije ispucali serpentiniti, samo je u zoni od 90 m do 96.6 m i od 115 m do 117.20 m serpentinit jače ispucalo (Bogdanović , 2011).

Van Šumadijske mezozojske grede, bušenjem u Mokroluškom potoku konstatovane su serpentinitne breče. Na dubini od 332 m do 454 m serpentinitne breče su konstatovane i u dubokoj bušotini u Ovči.

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Prihranjivanje pukotinskog tipa izdani u okviru serpentinita odvija se:

- infiltracijom padavina
- infiltracijom površinskih voda
- na kontaktu između serpentinita i drugih stena (kredne ili tercijarne starosti)

Karakteristike serpentinita, sa aspekta mehaničkih svojstava stena, a koje idu u prilog infiltraciji padavina, jesu površinske ispucale zone. Serpentiniti su pod uticajem atmosferilija potpuno izmenili svoj nekadašnji oblik, što dokazuje prisustvo mnoštvo pukotina i površinskih drobina. Ovakva raspadnuta zona serpentinita u stanju je da primi značajne količine padavina. Procenat padavina koji se infiltrira kroz ispucanu koru serpentinita umnogome zavisi i od površinskog oticaja (koji je izražen u ovim delovima terena), zatim zavisi i od biljnog pokrivača. Prosečna visina padavina u ovom delu terena iznosi oko 800 mm, a oko 70% odlazi na površinski oticaj. Serpentiniti u zoni Avale obrasli niskom šumom ili humusom (Milojević i dr., 1963).

Prihranjivanje serpentinita površinskim vodama odvija se na delovima terena gde korito potoka preseca serpentinite (potok Bučvar, potok Bujanj). Deo infiltriranih voda potiče iz drugih izdani koje su formirane na kontaktu sa pukotinskim tipom. Drugi vid prihranjivanja je čest, obzirom da serpentiniti i okolne stene su u složenim superpozicionim odnosima.

Dubina do nivoa podzemnih voda u bunarima koji kaptiraju pukotinsku izdan u serpentinitima ne prelazi 30 m. Tokom letnjeg perioda bunari ne presušuju osim onih plićih. Generalni pravci kretanja podzemnih voda uslovljeni su reljefom terena, odnosno usmereni su ka glavnim drenovima (Zavojnička reka i Topčiderska reka).

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Dreniranje izdani uglavnom se vrši preko velikog broja izvora male izdašnosti i preko bunara. Izdašnosti izvora se kreću oko 0.1 l/s i postojani su tokom cele godine, dok je amplituda kolebanja nivoa podzemnih voda u bunarima oko 2-3 m (Milojević i dr., 1963).

11.8.4. Uslovno „bezvodni“ delovi terena u okviru sedimenata kredne starosti

Rasprostranjenje izdani

Flišni sedimenti kredne starosti dominiraju u građi Šumadijske mezozojske grede. Rasprostranjenje flišnih sedimenata na površini može se pratiti na prostoru od oko 200 km². Najrasprostranjeniji član donje krede je neokomski fliš. Razviće neokomskog fliša može se posmatrati od Resnika preko Pinosave i Bele reke do Ripnja, i dalje prema jugu se pruža tokom reke Hajdučice. Fliš mlađih odeljaka donje krede proteže se u dva pojasa, pojas Rušanj-Ripanaj i pojas Barajeva.

Sedimenti gornje krede poznati su pod nazivom koji se vezuje za lokalitet gde su nastali:

Avalski fliš izgrađuje Avalu i njene padine, te se razviće može pratiti na severu ka centralnim delovima Beograda, na zapadu do Topčiderske reke, a na jugu se preko Kovione nastavlja na fliš Kosmaja. Površina fliša u okolini Avale iznosi oko 15 km², dok na Kosmaju oko 28 km². Na južnim padinama Komaja, u delu Koraćičke banje izbušena je duboka bušotina KB-2 do dubine od 1800 m. Bušotina je završena u krednom flišu.

Barajevski fliš najveće rasprostranjenje dostiže u Barajevu zatim u dolini Topčiderske reke, Kijevo, Resnik, Pinosava, a na jugu se prostire do zapadnih padina Kosmaja.

Ostružnički fliš može se pratiti od Žarkova uz Železničku reku, preko Sremčice i Lipovačke šume i dalje na jug. Površina fliša u okolini Ostružnice iznosi oko 13 km². Razviće ostružničkog fliša konstatovano je istražnim bušenjem na levoj obali Save (Toplana na Novom Beogradu), fliš je nabušen na dubini od 100 m (Anđelković, 1987), kao i kod Ušća (Rundić, 2011).

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Glavni vid prihranjivanja je putem infiltracije padavina. U okviru krednih sedimenata, u pripovršinskoj zoni razvijeni su čitavi sistemi prslina i pukotina, što svakako doprinosi intenzivnijoj infiltraciji.

Na ovom delu terena izražen je površinski oticaj i teren je prekriven šumskom vegetacijom (Avala, izvorišni delovi Barajevske reke, Kosmaj). Izdan formirana u flišnim sedimentima krede drenira se uglavnom preko izvora. Izvori su male izdašnosti, $Q \approx 0.1$ l/s, te ova izdan nije interesantna sa aspekta akumuliranja značajnih količina podzemnih voda.

U tabeli 65. prikazani su izdašnosti pojedinih izvora formiranih u flišnim sedimentima ili na kontaktu fliša i mlađih sedimenata tercijara.

Tabela 65. Izdašnosti izvora formiranih u flišnim sedimentima mezozojske grede

| Rb. | Lokacija/koordinata | Izdašnost (l/s) |
|------------|---|------------------------|
| I-1 | Avala | 0.09 |
| I-2 | Avala | <0.01 |
| I-3 | Avala | <0.01 |
| I-4 | Avala | <0.01 |
| I-5 | Babe 7462 253 4932 586 222 m | 0.12 |
| I-6 | Sopot 7462 163 4932 475 208 m | 0.20 |
| I-7 | Nemenikuće 7466 112 4925 470 422 m | 0.15 |



Slika 142. Izvor Hajdučica–Nemenikuće (foto: A. Vranješ)

11.8.5. Hidrohemijske karakteristike rejonu VIII

Hemizam podzemnih voda formiranih na delu Šumadijsko-mezozojske grede, na području Avale analiziran je u tabeli 66.

Tabela 66. Uporedna analiza hemijskog sastava podzemnih voda na delu severoistočnih padina Avale

| Ispitivani parametar | I-3 | I-4 |
|------------------------------------|------------|------------|
| Temperatura (°C) | 10.7 | 10.1 |
| pH | 7.0 | 7.2 |
| Suvi ostatak–180°C | 200 | 360 |
| Elektroprovodljivost (µS/cm) | 250 | 540 |
| Utrošak KMnO ₄ (mg/l) | 7.6 | 3.2 |
| Ukupna tvrdoća (°dH) | 7.3 | 15.3 |
| Mineralizacija (mg/l) | 260 | 470 |
| RASTVORENI GASOVI (mg/l) | | |
| Vodonik-sulfid (H ₂ S) | <0.5 | <0.5 |
| MAKROKOMPONENTE (mg/l) | | |
| KATJONI | | |
| Kalcijum (Ca) | 16.2 | 82.5 |
| Natrijum (Na) | 11.7 | 8.3 |
| Magnezijum (Mg) | 21.6 | 16.0 |
| Kalijum (K) | 2.0 | 1.0 |
| ANJONI | | |
| Hidrokarbonati (HCO ₃) | 126.0 | 223.0 |
| Hloridi (Cl) | 5.0 | 19.5 |
| Sulfati (SO ₄) | 11.0 | 59.0 |
| Nitrati (NO ₃) | 48.2 | 33.5 |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | | |
| METALI | | |
| Gvožđe (Fe) | 0.020 | 0.010 |
| Mangan (Mn) | 0.005 | 0.003 |
| Cink (Zn) | 0.028 | 0.080 |

11.9. HIDROGEOLOŠKI REJON IX–PODRUČJE SREMČICA-BARAJEVO

Područje Sremčica-Barajevo na istočnoj strani oivičeno je Šumadijskom mezozojskom gredom, na jugu koritom i aluvijalnim sedimentima reke Turije, dok zapadnu granicu rejona čini aluvijalna ravan Kolubare i Save. Teren je orijentisan ka jugo-zapadu, a odlikuje se kosama između kojih teku desne pritoke Kolubare: Jasenički potok, Marica, Vrbovica, Oparna, Bačevačka reka, Barajevska reka, Guberevačka i Stojnička reka. Rejon najvećim delom pripada opštini Barajevo, a zauzima i istočne delove opštine Obrenovac i krajnje severne delove opštine Lazarevac.

Teren je, uglavnom, izgrađen od sedimenata sarmatske i panonske starosti. Na potezu od Lipovice preko Guncata, Barajeva, Lisovića do Manića izražena je karstna morfologija, tip merokarsta (suve ili potopljene vrtače, prekarstne doline) (Anđelković, 1987, prema Stevanović P., 1977). Debljina karbonatne serije sarmata dostiže i do 50 m (Anđelković i dr., 1987). Dreniranje podzemnih voda na ovom delu istražnog terena vrši se preko većeg broja karstnih vrela: Trojan, Točak, Vrelo, V. Jazovik, V. i M. Bezdani, čija zbirna izdašnost u minimumu iznosi 24.5 l/s, a u maksimumu 38.5 l/s. Na lokalitetu Vranić izradom istražno-eksploatacionog bunara kaptirana je podzemna voda temperature 26 °C, sa povišenim sadržajem H₂S (Filipović B., Lazić M., 1983).

Pored krečnjačkih sedimenata, na ovom delu terena dominiraju i glinoviti sedimenti panona, i mlađi, takođe glinoviti sedimenti pliocena. Udaljavajući se od flišne grede ka zapadu uočljiva je stratigrafska smena sedimenata na površini terena. Dakle, najistočniji delovi predstavljeni su krečnjacima sarmata, središnji delovi glinama (manje peskovima) panona i najzapadniji delovi glinama pliocena.

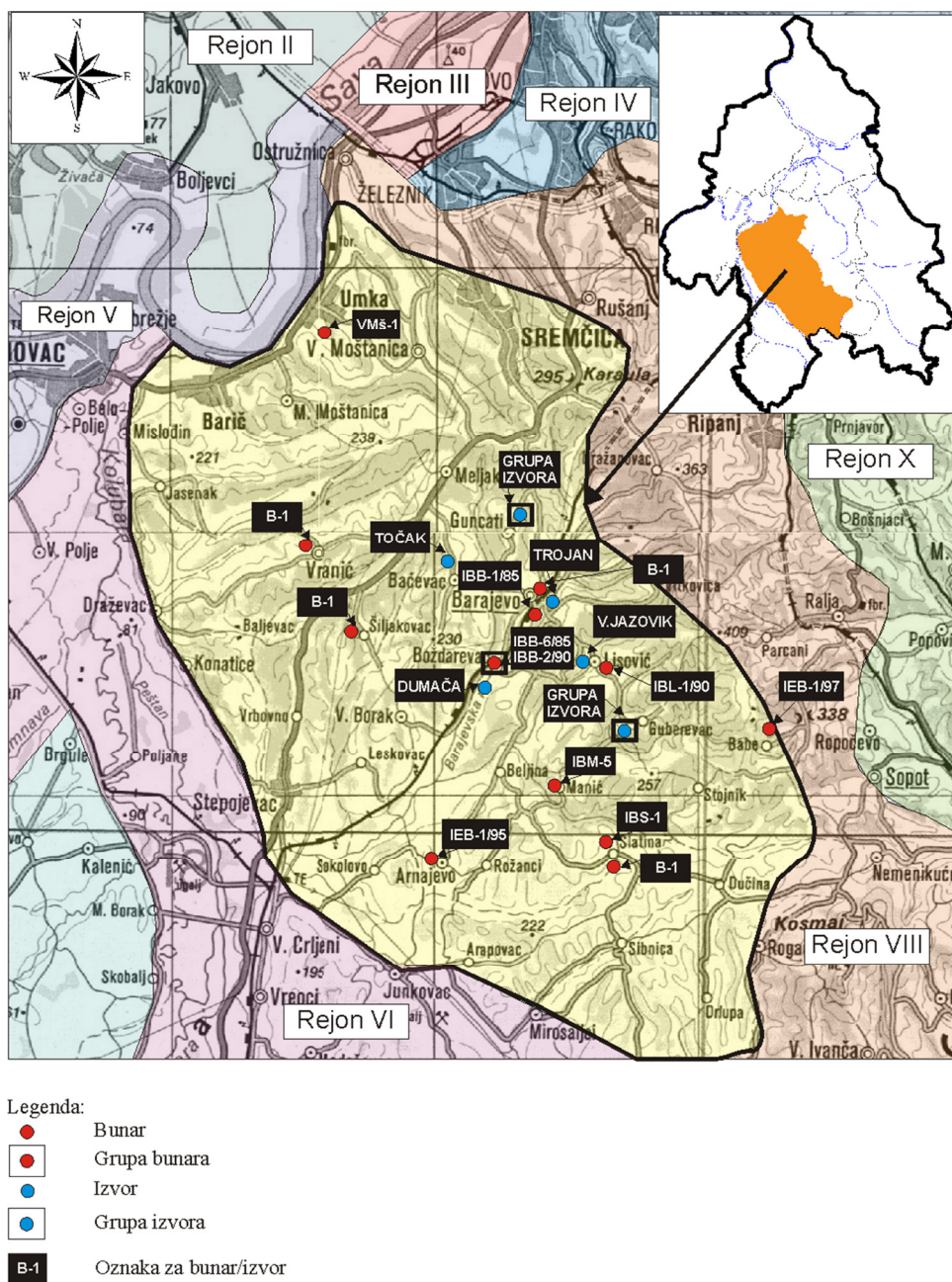
Imajući u vidu geološku građu terena, te strukturni tip poroznosti, u okviru sedimenata tercijara i kvartara izdvojeni su sledeći tipovi izdani:

- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- Karstni tip izdani u okviru sedimenata sarmatske starosti

Zbijeni tip izdani formiran u okviru naslaga reka i potoka sa hidrogeološkog aspekta nema velikog značaja. Najveće rasprostranjenje aluvijalnih naslaga konstatovano je u dolini reke Beljanice. Širina ravni je oko 1500 m, a debljina peskova i šljunkova sa dosta glinovite komponente iznosi oko 5 m (iz Maied, 1992).

U krečnjacima sarmatske starosti formirana je izdan sa slobodnim nivoom i nivoom pod pritiskom.

Analizirani izvori i bunari na području Sremčice i Barajeva prikazani su na položajnoj karti (slika 143), koju prati tabela 67.



Slika 143. Položajna karta analiziranih izvora i bunara okvira hidrogeološkog regiona IX

Tabela 67. Analizirani izvori i bunari na području Sremčica-Barajevo (rejon IX)

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijzometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|-------------------------|---------------------------------|---------------|---|---|----------------------------|
| Karstni tip izdani u okviru sedimenata sarmatske starosti | | | | | | |
| 1. | Barajevo | IBB-1/85 | 60 | 30.00-50.00 | krečnjak laporovit | iz Maied El Agha., 1992 |
| 2. | Boždarevac | IBB-6/85 | 190 | 120.00-184.00 | krečnjak laporovit | iz Maied El Agha., 1992 |
| 3. | Lisović | IBL-1/90 | 114 | 14.00-50.00 | krečnjak laporovit | iz Maied El Agha., 1992 |
| 4. | Boždarevac | IBB-2/90 | 206 | / | peskoviti krečnjaci laporoviti krečnjaci | iz Maied El Agha., 1992 |
| 5. | Slatina | IBS-1 | 112 | 25.00-59.00 79.00-95.00 | krečnjaci peskovi | iz Maied El Agha., 1992 |
| 6. | Manić | IBM-5 | 106 | 25.00-31.00 55.00-71.00 92.00-104.00 | krečnjaci peskovi | iz Maied El Agha., 1992 |
| 7. | Arnajevo | IEBA/1-95 | 186 160 | 98.00-104.00 107.00-114.00 124.00-128.00 131.00-158.00 | krečnjak laporovit | iz Abramović ,1998 |
| 8. | Babe | IEB-1/97 | 126.5 | 12.00-20.00 41.00-45.00 57.00-59.00 62.00-70.00 99.00-109.00 117.00-121.00 | krečnjak pesak | iz Abramović, 1998 |
| 9. | Vranić | B-1 | 240 | 171.00-191.00 | laporac, krečnjak | / |
| 10. | Šiljakovac | B-1 | 180 | 130-170 | krečnjak | iz Perović, 2010 |

...nastavak tabele

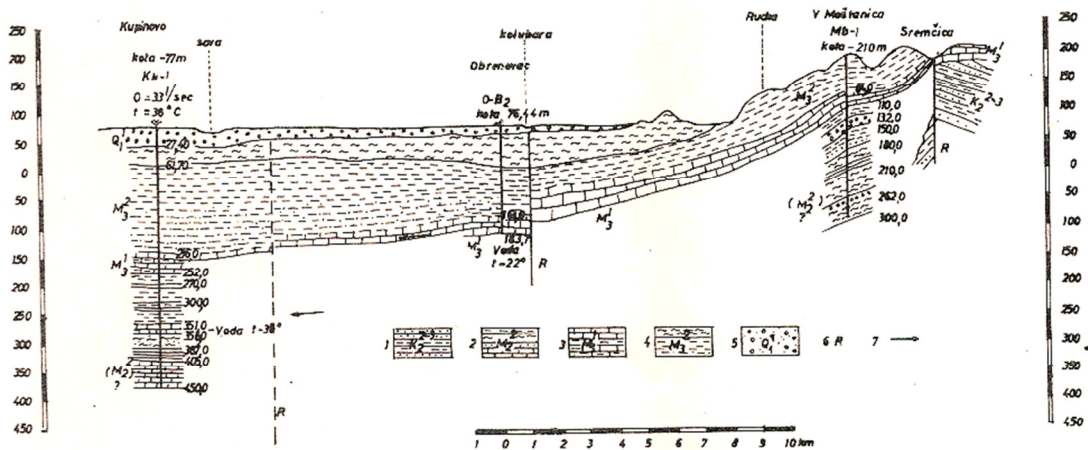
| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|--|----------------------------------|---------------|---|------------|------------------------------|
| Karstni tip izdani u okviru sedimenata sarmatske starosti | | | | | | |
| 11. | Slatina 7455 724 4927 319 228 m | B-1 | 113 | 80.0-94.0 97.0-105.0 106.0-111.0 | krečnjak | Bogdanović, 2011 |
| 12. | Barajevo | B-1 | 93 | 25.80-27.50 28.80-29.70 32.50-76.10 | krečnjak | Bogdanović, 2010 |
| Izvori | | | | | | |
| 13. | Bačevac | Točak | | 2-5 l/s | krečnjak | Filipović B., i dr., 1983 |
| 14. | Bagrdan | Trojan | | 8-10 l/s | krečnjak | Filipović B., i dr., 1983 |
| 15. | Guncate | Zamnik | | 1.2-2 l/s | krečnjak | Filipović B., i dr., 1983 |
| 16. | Guncate | Babin Vir | | 0.5-0.7 l/s | krečnjak | Filipović B., i dr., 1983 |
| 17. | Guncate | Vrela | | 2.5-4 l/s | krečnjak | Filipović B., i dr., 1983 |
| 18. | Guncate | Sunčulica | | 0.6-1.0 l/s | krečnjak | Filipović B., i dr., 1983 |
| 19. | Guncate | Vrela | | 0.8-1.2 l/s | krečnjak | Filipović B., i dr., 1983 |
| 20. | Guncate | Jasen | | 3.0-3.5 l/s | krečnjak | Filipović B., i dr., 1983 |
| 21. | Lisović | V. Jazovik | | 2.0-2.5 l/s | krečnjak | Filipović B., i dr., 1983 |
| 22. | Guberevac | V. Bezdán | | 5.5-10.0 l/s | krečnjak | Filipović B., i dr., 1983 |
| 23. | Guberevac | M. Bezdán | | 1.5-3.5 l/s | krečnjak | Filipović B., i dr., 1983 |
| 24. | Guberevac | Pruten | | 3.0 l/s | krečnjak | iz Perović, 2010 |
| 25. | Boždarevac | Dumača | | 2.0 l/s | krečnjak | iz Perović, 2010 |

11.9.1. Karstni tip izdani u okviru sedimenata sarmatske starosti

Rasprostranjenje izdani

Rasprostranjenje krečnjaka sarmatske starosti na području rejon IX obuhvata teren od Sremčice, preko Guncata, Barajeva i dalje na jugozapad ka Lisoviću i Guberevcu. U istočnom delu rejon isklinjavaju na površinu terena.

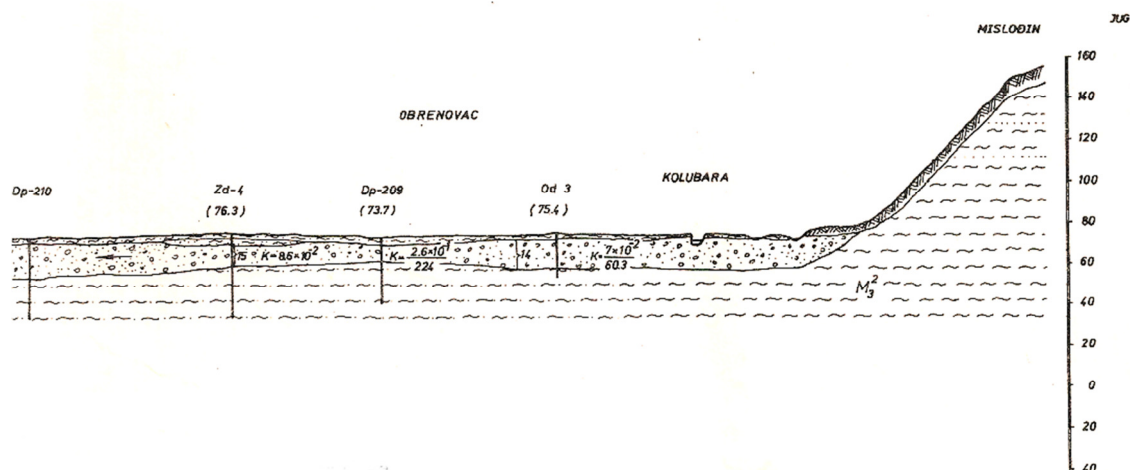
Na lokalitetu Sremčice, krečnjaci sarmata su konstatovani na površini terena, odakle tonu prema zapadu pod gline panona. Isti krečnjaci su konstatovani na teritoriji Obrenovačke banje i Kupinova (van istražnog terena). Na slici 144 prikazan je profil terena od Kupinova do Sremčice, preko Obrenovac i V. Moštanice.



Slika 144. Geološko-hidrogeološki profil od Kupinova do Sremčice preko Obrenovca i V. Moštanice (Milojević i dr., 1975)

Na području Sremčice i V. Moštanice krečnjaci nemaju veliku debljinu. Sa povećanjem dubine zaleganja ka zapadu povećava se i debljina krečnjaka. Bušotina u V. Moštanici (VMš-1), dubine 300 m nije ušla u krečnjake. Duž celog litološkog profila konstatovana je smena peskovitih i glinovitih sedimenata (Milojević i dr., 1975).

Povlata krečnjaka sarmatske starosti predstavljena je panonskim glinama, čija debljina na lokalnosti Mislođina dostiže oko 120 m (slika 145).



Slika 145. Detalj hidrogeološkog profila od Mislođina do Boljevaca preko Obrenovca i Zabrežja (Milojević i dr., 1975)

Od Mislođina i Konatica, krećući se ka istoku konstatovani su krečnjaci sarmatske starosti. Facija peskova je skoro po pravilu pratilac sarmatskih krečnjaka i javlja se u njihovoj podini.

U Vraniću i njegovoj okolini (Progon, Bukovac, Taraiš i Vranjski potok, Jazine) izbušeno je nekoliko istražno-eksploatacionih bunara u periodu od 1971. godine do 1992. godine. Na litološkom profilu bunara B-1 (dubina 240 m), u Vraniću, sarmatski krečnjaci konstatovani su u intervalu od 152 m do 200 m u smeni sa laporcima i glinama. Povlata je predstavljena paketom glina, laporaca i peskova debljine 150. m. Podina je predstavljena glinama i laporovitim glinama.

Na litološkom profilu bunara B-2a/91 u intervalu od 112 m do 163 m konstatovani su laporoviti, kavernozni i kompaktni krečnjaci sarmata. Podina je predstavljena glinama, a povlata glinama i laporcima panonske starosti.

U Barajevu izradom bunara IBB-7/85 do dubine od 60 m skoro duž celog profila konstatovani su krečnjaci. Podina je predstavljena glinama sa sočivima peska u intervalu od 56 m do 60. Krečnjaci sarmata konstatovani su i duž celog litološkog profila na lokaciji bušotine B-1 (dubina bušotine je 93 m) u Barajevu. U intervalu od 13 m do 80 m smenjuju se krečnjaci i krečnjačka drobina. Podina je predstavljena peskovitim glinama (Bogdanović, 2010).

Izradom bunara IBB-6/85 u Boždarevcu na dubini od 136 m konstatovani su laporoviti krečnjaci sarmatske starosti sa proslojcima laporaca. Debljina serije krečnjaka i laporaca je oko 50.

Krečnjaci sarmatske starosti na području Šiljakovac konstatovani su u intervalu od 118 m do 180 m (bunar je završen u krečnjacima). Krečnjaci se smenjuju sa glinovitim proslojcima, prosečne debljine oko 5 m. Povlata krečnjaka predstavljena je debelim paketom panonskih glina (118 m).

Na teritoriji Lisovića, krečnjaci su konstatovani od površine terena do dubine od 50. U intervalu od 50 m do 114 m nalaze se prašinski peskovi, gline i peskovite gline.

Na području Slatine izradom istražne bušotine dubine 112 m krečnjaci su konstatovani u sledećim intervalima, od 20 m do 39 m, od 51 m do 69 m i od 86 m do 112 m u smeni sa peskovima.

U Maniću krečnjaci su konstatovani u intervalu od 20 m do 31 m, zatim od 35 m do 40 m i od 54 m do 71 m. Dubina bunara IBM-56/85 iznosi 106 m. U intervalu od 71 m do 106 m konstatovane su gline, peskovite gline i peskovi.

Na području Arnajeva u intervalu od 98 m do 104 m i od 107 m do 114 m konstatovani su peskoviti krečnjaci. U intervalu od 140 m do 170 m nabušeni su glinoviti krečnjaci. Bunar IEBA/1-95 završen je u glinovitim sedimentima na dubini od 186 m.

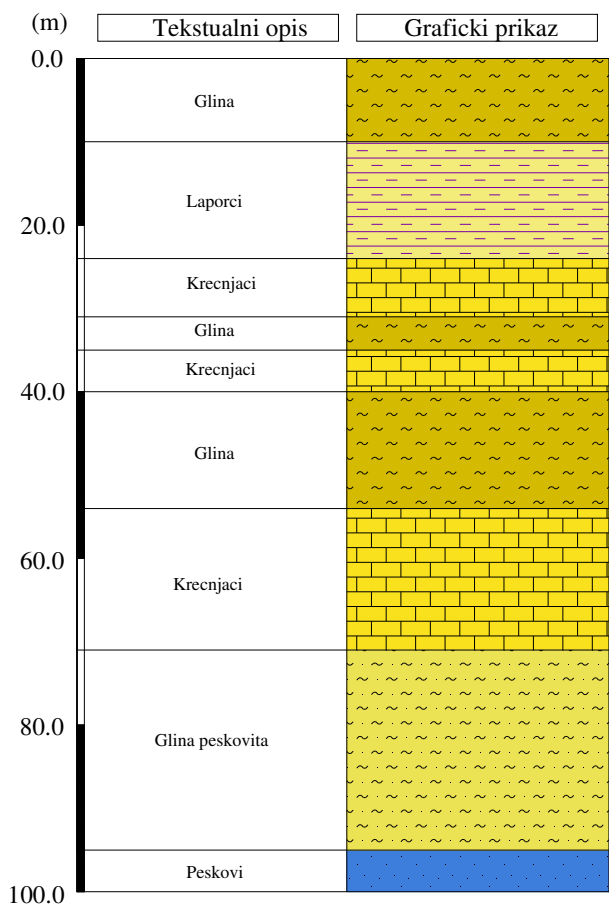
U Babama izradom bunara IEB-1/97 krečnjaci su konstatovani samo od 12 m do 24 m. Od 24 m do 126 m smenjuju se vodonosni slojevi peska sa glinama i peskovitim glinama.

Prosečna debljina krečnjaka na području hidrogeološkog rejona IX prikazana je u tabeli 68.

Na slici 146 prikazan je litološki profil terena karakterističan za područje Brajeva i šire okoline.

Tabela 68. Debljina krečnjaka sarmatske starosti na području Sremčica-Barajevo

| Bunar | Lokacija | Litologija | Debljina karstne izdani (m) |
|---|------------|------------|-----------------------------|
| B ₁ B ₂ A/90, IBB-6/90 i B ₄ | Vranić | krečnjak | 50 |
| IBB-1/85 | Barajevo | krečnjak | 20 |
| IBB-6/85 | Boždarevac | krečnjak | 64 |
| IBL-1/90 | Lisović | krečnjak | 36 |
| IBS-1 | Slatina | krečnjak | 50 |
| IBM-5 | Manić | krečnjak | 34 |
| IEBA/1-95 | Arnajevo | krečnjak | 44 |
| B-1 | Šiljakovac | krečnjak | 40 |
| B-1 | Barajevo | krečnjak | 45 |
| PROSEČNA DEBLJINA KREČNJAKA ≈45 m | | | |



Slika 146. Karakterističan litološki profil Barajeva i šire okoline (modifikovano, bunar IBM-56/85 u Maniću)

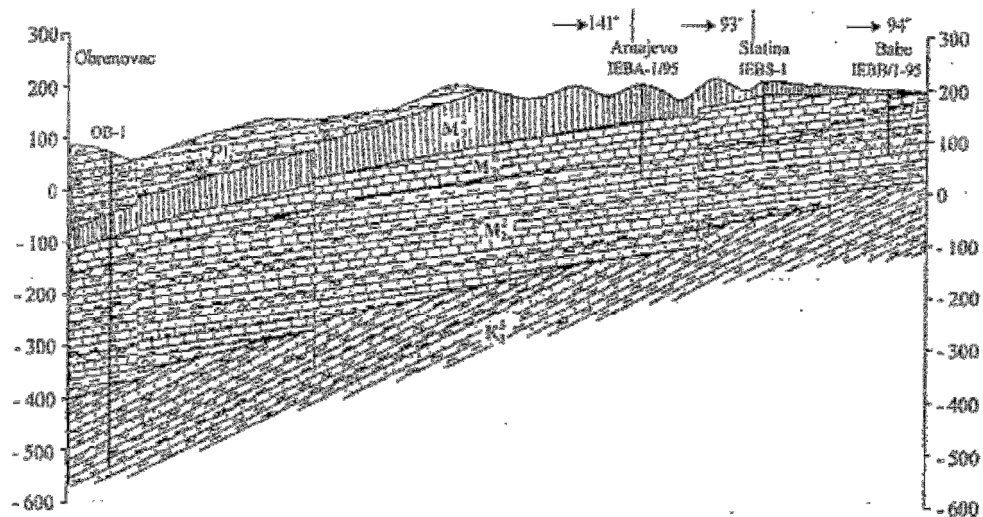
Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Prihranjivanje karstnog tipa izdani odvija se:

- infiltracijom padavina
- infiltracijom površinskih tokova

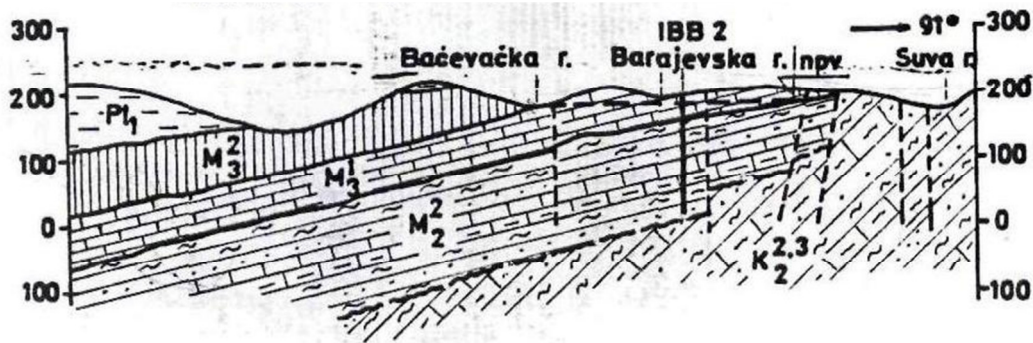
Na istočnom delu hidrogeološkog rejonu IX, na potezu od Sremčice, preko Guncata, Barajeva, ka Slatini i Dučini, odvija se direktna infiltracija padavina u izdan. Veličini infiltracije atmosferskih voda doprinosi i tip merokarsta, odnosno razvijeni površinski karstni oblici poput vrtača i uvala. Na ovom delu terena se prosečno godišnje izluči između 570 i 1100 mm padavina (Filipović B., Lazić M., 1983).

U zapadnom i jugozapadnom delu rejonu infiltracija se odvija otežano, pre svega zbog debelih glinovitih naslaga panonske i pliocenske starosti (slika 147). Upravo zbog takvih litostratigrafskih odnosa formirana je poluzatvorena hidrogeološka struktura u sarmatskim krečnjacima, čije se prihranjivanje odvija na delu terena gde krečnjaci izbijaju na površinu terena.



Slika 147. Hidrogeološki profil od Sopota, preko Slatine i Arnajeva do Obrenovca (Lazić M., i dr., 1996)

Drugi vid prihranjivanja podzemnih voda karstne izdani jeste infiltracijom površinskih stalnih i povremenih tokova. Teren je ispresecan brojnim tokovima koji se formiraju na višim delovima terena u susjednom hidrogeološkom rejonu (Šumadijska mezozojska greda). Bačevačka i Barajevska reka svoje tokove formiraju na krednim sedimentima, karakterističnim po slaboj vodopropusnoj moći. Središnji tokovi pomenutih reka svoje korito su usekli u krečnjake, te se odvija direktna infiltracija voda u karstnu izdan (slika 148).



Slika 148. Šematski hidrogeološki profil preko Bačevačke i Barajevske reke (Filipović B., Lazić M., 1983, prema P. Stevanoviću, 1954)

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Dreniranje karstne izdani vrši se preko izvora i bunara. U periodima visokih nivoa izdanskih voda, pražnjenje izdani odvija se i u aluvijalne sedimente. Jedan deo izdani prazni se preko podzemnog oticaja u delu zapadno od Bačevačke reke (Filipović B., i dr., 1998).

U tabeli 69 prikazane su izdašnosti analiziranih bunara u okviru karstnog tipa izdani na području istočno od Šumadijske mezozojske grede. U tabeli 70 prikazane su minimalne i maksimalne izdašnosti analiziranih karstnih izvora na području Sremčica-Barajevo.

Tabela 69. Izdašnosti bunara u okviru karstne izdani na području Sremčica-Barajevo
(Filipović B., i dr., 1983)

| Bunar | Izdašnost (l/s) | Depresija (m) |
|--|--------------------|------------------|
| karstni tip izdani sa slobodnim nivoom | | |
| B ₁ / Guncate | 13.0 | 18.75 |
| B ₂ / Guncate | 10.0 | 6.51 |
| B ₃ / Guncate | 7.0 | 23.85 |
| B ₄ / Guncate | 3.5 | 30.00 |
| IBB-6/ Boždarevac | 11.0 | 23.90 |
| IBB-7/85/ Barajevo | 7.3 | 30.85 |
| IBB-2/90/ Barajevo | 7.0 | 24.80 |
| IBM-5/ Manić | 14.0 | 22.30 |
| IBL ₁ /90/ Lisović | 3.0 | 49.00 |
| B-2/ Šiljakovac | 4.0 | 80.00 |
| IBB-1/ Beljina | 12.0 | 50.00 |
| IBA-1/95/ Arnajevo | 2.5 | 86.00 |
| IBS-1/ Slatina | 12.0 | 19.00 |
| karstni tip izdani sa nivoom pod pritiskom | | |
| B ₁ / Vranić | 6.0 | 20.52 |
| B ₂ A/90/ Vranić- Bukovac | 5.0 | 22.50 |
| IBB-6/90/ Vranić | 3.5 | 19.50 |
| B ₄ / Vranić-Jazine | 4.3 | 18.30 |
| SREDNJA VREDNOST IZDAŠNOSTI BUNARA ≈7.0 l/s | | |

Tabela 70. Minimalne i maksimalne izdašnosti karstnih izvora na području
Sremčica-Barajevo (Filipović B., i dr., 1983)

| Vreo/Lokalitet | Min. izdašnost (l/s)* | Max. izdašnost (l/s)* |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Točak/ Bačevac | 2.0 | 5.0 |
| Trojan/ Bagrdan | 8.0 | 10.0 |
| Zamnik/ Guncate | 1.2 | 2.0 |
| Babin Vir/ Guncate | 0.5 | 0.7 |
| Vrela/ Guncate | 2.5 | 4.0 |
| Sunčulica/ Guncate | 0.6 | 1.0 |
| Vrela/ Guncate | 0.8 | 1.2 |
| Jasen/ Guncate | 3.0 | 3.5 |
| V. Jazovik/ Lisović | 2.0 | 2.5 |
| V. Bezdani/ Guberevac | 5.5 | 10.0 |
| M. Bezdani/ Guberevac | 1.5 | 3.5 |
| SREDNJA VREDNOST IZDAŠNOSTI IZVORA ≈3.0 l/s | | |

*prikazane izdašnosti merene su u periodu 1982-1983. godina

U okolini Barajeva ukupna procenjena izdašnost karstnih izvora je oko 50 l/s (Filipović B., i dr., 1998)



Slika 149. Kaptirani izvor “Vrela” u Guncatima (foto: A. Vranješ, jun 2010)

11.9.2. Hidrohemijske karakteristike reiona IX

Na području Sremčica-Barajevo u okviru karstnog tipa izdani formirane su obične, malomineralizovane vode i termomineralne vode.

Hemijske odlike malomineralizovanih podzemnih voda karstnog tipa izdani

Mineralizacija se kreće u granicama od 330 mg/l do 674 mg/l, pH vrednost od 7.4 do 8, tvrdoća od 9.10 °dH do 30.80 °dH. Temperatura podzemnih voda merena na izvorima kreće se u opsegu od 12°C do 14.5°C. U tabeli 71 hemizam podzemnih voda prikazan je formulom Kurlova.

Tabela 71. Hemijski sastav podzemnih voda na području Sremčica-Barajevo

| Izvor/bunar | Formula Kurlova |
|----------------|---|
| Izvor Trojan | $M_{0.43}CO_{0.02}^2 \frac{HCO_{38}^3Cl_7SO_5^4}{Ca_{68}Mg_{22}Na+K_{10}}$ T=13°C |
| Vrelo Guncati | $M_{0.46}CO_{0.02}^2 \frac{HCO_{82}^3Cl_8SO_5^4}{Ca_{60}Mg_{30}Na+K_{10}}$ T=14.5°C |
| Izvor Jasen | $M_{0.39}CO_{0.01}^2 \frac{HCO_{92}^3}{Ca_{73}Mg_{22}Na+K_5}$ T=12.7°C |
| Bunar V. Borak | $M_{0.49}CO_{0.02}^2 \frac{HCO_{73}^3Cl_{11}SO_{11}^4}{Mg_{51}Ca_{46}}$ |

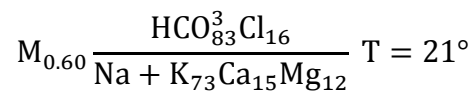
Hemijske odlike termomineralnih voda karstnog tipa izdani

Na lokalitetu Vranića, Gunacata i Barajevo, u okviru karstnog tipa izdani konstaovane su podzemne vode povišene tempearture i karakterističnog hemijskog sastava, koji odstupa od hemizma karstnih voda. Temperatura podzemnih voda kreće se u opsegu od 18.0°C do 25.5°C. Tvrdoća se kreće od 0.70°dH do 2.30°dH, a mineralizacija od 530 mg/l do 740 mg/l.

Na bušotini B-4 u Vraniću konstatovane su povišene vrednosti H₂S i pH. Prisustvo gasa H₂S je "posledica uticaja dubokih struktura, odnosno paleoreljefa" (Filipović B., Stevanović Z., 1987).

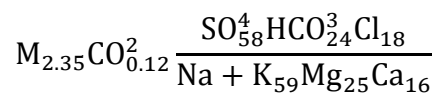
Posmatrano šire, naslage tortonske i sarmatske starosti predstavljaju jedinstvenu izdan u kojoj se formiraju termomineralne vode. Glavni putevi cirkulacije termomineralnih podzemnih voda su peskoviti slojevi tortonske starosti. "Mešanjem ovih sa hladnim izdanskim vodama iz sarmatskih sedimenata stvara se karakterističan tip termomineralnih voda, koje se jugoistočno od Obrenovca, u zoni Guncata odlikuju manjim temperaturama (18°C) i mineralizacijom od oko 0.6-0.7 g/l, velikim izdašnostima sa pozitivnim pijezometarskim nivoom. Upravo pravac nagiba neogene serije, od istoka ka zapadu predisponirao je pravce kretanja termomineralnih voda, a tonjenjem cele strukture stvoreni su uslovi za njihovo formiranje" (Filipović B., Stevanović Z., 1987).

Hemizam voda iz bunara IBB-2 u Barajevu predstavljen je formulom Kurlova:



U severnom delu rejona, na lokaciji M. Moštanice konstatovane su podzemne vode povišene mineralizacije i hemijskog sastava koji odstupa od ostalih analiza (Milojević, i dr., 1975).

Mineralne vode pripadaju sulfatnoj klasi, natrijumskoj grupi i II tipu, dok ostale pojave pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, natrijumskoj grupi i I tipu. Hemizam voda u M. Moštanici predstavljen je formulom Kurlova:



11.10. HIDROGEOLOŠKI REJON X–PODRUČJE MLADENOVAC-GROCKA

Područje Mladenovac-Grocka prostire se od Rabrovca, Jagnjila, Međulužja (okolina Mladenovca) na jugu do Dunava i njegove desne protoke Zavojničke reke na severu. Istočna granica rejona je ujedno i istočna administrativna granica opština Mladenovac i Grocka, dok je zapadna granica predstavljena flišnim sedimentima mezozojske grede.

U središnjem delu rejona svoje korito je formirala reka Ralja, u južnom reka Lug, dok na severu (istočne padine Avale) protiče Zavojnička reka. U dolini Zavojničke reke izradom istražnih bušotina otkrivene su pojave termalnih voda, temperature od 17.6 °C do 24.4 °C (Milivojević, 1982). Dosadašnjim istraživanjima zabeleženo je još nekoliko pojava termomineralnih voda: Leštani, Boleč, Ritopek, Grocka (Milivojević, 2004).

Teritorija rejona X ne spada u gusto naseljene terene, pretežno je seoskog tipa izuzev na jugu rejona, gde je lociran Mladenovac.

Istočno od flišnih krednih naslaga mezozojske grede, sve do desnih obala Dunava i dalje na istok do rečnih sedimenata V. Morave, teren izgrađuju sedimenti neogena. Tok reke Ralje, predisponiran rasedom, deli teritoriju hidrogeološkog rejona X na severnu i južnu.

Granice severnog dela dosežu do Kaluđerice obuhvativši gornji tok Zavojničke reke. Tok Zavojničke reke vođen masom serpentinita, na mestu ulivanja Bučvarskog potoka naglo menja pravac toka sever–jug na zapad–istok do ulivanja u Dunav. Na južnom delu terena dominira tok reke Lug, čije se izvorišni delovi nalaze na jugo-istočnim padinama flišne grede.

Najmlađi sedimenti predstavljeni su aluvijalnim naslagama pomenutih reka, a na terenu dominiraju sedimenti gornjeg miocena, sarmata i panona. Sarmatski sedimenti se javljaju u faciji peskova i glina, kao i mlađi panonski. Sarmat se javlja i u faciji krečnjaka na istoku rejona X, uz kredne sedimente.

Hidrogeološke karakteristike ovog dela terena sagledane su na osnovu izvedenih bušenja, uglavnom za potrebe vodosnabdevanja sela i većih naseljenih mesta, poput Mladenovaca i Grocke.

Na području Mladenovac-Grocka vršena su namenska geotermalna istraživanja. U Grockoj je izbušena duboka bušotina, 1.400 m. Takođe, čitav niz bušotina izveden je u dolini Zavojničke reke (10 istražnih bušotina) u kojima su otkrivene paleohidrogeotermalne pojave (Milivojević, 1982). Duboke bušotine izvedene su i na jugu rejona, na delu teritorije Banje Selters (1150 m) i na delu Banje Koraćice (1800 m).

Hidrogeološki rejon X, podeljen je na Mladenovački podrejon Xa i Gročanski podrejon-Xb, obzirom da površina celog rejona iznosi oko 800 km².

Na teritoriji podrejona Xa izdvojeni su sledeći tipovi izdani:

1) u planu

- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

2) u profilu

- Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Na teritoriji podrejona Xb izdvojeni su sledeći tipovi izdani:

1) u planu

- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

2) u profilu

- Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Na osnovu hidrodinamičkih karakteristika izdani, u okviru naslaga miocenske starosti formirana izdan pod pritiskom.

Analizirani bunari i pijeometri na području Maldenovac-Grocka prikazani su na položajnoj karti (slika 150), koju prati tabela 72.

Tabela 72. Analizirani bunari i pijezometri na području Mladenovac-Grocka (rejon X)

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodnosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|------------------------------------|----------------------------------|---------------|---|------------|--------------------|
| Mladenovački podrejon | | | | | | |
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 1. | V. Ivanča | IEBV-1/96 | 110 | 78.00-84.00 90.00-101.00 | pesak | iz Abramović, 1998 |
| 2. | Mladenovac | BKL-3/99 | 150 | 84.00-88.00 98.00-101.00 108.00-111.00 140.00-144.00 | pesak | Dragišić, 2004 |
| 3. | Mladenovac | BKL-4/03 | 300 | 163.10-185.60 202.30-210.40 | pesak | Dragišić, 2004 |
| 4. | “Mladenovac” Mladenovac | BSU-7M | 46 | 19.00-23.00 26.00-36.00 38.00-42.00 | pesak | iz Pešić, 1997 |
| 5. | “Mladenovac” Mladenovac | BSU-2M | 39 | 28.00-34.00 | pesak | iz Pešić, 1997 |
| 6. | “Rajkovac” Mladenovac | BSU-3R | 38 | 13.00-17.00 26.00-34.00 | pesak | iz Pešić, 1997 |
| 7. | “Rajkovac” Mladenovac | BA-1R | 168 | 116.00-124.00 133.00-137.00 149.00-159.00 | pesak | iz Pešić, 1997 |
| 8. | “Kovačevac” Mladenovac | BA-2K | 123.50 | 52.50-66.50 110.50-120.50 | pesak | iz Pešić, 1997 |
| 9. | “Kovačevac” Mladenovac | BK-3/1 | 154 | 106.00-112.00 130.00-148.00 | pesak | iz Pešić, 1997 |
| 10. | “Granice” Mladenovac | G-2 | 102 | 70.00-80.00 93.00-97.00 | pesak | iz Pešić, 1997 |
| 11. | “Koračićka banja” Mladenovac | B-1KR | 114 | 53.00-56.00 99.50-107.60 | pesak | iz Pešić, 1997 |
| 12. | “Serava” Mladenovac | BSU-8M | 41 | 21.00-25.00 27.00-33.00 | pesak | iz Pešić, 1997 |
| 13. | “Kokorin” Mladenovac | BnV-14 | 98 | 48.00-60.00 91.00-95.00 | pesak | iz Pešić, 1997 |
| 14. | “Kokorin” Mladenovac | BNV-14/2 | 105 | 47.50-59.50 92.50-98.50 | pesak | iz Pešić, 1997 |
| 15. | “Selters banja” Mladenovac | BnS-1Kl | 70 | 35.00-41.50 47.50-59.50 | pesak | iz Pešić, 1997 |

... nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|--|----------------------------------|---------------|---|-----------------|----------------------------------|
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 16. | “Brestovica” Mladenovac | BnB-1 | 140 | 76.00-82.00 93.00-105.00 128.00-134.00 | pesak | iz Pešić, 1997 |
| 17. | “Brestovica” Mladenovac | BnB-9 | 34 | 20.00-32.00 | pesak | iz Pešić, 1997 |
| 18. | “Brestovica” Mladenovac | BnB-9.2 | 174 | 106.60-112.60 119.00-127.00 162.00-168.00 | pesak | iz Pešić, 1997 |
| 19. | M. Požarevac | B-1 | 140 | 105.00-115.00 128.00-139.00 | peščar pesak | Dokmanović, 1997 |
| Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 20. | Popović | B-1/100 Jaki izvor | 48 | 12.00-40.00 | krečnjak | iz fonda JKP "Sopot", 1996 |
| 21. | Lug, Bulin potok | SM-14 | 108.40 | 29.00-49.00 75.60-81.00 86.00-89.00 | krečnjak | iz fonda JKP "Sopot", 1996 |
| 22. | Lug, Bulin potok 7468 450 4933 030 184 m | SM-15 | 51 | 30.3-46 | krečnjak | iz fonda JKP "Sopot", 1996 |
| 23. | Lug, Bulin potok 7469 525 4937 800 | SM-12 | 71.5 | 49.5-71.5 | krečnjak | iz fonda JKP "Sopot", 1996 |
| 24. | Đurinci | DB-1 Most | 150 | 44.00-64.00 85.00-104.00 | krečnjak | iz fonda JKP "Sopot", 1996 |
| 25. | Đurinci 7468 295 4931 420 163 m | S-5/82 Reka | 51 | 13.00-19.00 25.00-43.00 | krečnjak | iz fonda JKP "Sopot", 1996 |
| 26. | Ropočevo | S-17/82 Drena | 65 | 20.00-60.00 | krečnjak | iz fonda JKP "Sopot", 1996 |
| 27. | Đurinci 7469 677 4930 793 154 m | BSM-5 Rampa | 125 | 67.00-84.00 110-118.00 | krečnjak | iz fonda JKP "Sopot", 1996 |
| 28. | Đurinci 7470 215 4930 072 151 m | BSM-6 Polje | 164 | 106.00-122.00 148.00-158.00 | krečnjak | iz fonda JKP "Sopot", 1996 |

... nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|--|----------------------------------|---------------|--|------------------------|--------------------------|
| 29. | Sopot | IEB-S-18/81 | 65 | 20.00-60.00 | krečnjak | iz Maied El.A., 1992 |
| 29. | Banja Selters 7475 580 4920 439 167 m | MB-1 | 807 | 252.00- 390.00 777.00- 816.00 | krečnjaki peščar | iz Milenić, 2007 |
| 30. | Banja Selters 7475 531 4920 516 166 m | MB-2 | 1150 | 803.00- 1150.00 | laporoviti krečnjak | iz Milenić, 2007 |
| 31. | Banja Selters 7475 509 4920 461 162 m | B-2 | 300 | 280.00- 300.00 | krečnjak | iz Milenić, 2007 |
| Gročanski podrejon | | | | | | |
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti | | | | | | |
| 32. | Grocka ušće Begaljičke reke u Gročansku | B-1 | 25.30 | / | / | Milojević i dr., 1975 |
| 33. | Gročanska ada | S-1 | 20 | / | / | Milojević i dr., 1975 |
| 34. | Gročanska ada | S-3 | 13 | / | / | Milojević i dr., 1975 |
| 35. | Gročanska ada | S-4 | 12.30 | / | / | Milojević i dr., 1975 |
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 36. | Leštane Geosonda | L-1 | 280 | 136.00- 144.00 | pesak | Dokmanović P., 1997 |
| 37. | Boleč PK "Beograd" 7477 200 4947 550 95 m | B-1 | 180 | 165.00- 180.00 | pesak | Dokmanović P., 1997 |
| 38. | Boleč 7468 408 4954 791 85 m | IEB-1 | 203 | 128.00- 138.00 180.00- 182.00 | pesak | Bogdanović J., 2010 |
| 39. | Vinča "Nuklearni institut" | B-1 | 120 | 68.00-88.00 | pesak | ? |

... nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|--|----------------------------------|---------------|--|-----------------|-------------------|
| Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 40. | Ritopek | B-1 | 121 | 113.8-118.4 | pesak | Dokmanović, 1997 |
| 41. | Vrčin | BV-1 | 100 | 11.00-15.00 19.20-23.00 27.20-30.40 43.70-70.00 | pesak | Simić i dr., 1982 |
| 42. | Begaljica kod Grocke | P-8 | 102 | 48.00-58.00 | pesak | Komatina M., 1976 |
| 43. | Grocka | P-3 | 210 | 180.00- 210.00 | pesak | / |
| 44. | Grocka "Reka" | EV-1 | 95 | 66.00-73.00 75.00-93.00 | pesak | / |
| 45. | "Begaljička reka" | BR-2 | 144 | 110.00- 138.00 | pesak | / |
| 46. | "Zaklopača" 7475 750 4947 000 100 | EBZ-4 | 67 | 26.00-52.00 | pesak | / |
| 47. | Grocka plantaža vošnjaka | B-1 | 143 | 65.00-95.00 110.00- 135.00 | pesak | Dokmanović, 1997 |
| 48. | Bubanj potok asfaltna baza | B-1 | 125 | 55.00-70.00 118.00- 120.00 | pesak peščar | Bogdanović, 2004 |
| 49. | Ritopek | B-1 | 140 | 66.30-73.70 90.20-98.50 | peščar | Bogdanović, 2008 |
| 50. | Ritopek Livadice | B-1 | 154 | 129.00- 130.00 144.40- 147.80 | peščar | Bogdanović, 2011 |
| 51. | Grocka Gavranski potok | IEBG-1 | | 23.80-36.70 117.00- 142.00 | pesak | Dokmanović, 1997 |
| 52. | Grocka | IEBG-2 | 78 | 22.80-24.90 53.30-69.80 | pesak | Dokmanović, 1997 |

... nastavak tabele

| Rb. | Lokacija/ koordinata | Oznaka bunara /pijezometra | Dubina (m) | Vodonosni sloj (m) | Litologija | Lit. izvor |
|--|---|----------------------------------|---------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| 53. | Umčari 7481 450 4936 900 119 m | P-3 | 150 | 87.40-118.80 | pesak | ? |
| Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti | | | | | | |
| 54. | Pinosava | B-1 | 80 | 4.00-80.00 | peskoviti krečnjaci krečnjak | Dokmanović, 1997 |
| 55. | Leštane | EBL-1 | / | / | krečnjak | Dokmanović, 1997 |
| 56. | Leštane | EBL-2 | / | / | krečnjak | Dokmanović, 1997 |
| 57. | Radmilovac | IEBR-1/200 | 114 | 72.00-80.00 100.00- 108.00 | pesak krečnjak | / |
| 58. | Radmilovac | IB-1 | 145 | 114.00-124.5 | krečnjak | Bogdanović, 2008 |
| 59. | Radmilovac Polj. fak. | IB-1 | 137 | 17.70-22.10 117.00- 132.00 | pesak kečnjak | Bogdanović, 2008 |
| 60. | Vrčin | BV-4 | 65 | 50.00-62.00 | krečnjak | Dokmanović, 1997 |
| 61. | Zavojnička reka | EBVL-1 | 160 | 100.00- 110.00 | krečnjak | Milivojević, 1982 |
| 62. | Zavojnička reka | VL-3a | 80 | 65.00-70.00 | krečnjak | Milivojević, 1982 |
| 63. | Zavojnička reka | EBVL-3 | 80 | 66.50-80.00 | krečnjak | Milivojević, 1982 |
| 64. | Zavojnička reka | IBVL-3 | 115 | 100.00- 110.00 | krečnjak | Milivojević, 1982 |
| 65. | Zavojnička reka | PVL-4 | 65 | 42.00-43.00 | krečnjak | Milivojević, 1982 |
| 66. | Grocka 7477 300 4947 000 | G-1 | 1400 | / | / | Dokmanović, 1997 |

11.10.1. Mladenovački podrejon

11.10.1.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Rasprostranjenje izdani

Zbijeni tip izdani u okviru peskova gornjomiocenske starosti dominira na istražnom terenu. Sedimenti panona, južno od reke Ralje konstatovani su u Sopotu, Nemenikućama, Ameriću, Mladenovcu i široj okolini, Đurincima. Severno od reke Ralje, takođe dominantno rasprostranjenje imaju sedimenti panona: okolina Grocke, Zaklopače, Vrčina, ali se javljaju i vodonosni peskoviti sedimenti sarmata: Vinča, Boleč, Ritopek.

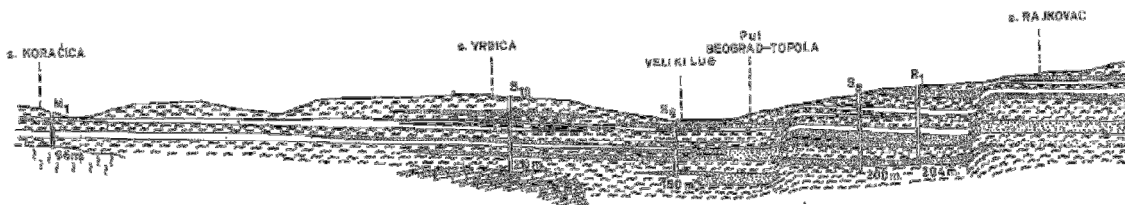
Za potrebe vodosnabdevanja Mladenovca i šire okoline izvršena su obimna hidrogeološka ispitivanja terena, sagledano je rasprostranjenje vodonosnih peskova miocena. Izvorište za vodosnabdevanje Mladenovca sastoji se iz nekoliko manjih izvorišta skoncentrisanih sa leve i desne strane reke V. Lug (iz Pešić, 1997):

- Izvorište Kokorin (9 bunara u eksploataciji*)
- Izvorište Rajkovac (3 bunara u eksploataciji)
- Izvorište Serava (3 bunara u eksploataciji)
- Izvorište Kovačevac (4 bunara u eksploataciji)
- Izvorište Brestovica (7 bunara u eksploataciji)
- Izvorište Mladenovac (2 bunara u eksploataciji)
- Izvorište Koraćička banja (1 bunar u eksploataciji)
- Izvorište Selters banja (1 bunar u eksploataciji)
- Izvorište “Klanica” (1 bunar u eksploataciji)
- Izvorište Granice (1 bunar u eksploataciji)

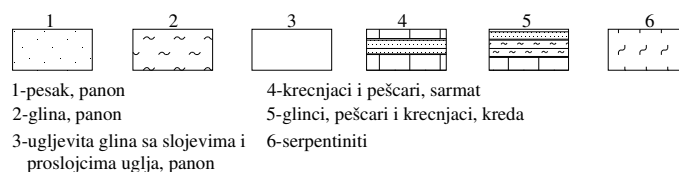
Bunari uglavnom kaptiraju podzemne vode formirane u okviru peskova panona, čije debljine u okolini Mladenovca dostiže i do 200 m.

* podaci se odnose na januar 1997. godine

Na geološkom profilu (slika 151) uočava se da na delu terena, u ataru sela Vrbica (severozapadno od Mladenovca) panonski sedimenti direktno naležu na kompleks glinaca, peščara i krečnjaka krede. Bušotina kojom su konstatovani kredni sedimenti završena je odmah po ulasku u iste, na 210 m.



Legenda:



Slika 151. Modifikovan geološki profil terena SZ od Mladenovca (Komatina, 1976)

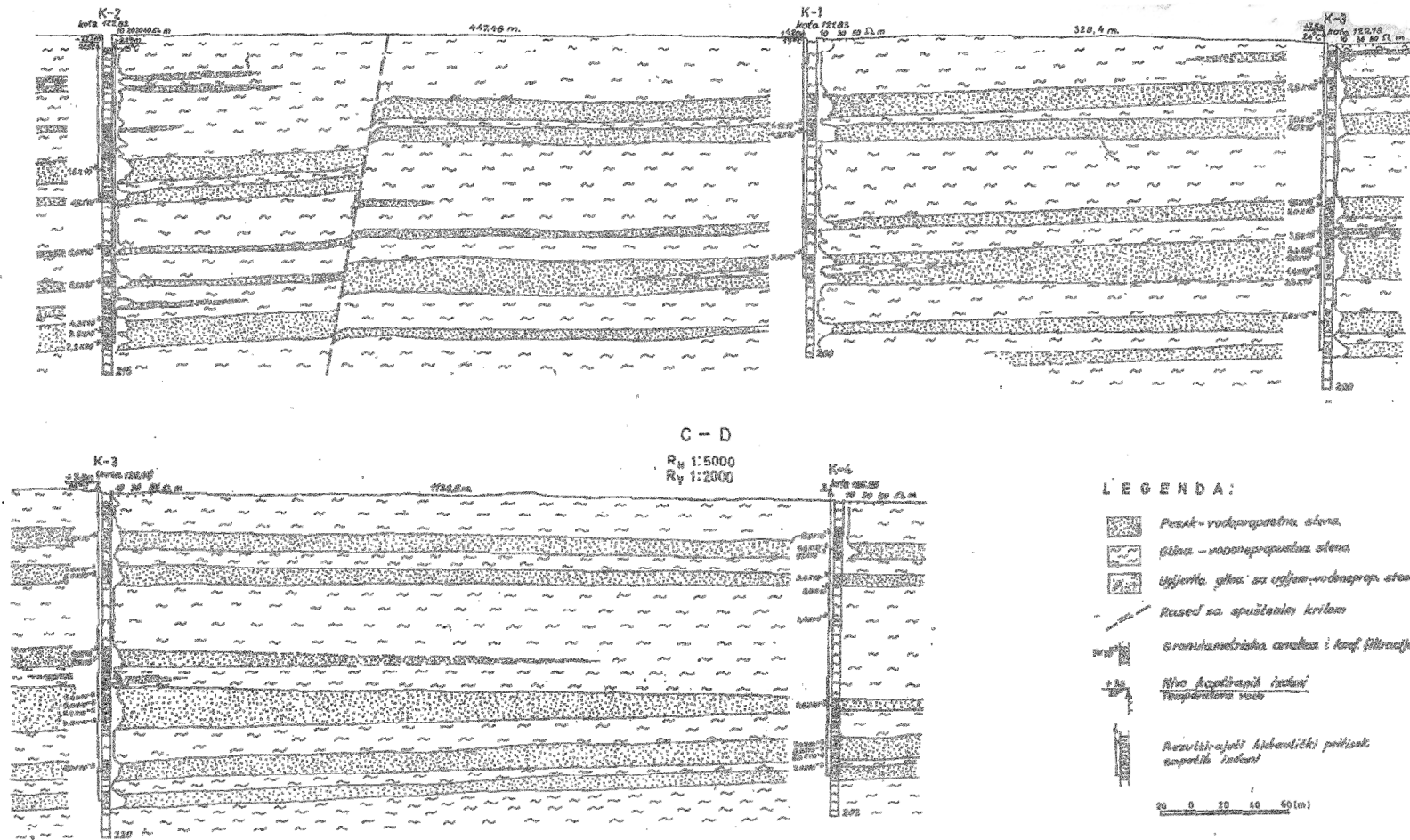
Na levoj obali reke V. Lug vodonosni slojevi predstavljeni su peskovima. Eksploatacioni bunar BA-1R, dubine 168 m kaptira tri vodonosna sloja u intervalu od 116 m do 124 m, zatim od 133 m do 137 m i od 149 m do 159 m. Bunar BA-1R lociran je u zoni izvorišta "Rajkovac", koje vroi sedam bunara. Dubina najplićeg bunara (BSU-7R) iznosi 27 m, a najdubljeg (EBR-1/96) 204 m (iz Pešić s., 1997).

Istočno od Mladenovca, na udaljenju oko 4 km od grada formirano je izvorište "Brestovica". Pomenuto izvorište broji devet bunara. Ukupna dužina bunara je 987.5 m, a prosečna dubina bunara iznosi oko 110 m.

Bunar BnB-9 (dubina bunara 34 m) kaptira vodonosne peskove u intervalu od 20 m do 32 m, dok bunar BnB-9.2 (dubina bunara 170 m) kaptira peskove u intervalu od 106 m do 112 m, od 119 m do 127 m i od 162 m do 168 m.

Istočno od Mladenovca, na delu Kovačevca istražnim bušenjem konstatovana je smena glinovitih i peskovitih članova panona. Na profilu (slika 152) uočava se da je na četiri od pet bušotina pozitivan pijezometarski nivo.

Krećući se severno od Mladenovca ka reci Rajji, na lokaciji Umčara izbušen je pijezometar P-3 do dubine od 150 m. Peskoviti sedimenti konstatovani su u intervalu od 87 m do 99 m i od 105 m do 118 m (Komatina, 1976).



Slika 152. Hidrogeološki profili u rejonu Kovačevca (Komatina, 1976)

Prosečna debljina vodonosnih peskovitih slojeva na području Mladenovca i šire okoline prikazana je u tabeli 73.

Tabela 73. Debljine peskovitih slojeva panonske starosti na području Mladenovačkog podrežona

| Bunar/pijezometar | Lokacija | Litologija | Debljina peskovitih slojeva (m) |
|--|------------------------------------|------------|---------------------------------|
| BSU-7M | “Mladenovac” Mladenovac | pesak | 20. |
| BSU-2M | “Mladenovac” Mladenovac | pesak | 7.0 |
| BSU-3R | “Rajkovac” Mladenovac | pesak | 10.0 |
| BA-1R | “Rajkovac” Mladenovac | pesak | 24.0 |
| BA-2K | “Kovačevac” Mladenovac | pesak | 24.0 |
| BK-3/1 | “Kovačevac” Mladenovac | pesak | 25.0 |
| G-2 | “Granice” Mladenovac | pesak | 13.0 |
| B-1KR | “Koraćička banja” Mladenovac | pesak | 17.5 |
| BSU-8M | “Serava” Mladenovac | pesak | 10.0 |
| BnV-14 | “Kokorin” Mladenovac | pesak | 20.5 |
| BnV-14/2 | “Kokorin” Mladenovac | pesak | 22.0 |
| BnS-1K1 | “Selters banja” Mladenovac | pesak | 16.0 |
| BnB-1 | “Brestovica” Mladenovac | pesak | 24.0 |
| BnB-9 | “Brestovica” Mladenovac | pesak | 12.0 |
| BnB-9.2 | “Brestovica” Mladenovac | pesak | 34.0 |
| B-1 | M. Požarevac | pesak | 11.0 |
| IEBV-1/96 | V. Ivanča | pesak | 17.0 |
| BKL-3/99 | Mladenovac | pesak | 14.0 |
| BKL-1/03 | Mladenovac | pesak | 31.0 |
| PROSEČNA DEBLJINA PESKOVITIH SLOJEVA ≈ 30 m | | | |

Istražnim hidrogeološkim radovima na teritoriji Mladenovca u okviru panonskih sedimenata utvrđeno je 3-11 peskovitih slojeva.

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Zbijeni tip izdani u okviru peskova miocenske starosti prihranjuje se infiltracijom padavina. Prihranjivanje izdani odvija se otežano, zbog litološke građe terena, koju karakteriše česta smena glinovitih i peskovitih sedimenata. Povlata vodonosnih slojeva predstavljena glinama. Peskoviti slojevi, promenljive debljine, nisu kontinualni, često isklinjavaju, što svakako otežava prihranjivanje izdani. Na pojedinim delovima terena gde peskoviti kvartarni sedimenti leže preko peskova panona, deo podzemnih voda akumuliran u aluvijumu proceđuje se hraneći dublje izdani. Takođe, jedan deo voda formiran u krečnjacima infiltrira se u peskovite sedimente, na kontaktu dva tipa izdani.

U tabeli 74 prikazane su vrednosti hidrodinamičkih parametara peskovite sredine.

Tabela 74. Vrednosti hidrodinamičkih parametara na području Mladenovca

| Bunar | K (m/s) | T(m²/s) |
|--------------|-----------------------|---------------------------|
| BnSu-7m | 4.13×10^{-5} | 6.24×10^{-4} |
| BnSu-10m | 4.16×10^{-5} | 5×10^{-4} |
| BA-1R | 5.5×10^{-5} | 1.3×10^{-3} |
| BnSu-4R | 1.01×10^{-5} | 8.1×10^{-3} |
| G-2 | 2.14×10^{-5} | 4.29×10^{-4} |
| BnV-6 | 2.24×10^{-5} | $3.7-7.4 \times 10^{-4}$ |
| BK-3 | 1.42×10^{-4} | 3.41×10^{-3} |
| BA-2K | 1.28×10^{-4} | 2.18×10^{-3} |
| B-3 | 1.11×10^{-4} | 2.91×10^{-3} |

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Dreniranje izdani odvija se preko eksploatacionih bunara, uglavnom za potrebe vodosnabdevanja. Drugi način dreniranja izdani je i preko izvora, koji su na ovim delovima terena česti, ali male izdašnosti. Izdašnosti se kreću oko 0.1- 0.2 l/s (Milojević i dr., 1975).

U tabeli 75 prikazane su izdašnosti bunara na području Mladenovca.

Tabela 75. Izdašnosti bunara na području Mladenovca (iz Pešić S., 1997)

| Izvorište | Br. bunara u radu | Ukupna izdašnost (l/s) | Max. pojedinačna izdašnost (l/s) |
|---|--------------------------|-------------------------------|---|
| Kokorin | 9 | 24.50 | 5.0 |
| Rajkovac | 3 | 15.50 | 7.0 |
| Serava | 3 | 6.50 | 3.0 |
| Kovačevac | 4 | 7.0 | 4.50 |
| Brestovaica | 7 | 29.0 | 5.50 |
| Mladenovac | 2 | 1.50 | 1.0 |
| Korać. banja | 1 | 2.00 | 2.00 |
| Seslter's banja | 1 | 2.00 | 2.0 |
| “Klanica” | 1 | 4.00 | 4.00 |
| Granice | 1 | 2.00 | 2.00 |
| Bunari van mladenovačkog izvorišta | | | |
| IEBV-1/96 | | V. Ivanča | 5 l/s |
| BKL-4/03 | | Mladenovac | 4 l/s |
| SREDNJA VREDNOST IZDAŠNOSTI BUNARA ≈ 3.0 l/s | | | |

11.10.1.2. Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Rasprostranjenje izdani

Karstni tip izdani formiran je u okviru krečnjaka sarmatske starosti. Krečnjaci nemaju kontinualno rasprostranjenje i nalaze se u čestoj smeni sa peskovitim i glinovitim sedimentima.

Na površini terena krečnjaci su otkriveni na kontaktu sa krednim flišnim sedimentima, u zapadnom delu rejonu. Krećući se ka istoku krečnjačke mase isklinjavaju, te se sarmat javlja u faciji peskova.

Bunari koji su rađeni za potrebe vodosnabdevanja Sopotu i okoline, uglavnom kaptiraju krečnjake sarmata, a nalaze se u neposrednoj okolini flišnih sedimenata grede.

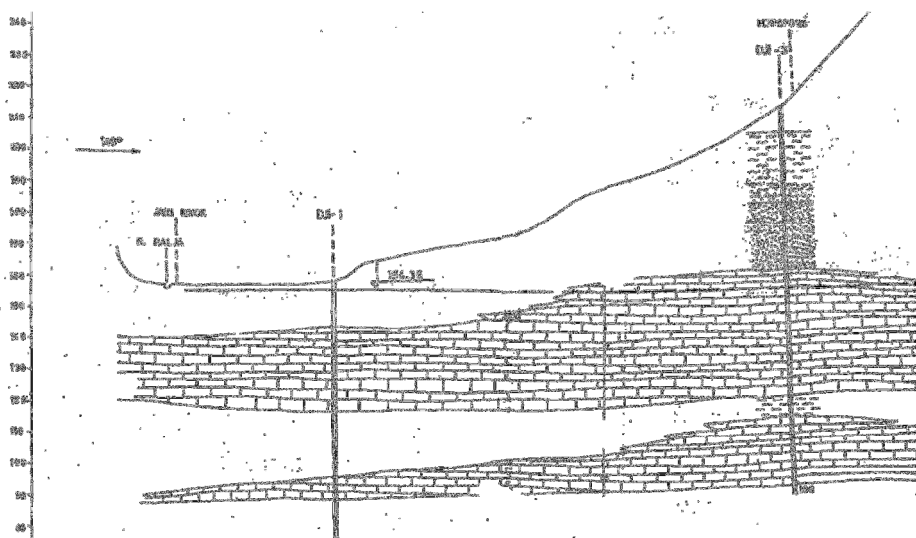
Na lokaciji bunara B-1 "Jaki izvor" u Ralji krečnjaci su konstatovani u intervalu od 13 m do 24 m i od 26 m do 40 m. Bunar je završen u krečnjacima. Povlata krečnjaka predstavljena je peskovitim glinama (iz fonda JKP "Sopot", 1996)

U Popovićima (bunar B-1/100) krečnjaci sarmata konstatovani su u intervalu od 11 m do 23 m i od 26 do 40 m. Podina krečnjaka predstavljena je laporovitim glinama, a povlata glinovitim i šljunkovitim sedimentima (iz fonda JKP "Sopot", 1996).

U Bulinom potoku (bunar SM-14) krečnjaci su konstatovani u dva intervala, od 29 m do 50 m, od 68 m do 95 m. Podina krečnjaka izgrađena je od glinaca sa proslajcima peščara, a povlata od glina, peskovitih glina i peskova (iz fonda JKP "Sopot", 1996).

U Đurincima, izradom bunara BSM-6 dubine 164 m, krečnjaci su konstatovani u intervalu od 105 m do 123 m. Povlata je predstavljena debelim paketom glina i zaglinjenih peskova. Podina je predstavljena glinama i vodonosnim peskovima u intervalu od 148 m do 158 m (iz fonda JKP "Sopot", 1996).

Na slici 153 prikazan je hidrogeološki profil terena od reke Ralje do M. Popovića.

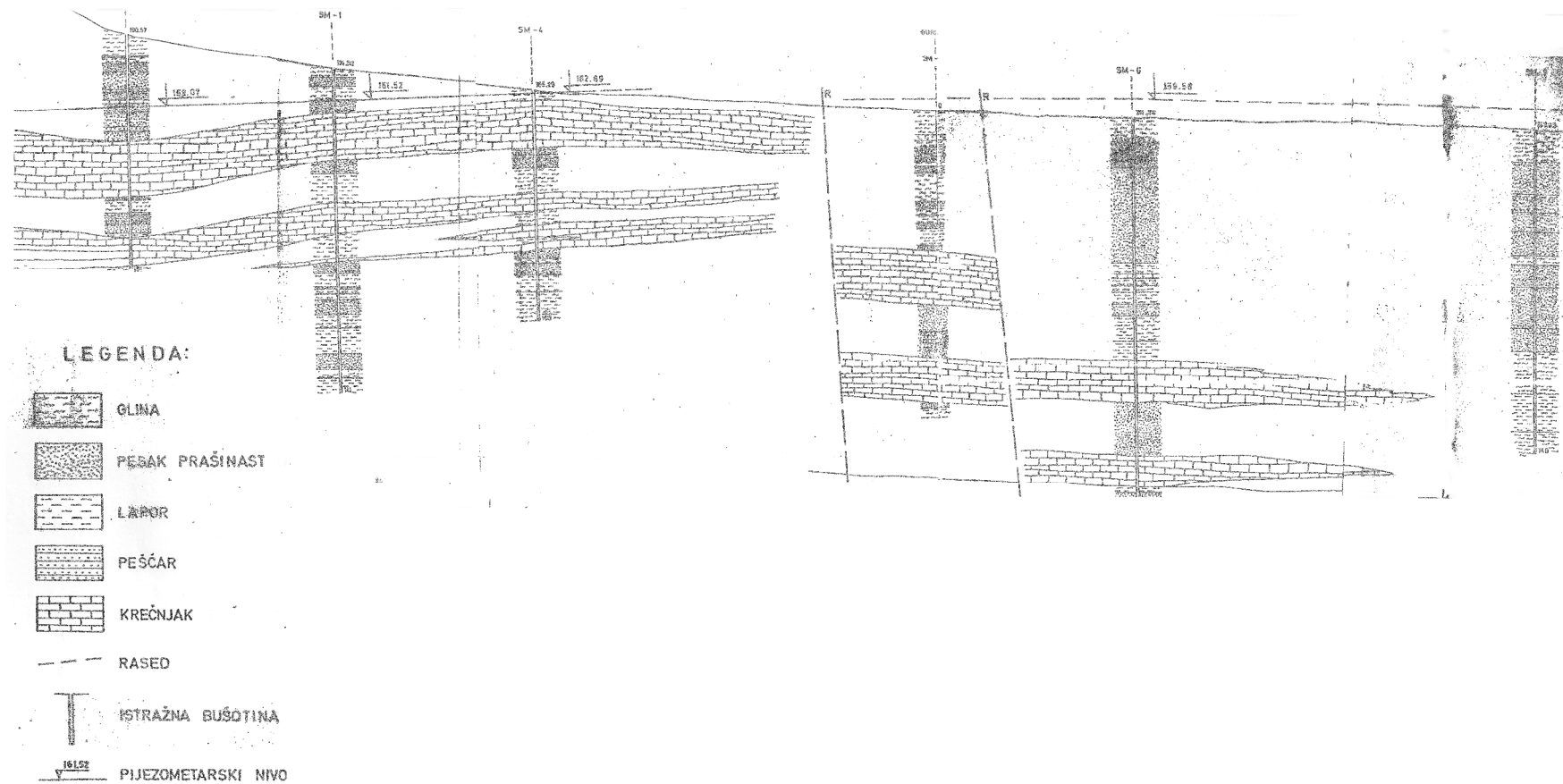


Slika 153. Hidrogeološki profil R. Ralja–M. Popović
(iz fonda JKP "Sopot", 1996)

Površina rasprostranjenja krečnjaka u zoni istočnog oboda Šumadijske mezozojske grede (Sopot-Ralja-Nemenikuće) iznosi oko 60 km². Krečnjaci isklinjavaju prema istoku.

Na području Mladenovca nabušen je samo panon (debljina i do 200). Krečnjaci "proviruju" na površini na delu terena oko Šepšina i Dubone (površina rasprostranjenja oko 14 km²).

Na slici 154 prikazan je hidrogeološki profil r. Ralja–Bulin Potok–Đurinci.



Slika 154. Hidrogeološki profil r. Ralja–Bulin Potok–Đurinci (iz fonda JKP "Sopot", 1996)

Prosečna debljina krečnjaka sarmatske starosti na području Mladenovačkog podrejana prikazana je u tabeli 76.

Tabela 76. Debljina krečnjaka sarmatske starosti na području Mladenovačkog podrejana

| Bunar | Lokacija | Litologija | Debljina krečnjaka (m) |
|---|---------------------|-------------------|-------------------------------|
| B-1 Jaki izvor | Ralja | krečnjak | 25 |
| B-1/100 Jaki izvor | Popović | krečnjak | 28 |
| SM-14 | Lug, Bulin potok | krečnjak | 28.4 |
| SM-15 | Lug, Bulin potok | krečnjak | 16 |
| SM-12 | Lug, Bulin potok | krečnjak | 22 |
| DB-1 | Đurinci | krečnjak | 39 |
| S-5/82 | Đurinci | krečnjak | 21 |
| S-17/82 | Ropočevo | krečnjak | 40 |
| BSM-5 | Đurinci | krečnjak | 25 |
| BSM-6 | Đurinci | krečnjak | 26 |
| IEB-S-18/81 | Sopot | krečnjak | 40 |
| PROSEČNA DEBLJINA KREČNJAKA ≈ 30 m | | | |

Na području Banje "Selters" izbušene su dve duboke bušotine. Dubina bušotine MB-1 iznosi 816 m, a dubina MB-2 1150 m. Na litološkom profilu bušotine MB-1 krečnjaci kredne starosti konstatovani su u intervalu od 252 m do 390 m i od 740 m do 816 m. Na bušotini MB-2 laporoviti krečnjaci kredne starosti konstatovani su u intervalu od 803 m do 1150 m. Bušotina je završena u krečnjacima.

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Karstni tip izdani u okviru sarmatskih krečnjaka prihranjuje se:

- infiltracijom padavina
- infiltracijom površinskih voda
- na kontaktu sa zbijenim tipom izdanu u okviru panonskih peskova

Povlatu sarmatskih krečnjaka čine glinoviti i peskovito-glinoviti sedimenti. Debljina povlatnih sedimenata na pojedinim delovima dostiže i do 100 m, što znatno otežava prihranjivanje karstne izdani.

Na delovima terena gde krečnjaci isklinjavaju na površinu terena (Ralja) prihranjivanje se odvija direktnom infiltracijom padavina.

U tabeli 77 prikazane su vrednosti hidrodinamičkih parametara karstnog tipa izdani.

Tabela 77. Vrednosti hidrodinamičkih parametara karstnog tipa izdani na području Mladenovačkog podrejonu (iz fonda JKP "Sopot", 1996)

| Bunar | K (m/s) | T(m ² /s) |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| SM-6/ Đurinci | 6.10×10^{-5} | 4.84×10^{-4} |
| SM-5/ Đurinci | 1.41×10^{-4} | 1.69×10^{-3} |
| SM-15/ Bulin potok | 9.2×10^{-5} | 1.41×10^{-4} |
| S-5/82/ Đurinci | 4.94×10^{-5} | 1.26×10^{-3} |

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Dreniranje karstnog tipa izdani odvija se peko eksploatacionih bunara. U tabeli 78 prikazane su izdašnosti bunara u okviru karstnog tipa na području Mladenovačkog podrejonu.

Tabela 78. Izdašnosti bunara u okviru karstnog tipa na području Mladenovačkog podrejonu (iz fonda JKP "Sopot", 1996)

| Bunar | Lokacija | Izdašnost (l/s) |
|---|-----------------|-----------------|
| Jaki izvor | Popovići | 7.50 |
| SM 14 | Lug Bulin Potok | 13.00 |
| SM 15 | Lug Bulin Potok | 8.00 |
| SM 12 | Lug Bulin Potok | 12.00 |
| DB-1 | Đurinci | 6.50 |
| S-5/82 | Đurinci | 13.00 |
| BSM-5 | Đurinci | 15.50 |
| BSM-6 | Đurinci | 15.50 |
| S-17/82 | Ropočevo | 6.00 |
| Jaki izvor | Ralja | 18.00 |
| IEB-S-18/81 | Sopot | 8.00 |
| SREDNJA VREDNOST IZDAŠNOSTI BUNARA \approx 11 l/s | | |

11.10.2. Gročanski podrejon

11.10.2.1. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti

Zbijeni tip izdani u okviru peskovito-šljunkovitih aluvijalnih naslaga ima ograničeno rasprostranjenje. Aluvijalne naslage formirane su u rečnim dolinama većih tokova, kao što je reka V. Lug, reka Ralja, Zavojnička reka, Bolečka reka, Gročanska reka. Na istočnoj strani Gročanskog podrejonu Dunav je svoje korito usekao u sedimente sarmatske i panonske starosti i nisu formirani aluvijalni sedimenti.

Debljina aluvijalnih sedimenata Bolečke reke, Gročanske, Vrčinske i reke Ralje se maksimalno iznosi oko 10 m, najčešće se kreće između 5-6 m.

Na litološkim profilima na delu Gročanske ade peskoviti slojevi konstatovani su od 3 m do 12 m (bušotina je završena u peskovitim laporima na 20 m dubine) i u intervalu od 5 m do 5 m (bušotina je završena u peskovitim laporima na 12 m dubine) (Milojević, 1975):

Izdan se prihranjuje infiltracijom padavina i infiltracijom površinskih voda, a drenira se preko kopanih bunara (dubine bunara se keću oko 8-10 m). Izdašnosti bunara na Gročanskoj adi nisu maksimalno iznose oko 5 l/s.

11.10.2.2. Zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Rasprostranjenje

Hidrogeološkim istraživanjima tokom 1974. godine otkrivena je tzv. "Vrčinska izdan" formirana u šljunkovito-peskovitim slojevima panonske starosti. Vodonosni slojevi panona su pod pritiskom. Izradom istražnih bušotina konstatovan je pozitivan pijezometrijski nivo od 4 m do 15 m iznad površine terena.

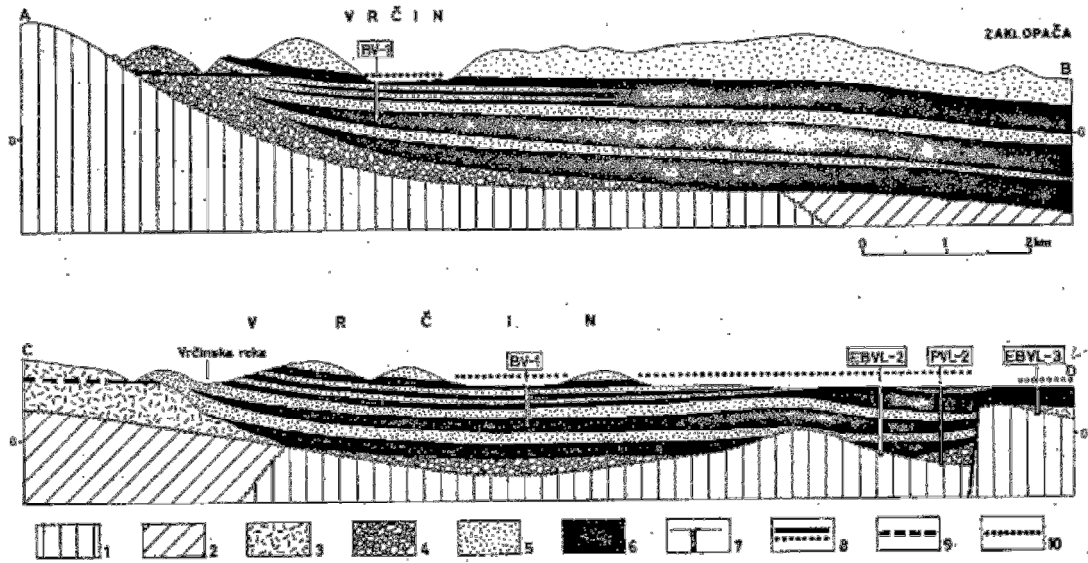
Izradom istražno-eksploatacionog bunara BV-1 do dubine od 100 m, utvrđena su IV vodonosna horizonta na sledećim dubinama (Simić i dr., 1982):

- od 11.00 m do 15.00 m
- od 19.20 m do 23.00 m
- od 27.20 m do 30.40 m
- od 43.70 m do 70.00 m

Izradom istražne bušotine nizvodno od bunara BV-1 (severno od Vrčina ka naselju Zuce, u dolini Zavojničke reke) nisu konstatovana prva tri vodonosna horizonta, već samo najdublji i to u intervalu od 79 m do 97 m.

Rasprostranjenje zbijenog tipa izdani zauzima površinu od oko 40 km². Pomenuti vodonosni slojevi isklinjavaju ka severu, krećući se od vrčinske reke ka zavojničkoj reci, i pretpostavljeno je da prva tri horizonta isklinjavaju na delu terena između Vrčina i Zuca, a najdublji vodonosni horizont maksimalno se prostire oko 1500 m severno od Zuca. Rasprostranjenje vodonosnih slojeva južno i istočno od Vrčina je pretpostavljeno, obzirom da nisu vršena detaljna hidrogeološka istraživanja, slika 155.

Pretpostavlja se da se ova izdan prostire istočno od Vrčina ka Grockoj i da najmanje zauzima oko 100 km² (Simić i dr., 1982).



Legenda: 1–serpentiniti; 2–gornjokredni sedimenti; 3–donjesarmatski krečnjaci; 4–priobalni bazalni šljunkovi i konglomerati panonske starosti; 5–peskovi panonske starosti; 6–panonske gline; 7–istražno-eksploatacioni bunari ili pijezometri; 8–nivoi “Vrčinske izdani”; 9–nivoi izdani u donje samatskim krečnjacima; 10–nivoi izdani u srednje samatskim krečnjacima

Slika 155. Karakteristični preseki terena “Vrčinske” izdani (Simić i dr., 1982)

Jugoistočno i južno od Vrčina izradom istražnih bušotina konstatovani su peskoviti sedimenti sarmata i panona. Debljina panonskih naslaga na području Dražnja i Umčara je najveća i kreće se oko 150 m do 200 m. Na području Grocke, prema rezultatima bušenja, konstatovani su peskovi sarmata na čitavoj površini ispod panonskih sedimenata. A, na površini terena sarmatski peskovi javljaju se u Ritopeku, Leštanima, Boleču, Vinči i Vrčinu (Lazić M., i dr., 2002).

Na delu terena oko Grocke izvedena su hidrogeološka istraživanja u cilju definisanja mogućnosti zahvatanja podzemnih voda za potrebe vodosnabdevanja. Izvorište za vodosnabdevanje čine:

- Izvorište „Reka“ (6 bunara, 3 u eksploataciji)
- Izvorište „Begaljička reka“ (2 bunara, oba u eksploataciji)
- Izvorište „Zaklopača“ (5 bunara, 2 u eksploataciji)
- Izvorište „Gavran“ (7 bunara, 3 u eksploataciji)

Prosečna dubina bunara iznosi oko 100 m.

Na lokaciji bunara EV-1 (dubina bunara 98 m), na izvorištu "Reka" peskoviti šljunak konstatovan je u intervalu od 10 m do 14, od 20 m do 29 m i od 66 m do 73 m. U intervalu od 75 m do 93 m konstatovani su peskoviti sedimenti. Podina vodonosnih peskova predstavljena je glinama.

Na izvorištu "Begaljička reka" vodonosni peskovi konstatovani su u intervalu od 110 m do 140 m. Povlata je predstavljena peskovitim glinama, zaglinjenim peskovima i glinama. Bunar je završen u glinama na dubini od 144 m.

Na izvorištu "Zaklopača" peskovi su konstatovani u intervalu od 18 m do 50 m. Bunar je završen u glinovitim sedimentima na dubini od 67 m.

Izradom bušotine P-8 kod Grocke prašinski i sitnozrni peskovi konstatovani su u intervalu od 27 m do 58 m i od 76 m do 80 m dubine. Između ova dva sloja javljaju se prosljoci uglja. Podina peskova predstavljena je laporovitim glinama (Komatina, 1976).

Debljine panonskih naslaga peskova povećavaju se od severa ka jugu, odnosno od Vrčina ka Mladenovcu. Ovakvi geološki uslovi na terenu su posledica taloženja sedimenata u priobalnom delu Panonskog mora i u dubljim delovima mora.

Severoistočno od Vrčina, na lokaciji Livadica u Ritopeku, u zoni desne obale Dunava izvedena je istražna bušotina B-1 (153 m). Bušenjem su konstatovani peščari u intervalu od 129 m do 130 m i od 144 m do 147 m. Duž celog profila smenjuju se glinoviti sedimenti (Bogdanović, 2011).

Na delu teritorije Boleča (PK "Beograd") vodonosni peskoviti sloj konstatovan je u intervalu od 165 m do 180 m. Istražna bušotina je i završena u peskovima.

Na lokaciji Boleča, konstatovani su vodonosni peščari u intervalu od 133 m do 140 m i od 168 m do 188 m. Podina peščara predstavljena je glinama i peskovitim glinama, a povlata glinama i zaglinjenim peskovima. Vodonosni peščari konstatovani su i na području Leštana u intervalu od 136 m do 155 m i od 176 m do 184 m. Podina je predstavljena peskovitim glinama, a povlata glinama, sitnozrnim peskovima, zaglinjenim peskovima (Lazić B., 2010).

U tabeli 79 prikazane su debljine peskovitih sedimenata miocenske starosti na području Gročanskog podrežona.

Tabela 79. Debljina peskovitih slojeva panona na delu terena od Leštana do Begaljice

| Bunar/ pijezometar | Lokacija | Litologija | Debljina peskovitih slojeva (m) |
|--|-------------------------|------------|---------------------------------------|
| L-1 | Leštane | pesak | 8 |
| BV-1 | Vrčin | pesak | 37 |
| EBLV-2 | Zuce-Zavojniča reka | pesak | 18 |
| B-1 | Vinča | pesak | 20 |
| B-1 | Ritopek | pesak | 4.6 |
| B-1 | Vrčin | pesak | 28 |
| IEB-1 | Boleč | pesak | 12 |
| P-8 | Begaljica kog Grocke | pesak | 10 |
| P-3 | Grocka | pesak | 30 |
| EV-1 | Grocka | pesak | 25 |
| BR-2 | Grocka | pesak | 28 |
| EBZ-4 | Grocka | pesak | 26 |
| B-1 | Grocka | pesak | 55 |
| IEBG-2 | Grocka | pesak | 19 |
| P-3 | Umčari | pesak | 32 |
| B-1 | Bubanj potok | pesak | 15 |
| IEBB-1 | Boleč | pesak | 33 |
| BV-1 | Vinča | pesak | 30 |
| BV-2 | Vinča | pesak | 26 |
| PROSEČNA DEBLJINA PESKOVITIH SLOJEVA ≈ 24 m | | | |

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Zbijeni tip izdani u peskovima panonske starosti prihranjuje se:

- infiltracijom padavina
- u bočnom kontaktu sarmatskih krečnjaka
- u kontaktu sa serpentinitima

Pomenuti uslovi prihranjivanja odnose se na delove terena Vrčina i šire okoline, odnosno na “Vrčinsku” izdan. Ukupna površina prihranjivanja “vrčinske” izdani je oko 20 km². Hidrogeološkim istraživanjima nije utvrđena veza između izdani i rečnih voda (Simić i dr., 1982).

U tabeli 80 prikazane su vrednosti hidrodinamičkih parametara peskovite sredine.

Tabela 80. Vrednosti hidrodinamičkih parametara na području Gročanskog podrejona

| Bunar | K (m/s) | T(m ² /s) |
|--------|-----------------------|------------------------|
| BV-1 | 1 x 10 ⁻³ | 1.8 x 10 ⁻³ |
| EBVL-2 | 1.8x 10 ⁻³ | 3.5 x 10 ⁻³ |

Uslovi dreniranja i raspoložive količine podzemnih voda

Dreniranje izdani odvija se preko istražno-eksploatacionih bunara. Izradom bunara slojni pritisci su rasterećeni, te nekadašnje difuzno isticanje u zonama stalno zabarenih površina (u dolini Vrčinske reke, u dolini Zavojničke reke) nije konstatovano.

U tabeli 81 prikazane su izdašnosti bunara u okviru zbijenog tipa izdani na području Gročanskog podrejona.

Tabela 81. Izdašnosti bunara u okviru zbijenog tipa izdani na području Gročanskog podrejona

| Bunar | Lokacija | Izdašnost (l/s) |
|--|------------------|-----------------|
| BV-1 | Vrčin | 28.8* |
| L-1 | Leštane Geosonda | 8.0 |
| B-1 | Vinča, Institut | 2.0 |
| B-1 | Ritopek | 2.5 |
| IEBB-1/2003 | Boleč | 4.0 |
| BF-1 | Boleč | 3.5 |
| B2M-1 | Leštane | 3.0 |
| BV-1 | Vinča | 4.5 |
| P-3 | Umčari | 2.5 |
| SREDNJA VREDNOST IZDAŠNOSTI BUNARA ≈6.0 l/s | | |

* pri izradi bunara BV-1 dobijen je samoizliv od 40 l/s, da bi nakon 72 h izdašnost opala na 28.8 l/s.

11.10.2.3. Karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Rasprostranjenje

Na delu teritorije severno od reke Ralje, sarmatski krečnjaci konstatovani su bušenjem u Pinosavi, Leštanima, u dolini Zavojničke reke, Vrčinu, Radmilovcu.

U Pinosavi (zapadne padine Avale) bušenje istražne bušotine do 80 m izvedeno je uz flišni obod krednih sedimenata. Duž celog profila su konstatovani krečnjaci. Istočno od Avale, u Vrčinu istražnim bušenjem su konstatovani sarmatski krečnjaci. Povlatu sarmatskih krečnjaka čini deo paket glinovitih, ređe, peskovitih sedimenata.

Prema Milivojeviću (2004) sarmatski krečnjaci u ovom delu terena ne zauzimaju značajno prostranstvo (oko 30 km²). Ograničeno rasprostranjenje krečnjaka objašnjava se tektonikom terena i isklinjavanjem krečnjaka prema istoku. Južna granica rasprostranjenja sarmatskih krečnjaka nije pouzdano utvrđena. U izvorišnom i gornjem toku Vrčinske reke na površini terena otkriveni su krečnjaci sarmata (Lazić M., 2002).

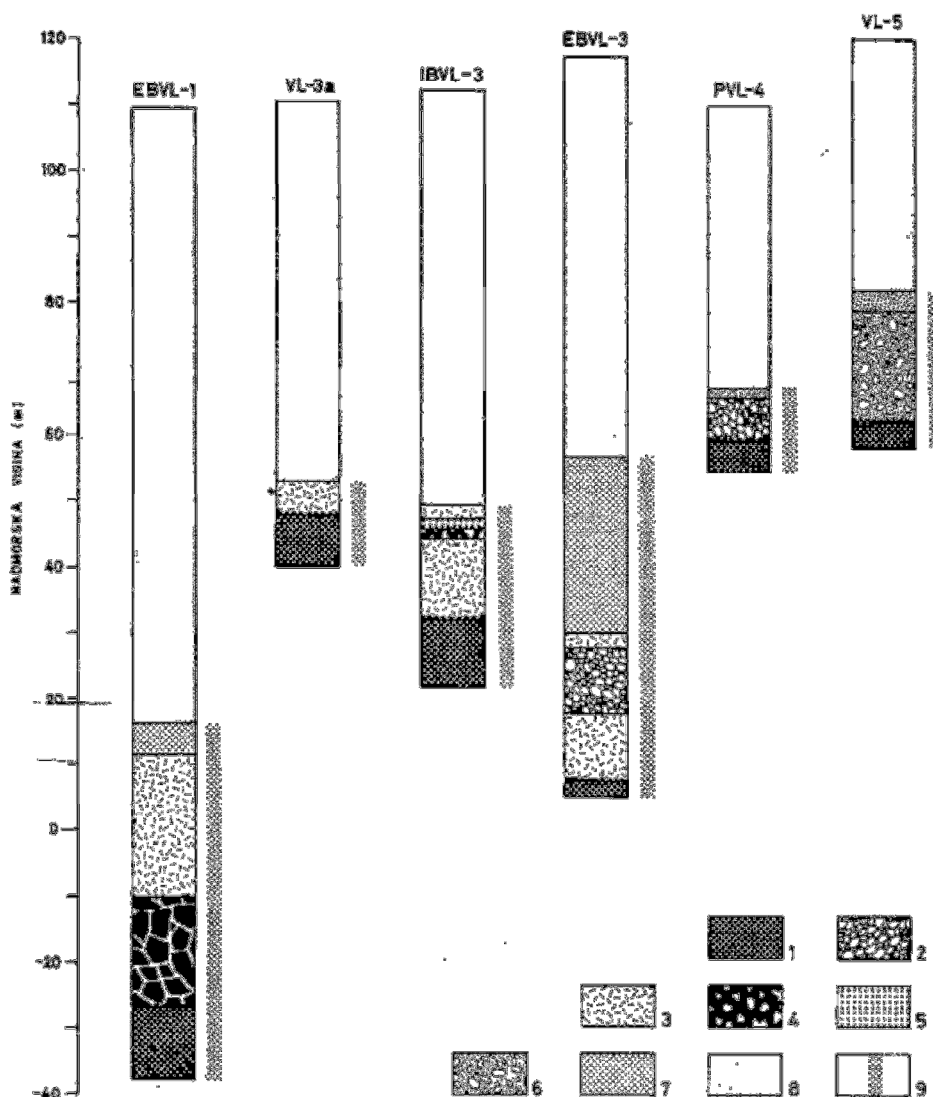
Na području Leštana, izradom bunara EBVL-1, dubine 156 m, krečnjaci su konstatovani u intervalu od 97 m do 119 m. Podina krečnjaka predstavljena je serpentinisanim brečama, a povlata glinovito-peskovitim laporima.

Na području Vrčina krečnjaci sarmatske starosti konstatovani su u intervalu od 50 m do 62 m. Bunar BV-4 završen je u krečnjacima. Povlata krečnjaka predstavljena je smenom glinovitih i peskovitih sedimenata (Dokmanović, 1997).

Ispucali krečnjaci nabušeni su na području Radmilovca, u intervalu od 114 m do 124 m. Podina i povalata krečnjaka predstavljena je glinovitim sedimentima (Bogdanović, 2008).

U dolini Zavojničke reke izbušeno je 7 istražnih bušotina i 3 bunara tokom '70-tih godina prošlog veka. Istraživanja su vršena u cilju sagledavanja geotermalnih karakteristika područja. Rezultati navedenih istraživanja, kao i rezultati kasnijih istraživanja (REB-1 RP-1) ukazali su da je gustina terestičnog geotermalnog toplotnog toka dva puta veća od prosečne vrednosti za kontinentalni deo Evrope (Milivojević, 2004). Nabušeni sarmatski krečnjaci u dolini Zavojničke reke pružaju se paralelo sa pravcem auto-puta Beograd-Niš.

Na slici 156 prikazani su uporedni litološki profili terena u dolini Zavojničke reke.



Legenda: 1–serpentinititi; 2–kvarcom cementovani serpentinitiski konglomerati srednjeg sarmata; 3–silifikovani i karstifikovani krečnjaci srednjeg sarmata; 4–kvarcom cementovana konglomeratična serpentinitiska breča; 5–veoma tvrdi srednje sarmatski peščari; 6–bazalni kvarcom cementovani serpentinitiski konglomerati panona; 7–veoma tvrdi panonski peščari sa piritom; 8–panonski peskoviti lapori i gline; 9–zona u kojoj se javljaju paleohidrogeotermalne pojave

Slika 156. Litološki profili istražnih bušotina i bunara u dolini Zavojničke reke
(Milivojević, 1982)

U tabeli 82 prikazane su debljine krečnjaka sarmatske starosti na području Gročanskog podrejona.

Tabela 82. Debljina krečnjaka sarmatske starosti na području Gročanskog podrejona

| Bunar | Lokacija | Litologija | Debljina krečnjaka (m) |
|--|-----------------|-------------------|-------------------------------|
| EBL-1 | Leštane | krečnjak | 38.00 |
| EBL-2 | Leštane | krečnjak | 45.00 |
| EBVL-1 | Leštane | krečnjak | 22.00 |
| BV-4 | Vrčin | krečnjak | 12.00 |
| IB-1 | Radmilovac | krečnjak | 10.00 |
| PROSEČNA DEBLJINA KREČNJAKA ≈25 m | | | |

Uslovi prihranjivanja i filtracione karakteristike izdani

Karstni tip izdani u okviru sarmatskih krečnjaka prihranjuje se:

- infiltracijom padavina
- infiltracijom površinskih voda
- na kontaktu sa zbijenim tipom izdani

Hidrodinamičke karakteristike izdani sagledane su na osnovu podataka izvedenog testa crpenja na bunaru REB-1, u okolini Vrčina. Tokom crpenja promena nivoa podzemnih voda osmatrana je i na piježometru RP-1. Koeficijent transmisibilnosti iznosi $T=9.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Milivojević, 2004).

Dreniranje izdani i raspoložive količine podzemnih voda

Karstna izdan drenira se preko bunara. U tabeli 83 prikazane su izdašnosti bunara u okviru karstnog tipa izdani na području Gročanskog podrejona.

Tabela 83. Izdašnosti bunara u okviru karstnog tipa izdani na području Gročanskog podrejona

| Bunar | Lokacija | Izdašnost (l/s) |
|---|-----------------|------------------------|
| PVL-4 | Zavojnička reka | 2.00 samoizliv |
| VL-5 | Zavojnička reka | 0.50 samoizliv |
| VL-3 | Zavojnička reka | 15.00 |
| EBVL-1 | Zavojnička reka | 15.00 |
| EBVL-2 | Zavojnička reka | 11.00 |
| EBVL-3 | Zavojnička reka | 16.30 |
| EBL-1 | Leštane | 12.00 |
| EBL-2 | Leštane | 12.00 |
| BV-4 | Vrčin | 9.00 |
| REB--1 | Vrčin | 5.00 |
| SREDNJA VREDNOST IZDAŠNOSTI BUNARA ≈10.0 l/s | | |

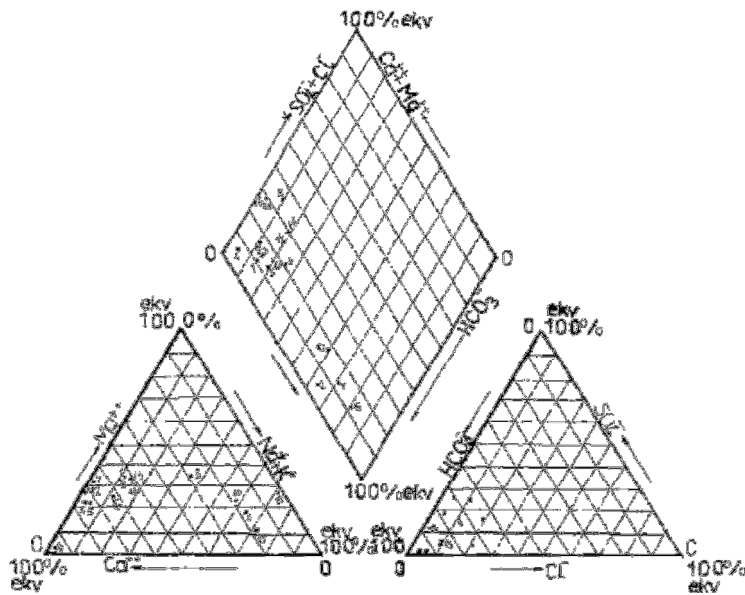
11.10.3. Hidrohemijske karakteristike rejona X

Na području Mladenovca i Gorcke analiziran je hemizam podzemnih voda formiranih u zbijenom tipu izdani i u karstnom tipu izdani.

Mladenovački podrejon

Hidrohemijske odlike podzemnih voda zbijenog tipa izdani

Podzemne vode formirane u peskovima panonske starosti su hidrokarbonatne klase, kalcijumske grupe. U pojedinim uzorcima konstatovane su povišene koncentracije Mg (≈ 80 mg/l). Takođe, u većem broju uzoraka izmerene su povišene koncentracije Fe i Mn. Temperatura podzemnih voda kreće se u opsegu od 11.5°C do 26.0°C , mineralizacija od 0.3 do 0.95 g/l, pH vrednost od 6.8 do 8 i ukupna tvrdoća od 4°dH do 31°dH . Na slici 157. prikazan je trilinearni dijagram podzemnih voda Mladenovačkog izvorišta.



Legenda: 1–BK-5; 2–BK-6; 3–BnV-6; 4–BnV-2; 5–BnB-3; 6–BnB-10; 7–BSU-8M; 8–BA-2K; 9–BSU-1M/A; 10–EBR-1/96; 11–BnV-14/2; 12–BnV-15; 13–Bns-1-kl; 14–Bsu-SB1/2; 15–BK-3/1; 16–BnV-2/a

Slika 157. Trilinearni dijagram hemijskog sastava podzemnih voda Mladenovačkog izvorišta za vodosnabdevanje (iz Pešić, 1997)

Hidrohemijske odlike podzemnih voda karstnog tipa izdani

Tabela 84. Hemijski sastava podzemnih voda karstnog tipa izdani na području Sopota, Ralje i Nemenikuća (iz fonda JKP "Sopot", 1996)

| | |
|--|--------|
| Ispitivani parametar | |
| pH | 7.5 |
| Utrošak KMnO_4 (mg/l) | 1.58 |
| Ukupna tvrdoća ($^{\circ}\text{dH}$) | 19.6 |
| MAKROKOMPONENTE (mg/l) | |
| KATJONI | |
| Kalcijum (Ca) | 131.73 |
| Magnezijum (Mg) | 46.23 |
| ANJONI | |
| Hloridi (Cl) | 9.0 |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | |
| METALI | |
| Gvožđe (Fe) | 0.00 |
| Mangan (Mn) | 0.02 |

Hidrohemijske odlike termomineralnih voda

Na području Banje "Koraćica" termomineralne vode formirane su u okviru peskova neogene starosti. Temperatura podzemnih voda je 25 °C, pH vredost iznosi 7.5. Od specifičnih komponenti javljaju se: Ra, F, Br, J, SR, Li, LiO₂. Hemijski sastav termomineralnih voda prikazan je formulom Kurlova (Filipović B., 2003).

$$M_{0,92} \frac{HCO_{61}^3 Cl_{39}}{Na + K_{89} Ca_6 Mg_5} Q = 0.5$$

U podzemnim vodama koraćičke banje, u gasnom sastavu prevladava azot. Odnos helijuma i argona ukazuje da su vode stare 3 212 500 godina (Dimitrijević N., 1975).

Na području Banje "Selters" termomineralne vode formirane su u okviru krečnjaka kredne starosti. Temperatura podzemnih voda se kreće od 31 °C do 56°C, pH vredost je 7. Od specifičnih komponenti javljaju se: HBO₂, Rb,Ra, F, Br, J, Sr, Li, SiO₂. Hemijski sastav termomineralnih voda prikazan je formulom Kurlova (Filipović B., 2003).

$$M_{7,3-8,0} \frac{HCO_{55}^3 Cl_{44}}{Na + K_{94}} Q > 5,0$$

Gročanski podrejon

Hidrohemijske odlike podzemnih voda zbijenog tipa izdani

Hemizam podzemnih voda zbijenog tipa izdani u okviru peskova sarmatske starosti prikazan je u uporednoj tabeli 85.

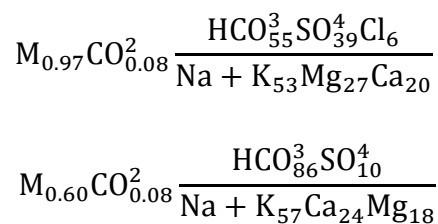
Tabela 85. Analiza hemijskog sastava podzemnih voda zbijenog tipa izdani na području Vrčina (Simić i dr., 1982)

| Ispitivani parametar | Bunar BV-1 | Bunar BV-2 | Bunar EBVL-2 | Pijezometar PVL-2 |
|-------------------------------|------------|------------|--------------|-------------------|
| pH | 8.1 | 7.5 | - | 7.57 |
| Ukupna tvrdoća (°dH) | 6.5 | 17.42 | - | 20.8 |
| Mineralizacija (mg/l) | 603 | 377 | 684 | 804 |
| MAKROKOMPONENTE (mg/l) | | | | |
| KATJONI | | | | |
| Kalcijum (Ca) | 32.0 | 45.50 | 60.0 | 65.6 |
| Natrijum (Na) + Kalijum (K) | 29.0 | - | 38.50 | 38.27 |
| Magnezijum (Mg) | 60.0 | 98.32 | 54.5 | 50.3 |
| ANJONI | | | | |
| Karbonati (CO ₃) | 18.0 | / | 0.00 | 0.00 |
| Hloridi (Cl) | 35.0 | 28.0 | 14.0 | 7.0 |
| Sulfati (SO ₄) | 27.0 | 28.18 | 20.0 | 29.5 |
| Nitrati (NO ₃) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | | | | |
| METALI | | | | |
| Gvožđe (Fe) | 0.20 | 0.40 | 0.7 | 7.10 |

Hidrohemijske odlike podzemnih voda karstnog tipa izdani

Temperatura podzemnih voda karstnog tipa izdani kreće se u opsegu od 16 °C do 19°C, mineralizacija se kreće od 320 mg/l do 570 mg/l, ukupna tvrdoća od 12°dH do 24°dH (Milivojević, 2004):

Prema Milojeviću (1975) hemizam karakterističan za vode formirane u krečnjacima sarmata predstavljen je formulama Kurlova:



Hidrohemijske odlike termomineralnih voda

Hemizam termomineralnih voda na području Leštana prikazan je u uporednoj tabeli 86.

Tabela 86. Analiza hemijskog sastava termomineralnih voda na području Leštana

| Ispitivani parametar | Bušotina LB-1 | Bušotina LB-2 |
|------------------------------------|---------------|---------------|
| Tempertaura (°C) | 21 | 25 |
| pH | 7.6 | 7.6 |
| Suvi ostatak-105°C | 1794.00 | 18828.10 |
| Ukupna tvrdoća (°dH) | 1.12 | 1.12 |
| MAKROKOMPONENTE (mg/l) | | |
| KATJONI | | |
| Kalcijum (Ca) | 3.40 | 162.30 |
| Natrijum (Na) + Kalijum (K) | 734.30 | 6863.2 |
| Magnezijum (Mg) | 2.70 | 60.80 |
| ANJONI | | |
| Karbonati (CO ₃) | 62.00 | 204.00 |
| Hidrokarbonati (HCO ₃) | 927.20 | 415.00 |
| Hloridi (Cl) | 388.30 | 10650 |
| Sulfati (SO ₄) | 210.40 | 668.12 |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | | |
| METALI | | |
| Gvožđe (Fe) | 0.10 | 22.5 |
| Mangan (Mn) | 0.01 | 0.5 |

Zapreminski odnos gasova u podzemnim vodama bušotine LB-1 je: 91% N₂, 0.50% CO₂ i 8.50% O₂, dok je u podzemnim vodama bušotine LB-2 sledeći: 96.12% N₂, 0.50% CO₂ i 1.50% O₂. Na osnovu odnosa helijuma i argona, apsolutna starost podzemnih voda duboke bušotine je 9 747 500 god (Dimitrijević N., 1975).

Na području Boleča (PK "Beograd") konstatovane su termominerale vode temperature 24.2°C. U Ritopeku konstatovane su podzemne vode temperature 19°C i mineralizacije 2.20 g/l. Vode su HCO₃-SO₄-Na tipa, sa sadržajem Fe od 2.7 mg/l.

Na području Grocke (bušotina G-1, 1.400 m) konstatovane su Cl-Na vode, temperature oko 30°C i mineralizacije 12.14 g/l. Litološki stub bušotine G-1 u intervalu od 1.300 m do 1.400 m izgrađuju peliti sa rožnacima (iz Dokmanović, 1997).

Hemizam termomineralnih voda na području Zavojničke reke prikazan je u tabeli 87.

Tabela 87. Hemijski sastava termomineralnih voda na području Zavojničke reke

| Ispitivani parametar | | |
|------------------------------------|--------|--|
| Tempertaura (°C) | | |
| pH | 8.5 | |
| Suvi ostatak-105°C | | |
| Utrošak KMnO ₄ (mg/l) | | |
| Ukupna tvrdoća (°dH) | | |
| Mineralizacija (mg/l) | 0.32 | |
| MAKROKOMPONENTE (mg/l) | | |
| KATJONI | | |
| Kalcijum (Ca) | 12.0 | |
| Natrijum (Na) | 36.8 | |
| Magnezijum (Mg) | 23.2 | |
| Kalijum (K) | 1.50 | |
| ANJONI | | |
| Karbonati (CO ₃) | 12.00 | |
| Hidrokarbonati (HCO ₃) | 183.00 | |
| Hloridi (Cl) | 26.6 | |
| Sulfati (SO ₄) | 1.00 | |
| Nitrati (NO ₃) | | |
| MIKROKOMPONENTE (mg/l) | | |
| METALI | | |
| Gvožđe (Fe) | 0.30 | |
| Mangan (Mn) | 0.003 | |
| Stroncijum (Sr) | 0.85 | |
| Barijum (Ba) | 0.22 | |
| Litijum (Li) | 0.08 | |
| Cink (Zn) | 0.005 | |
| Bakar (Cu) | 0.0005 | |

V. RAZMATRANJA I ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA I KORIŠĆENJA HIDROGEOTERMALNIH RESURSA

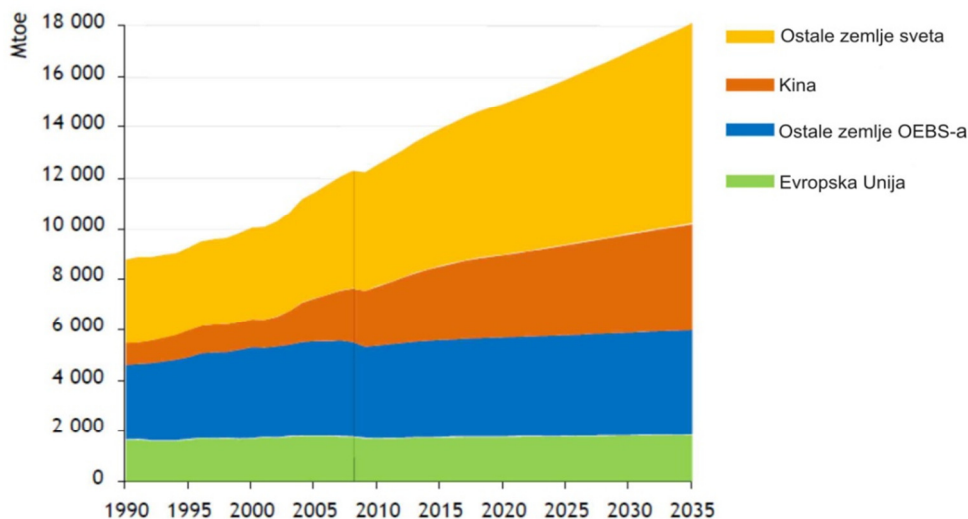
12. MESTO I ULOGA GEOTERMALNE ENERGIJE U KONCEPTU KORIŠĆENJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U XXI VEKU

Ubrzani industrijski razvoj, dramatično povećanje broja stanovništva, intenzivna urbanizacija te rapidno pogoršanje uslova i kvaliteta životne sredine tokom poslednjih decenija uticalo je na formiranje koncepta održivog razvoja kao »ključne reči« budućnosti čovečanstva. Jedna od njegovih opštih definicija predstavlja ga kao organizaciju razvoja i zadovoljenje potreba u sadašnjosti na način da se ne ugroze potrebe dolazećih generacija i razvoj u budućnosti. Rio deklaracija o životnoj sredini i razvoju iz 1992 i protokol iz Kjotoa o globalnim klimatskim promenama iz 1997, definisali su mere i aktivnosti na sprečavanju posledica nekontrolisanog industrijskog razvoja, globalnih klimatskih promena, dezertifikacije, smanjenja raspoloživih količina pijaćih voda itd.

Problem zagađenja atmosfere sagorevanjem fosilnih goriva, porast emisije CO₂, efekat staklene bašte, proširenje ozonske rupe, menjanje klime te konstantna nestabilnost oko cena i nabavke nafte i gasa na svetskom tržištu tokom poslednjih godina, dovela je u Evropi do rapidne ekspanzije korišćenja održivih i obnovljivih energetske resursa, naročito nakon „energetske krize“ 1974. godine. Izvori obnovljive energije, njihova eksploatacija i namena u potpunosti se nalaze u okvirima održivog ekološkog razvoja i kao takvi neizostavno nameću važnu ulogu u razvoju i planiranju svetskog energetskog bilansa.

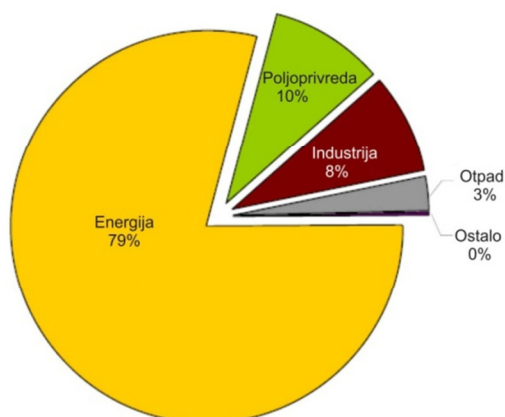
Energetski razvoj gradova usmeren je na održivo korišćenje obnovljivih izvora energije na način kojim bi se postigla supstitucija fosilnih goriva i smanjenje emisije štetnih gasova u atmosferu. Povećanjem broja stanovništva i jačanjem ekonomije na globalnom planu, kroz industrijalizaciju, rezerve konvencionalnih izvora energije su svedene na minimum. Trajanje zaliha energenata poput nafte, uglja i gasa procenjeno je na nekoliko desetina decenija, što uslovljava korišćenje i prelazak na alternativne, odnosno obnovljive izvore energije. Prema podacima Međunarodne agencije za energiju (IEA), zahtevi za energijom do 2035. godine dramatično će porasti sa oko 8.000 miliona tona ekvivalenta nafte – Mtoe u 1990. godini, na skoro 18.000 Mtoe 2035. godine (slika 158).

U tom bilansu Evropska unija i ostale zemlje Organizacije za evropsku bezbednost i saradnju (OEBS) će uspjeti da svoje energetske potrebe drže pod kontrolom, dok će Kina i ostatak sveta doživeti rapidan rast u svojim potrebama i praktično ga utrostručiti (Milenić i dr., 2011).



Slika 158. Procena energetskih potreba u svetu do 2035 godine (Steen, 2011, prema podacima IEA, 2010)

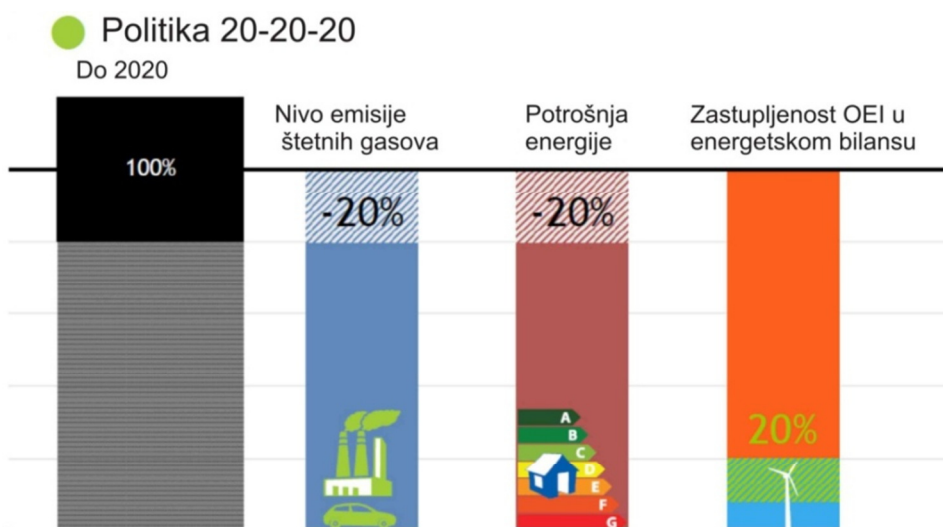
Ovako drastičan rast energetskih potreba doveo je do izrazitog povećanja emisije štetnih gasova u atmosferu do nivoa kada više nije izvesno ima li povratka nazad. Podaci Evropske Agencije za energiju (EEA) za 2008, pokazuju da skoro 80% emisije štetnih gasova u atmosferu, u Evropi dolazi iz zadovoljavanja energetskih potreba, slede poljoprivredne aktivnosti sa 10%, industrijski procesi sa 8% i otpad sa 3% (slika 159).



Slika 159. Učešće u emisiji štetnih gasova u 2008. godini u Evropi po privrednim aktivnostima (EEA, 2010)

Imajući izneto u vidu, jasno je da srž aktivnosti u procesu smanjenja emisije štetnih gasova, mora biti usmereno ka supstituciji fosilnih goriva obnovljivim izvorima energije. Paralelno sa tim, neophodno je sprovesti mere smanjenja potrošnje energije i povećanja energetske efikasnosti. S tim u vezi, Evropska unija je u okviru svoje energetske politike donela tzv. “politiku 20-20-20”, odnosno set propisa koji se odnose na (slika 160):

- smanjenje emisije štetnih gasova u EU, najmanje **20%** u odnosu na nivo koncentracije gasova iz 1990. godine
- povećanje učešća obnovljivih izvora energije u energetske bilansu EU za **20%**
- smanjenje potrošnje primarne energije za **20%** u odnosu na projektovani nivo potrošnje, kroz mehanizme energetske efikasnosti



Slika 160. Politika EU “20-20-20” (Steen, 2011)

Iznesene činjenice direktno ukazuju na važnost i značaj istraživanja obnovljivih izvora energije.

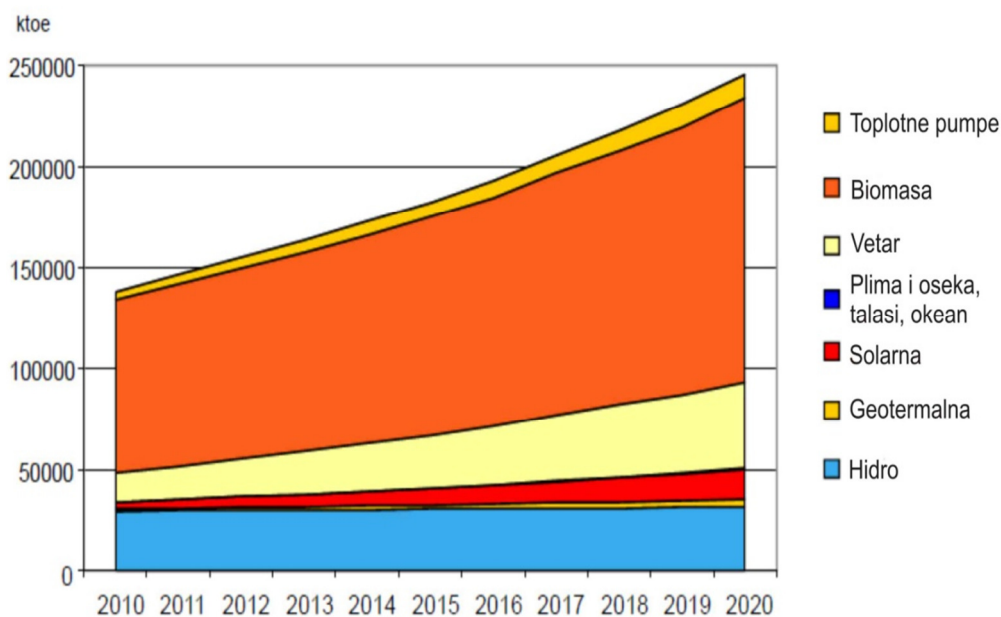
Pod obnovljivim izvorima energije podrazumevaju se oni izvori energije koji se obnavljaju stalnim prirodnim procesima i, gledajući prema ljudskom veku, nikada se ne mogu potrošiti. Za razliku od pomenutih obnovljivih izvora, fosilni energenti se eksploatišu 100.000 brže nego što se stvaraju.

U važnije obnovljive izvore energije ubrajaju se snaga vode, Zemljina toplota, snaga vetra, sunca, talasa i biomasa. Korišćenje najvećeg broja obnovljivih energetske resursa poput snage vetra, sunca, talasa i dr. su, međutim, i dalje generalno skupe i teško isplative investicije.

Na primer, korišćenje *energije vetra* zahteva prisutnost određenih faktora (intenzitet vetra i broj vetrovitih dana) i uslovljeno je nizom investicionih mera koje treba preduzeti kako bi se na adekvatan način iskoristio ovaj vid alternativne energije, koji se ogleda u izgradnji vetrogeneratora ili u organizovanju tkz. parkova vetra.

Zemlje koje su poznate po korišćenju energije vetra su Holandija i SAD. Savremena nauka pokazala je i značajna dostignuća na polju iskorišćavanja *sunčeve energije*, čija je primena bazirana na zadovoljavanju potreba kod zagrevanja, odnosno klimatizacije i osvetljavanja poslovnih i stambenih objekata. Značajan preduslov za korišćenje solarne energije je poznavanje raspoloživih potencijala, tj. količine Sunčeve energije na m² na dan i broja sunčanih dana. Sa druge strane, *geotermalna i hidrogeotermalna energija*, predstavljaju jedinstveni izvor obnovljive energije čije su glavne prednosti u lakom načinu korišćenja uz relativno jednostavnu i jeftinu tehnologiju (Milenić, i dr., 2006).

Na slici 161 prikazana je zastupljenost i stanje do 2020. godine različitih vidova obnovljivih izvora energije.



Slika 161. Zastupljenost OIE i njihov odnos do 2020. godine (Steen, 2011, prema podacima Evropske komisije)

Sa slike 161 uočava se da je najkorišćeniji obnovljivi izvor energije biomasa, zatim sledi energija vetra, dok će izvori energije čija se aplikacija odvija preko toplotnih pumpi (hidrogeotermalna, litogeotermalna) dostići nivo od oko 50 Mtoe godišnje.

13. AKTUELNA ZAKONSKA REGULATIVA U OBLASTI KORIŠĆENJA GEOTERMALNE ENERGIJE I OSTALIH OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Alarmanti podaci u domenu eksploatacije fosilnih energenata i zagađenja životne sredine uslovlili su primenu mera korišćenja obnovljivih izvora energije (OIE), te planiranje razvoja energetske potreba u skladu sa merama energetske efikasnosti. Eksploatacija obnovljivih izvora energije, njihova aplikacija, kao i zaštita životne sredine i mehanizmi energetske efikasnosti stavljeni su pod pravni okvir. Formiran je niz zakona i podzakonskih akata kako na svetskom i evropskom nivou, tako i u Republici Srbiji.

Nadnacionalni okvir – važeće svetske i evropske konvencije i dokumenti

Hronološki posmatrano, neki od najvažnijih pravnih dokumenata na svetskom nivou, koji tangiraju korišćenje i razvoj OIE i geotermalne energije su:

1. Konferencija Ujedinjenih Nacija o životnoj sredini, (5-16 Jun,1972)

(United Nations Conference on the Human Environment-UNCHE):

- Stokholmska Deklaracija (*Stockholm Declaration*)
- Akcioni Plan (*Action Plan*)
- Program životne sredine Ujedinjenih Nacija (*United Nations Environmental Programme*), 1982. godina

2. Konferencija Ujedinjenih Nacija o životnoj sredini i razvoju, (2-14 Jun, 1992)

(United Nations Conference on Environment and Development-UNCED):

- Rio Deklaracija (*Rio Declaration on Environment and Development*)
- Agenda 21 (*Agenda 21*)
- Iskaz o principima održivog upravljanja šumskim resursima (*Statement of principles for the Sustainable Management of Forests*)
- Konvencija Ujedinjenih nacija o biološkom diverzitetu (*United Nations Convention on Biological Diversity*)
- Konvencija Ujedinjenih Nacija o klimatskim promenama (*United Nations Framework Convention on Climate Change*)
- Komisija Ujedinjenih nacija o održivom razvoju (*United Nations Commission on Sustainable Development*)

3. Kyoto Protokol, (11 Decembar, 1997)

(Kyoto Agreement)

Kyoto Protokol predstavlja međunarodni sporazum, proizašao iz okvirne konvencije Ujedinjenih nacija o klimatskim promenama. Kyoto Protokol je stupio na snagu 16.2.2005. godine nakon ratifikacije od strane Rusije. Do njegovog stupanja na snagu Protokolu je pristupilo 184 zemalja članica Konvencije.

Odrednice iz Kyoto Protokola usmerene su na smanjenje emisije štetnih gasova (Greenhouses gases–GHG) u atmosferu, nastalih kao posledica globalne industrijalizacije. Akcenat je stavljen na ekonomski i industrijiski razvijene zemlje sveta, jer je njihovim razvojem u proteklih 150 godina izazvan efekat staklene bašte i narušena ravnoteža u životnoj sredini. Napravljena je razlika između razvijenih i nerazvijenih zemalja sveta po principu zajedničke, ali podeljene odgovornosti (*“common but differentiated responsibilities“*). Držeći se usvojenog principa, 37 zemalja sveta i zemlje Evropske zajednice su dužne da u periodu od 2008 do 2012 godine smanje emisiju štetnih gasova za 5 % u odnosu na emisiju u 1990-toj godini. Zemlje članice Evropske unije, kao veoma napredne u privredno-ekonomskom pogledu, dužne su da smanje emisiju za 8 % do 2012. godine. Razlika između okvirne konvencije Ujedinjenih nacija o klimatskim promenama i Kyoto Protokola je u tome što se prvim dokumentom predlažu mere kojim bi se smanjila emisija štetnih gasova u atmosferu, dok se drugim dokumentom mere nalažu i zakonski utvrđuju.

Kyoto protokol ističe 2012. godine i trenutno je u toku nacrt predloga o novom globalnom ugovoru o klimatskim promenama. U nacrtu dokumenta nalaže se smanjenje emisije štetnih gasova od 25 % do 40% za razvijene zemlje u odnosu na nivo emisije iz 1990. godine, kako bi se izbegli najteži klimatski poremećaji.

4. Direktive Evropskog Parlamenta i Saveta (Directive of the European Parliament and of the Council)

U cilju smanjenja emisije štetnih gasova i ublažavanja klimatskih promena, Evropska Unija donela je niz direktiva koje se odnose na zaštitu životne sredine. Direktive evropskog parlamenta i saveta su zakonski akti koji se indirektno odnose na mere određene Kyoto Protokolom.

Niz Direktiva donet je u periodu od 2001. do 2004. godine, kako bi se usmerila delovanja na polju razvoja energetike na tlu Evropske Unije u skladu za odrednicama Kyoto Protokola, koji je stupio na snagu 2005. godine.

U narednom tekstu pomenute su neke od Direktiva evropskog parlamenta i saveta, koje se odnose na zaštitu životne sredine, na energetska efikasnost i korišćenje obnovljivih izvora energije, te utiču na donošenje zakonskih akata i regulativa Republike Srbije na polju razvoja energetike i OIE, obzirom da je Republika Srbija podržala Okvirnu konvenciju o promeni klime UN, a kasnije i Kyoto Protokol:

- Direktiva **2010/31/EU** o energetskim karakteristikama zgrada
- Direktiva **2009/29/EC** o izmenama Direktive 2003/87/EC u cilju poboljšanja i proširenja trgovine gasovima staklene bašte
- Direktiva **2009/28/EC** o povećanju učešća obnovljivih izvora energije i izmenama i ukidanju Direktiva 2001/77/EC i 2003/30/EC
- Direktiva **2006/67/EC** o održavanju minimalnih zaliha nafte i naftnih derivana zemalja članica
- Direktiva **2001/80/EC** o ograničenju emisije određenih polutanata iz velikih ložišta

Nacionalni okvir - Zakonska regulativa Republike Srbije

U Republici Srbiji energetska i strategija održivog razvoja se implementira na dva nivoa. Na republičkom nivou te aktivnosti se, pre svega, ogledaju u vidu donošenja zakonskih akata, te razvijanja dugoročnih planova i formiranja osnovnih pravaca i strategije za primenu principa održivog razvoja. Drugi nivo predstavljaju lokalne samouprave, odnosno opštinski organi upravljanja. Ovaj nivo vlasti, po mnogo čemu značajniji za običnog građanina, organizuje svoje aktivnosti velikim delom i preko Stalne konferencije gradova i opština Srbije. Ova organizacija je upravo i najzaslužnija za donošenje „strategije lokalnog održivog razvoja“ u maju 2005. godine u okviru aktivnosti „Program zaštite životne sredine i održivog razvoja u gradovima i opštinama Srbije 2004-2006“, a sve u skladu sa Agendom 21 sa već pomenute Konferencije u Riu iz 1992.

Postojeća zakonska regulativa Republike Srbije sa energetskeg aspekta i aspekta korišćenja obnovljivih izvora energije obuhvata:

- Zakon o energetici Republike Srbije (Sl. gl. RS, br. 57/11, 80/11),
- Zakon o planiranju i izgradnji (Sl. gl. RS, br. 72/2009, 81/2009, 64/2010, 24/2011)
- Zakon o zaštiti životne sredine (Sl. gl. RS, br. 135/04)
- Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima (Sl. gl. RS, br. 88/2011)
- Zakon o vodama ((Sl. gl. RS, br. 30/2010)
- Uredba o merama podsticaja za proizvodnju električne energije korišćenjem obnovljivih izvora eneregije i kombinovanom proizvodnjom električne i toplotne energije (Sl. gl. RS, br. 84/04)

Strateška dokumnta na polju održivog razvoja energetike su:

- Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine (Sl. gl. RS, br. 35/05),
- Program ostvarenja strategije razvoja energetike 2007-2012 (Sl. gl. RS, br. 17/07 i 73/07) sa izmenama i dopunama (Sl. gl. RS 99/09)

Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine predstavlja strateški dokument u kojem su sagledane energetske potrebe po sektorima potrošnje i strukturi energenata, kao i ukupne potrebe primarne energije (domaća proizvodnja i uvoz) Republike Srbije. Podlogu za izradu Strategije razvoja energetike čini dokument „Foundations of Serbian Energy Policy“, izrađen u saradnji Ministarstva rudarstva i energetike Republike Srbije i Svetske banke.

Dokument je poslužio kao podloga i smernica za dalji razvoj zakonske regulative u sektoru energetike, obzirom da prikazuje stanje potrošnje i proizvodnje energije u Srbiji u periodu od 1990 do 2002 godine i empirijske podatke o zavisnosti ekonomskih aktivnosti i potrošnje energije u periodu od 1990 do 2001. godine.

Trenutne potrebe u toplotnoj energiji na nivou grada Beograda, kao i prognoze povećanja istih u narednom periodu prikazane su u poglavlju 22.1.

U okviru Strategije razvoja energetike Republike Srbije predočene su potrebe u električnoj i toplotnoj energiji i mogući obim zadovoljenja istih, uzimajući u obzir trenutno i planirano stanje privredno-ekonomskog sektora u državi i okruženju. Strategija je definisala prioritete u cilju pravilnog i održivog razvoja energetike Republike Srbije, među kojima OIE imaju važnu ulogu u budućem upravljanju energetskog sektora Republike Srbije. Njihova primena se ne odnosi samo na rešavanje pitanja zadovoljenja potreba iz domaćih izvora energije, već se njihovim korišćenjem stvara podloga za rešavanje problema zagađenja životne sredine. Takvim pristupom Republika Srbija u potpunosti prati Evropske propise i direktive. U narednom tekstu prikazani su prioriteti Strategije razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine, sa akcentom na obnovljivim izvorima energije:

- "Prioriteti racionalne upotrebe energije i povećanja energetske efikasnosti, u okviru kojih su predviđene mere i aktivnosti za značajnu supstituciju električne energije, za zadovoljenje toplotnih energetskih usluga u sektorima domaćinstva i javne i komercijelne deletnosti, zatim za smanjenje sopstvene potrošnje pri proizvodnji, i gubitaka pri distribuciji električne i toplotne energije i za povećanje efikasnosti korišćenja energije".
- "Prioriteti selektivnog korišćenja novih i obnovljivih izvora energije i energetski efikasnijih tehnologija i uređaja, u okviru kojih su predviđene mere i aktivnosti za intenzivnije korišćenje biomase, iskorišćenje preostalog hidropotencijala, posebno za gradnju malih hidroelektrana i višenamenskih hidroenergetskih objekata, istovremeno sa organizovanim istraživanjem i korišćenjem geotermalnih izvora, kao i za masovnije korišćenje sunčeve energije za decentralizovano korišćenje toplotne energije".

U planu je izrada:

- Državnog programa za racionalnu upotrebu energije
- Zakona o racionalnoj upotrebi energije sa pratećom podzakonskom regulativom
- Ustanovljavanje standarda u potrošnje energije
- Zakonskih obaveza uvođenja principa gazdovanja energijom i izrade energetskih revizija (industrija, velike zgrade)
- Uvođenja podsticajnih mera korišćenja OIE
- Formiranje Fonda za energetske efikasnost

Donošenjem i usvajanjem Zakona o energetici, formirane su dve organizacije u cilju racionalnog i održivog korišćenja energije i energenata, Agencija za energetiku Republike Srbije i Agencija za energetske efikasnost.

Agencija za energetiku Republike Srbije predstavlja "regulatorno telo za obavljanje poslova na unapređivanju i usmeravanju razvoja tržišta energije na principima nediskriminacije i efikasne konkurencije, praćenju primene propisa i pravila za rad energetske sistema, usklađivanju aktivnosti energetske subjekata na obezbeđivanju redovnog snabdevanja kupaca energijom i uslugama i njihovu zaštitu i ravnopravan položaj". Osnovna nadležnost Agencije za energetiku Republike Srbije predstavlja donošenje tarifnih sistema za obračun električne energije, zatim uspostavljanje metodologije po kojoj određuje cena električne energije, cena gasa i cena toplotne energije za tarifne kupce, kao i donošenje licence za obavljanje energetske delatnosti. Dakle, Agencija uspostavlja pravila tarifiranja, daje saglasnost na pravila rada tržišta energije, i štiti prava kupaca energije, odnosno Agencija omogućava pravilan i nesmetan rad energetske tržišta Republike Srbije uz primenu zakona o energetici.

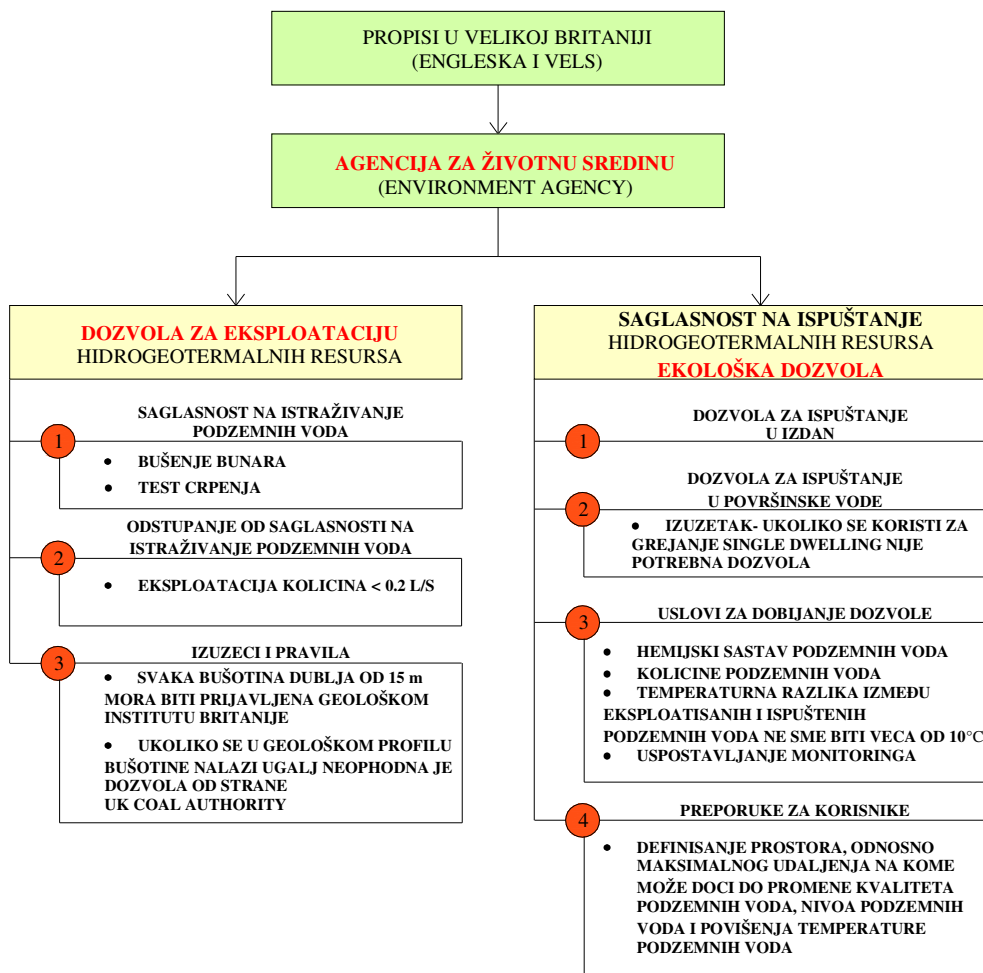
Agencija za energetske efikasnost je „posebna organizacija za obavljanje stručnih poslova na unapređenju uslova i mera za racionalnu upotrebu i štednju energije i energenata, kao i povećanje efikasnosti korišćenja energije u svim sektorima potrošnje energije“. Na polju strateškog razvoja energetske Republike Srbije deluje Agencija za energetske efikasnost. Agencija je osnovana 2002. godine u okviru reforme energetske sektora, uz finansijsku podršku Evropske unije preko Evropske agencije za rekonstrukciju (program *Community Assistance For Reconstruction, Development and Stabilisation*–CARDS). Program Agencije je usmeren na povećanje energetske efikasnosti kroz racionalno korišćenje energije i kroz upotrebu obnovljivih vidova energije. Agencija za energetske efikasnost je od 2007. godine strateški partner u Evropskoj kampanji „Održiva energija u Evropi 2005-2008“. Saradnja je omogućila implementaciju određenih mera energetske efikasnosti u oblasti industrije, komunalnoj energetici i zgradarstvu. Takođe, Agencija sprovodi edukativne programe u cilju podizanja svesti kod građana o značaju energetske efikasnosti i utiče na uvođenje zakonske regulative u ovoj oblasti.

Nepostojanje odgovarajuće zakonske regulative u domenu eksploatacije hidrogeotermalne i litogeotermalne energije negativno se odražava na energetske resurs i njegovo održivo korišćenje.

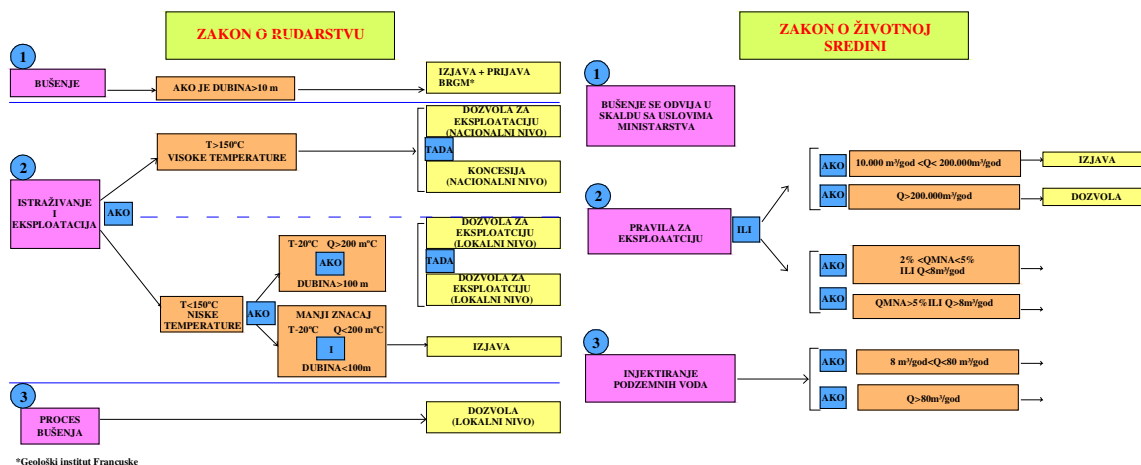
Prema preporukama Evropskog geotermalnog energetskeg odbora (EGEC), zakonska regulativa iz oblasti geotermalne energije trebalo bi da uređuje (Abesser, 2007):

korišćenje geotermalne energije na ekološki način, sa posebnim akcentom na zaštu podzemnih voda pogodnih za vodosnabdevanje
 višenamensko i održivo korišćenje geotermalne energije
 izdavanje odobrenja investitorima na korišćenje geotermalne energije na određenom području i u određenim količinama

U slučaju korišćenja hidrogeotermalne energije u sistemima toplotnih pumpi, za potrebe grejanja i hlađenja objekata, zakonska regulativa se razlikuje od države do države. Pregled neophodnih dozvola i saglasnosti na korišćenje hidrogeotermalne energije u nekoliko država, članica EU dat je kroz algoritme (slike 162, 163).



Slika 162. Algoritam propisa u Velikoj Britaniji u domenu korišćenja hidrogeotermalne energije (prema Abesser, 2007)



Slika 163. Algoritam propisa u Francuskoj koji se delom odnose na korišćenje hidrogeotermalne energije u sistemima toplotnih pumpi (Abesser, 2007, prema Bezelgues, 2008, Jaudin, 2010)

Korišćenje geotermalne energije u Nemačkoj regulisano je Federalnim aktom o rudarstvu. Prema tom dokumentu geotermalna energija nije vlasništvo lica na čijem se posedu energija eksploatiše, već pripada državi i za korišćenje geotermalne energije potrebno je obezbediti dozvolu. Pored dozvole za korišćenje neophodno je prikupiti dozvole i saglasnosti koje se odnose na zaštitu podzemnih voda i životne sredine. Ukoliko se aplikacija geotermalne energije odvija na mestu eksploatacije (npr. stambeni objekat) i/ili ako je dubina bunara manja od 100 m, prestaje da važi Federalni akt o rudarstvu, te je neophodno pribaviti dozvole koje su definisane zakonom o vodama, a koje izdaje državni organ.

Što se tiče korišćenja geotermalne energije u Republici Srbiji, zakoni nisu u potpunosti regulisali kako matičnost nadležnih ministarstava, tako ni dilemu da li bi korišćenje geotermalne energije trebalo da bude definisano kroz eksploataciju podzemnih voda ili energije. Naime, prema postojećim zakonima podzemne vode se tretiraju trojako: kao prirodni resurs, kao mineralna sirovina i kao energetska resurs. Samim tim, eksploatacija podzemnih voda, odnosno hidrogeotermalne energije potpada pod nadležnost različitih ministarstava, što stvara značajnu konfuziju kod potencijanih investitora u smislu razumevanja neophodnih koraka ka dobijanju dozvole za korišćenje podzemnih voda. Ovaj problem postaje posebno izražen kada dođe do intervencije inspekcija iz različitih ministarstava, a koje međusobno negiraju nadležnosti, tako da projektanti i investitori dolaze u često nerešive situacije.

Dodatni problem predstavlja korišćenje litogeotermalne energije, odnosno tzv. geosondi, koje ne podležu nijednom važećem zakonskom propisu, što izaziva ozbiljne probleme na terenu, jer dolazi do nekontrolisanog bušenja, nestručnog rukovođenja projektima i potencijalnog zagađenja životne sredine neadekvatnim izvođenjem istih. Stoga je neophodno, donošenjem odgovarajućih Pravilnika, definisati neophodne korake, te dozvole i saglasnosti na korišćenje litogeotermalne energije.

Prema aktuelnoj zakonskoj regulativi, eksploatacija i korišćenje hidrogeotermalnih resursa za potrebe klimatizacije objekata regulisano je sledećim zakonima:

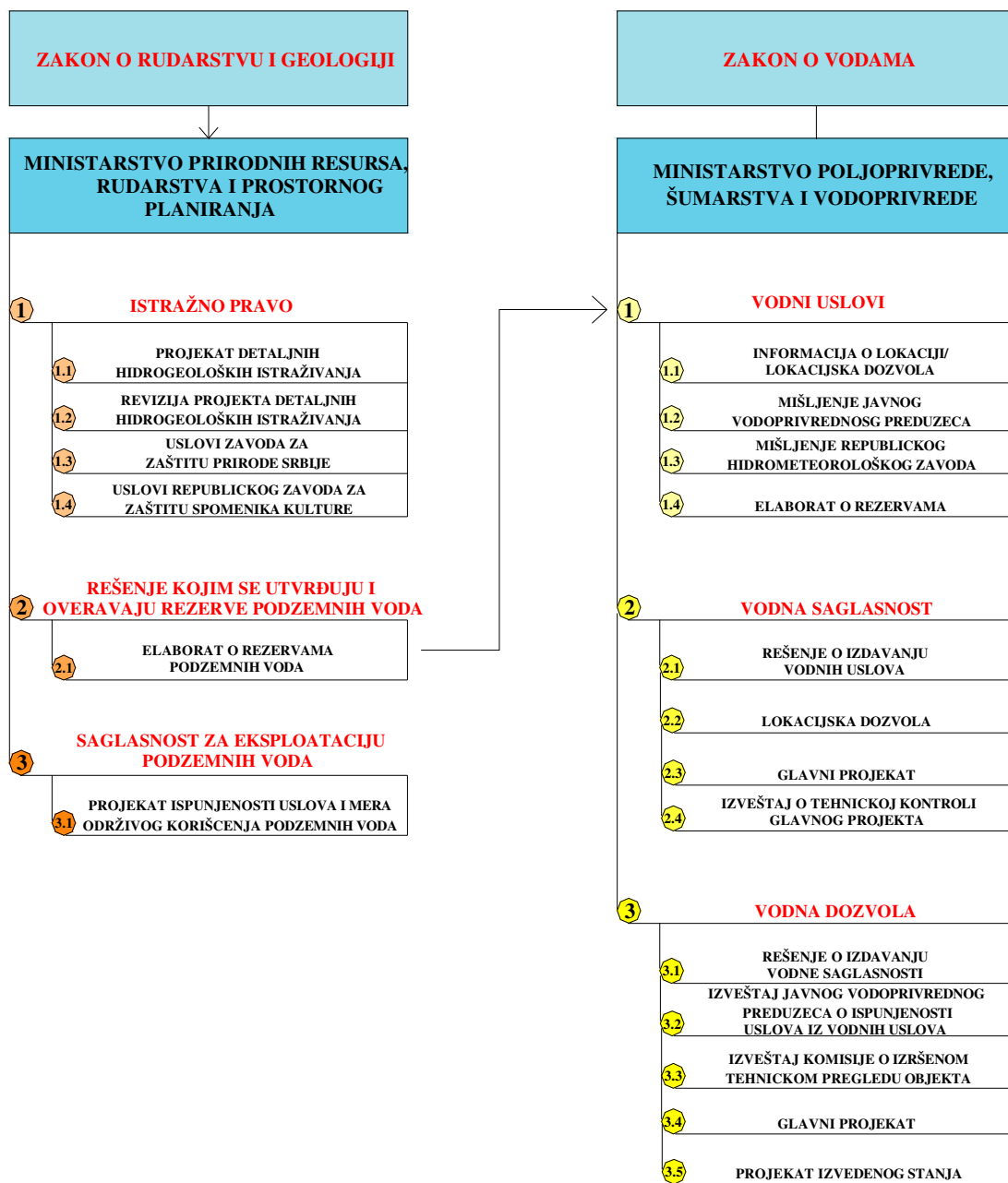
- Zakon o rudarstvu i geologiji
- Zakon o vodama
- Zakon o energetici

Nadležne institucije koje postupaju po navedenim zakonskim aktima su:

- Ministarstvo prirodnih resursa, rudarstva i prostornog planiranja
- Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede
- Ministarstvo Energetike

Na slici 164 prikazan je algoritam zakona i propisa u oblasti korišćenja hidrogeotermalnih resursa.

Sa slike 164 uočava se da aktuelna zakonska regulativa uređuje uslove eksploatacije hidrogeotermalnih resursa, dok ispuštanje, odnosno dispozicija hidrogeotermalnih resursa nije zakonski regulisana. Naime, u slučaju dispozicije resursa u otvoren površinski tok ili u kišni kolektor neophodno je pribaviti mišljenje od strane nadležnih javnih preduzeća, o količinama i hemijsko-fizičkim karakteristikama hidrogeotermalnih resursa koji se ispuštaju. Vraćanje hidrogeotermalnih resursa u izdan u Republici Srbiji zakonski nije obavezujuće. Uslovi vraćanja hidrogeotermalnih resursa u izdan zakonski nisu propisani.



Slika 164. Algoritam propisa u Republici Srbiji koji se odnose na korišćenje hidrogeotermalnih resursa

U tabeli 88 prikazane su evropske države čija zakonska regulativa nalaže/ne nalaže vraćanje podzemnih voda u izdan.

Tabela 88. Vraćanje podzemnih voda u izdan prema zakonskim propisima u pojedinim državama u Evropi (K4-RES-H, 2007)

| DRŽAVA | VRAĆANJE VODE U IZDAN PREMA ZAKONU | | USLOVI | KOJE GEOTERMALNE INSTALACIJE ZAHTEVAJU SAGLASNOSTI I IZRADU STUDIJA UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU |
|------------|------------------------------------|------------------------|--|--|
| | OBAVEZNO | OPCIONO | | |
| Albanija | NE | NE | NE | NE |
| Belgija | NE | NE | NE | NE |
| Francuska | NE | DA | 30 °C | veće od 1 MWth |
| Nemačka | NE | DA | nije poznato | svaka |
| Nemačka II | DA | Ograničena ispitivanja | | zavisi od količine dobijene energije, obično u zavisnosti od dubine |
| Mađarska | DA | NE | raspoloživost | Studija uticaja za svaku instalaciju |
| Letonija | DA | DA | mineralizacija | NE |
| Litvanija | NE | DA | mineralizacija | zavisi od bunara i mreže |
| Rumunija | NE | NE | max 35 °C ? u reke | sve vrste instalacija |
| Slovačka | NE | DA | individualno | DA (svaka) |
| Slovenija | NE | NE | max. 2% od dnevnog proseka, +1.5°C u reke-staništa somova ili + 3°C u reke-staništa šarana: jedan dnevni prosek, do 21.5°C u reke-staništa somova ili 28 °C u reke-staništa šarana | NE |
| Švajcarska | NE | NE | max +15 °C u reke | > 5MWth |

U Sjedinjenim američkim državama, skoro svaka država ima statut i regulatorne obaveze koje se odnose na upojne bunare. U slučaju vraćanja resursa u vodonosni sloj koji nije i eksploatacioni sloj, povećava se opasnost od zagađenja podzemnih resursa, te su dozvole znatno strožije (Abesser, 2007).

U okviru Zakona o energetici hidrogeotermalni resursi prepoznati su kao obnovljivi izvori energije. Korišćenje obnovljivih izvora energije u cilju proizvodnje i distribucije električne i toplotne energije, prema pomenutom zakonu, uslovljeno je energetske dozvolama. Izdavanje energetske dozvole vrši se prema Pravilniku o kriterijumima za izdavanje energetske dozvole, sadržini zahteva i načinu izdavanja energetske dozvole od strane Ministarstva za energetiku.

Prema aktuelnoj zakonskoj regulativi, energetska dozvola nije potrebna za individualne korisnike hidrogeotermalne energije. Dozvola se izdaje za izgradnju energetskog objekta za proizvodnju toplotne energije snage preko 1 MW, i za izgradnju objekata za distribuciju toplotne energije.

14. ISTORIJAT ISTRAŽIVANJA I KORIŠĆENJA GEOTERMALNE ENERGIJE U SRBIJI

Razvoj geologije u Srbiji počeo je krajem XIX veka. Logično bi bilo očekivati da će razvoj srpske geotermologije početi tek posle toga. Međutim, oba ova razvoja započeta su praktično istovremeno, ali se kasnije nisu odvijala istim tempom.

Prvi poznati i ujedno najstariji geotermalni pisani podaci za područje Srbije su rezultati temperaturnih merenja koja je izveo nemački naučnik Erman u Beogradu, a zatim ih publikovao 1832. godine u izdanju Kraljevske akademije nauka u Berlinu. Krajnji cilj temperaturnih merenja Ermana bio je da se odredi zona sezonskih promena temperature u terenu, temperatura na toj granici, kao i razlika te temperature i srednje godišnje temperature vazduha. Utvrđeno je da srednja godišnja temperatura vazduha u Beogradu iznosi 11.1°C, a stenskih masa na donjoj granici sezonskih promena temperature 12.9°C. Dubina granice na kojoj je temperatura stalna iznosila je 14.0 m.

Za „oca“ ili osnivača geotermologije i geotermalnih istraživanja u Srbiji trebalo bi smatrati Svetolika Radovanovića, jednog od prvih srpskih geologa, čija je profesionalna karijera bila kratka, ali zato veoma vizionarska i plodonosna. On je u svojoj knjizi „Podzemne vode“ publikovanoj 1897. jednu trećinu sadržaja posvetio geotermalnoj energiji. Njegov rad „O geotermalnom stupnju tercijarnog terena kod Mladenovca“, koji je publikovan iste godine, predstavlja prvi naučni rad na srpskom jeziku iz geotermologije, odnosno geotermalnih istraživanja. Od početka 20. veka do Prvog svetskog rata treba pomenuti rad Vujevića (1909) o rezultatima sistematskih merenja temperature u bušotinama do dubine od 24 m na lokaciji hidrometeorološke opservatorije u Beogradu. Ova merenja su trajala neprekidno pet godina (od 1902-1906. godine) i na osnovu njih je tačno određena amplituda promene temperature do dubine na kojoj počinje geotermozona, čime su potvrđeni rezultati Ermana iz 1831. godine (Milivojević, 1997).

Između dva Svetska rata geotermalna istraživanja su bila veoma skromna. Tu treba pomenuti izradu do tada najdublje hidrogeotermalne bušotine u Vrnjačkoj banji dubine 250 m, koja je izrađena 1932. godine. Voda koja ističe iz ove bušotine i danas predstavlja glavni geotermalni i vodni resurs Vrnjačke banje. U istom periodu počeli su radovi na kaptiranju termalnih izvora Niške Banje pod rukovodstvom M. Pećinara.

Od geologa problematikom hidrogeotermalnih pojava, tj. Izvora termomineralnih voda najviše se bavio M. Luković. On je posle S. Radovanovića prvi uneo pravi naučni hidrogeološki pristup u njihovo istraživanje i u vezi s tim ostavio čitav niz naučnih radova. Od ostalih radova treba pomenuti izvanrednu hidrogeološku i hidrogeotermalnu monografiju S. Stefanovića (1941) o termalnim izvorima Niške Banje.

Posle Drugog svetskog rata nisu odmah započeta sistematska i organizovana geotermalna istraživanja i ispitivanja. Prva plitka termometrijska ispitivanja (1950) su bila izvedena u cilju okonturivanja mesta skrivenih isticanja termalnih voda u aluvijalni nanos u području termalnih izvorišta Sijarinske i Kuršumlijske banje. Ova ispitivanja je izveo Mladenović (1954).

Izraz „geotermalna energija“ pojavljuje se prvi put 1975.godine. Od tada se može smatrati da počinje nova etapa razvoja geotermologije i geotermalne energije u Srbiji i Jugoslaviji. Od regionalnih istraživanja počinje izrada pilot studije o geotermalnoj potencijalnosti područja Avala–Kosmaj–Bukulja–Rudnik (Perić, Milivojević, 1979). Na Institutu za hidrogeologiju Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu 1976. je osnovana Laboratorija za geotermalnu energiju. Uskoro je u nastavu za studente hidrogeologije uveden i predmet „Geotermalna energija“.

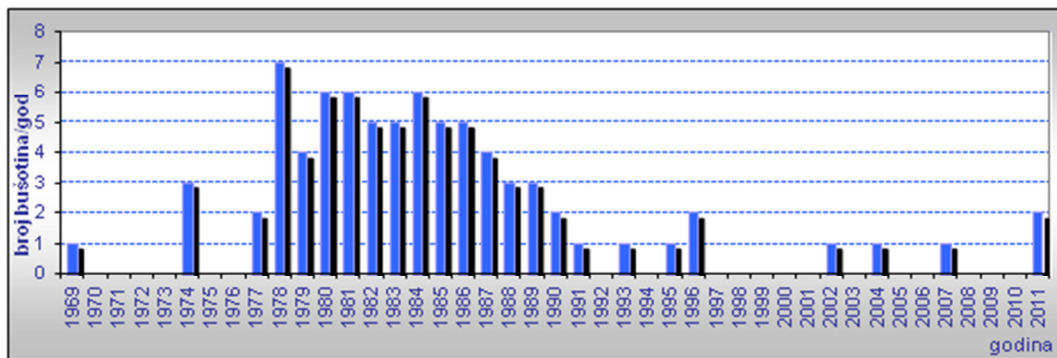
Posle izrade pilot studije za područje od Avale do Rudnika, koja je publikovana 1981. godine, 1980. godine je počela izrada studije, tj. Ocene energetske potencijalnosti geotermalnih resursa teritorije Srbije van teritorija Vojvodine, Kosova i Metohije u okviru rada Laboratorije za geotermalnu energiju RGF-a. Dobijene rezultate obradio je Milivojević (1990) i Milivojević, Perić (1991).

Vrednosti gustine toplotnog toka na teritoriji Srbije prvi put su određene na lokalitetu Ribarska banja od strane Milovanovića 1980. godine. Milivojević, Perić (1982) na teritoriji SFRJ i Srbije izdvajaju geotermalne provincije i daju prognozu mogućih vrednosti gustine terestičnog toplotnog toka u njima. Prva karta gustine toplotnog toka za područje Srbije, Crne Gore i Makedonije, publikovana je u Geotermalnom atlasu Evrope (Milivojevic, 1992).

U srpskom delu Panonskog basena prva bušotina dubine 1.454 m izbušena je 1969. godine, a druga do dubine 2.509 m izbušena je 1974. godine. U periodu od 1977-1988. godine izbušeno je ukupno 58 bušotina ukupne dubine oko 50.000 m. U ostalim geotermalnim provincijama izbušeno je do 1992. godine 45 istražnih bušotina ukupne dubine oko 40.000m. Od njih su samo tri do dubine 1.800m, četrnaest dubine 1.000-1.500m, trinaest dubine 500-1.000 m i petnaest dubine 300-500 m. Većina od ovih istražnih bušotina su sa samoizlivom termalnih voda i služe kao eksploatacione. Ukupna izdašnost ovih bušotina je oko 500 l/s (Martinović, Milivojević, 2010).

U periodu od 1991-1993. godine geotermalna istraživanja u Srbiji su se postepeno smanjivala, tako da su praktično ugašena.

Tek nakon 2000-te godine ponovo se uspostavljaju preduslovi za nastavak geotermalnih istraživanja, a naročito posle 2008. godine. Na slici 165 dat je grafički pregled izbušenih bušotina na teritoriji AP Vojvodina od strane NIS-a, iz koga se može zaključiti o intenzitetu geotermalnih istraživanja.



Slika 165. Dinamika izrade geotermalnih bušotina u AP Vojvodina u periodu 1969-2011 (Milenić i dr., 2011 prema Demić, Brzak, 2011)

Pored bušenja geotermalnih bušotina, treba napomenuti i ponovno uspostavljanje radova na strateškim projektima tehnološkog razvoja u Republici Srbiji, finansiranih od strane Ministarstva Nauke.

Pored toga urađena je prva faza studije o hidrogeotermalnoj potencijalnosti teritorije grada Beograda (Milenić i dr., 2006), a privodi se kraju i druga, završna faza (predviđeno 2012, Milenić, Vranješ)

Tokom 2010. godine završen je Geotermalni atlas Vojvodine pod vođstvom Laboratorije za geotermalnu energiju Departmana za hidrogeologiju, a u saradnji sa Geološkim Institutom Srbije i Naftnom Industrijom Srbije.

Što se tiče korišćenja geotermalne energije u Srbiji, ono je po broju svrha oskudno, ali je započelo veoma davno. Naime, u Niškoj i Vrnjačkoj banji pronađeni su ostaci kaptaza termalnih izvora i kupatila kao arheološki dokazi da su Rimljani koristili termalne vode na ovim lokalitetima. To je sigurno vršeno i u Gamzigradskoj banji, jer se u njenoj neposrednoj blizini nalazi „Felix Romulijana“, tj. carska palata rimskog cara Justinijana. Moguće je da su baš termalni izvori današnje Gamzigradske banje uticali na donošenje odluke o izgradnji carske palate.

O korišćenju termalnih voda u balneoterapeutske svrhe za vreme Srednjeg veka nema mnogo pisanih dokaza niti materijalnih tragova. Sigurno je da su termalne vode sa izvora danas najpoznatijih lokaliteta korišćene u vreme srednjevekovne srpske države, tj. pre pada u tursko ropstvo, jer su mnogi manastiri i crkve podizani pored njih, kao na primer: Gornji Gradac, Studenica, Dečani itd. Dolaskom Turaka preneti je istočnjačka tradicija korišćenja termalnih voda za razonodu i lečenje, o čemu svedoče još sačuvana tzv. „turska kupatila“, odnosno amami u nekim banjama.

Korišćenje geotermalne energije, odnosno termalnih voda u Srbiji u balneoterapeutske svrhe je još osnovni i najčešći način.

Najstarije korišćenje geotermalne energije u toplifikacione svrhe počelo je u Vranjskoj banji za grejanje banjaskih prostorija. Tu je ujedno i najstariji vid korišćenja geotermalne energije u poljoprivredi, jer se termalne vode koriste na živinarskoj farmi i za proizvodnju cveća. Najveći objekat koji se zagrevao geotermalnom energijom počev od 1985. godine je bio hotel „Žubor“ u Kuršumlijskoj banji. Prva geotoplana sa toplotnim pumpama snage 6 MW izgrađena je u Niškoj banji 1986. godine. Najveći objekti za proizvodnju ranog povrća su staklenici „Elan“ kod Sombora koji se zagrevaju geotermalnom energijom (Milenić i dr., 2011).

15. GEOTERMALNA ENERGIJA I NJENA KLASIFIKACIJA

Geotermalna energija predstavlja energiju akumuliranu u vidu toplote ispod površine čvrstog tla („Geothermal energy is the energy stored in form of heat beneath the surface of the solid earth”). Ova definicija je usvojena kao zvanična definicija geotermalne energije u Nemačkoj (Technical Division Energy Conversion and Application, 2010), a odobrena je od Evropskog Geotermalnog Energetskog Saveta (EGEC).

Naziv geotermalna energija potiče od grčkih reči „gea”- zemlja i „termos”- toplota. Jedna od opštih definicija geotermalne energije u energetskom smislu glasi: "Geotermalna energija predstavlja onaj deo geotermalne toplote koji se može upotrebiti kao korisna toplota za njeno direktno korišćenje ili za pretvaranje u druge vidove energije" (Milivojević, 2012).

Ukupna toplota akumulirana u unutrašnjosti Zemlji je reda veličine 12.6×10^{24} MJ, a u Zemljinoj kori 5.4×10^{21} MJ (Dickson, Fanelli, 2004). Ovu ogromnu trebalo bi porediti sa svetskom proizvodnjom električne energije u 2005. godini, koja iznosi 6.6×10^{13} MJ (Bertani, 2009).

Klasifikacija geotermalne energije izvršena je prema delu Zemljine kore i sredini u kojoj je akumulirana i iz kojih se eksploatiše, odnosno prema poreklu (Milivojević, 1989) na:

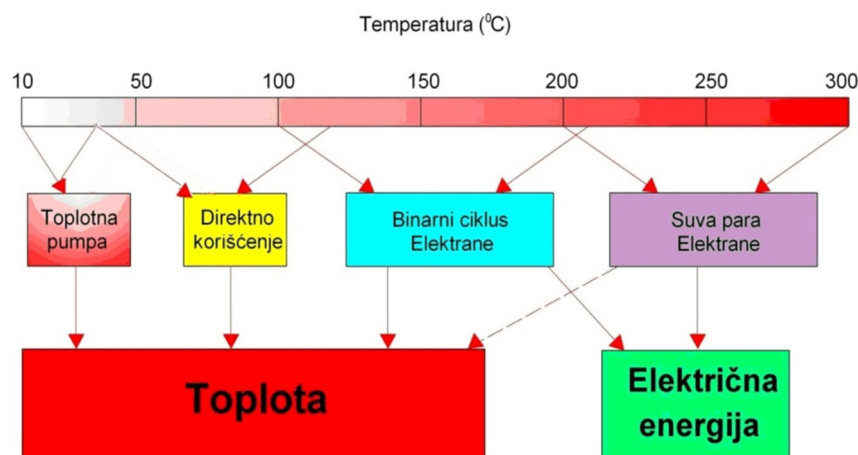
- Hidrogeotermalnu energiju–HGTE (akumuliranu u vodi)
- Litogeotermalnu energiju (akumuliranu u čvrstim stenskim masama bez vode)
- Magmotermalnu energiju (akumuliranu u magmi)
- Pneumotermalnu energiju (akumuliranu u toplim gasovima)

Dalja klasifikacija hidrogeotermalne energije izvršena je prema temperaturi i nameni:

- **HGTE niske entalpije-temperatura fluida <100°C**
- HGTE niske do srednje entalpije-temperatura fluida 100-150°C
- HGTE srednje entalpije-temperatura fluida 150-250°C
- HGTE visoke entalpije-temperatura fluida >250°C

U zavisnosti od temperature fluida zavisi i mogućnost primene hidrogeotermalne energije. Pre svega HGTE se koristi u svrhu dobijanja toplotne energije, a pri višim i visokim temperaturama i električne energije. Donja granica temperature hidrogeotermalnog fluida za proizvodnju električne energije jeste 100°C. Ispod ove granice eksploatacija resursa u cilju dobijanja struje nije ekonomski isplativa, premda se na tržištu pojavljuju binarni sistemi u kojima je moguće koristiti i niže temperature hidrogeotermalnih fluida.

Na slici 166 prikazani su primeri primene hidrogeotermalne energije u zavisnosti od temperature fluida.



Slika 166. Mogućnosti korišćenja resursa u zavisnosti od temperature fluida hidrogeotermalne energije

Iz klasifikacije prema temperaturi jasno je da se skoro sve do sada identifikovane geotermalne pojave u Srbiji nalaze u okviru hidrogeotermalne energije niske entalpije sa temperaturom fluida ispod 100°C. Ta činjenica je uslovlila da se tokom poslednjih godina izvedu istraživanja sa ciljem detaljnije klasifikacije hidrogeotermalnih resursa niske entalpije.

Na osnovu dobijenih rezultata istraživanja u periodu od 2008. godine do 2010. godine godine, usvojena je sledeća klasifikacija hidrogeotermalne energije niske entalpije (Stevanović Z., i dr., 2008):

- **sub(hidro)geotermalna energija (temperatura fluida do 30 °C)**
- **(hidro)geotermalna energija u užem smislu (temperaturom fluida od 30 °C do 100 °C)**

"Subgeotermalni izvori energije predstavljaju vid hidrogeotermalne energije niske entalpije, akumulirane u podzemnim vodama temperaturnog opsega do 30 °C, i čija je eksploatacija i korišćenje uslovljeno primenom geotermalnih toplotnih pumpi" (Milenic, et al., 2010).

Kao osnovni kriterijumi za definisanje graničnih temperaturnih uslova, uzeti su način korišćenja i ekonomsko-fizička opravdanost.

Gornja temperaturna granica (30°C) uzeta je kao temperatura iznad koje počinje tzv. direktno korišćenje resursa, odnosno to je temperatura do koje je se hidrogeotermalni resurs eksploatiše uz pomoć toplotne pumpe.

Kao početni uslovi za definisanje predložene temperature, najpre su analizirana grejna tela odnosno unutrašnje instalacije koja koriste različite grejne temperature, i to:

visokotemperaturni sistemi:

- radijatorski sistem (ulazna temperatura vode temperatura veća od 65°C)

srednjetemperaturni sistemi:

- konvektori sa prinudnom cirkulacijom - fan coil sistemi (temperatura veća od 50°C)
- konvektori sa prirodnom cirkulacijom (temperatura veća od 50°C)
- centralni vazdušni sistem (temperatura veća od 50°C)

niskotemperaturni sistemi:

- zidna-panelna grejanja (temperatura minimalno 30°C)
- podna grejanja (temperatura minimalno 30°C)
- plafonska grejanja (nekada se koristilo, izaziva ambijentalnu neugodnost, temperatura minimalno 30°C)

Dakle, na osnovu predstavljene podele, najniža neophodna temperatura vode za grejanje je u niskotemperaturnim sistemima grejanja (panelni sistem) – min. 30°C.

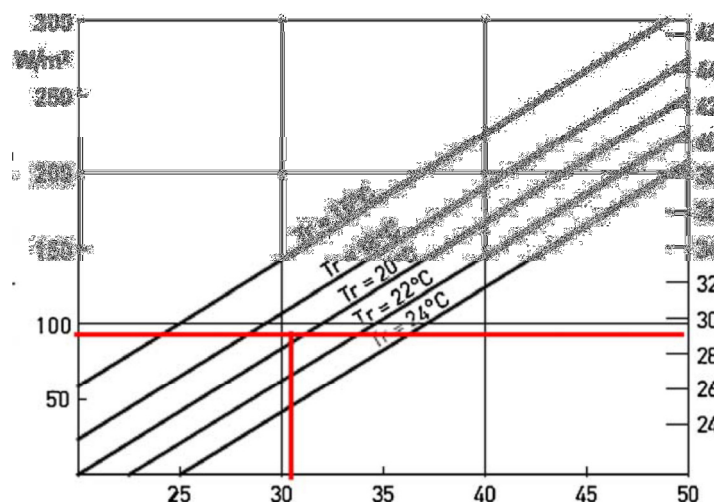
Da bi se definisala minimalna temperatura vode neophodne za grejanje određenog objekta, najpre se definiše neophodni toplotni kozum kao i optimalna ambijentalna temperature prostorije.

U primeru koji sledi uzete su minimalne količine energije potrebne za grejanje, kako bi se došlo do minimalne prihvatljive temperature vazduha u prostoriji:

Toplotni konzum: Za zagrevanje zgrade od 1.000m^2 , predviđeno je $70\text{W}/\text{m}^2$ odnosno 70kW za celu zgradu (za zagrevanje prostorije od 10m^2 u zgradi, potrebno je dakle 700W). Ova toplotna energija se koristi u objektima veoma dobre energetske efikasnosti.

Ambijentalna temperatura: Optimalna ambijentalna temperatura određena našim JUS-om i nemačkim DIN (Deutsches Institut für Normung) standardom iznosi 20°C .

Da bi se ovi uslovi postigli, neophodno je obezbediti sledeće karakteristike panela i temperaturu ulazne vode (slika 167):



Slika 167. Dijagram zavisnosti srednje temperature vode u sistemu od toplotne potrošnje i površinske temperature u panelima (Milenic, et al., 2010)

Na grafiku (slika 167) x-osa predstavlja srednju temperaturu vode u panelu, dok su na y-osi date vrednosti toplotne snage zidnog panela, izražene u W/m^2 , a na y'-osi date su vrednosti temperature zidnog panela izražene u $^\circ\text{C}$.

Projektna unutrašnja temperatura, prema pomenutim standardima je $T_r=20^\circ\text{C}$ (ambijentalna temperatura prostorije) pri vršnim opterećenjima (za uslove kada je spoljašnja temperatura -18°C). Količina energije u panelima potrebna da se zagreje 1m^2 prostora u ovakvom energetski efikasnom objektu iznosi oko 80W (slika 167, tabela 89).

U tabeli 89. prikazane su vrednosti toplotne snage zidnog panela, izražene u W/m^2 na osnovu kojih se vrši dalji proračun potrebne površine zidnog panela koji treba ugraditi, kako bi se postigla projektovana ambijentalna temperatura.

Tabela 89. Specifični toplotni kapacitet zidnog panela (W/m^2) u zavisnosti od srednje temperature vode u panelu i projektovane ambijentalne temperature
(Milenic, et al., 2010)

| tv/tr | tmH | Room temperature | | | | | To at Tr=20°C |
|-------|-----|------------------|---------|---------|---------|---------|------------------|
| | | Tr=15°C | Tr=18°C | Tr=20°C | Tr=22°C | Tr=24°C | |
| 30/20 | 25 | 100 | 65 | 42 | 20 | 0 | 25 |
| 35/25 | 30 | 142 | 106 | 83 | 62 | 40 | 29 |
| 40/30 | 35 | 183 | 148 | 125 | 103 | 82 | 32 |
| 45/35 | 40 | 225 | 190 | 167 | 144 | 124 | 36 |
| 50/40 | 45 | 267 | 231 | 208 | 185 | 164 | 40 |
| 55/45 | 50 | 310 | 272 | 250 | 228 | 208 | 44 |

gde je:

- $T_r = 20^\circ C$ (ambijentalna temperatura prostorije)
- $t_v = 35^\circ C$ (temperatura napojne vode na ulazu u panel)
- $t_r = 25^\circ C$ (temperatura povratne vode na izlazu iz panela)
- $t_{mh} = (t_v + t_r)/2 = 30^\circ C$ (srednja temperatura vode u panelu)
- $T_o = 29^\circ C$ (temperatura površine zidnog grejnog panela)

Ovakav rezultat može se dobiti i pri ulaznoj temperaturi od $32^\circ C$ i izlaznoj od $28^\circ C$ (opet je srednja temperatura $30^\circ C$). Grejni kapacitet (Specifični toplotni kapacitet zidnog panela) panela u vršnom režimu rada za raspoloživu temperaturu geotermalne vode prema ulaznim podacima iznosi $Q_{gs} = 83 W/m^2$ panela.

Dakle, za grejanje prostorije od $10m^2$ sa toplotnim konzumom od $700W$ neophodno je:

$$700W / 83W \sim 9m^2 \text{ panela za sobu od } 10m^2.$$

Sračunata površina panela za grejanje predstavlja optimlanu površinu. Svaka veća površina zahtevala bi postavljanje jako velike površine panela, čak i po plafonu, što sa ekonomskog i fizičko-prostornog aspekta nije prihvatljivo.

Iz iznete analize se vidi da je minimalna temperatura ulazne vode u neki sistem za grejanje 30°C, pa je ta temperatura određena kao minimalna za koju je moguće direktno grejanje. To dalje znači, da će svaki hidrogeotermalni resurs sa temperaturom manjom od 30°C morati da prođe kroz sistem zagrevanja, odnosno podizanja temperature korišćenjem toplotne pumpe. Upravo je ta **temperatura od 30°C i granica za definisanje subgeotermalnih podzemnih voda** – onih voda koje za korišćenje u klimatizaciji prostora moraju da prolaze kroz sistem toplotne pumpe.

Primenjujući iste kriterijume i na litogeotermalnu energiju, može se izvršiti dalja klasifikacija ovog tipa geotermalne energije na:

- sublitogeotermalne resurse
- sublitogeotermalne resurse u užem smislu

Sublitogeotermalna energija predstavlja toplotu akumuliranu u suvim stenskim masama i uz korišćenje toplotnih pumpi nalazi veliku primenu u zgradarstvu (poput subhidrogeotermalne energije), za potrebe grejanja i hlađenja objekata.

16. SUBGEOTERMALNI ENERGETSKI RESURSI

16.1. SUBHIDROGEOTERMALNI ENERGETSKI RESURSI

Raspoloživost subgeotermalnih podzemnih vodnih resursa vezana je uglavnom za dubine do 200m od površine terena i na teritoriji Srbije nije ravnomerno raspoređena. Najveće količine ovog vida energije vezane su za aluvione velikih reka, posebno u gradovima kroz koje protiču. Zahvaljujući efektu toplotnog ostrva, temperature podzemnih voda u gradovima su povišene u odnosu na ruralne sredine, pa je samim tim i energetska potencijal veći.

Na osnovu preliminarne ocene podzemnih vodnih resursa temperature do 30°C, teritorija Republike Srbije je veoma perspektivna sa aspekta korišćenja subgeotermalne energije. U cilju sagledavanja subgeotermalne potencijalnosti, teritorija Republike Srbije podeljena je na subgeotermalne provincije (šest provincija) u skladu sa podelom Srbije na hidrogeološke, odnosno geo-strukturne jedinice.

U okviru svake subgeotermalne provincije sagledana je geološka i hidrogeološka građa, te ukupno raspoložive količine podzemnih voda i njihove temperature. Raspoložive količine voda za subhidrogeotermalnu energiju čine 35 % od ukupno raspoloživih podzemnih voda (Stevanović Z., i dr., 2010).

Raspoloživa toplotna snaga računata je na osnovu jednačine:

$$Q = m * c * \Delta T$$

gde je:

Q– toplotni kapacitet (MW)

m– masa (kg)

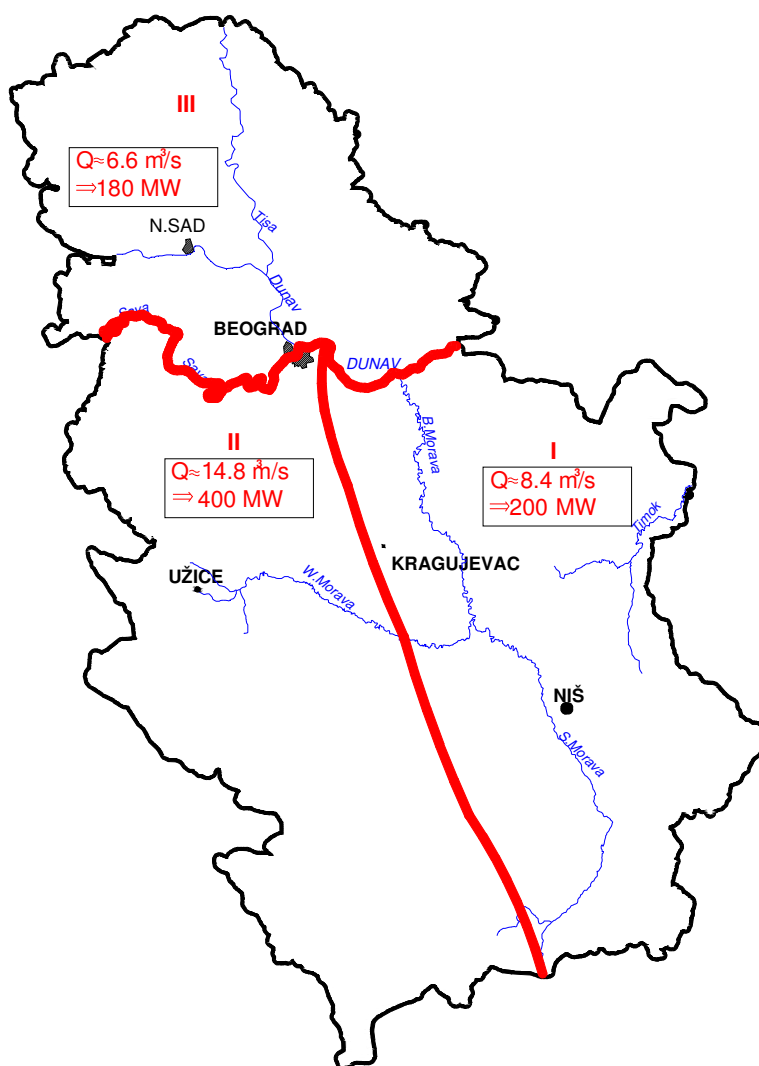
c– specifični toploni kapacitet vode (J/kg°C)

ΔT – diferencijalna temperatura (°C)

Rezultati istraživanja potencijalnosti subgeotermalne energije sublimirani su i prikazani u odnosu na istočni, centralni i severni deo R. Srbije (slika 168):

- Istočni deo, kome odgovaraju ukupne procenjene količine podzemnih voda od oko 24.000 l/s, odnosno raspoloživa toplotna snaga iznosi oko 580 MW. Ukoliko se posmatra samo raspoloživa količina vode za subhidrogeotermalnu energiju, a to je 35% od ukupno raspoloživih količina (bez delova koji odlaze na vodosnabdevanje i sl.), onda je to količina od oko 8.400 l/s, odnosno raspoloživih 200 MW).
- Centralni i zapadni deo teritorije (kome pripada i Beograd), kome odgovaraju ukupne procenjene količine podzemnih voda od oko 42.000 l/s, odnosno raspoloživa toplotna snaga iznosi oko 1.100 MW. Ukoliko se posmatra samo raspoloživa količina vode za subhidrogeotermalnu energiju, a to je 35% od ukupno raspoloživih količina, onda je to količina od oko 15.000 l/s, odnosno raspoloživih oko 400 MW.
- Severni deo Srbije, koji korenspondira sa granicama AP Vojvodina kome odgovaraju ukupne procenjene količine podzemnih voda od oko 18.600 l/s, odnosno raspoloživa toplotna snaga iznosi oko 620 MW. Ukoliko se posmatra samo raspoloživa količina vode za subhidrogeotermalnu energiju, a to je 35% od ukupno raspoloživih količina, onda je to količina od oko 6.600 l/s, odnosno raspoloživih oko 180 MW.

Ako se posmatra teritorija cele Republike, raspoloživi resursi subgeotermalne energije odgovaraju sledećem: ukupne procenjene količine podzemnih voda od oko 85.000 l/s, sa raspoloživom toplotnom snagom oko 2.300 MW. Ukoliko se posmatra samo raspoloživa količina vode za subhidrogeotermalnu energiju (30% od ukupno raspoloživih količina), onda je to količina od oko 29.800 l/s, odnosno raspoloživih oko 800 MW.



Slika 168. Teritorijalna raspodela raspoloživih subhidrogeotermalnih resursa u Republici Srbiji (Milenic, Vranjes, 2011)

Tabela 90. Kvantifikacija raspoloživih subhidrogeotermalnih resursa u Srbiji
 (Milenic, Vranjes, 2011, prema Stevanović Z., i dr., 2010)

| | Ukupne raspoložive rezerve (l/s) | | | Ukupno (l/s) | Ukupna toplotna snaga (MW) | Raspoložive količine za SGTE (l/s) | | | Toplotna snaga za SGTE (MW) |
|---|----------------------------------|-------------|-------------|--------------|----------------------------|------------------------------------|------------|------------|-----------------------------|
| | Temperatura podzemih voda (°C) | | | | | Temperatura podzemih voda (°C) | | | |
| | 10-16 | 16-22 | 22-30 | | | 10-16 | 16-22 | 22-30 | |
| | 1 | 2 | 3 | | | 4 | 5 | 6 | |
| Istočna Srbija | | | | | | | | | |
| Aluvijalne naslage | 15750 | 0 | 0 | 15750 | 388 | 5510 | 0 | 0 | 138 |
| Izdan u neogenim naslagama | 2090 | 340 | 200 | 2630 | 73 | 730 | 155 | 105 | 34 |
| Karstna izdan | 5080 | 130 | 50 | 5260 | 110 | 1778 | 48 | 25 | 23 |
| Pukotinska izdan | 200 | 60 | 50 | 310 | 11 | 71 | 28 | 25 | 5 |
| UKUPNO | 23120 | 530 | 300 | 23950 | 582 | 8089 | 231 | 155 | 200 |
| Centralna i zapadna Srbija (uključujući Beograd) | | | | | | | | | |
| Aluvijalne naslage | 29000 | 0 | 0 | 29000 | 728 | 10150 | 0 | 0 | 255 |
| Izdan u neogenim naslagama | 4700 | 350 | 320 | 5370 | 159 | 1645 | 150 | 140 | 59 |
| Karstna izdan | 7000 | 380 | 130 | 7510 | 205 | 2450 | 150 | 45 | 74 |
| Pukotinska izdan | 250 | 90 | 60 | 400 | 15 | 87.5 | 45 | 30 | 6 |
| UKUPNO | 40950 | 820 | 510 | 42280 | 1107 | 14332 | 345 | 215 | 395 |
| Severna Srbija (AP Vojvodina) | | | | | | | | | |
| Aluvijalne naslage | 12100 | 0 | 0 | 12100 | 304 | 4235 | 0 | 0 | 106 |
| Pliokvartarne naslage | 5100 | 200 | 100 | 5400 | 146 | 1785 | 100 | 50 | 54 |
| Izdan u neogenim naslagama | 800 | 200 | 100 | 1100 | 38 | 280 | 100 | 50 | 16 |
| Karstna izdan | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| UKUPNO | 18000 | 400 | 200 | 18600 | 617 | 6300 | 200 | 100 | 176 |
| CELOKUPNA TERITORIJA | 82070 | 1750 | 1010 | 84830 | 2306 | 27668 | 776 | 470 | 770 |

* Temperatura podzemnih voda 10-16 °C, $\Delta T=6$ °C

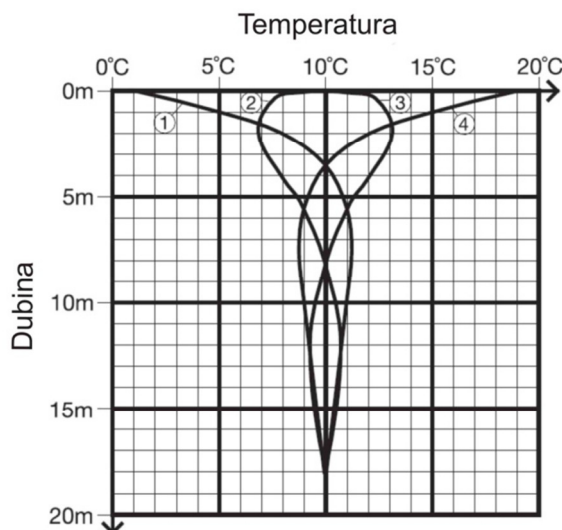
Temperatura podzemnih voda 16-22 °C, $\Delta T=12$ °C

Temperatura podzemnih voda 22-30 °C, $\Delta T=18$ °C

16.2. SUBLITOGEOTERMALNI ENERGETSKI RESURSI

Na teritoriji Srbije pored povoljnih mogućnosti za eksploataciju geotermalne energije iz podzemnih voda, postoje i povoljne mogućnosti za eksploataciju geotermalne energije iz suvih stena, tzv. geosondi. Eksploatacija geotermalne energije iz suvih „hladnih“ stena doživljava ekspanziju poslednjih godina u Srbiji. Relativno jeftina tehnologija, „plitka“ dubina bušenja dominantno do 100-125m, kao i sigurnost sistema doveli su do toga da mnoge individualne stambene kuće koriste ovaj vid energije za grejanje/hlađenje svojih prostora.

Slika 169 pokazuje nivo temperature u tlu do dubine od 20 m. Ona pokazuje konstantne vrednosti između 7°C i 13°C na dubini od 1.2 - 1.5 m u toku godine i oko 10°C tokom godine na dubini od 18 m. Linija 1 predstavlja februarSKI prosek, linija 2 majski, linija 3 novembarski i linija 4 avgustovski. Na dubini od 100 metara, temperatura je obično oko 12°C i oko 15°C na 200 metara dubine.



Slika 169. Temperatura tla po dubini u različitim periodima u godini (www.rehau.at)

Princip rada niskotemperaturnih sistema klimatizacije koji koriste geosonde kao izvor energije baziran je na cirkulaciji radnog fluida (mešavine vode i glikola) od geosonde do toplotne pumpe i obratno. Geosonda se sastoji iz dovodne i odvodne cevi koje su na dnu spojene i u kojima se nalazi radni fluid. Zahvaljujući konstantnim temperaturama tla, radni fluid u sondama se zagreva za par stepeni i tako zagrejan odlazi u toplotnu pumpu, predaje energiju, zatim ohlađen, povratim vodom vraća se u geosondu, gde se ponovo zagreva. Prostor između zida bušotine i geosondi ispunjen je termocementom koji pospešuje razmenu toplote stene i radnog fluida.

Prilikom izrade geosondi neophodno je obezbediti minimalno razmicanje od oko 5-6 m između sondi .

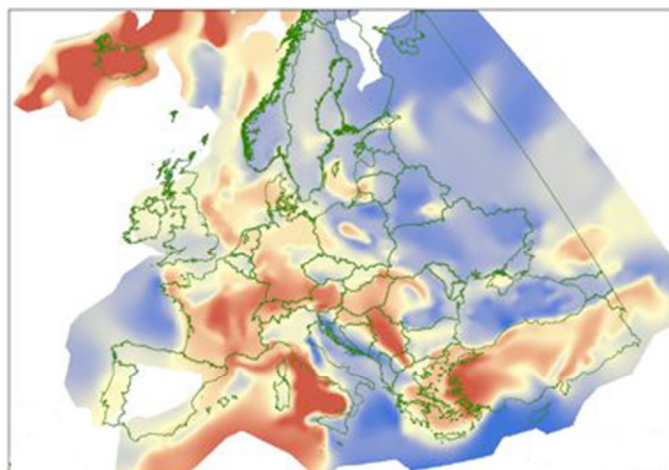
17. GEOTERMALNI RESURSI U UŽEM SMISLU

Geotermalne karakteristike nekog terena zavise od više faktora: debljine i sastava Zemljine kore, starosti tektonskih aktivnosti, vrste magmatskih procesa, sadržaja radioaktivnih elemenata u stenama, hidrogeoloških karakteristika... Najveći značaj za geotermalne karakteristike terena imaju: debljina i sastav Zemljine kore, neotektonska kretanja i geotermalno polje.

Debljina zemljine kore na teritoriji Srbije je promenljiva i raste u pravcu sever-jug. U području Panonskog basena ona je ujednačena i kreće se od oko 25-29 km. Južno od njege u Dinaridima ona postepeno raste i dostiže maksimalnu debljinu od oko 48 km na području Durmitora. U Srpsko-Makedonskom masivu njena debljina je oko 32 km, a u području Karpato-Balkanida od 33-38 km.

Terestični toplotni tok predstavlja toplotu koja se kondukcijom toplote prenosi iz zemljine unutrašnjosti do zemljine površine. Na slici 170. prikazano je kretanje terestičnog toplotnog toka na teritoriji Evrope.

Vrednosti gustine terestičnog toplotnog toka na najvećem delu teritorije Srbije su veće od njegove prosečne vrednosti za kontinentalni deo Evrope. Najveće vrednosti ($>100 \text{ mW/m}^2$) su u Panonskom basenu, Srpsko-Makedonskom masivu i u graničnom delu Dinarida sa Srpsko-Makedonskim masivom. Najmanje vrednosti su u području Mezijske platforme (Vlaško-pontski basen, prema Maroviću, 2001). Pomenute visoke vrednosti gustine toplotnog toka indiciraju na prisustvo geotermalne anomalije koja očigledno predstavlja produžetak geotermalne anomalije Panonskog basena (slika 171). Debljina litosfere sračunata preko geotermalnog modela. Najmanja je u području Panonskog basena, Srpsko-Makedonskog masiva i njegovog graničnog dela sa Dinaridima i iznosi oko 40 km. Na području Karpato-Balkanida i ostalog dela Dinarida dostiže 150 km. Na području Mezijske platforme je najveća, 160-180 km.

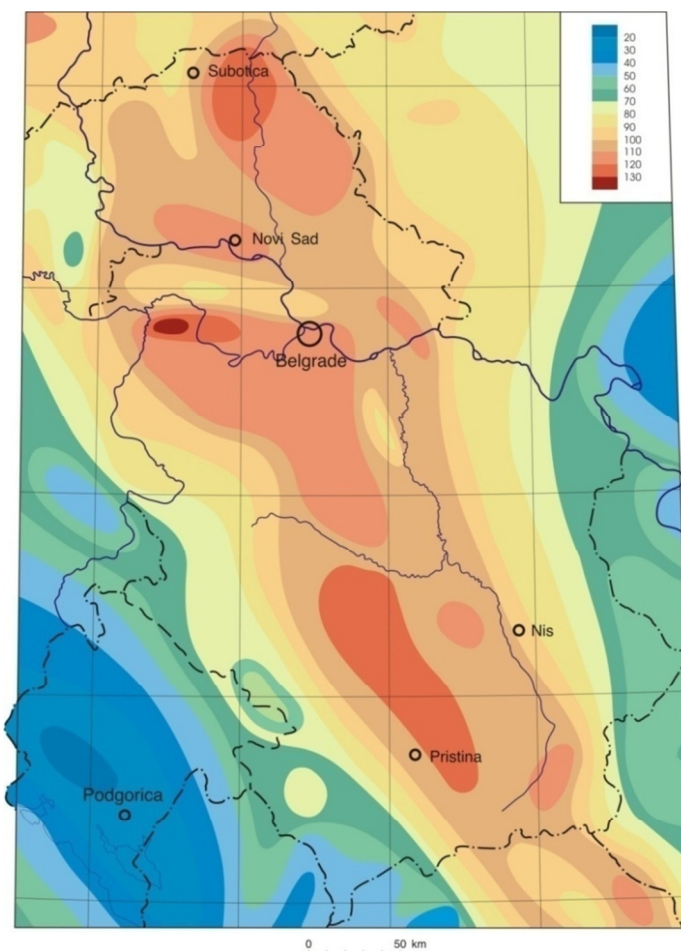


Legenda:

Visoka entalpija: Island, Italija, Grčka i delovi Francuske, Nemačke i Austrije

Niska entalpija: Irska, Norveška, Švedska, Poljska i Velika Britanija

Slika 170. Karta toplotnog toka Evrope (Jones, Ligtenberg, 2008)



Slika 171. Karta gustine terestičnog toplotnog toka na teritoriji Srbije (u mW/m^2) (Martinovic, Milivojevic, 2010)

Republika Srbija izrazito je bogata hidrogeotermalnim resursima, što se pre svega ogleda u pojavi prirodnih izvora termalnih voda sa temperaturom većom od 15°C, čiji broj dostiže preko 150 pojava. Najveću temperaturu imaju termalne vode u Vranjskoj banji (96°C), Jošaničkoj banji (78°C), Sijarinskoj banji (72°C), Kuršumlijskoj banji (68°C) i dr. Ukupna izdašnost svih prirodnih izvora je oko 4000 l/s. Najveću izdašnost imaju termalni izvori iz karstifikovanih krečnjaka mezozojske starosti, a zatim termalni izvori u granitoidnim i vulkanskim stenama tercijarne starosti.

Najveći broj termalnih izvora nalazi se u Dinaridima, zatim u Karpato-Balkanidima, pa u Srpsko-Makedonskom masivu. Najmanji broj je u Panonskom basenu i u području Mezijske platforme (Dakijskog basena), samo po jedan. U odnosu na nadmorsku visinu najveći broj termalnih izvora nalazi se u intervalu od 200-300 m, odnosno ispod nadmorske visine +600 m nalazi se >90 % od svih termalnih izvora (tabela 91).

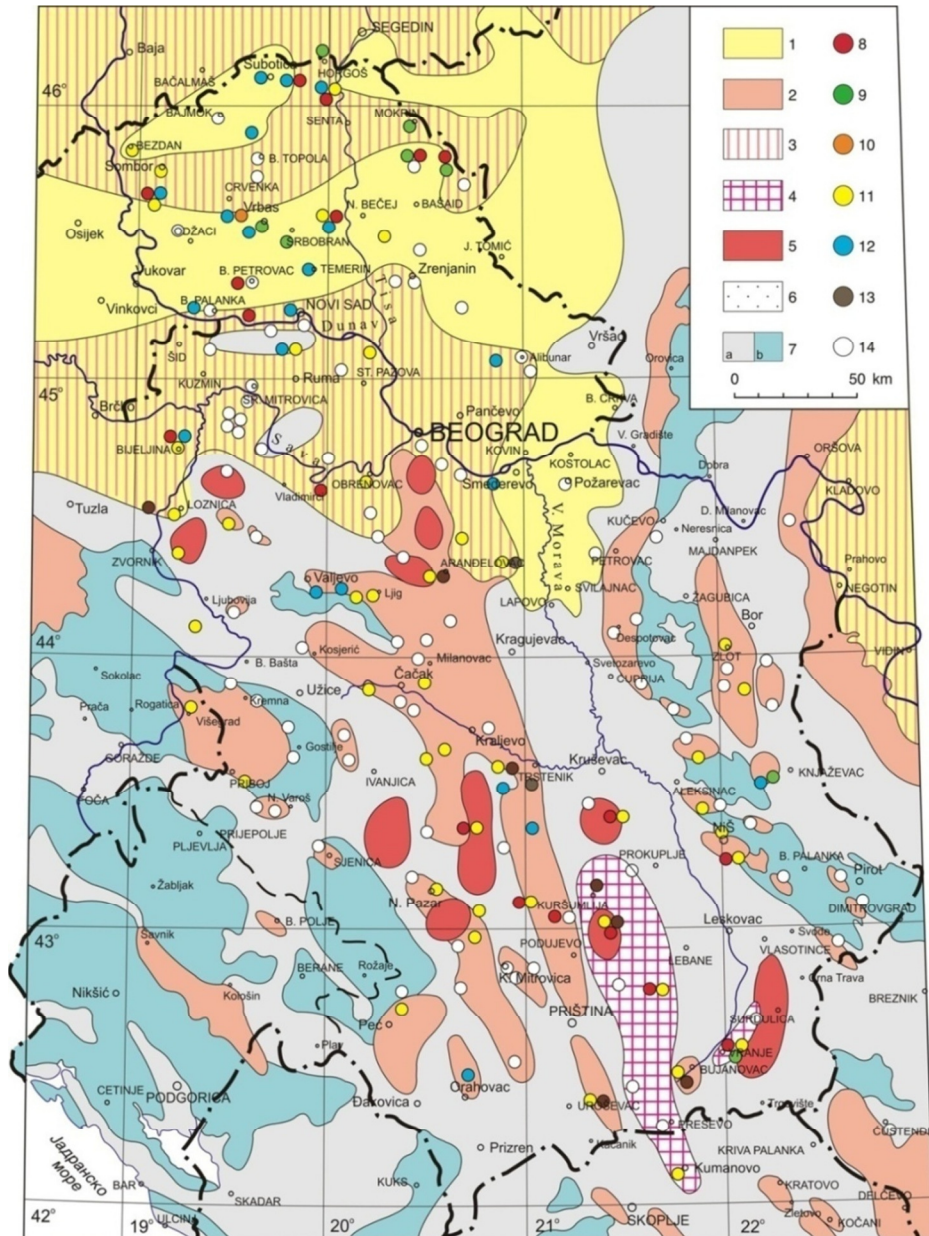
Uzimajući u obzir stepen istraženosti i obim korišćenja, najznačajnije nalazište geotermalne energije u Srbiji se trenutno nalazi u Vranjskoj banji gde se koristi u balneo-terapiji i za zagrevanje kompleksa staklenika. Maksimalna registrovana temperatura termalnih voda u bušotini VG-2 je 112 °C. Ukupna izdašnost, na osnovu Elaborata o rezervama je 80 l/s.

Na osnovu dosadašnjih preliminarnih hidrogeotermalnih istraživanja, najperspektivnije nalazište geotermalne energije se nalazi u Mačvi i predstavlja energetski resurs čijim bi se korišćenjem mogla u značajnijoj meri supstituisati uvozna nafta i ugalj. Ukupna izdašnost dosad izvedenih istražnih bušotina iznosi 170 l/s samoizliva uz prosečnu temperaturu termalnih voda od 70 °C.

Na teritoriji Republike Srbije, u predašnjem tekstu već napomenuto, korišćenje hidrogeotermalne energije uglavnom je koncentrisano na balneološke i sportsko-rekreacione svrhe, premda raspoloživi resursi dozvoljavaju znatno širu implementaciju i u mnogim drugim životnim sferama. O primeni hidrogeotermalne energije u balneologiji govori podatak da u Srbiji 59 banja koristi termalne vode (Milivojević, 1995). Takođe, sportsko-rekreacioni i turistički programi bazirani su na korišćenju ovog tipa obnovljive energije. Termalne vode su našle primenu i u fabrikama vode za potrebe flaširanja, gde je na teritoriji Srbije zabeleženo desetak takvih slučajeva.

Na teritoriji Vojvodine termalne vode se koriste iz 23 bušotine u različite svrhe, odnosno vode iz dve bušotine se koriste za proizvodnju povrća u staklenicima, tri bušotine se koriste u stočarstvu, dve u fabrikama kože i tekstila u proizvodnom procesu, tri za zagrevanje poslovnih prostorija, a vode iz trinaest bušotina se koriste u banjskim i sportsko-rekreacionim i turističkim centrima (tabele 92 i 93) (Milivojević, 1995).

Prema sadašnjem stepenu poznavanja geološkog sastava i hidrogeotermalnih karakteristika terena do dubine od 3000 m, na teritoriji Srbije postoji 60 konvektivnih hidrogeotermalnih sistema. Od tog broja, 30 se nalazi u Dinaridima, 20 u Karpato-Balkanidima, 5 u Srpsko-Makedonskom masivu, i 5 u području Panonskog basena, tj. u podlozi njegovih tercijarnih sedimenata (slika 172). U sedimentnim basenima koji su ispunjeni sedimentnim stenama paleogene i neogene starosti prisutni su konduktivni hidrogeotermalni sistemi. Najveći broj njih nalazi se u Panonskom Basenu na teritoriji Vojvodine. Ostali su manjeg značaja i uglavnom su međusobno slabo povezani, i ima ih 14.



Legenda:

1-hidrogeotermalna nalazišta u stenama kenozojske starosti; 2- hidrogeotermalna nalazišta u stenama mezozojske starosti; 3-hidrogeotermalna nalazišta u stenama mezozojske starosti ispod stena kenozojske starosti; 4-hidrogeotermalna nalazišta u stenama prepaleozojske starosti; 5-petrogeotermalna nalazišta u granitoidnim stenama tercijarne starosti; 6-hidro-petrogeotermalna nalazišta do dubine 200 m za eksploataciju geotermalne toplote pomoću toplotnih pumpi; 7-područja bez značajnih hidrogeotermalnih nalazišta: a-tereni od stena paleozojske i prepaleozojske starosti, b-karstni tereni; Korišćenje: 8-za grejanje; 9-za proizvodnju hrane; 10-u industriji; 11-za balneoterapiju; 12-za rekreaciju i sport; 13-za proizvodnju pakovane vode; 14- pojave koje se ne koriste)

Slika 172. Karta geotermalnih resursa u Republici Srbiji (Milivojević, 1997)

Tabela 91. Osnovni podaci o najvažnijim hidrogeotermalnim lokalnostima i rezervoarima hidrogeotermalnih sistema (Milivojević i dr., 1995)

| Lokalnost | Geografske koordinate (do najbližeg 0.5 stepena) | | Rezervoar | | Stepen istraženosti | Temperatura u rezervoaru (°C) | |
|--------------------|--|--------|------------------|-----------|---------------------|-------------------------------|----------|
| | X | Y | Litološki sastav | MIN mg/kg | | Posredno određena | Izmerena |
| Bogatić | 45°00' | 19°30' | L | 860 | P | 90 | 80 |
| Debrč | 44°30' | 20°00' | L | 740 | P | 70 | 57 |
| Indiija | 45°00' | 20°00' | L | 953 | P | 70 | 60 |
| Kupinovo | 45°00' | 20°00' | L | 835 | P | 70 | 54 |
| Vrdnik | 45°00' | 20°00' | L | 1040 | N | 60 | 38 |
| Metković | 45°00' | 19°30' | S | 1436 | R | 90 | 63 |
| Dublje | 45°00' | 19°30' | L | 986 | P | 85 | 50 |
| Koviljača | 44°30' | 19°00' | L | 1412 | F,U | 40 | 30 |
| Radalj | 44°30' | 19°00' | G | 152 | P | 60 | 28 |
| Mladenovac | 44°30' | 21°00' | L | 7182 | F,U | 90 | 54 |
| Arandelovac | 44°00' | 20°30' | L | 4293 | F,U | 60 | 34 |
| Vranjska Banja | 42°30' | 22°00' | G,M | 1418 | P,U | 150 | 96 |
| Sijarinska Banja | 43°00' | 21°00' | M | 4753 | P,U | 130 | 76 |
| Jošanička Banja | 43°30' | 21°00' | G,M | 326 | P,U | 130 | 78 |
| Lukovska Banja | 43°00' | 21°00' | L | 1980 | P,U | 90 | 67 |
| Kuršumlijska Banja | 43°00' | 21°00' | L,M,V | 3142 | F,U | 140 | 68 |
| Banjska | 43°00' | 21°00' | L,V | 1780 | N,U | 120 | 50 |
| Šarbanovac | 44°00' | 22°00' | V | 313 | R | 100 | 29 |
| Sumrakovac | 44°00' | 22°00' | V | 425 | R | 100 | 24 |
| Sisevac | 44°00' | 21°30' | L | 545 | R | 40 | 26 |
| Kravlje | 43°30' | 22°00' | L | 562 | R | 40 | 33 |
| Miljkovac | 43°30' | 22°00' | L | 586 | N | 40 | 33 |
| Suva česma | 43°00' | 21°30' | M | 4275 | P | 60 | 24 |
| Zvonačka Banja | 43°00' | 22°30' | L | 416 | N | 60 | 28 |
| Rgošte | 43°30' | 22°00' | L | 508 | F | 45 | 30 |
| S.Palanka | 44°30' | 21°00' | L | 7960 | P,U | 75 | 56 |
| N.Pazar | 44°00' | 20°30' | L | 1614 | P,U | 120 | 52 |
| Mataruge | 44°00' | 20°30' | V | 1495 | F,U | 110 | 43 |

| | | | | | | | |
|--------------------|--------|--------|-----|------|-----|-----|----|
| Ribarska Banja | 44°30' | 21°30' | M,G | 418 | F,U | 110 | 44 |
| Pečka Banja | 43°00' | 20°30' | L | 851 | R,U | 80 | 48 |
| Bujanovačka Banja | 42°30' | 22°00' | S,G | 4839 | F,U | 70 | 43 |
| Gamzigradska Banja | 44°00' | 22°00' | L | 651 | F,U | 80 | 42 |
| Ovčar Banja | 44°00' | 20°00' | L | 713 | P,U | 60 | 38 |
| Vrnjačka Banja | 43°30' | 21°00' | M | 2870 | F,U | 120 | 36 |
| Niška Banja | 43°00' | 22°00' | L | 430 | F,U | 60 | 37 |
| Pribojska Banja | 43°30' | 19°30' | L | 405 | P,U | 60 | 36 |
| Klokot Banja | 42°30' | 21°30' | V,M | 3480 | P,U | 80 | 34 |
| Brestovačka Banja | 44°00' | 22°00' | V | 714 | F,U | 100 | 40 |
| Soko Banja | 44°00' | 22°00' | L | 562 | F,U | 55 | 40 |
| Rajčinovića Banja | 43°00' | 20°00' | L | 2910 | P,U | 100 | 36 |
| Prolom Banja | 43°00' | 21°30' | V | 245 | P,U | 60 | 31 |
| G.Trepča | 44°00' | 20°30' | V | 570 | P,U | 50 | 30 |
| Palić | 46°00' | 20°00' | S | 3380 | F,U | | 48 |
| Kanjiža | 46°00' | 20°00' | S | 3640 | F,U | | 41 |
| Prigrevica | 46°00' | 19°00' | S | 6045 | F,U | | 54 |
| Kula | 45°30' | 19°30' | S | 3619 | F,U | | 53 |
| Kikinda | 46°00' | 20°30' | S | 3910 | F,U | | 50 |
| Srbobran | 45°30' | 20°00' | S | 3633 | F,U | | 63 |
| B.Petrovac | 45°30' | 19°30' | S | 842 | F,U | | 46 |
| Mokrin | 46°00' | 20°30' | S | 2928 | F,U | | 51 |
| Melenci | 45°30' | 20°30' | S | 2680 | F,U | | 33 |
| Vrbas | 45°30' | 20°00' | S | 4520 | F,U | | 51 |
| Temerin | 45°30' | 20°00' | S | 3640 | F,U | | 41 |
| B.P. Selo | 46°00' | 20°00' | S | 1718 | F,U | | 43 |
| Bečej | 45°30' | 20°00' | S | 4012 | F,U | | 63 |

Legenda:

L-krečnjaci

S-peskovi

D-dolomiti

G-graniti

M-metamorfiti

V-vulkaniti

MIN-ukupna mineralizacija termalne vode

N-identifikovani lokalitet, neocenjen

R-regionalna ocena

P-započeta detaljna istraživanja

U-komercijalno korišćenje

Tabela 92. Stanje korišćenja hidrogeotermalne energije u Srbiji
(Milivojević i dr., 1995)

| Lokalnost | Vrsta korišćenja | Izdašnost (l/s) | Temperatura °C | | Iskorištena energija TJ/god |
|-------------------|------------------|-----------------|----------------|---------|-----------------------------|
| | | | Ulazna | Izlazna | |
| Kanjiža-1 | D/B | 5.0 | 41 | 26 | 9.89 |
| Kanjiža-2 | D/B | 14.0 | 65 | 26 | 72.02 |
| Kula-1 | B | 9.5 | 50 | 25 | 46.16 |
| Kula-2 | I | 8.3 | 53 | 25 | 30.65 |
| Kula-4 | I | 8.5 | 51 | 26 | 28.03 |
| B. Petrovac-1 | G | 16.7 | 46 | 25 | 46.26 |
| B. Petrovac-2 | A | 7.8 | 45 | 24 | 21.60 |
| Prigrevica | D/B | 21.0 | 54 | 25 | 80.33 |
| Srbobran | G | 11.7 | 63 | 24 | 60.18 |
| Kikinda-1 | D | 6.2 | 50 | 27 | 18.81 |
| Kikinda-2 | F | 15.2 | 51 | 26 | 50.12 |
| Mokrin | F | 10.5 | 51 | 26 | 34.62 |
| Vrbas | B | 4.3 | 51 | 23 | 13.26 |
| Temerin | B | 20.0 | 41 | 25 | 39.57 |
| B.P. Selo | F | 10.0 | 43 | 26 | 34.29 |
| Bečej | D | 19.4 | 65 | 24 | 104.91 |
| Vranjska Banja | I/F/D/B/G | 77.0 | 96 | 50 | 467.20 |
| Sijerinska Banja | D/B | 7.4 | 76 | 25 | 49.78 |
| Jošanička Banja | D/B | 17.0 | 78 | 40 | 85.21 |
| Lukovska Banja | D/B | 12.0 | 67 | 35 | 50.65 |
| Kuršumlija | D/B | 20.0 | 68 | 25 | 113.43 |
| Mladenovac | B | 19.0 | 53 | 25 | 70.17 |
| Palanka | B | 13.0 | 56 | 25 | 53.16 |
| Novi Pazar | B | 10.0 | 52 | 28 | 31.65 |
| Mataruge | B | 47.0 | 43 | 24 | 117.79 |
| Ribarska Banja | D/B | 37.0 | 44 | 25 | 92.73 |
| Pečka Banja | B | 4.0 | 36 | 25 | 5.80 |
| Ilidža (Peć) | B | 17.5 | 48 | 26 | 50.78 |
| Bujanovačka Banja | D/B | 7.0 | 43 | 24 | 17.54 |
| Gamzigrad | D/B | 10.0 | 42 | 24 | 23.74 |
| Ovčar Banja | D/B | 50.0 | 38 | 27 | 72.54 |
| Vrnjačka Banja | B | 5.0 | 36 | 25 | 7.25 |
| Niška Banja | D/B | 60.0 | 37 | 25 | 94.97 |
| Pribojska Banja | B | 70.0 | 36 | 30 | 55.40 |
| Klokot | B | 15.0 | 34 | 25 | 17.80 |
| Koviljača | B | 130.0 | 30 | 24 | 102.88 |
| Brestovačka Banja | B | 3.0 | 40 | 30 | 3.96 |
| Rajčinovića Banja | B | 8.0 | 36 | 28 | 8.44 |
| Bukovička Banja | B | 15.0 | 34 | 28 | 11.87 |
| Prolom Banja | B | 15.0 | 31 | 24 | 13.84 |
| G. Trepča | B | 20.0 | 30 | 24 | 15.82 |
| Debrč-1 | D | 15.0 | 53 | 48 | 9.89 |
| UKUPNO | | | | | 2335 |

Vrsta korišćenja: I-Industrija, A-Sušenje poljoprivrednih proizvoda, F-uzgoj riba, svinja i životinja, D-grejanje stanova, B-rekreacija i balneologija, G-staklenici. Prognozirane rezerve geotermalne energije u rezervoarima hidrogeotermanog sistema iznose oko 400×10^6 tona termalno ekvivalentne nafte.

Tabela 93. Stanje korišćenja hidrogeotermalne energije po vrsti namene
(Milivojević i dr., 1995)

| Vrsta korišćenja | Instalisana toplotna snaga (MW _t) | Proizvedena toplota TJ/god |
|---------------------------|---|----------------------------|
| Zagrevavanje postrojenja | 18.5 | 575 |
| Balneologija i rekreacija | 36.0 | 1150 |
| Sušenje žitarica | 0.7 | 22 |
| Staklenici | 8.4 | 256 |
| Ribarstvo i stočarstvo | 6.4 | 211 |
| Procesi u industriji | 3.9 | 121 |
| UKUPNO | 86.0 | 2415 |

Ukupna izdašnost svih bušotina na teritoriji AP Vojvodina je oko 550 l/s a toplotna snaga oko 48 MW (računato za $\Delta T = T - 25^{\circ}\text{C}$) (Tonić i dr., 1989). Ukupna toplotna snaga svih ostalih bušotina na teritoriji Srbije je oko 108 MW, odnosno ukupna toplotna snaga svih pozitivnih istražnih bušotina na teritoriji Srbije pri samoizlivu termalnih voda je oko 156 MW.

Ukupna toplotna snaga svih prirodnih izvora i bušotina je oko 320 MW (računato za $\Delta T = T - 12^{\circ}\text{C}$).

Ove podatke treba uzeti sa određenom rezervom, jer već skoro dvadeset godina nije bilo nove evaluacije. Shodno tome, novodobijeni rezultati mogu biti samo veći, tako da predstavljene vrednosti treba tretirati kao minimum u raspoloživosti geotermalnih resursa.

18. GEOTERMALNI RESURSI TEMPERATURE PREKO 100° C

18.1. HIDROGEOTERMALNI RESURSI

Kao što je već naglašeno, najznačajnije nalazište geotermalne energije u Srbiji se trenutno nalazi u Vranjskoj banji gde je maksimalna registrovana temperatura termalnih voda u bušotini VG-2 112 °C. Ukupna izdašnost je 80 l/s.

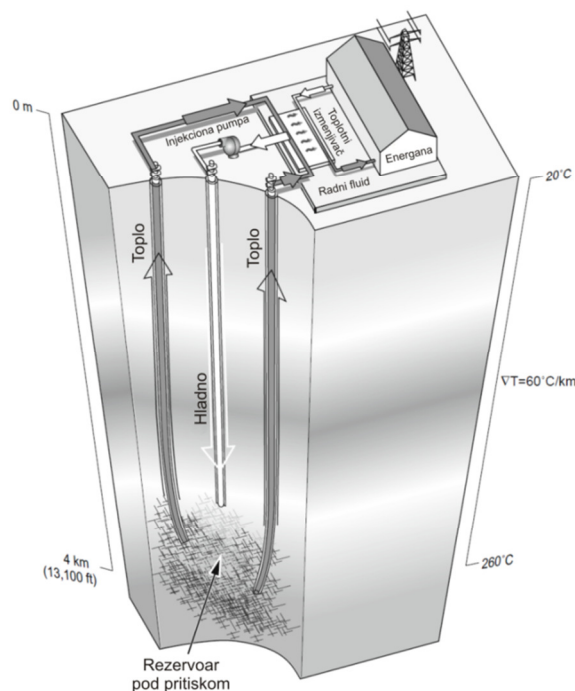
Nažalost, osim ove pojave u Srbiji do sada nisu otkrivene pojave podzemnih voda sa temperaturom većom od 100°C. To ne znači da ih nema, već je nivo investiranja u osnovna hidrogeotermalna istraživanja nedovoljan i nema mogućnosti za ozbiljnija istraživanja koja bi eventualno dovela do otkrivanja novih nalazišta.

18.2. "HOT DRY ROCK" SISTEMI

Pored povoljnih mogućnosti za eksploataciju geotermalne energije iz rezervoara hidrogeotermalnih sistema, na teritoriji Srbije postoje i povoljne mogućnosti za eksploataciju geotermalne energije iz suvih stena. Granitoidne intruzije su najpogodnija stenska sredina za intenzivnu eksploataciju geotermalne, tj. petrogeotermalne energije (=toplota suvih stena). Razvoj tehnologije za eksploataciju ove „vrste“ geotermalne energije je završen od strane američkih, engleskih, japanskih i nemačkih istraživača. Njega su započeli američki naučnici u drugoj polovini XX veka i oni su najdalje otišli sa eksperimentima na izradi takozvanih HDR (= hot dry rock) sistema za intenzivno izvlačenje geotermalne toplote iz suvih stena za proizvodnju električne energije (slika 173). Engleski naučnici ista istraživanja vrše u cilju izvlačenja toplote na nižem temperaturnom nivou za potrebe toplifikacije gradova.

Srbija raspolaže veoma povoljnim petrogeotermoenergetskim mogućnostima, jer se na njenoj teritoriji nalazi deset granitoidnih intruzija neogene starosti. Postoje indicacije da su prisutne i skrivene granitoidne intruzije.

Osnovne mogućnosti primene ovih visokotemperaturnih resursa jesu u mogućnosti kogeneracije, odnosno proizvodnji i toplotne i električne energije.



Slika 173. Koncept "closed loop HDR" sistema
(modifikovano prema Brown et al., 2012)

VI. OPTIMIZACIJA KORIŠĆENJA PODZEMNIH VODA KAO HIDROGEOTERMALNOG RESURSA

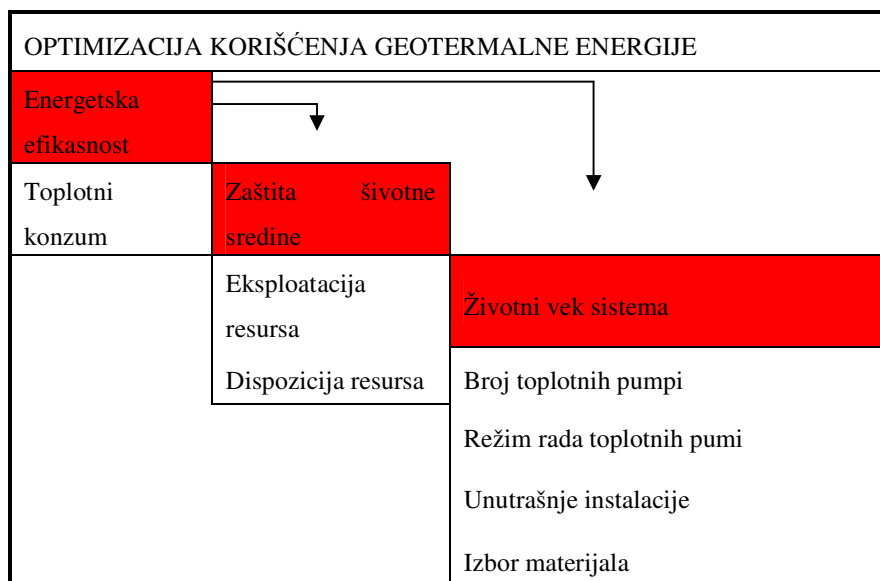
Pod optimizacijom korišćenja geotermalne energije podrazumeva se skup najpovoljnijih uslova u eksploataciji i aplikaciji resursa podzemnih voda. Optimum se postiže poštujući princip energetske efikasnosti, princip zaštite životne sredine i princip "dugotrajnog životnog veka" sistema u konceptu korišćenja obnovljivih izvora energije za potrebe klimatizacije objekata (slika 174).

Energetska efikasnost objekta (poglavlje 22) direktno utiče na eksploatacione količine resursa. Objekti koji su projektovani prema standardima propisanim *Pravilnikom o energetskej efikasnosti zgrada*, te niskoenergetski objekti ($<50 \text{ kWh/m}^{2*}$) i pasivni objekti ($<15 \text{ kWh/m}^2$) zahtevaju manje količine podzemnih voda nego objekti koji se ponašaju kao "rasipnici energije" ($\geq 100 \text{ kWh/m}^2$).

Eksploatacija hidrogeotermalnih resursa u konceptu klimatizacije objekata trebalo bi da se odvija na način koji ne ugrožava rezerve podzemnih voda, u smislu količina i kvaliteta. Takođe, dispozicija ili odlaganje "energetski iskorišćenih" podzemnih voda trebalo bi da se odvija na način koji ne ugrožava površinske i podzemne vode sa aspekta količina i kvaliteta.

Životni vek sistema klimatizacije objekata zavisi od pravilno dimenzionisanog kapaciteta i vrste termotehničkih instalacija, od izbora materijala termotehničkih instalacija u odnosu na fizičko-hemijske karakteristike podzemnih vodnih resursa i od načina održavanja sistema, tj. njegovog redovnog servisiranja (monitoring sistema).

* *energija potrebna za zagrevanje m^2 prostora*



Slika 174. Principi optimuma korišćenja geotermalne energije

Faktori koji utiču na optimalno korišćenje geotermalne energije su:

- **toplotni konzum objekta**
 - energetska efikasnost objekta
- **eksploatacija resursa**
 - način zahvatanja hidrogeotermalnih resursa i dispozicija hidrogeotermalnih resursa
- **dimenzionisanje sistema klimatizacije**
 - broj toplotnih pumpi
 - režim rada toplotnih pumpi
 - broj i jačina cirkulacionih pumpi
 - broj i jačina potapajućih bunarskih pumpi
 - unutrašnje instalacije
 - zidne, podne ili plafonske instalacije
 - fan-coil uređaji
 - odabir materijala u odnosu na fizičko-hemijske karakteristike podzemnih voda
 - toplotni izmenjivači
 - cevovodna mreža
 - rezervoari

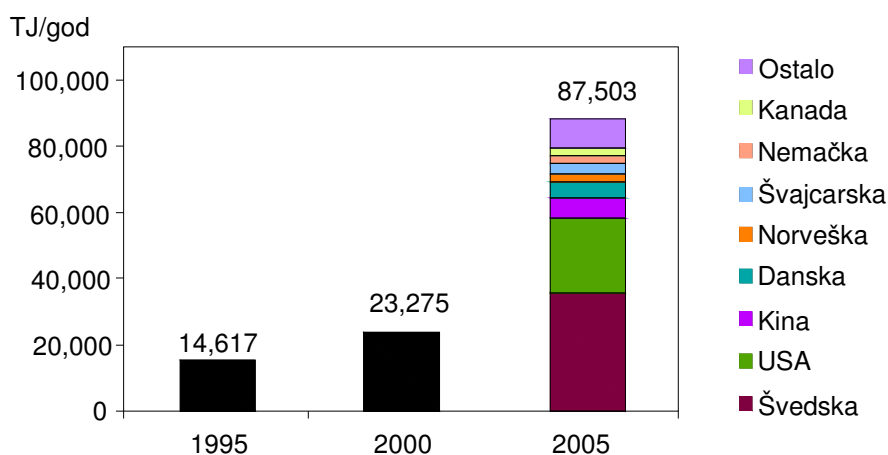
Prikazani pomenuti faktori uticaja optimalnog korišćenja geotermalne energije analizirani su sa aspekta primene toplotnih pumpi u konceptu eksploatacije obnovljivih izvora energije, zatim posmatran je ekonomski momenat korišćenja toplotnih pumpi voda-voda, energetski učinak i uštede prilikom korišćenja istih. Naravno, primena hidrogeotermalnih podzemnih voda nije opravdana ni sa ekonomskog aspekta, ni sa aspekta racionalnog i održivog korišćenja podzemnih vodnih resursa ukoliko objekti nisu energetski efikasni. Analiziran je pojam “energetski efikasan objekat” kroz dva pravilnika koja se upravo odnose na smanjenje potrošnje energije u objektima, te se baziraju na korišćenju obnovljivih izvora energije i na taj način insistiraju na očuvanju životne sredine. Ukoliko je korišćenje hidrogeotermalnih resursa opravdano, analizirano je kako hemizam podzemnih voda utiče na izbor materijala termotehničkih instalacija.

Projektno rešenje koje uzima u obzir sve navedene faktore i prilagođava ih datoj (realnoj) situaciji na terenu, predstavlja rešenje koje obezbeđuje dug životni vek celog sistema, počev od eksploatacije resursa, aplikacije u objektu do dispozicije resursa.

19. KORIŠĆENJE TOPLOTNIH PUMPI

19.1. PRIMENA TOPLOTNIH PUMPI

Podaci o upotrebi geotermalnih toplotnih pumpi širom sveta predstavljeni su na Svetskom geotermalnom kongresu, održanom u Antaliji (Turska), 2005. godine (WGC-2005). Prema objavljenim podacima, od ukupne svetske direktne primene geotermalne energije, 54,4% obavlja se preko geotermalnih pumpi, a 32 % se koristi u energetske svrhe. Instalirani kapacitet iznosi 15,384 MWth, a godišnja iskorišćena energija iznosi 87,503 TJ/god sa faktorom kapaciteta od 0,18. Na slici 175 prikazan je rapidan rast primene geotermalnih toplotnih pumpi širom sveta, kao i vodeće zemlje u primeni tehnologije toplotnih pumpi i eksploatacije obnovljivog izvora hidrogeotermalne energije.



Slika 175. Porast broja geotermalnih toplotnih pumpi (Fridleifsson, et al., 2008., data from Lund et al., 2005)

Do nedavno, većina instalacija geotermalnih toplotnih pumpi nalazila se u Severnoj Americi i Evropi. Broj država u 2000. godini, u kojima su konstatovane instalacije geotermalnih toplotnih pumpi iznosio je 26, a 2005. godine 33 države. Kina predstavlja veoma značajno pojačanje na polju korišćenja geotermalnih toplotnih pumpi za grejanje. Prema podacima Geothermal China Energy Society iz Februara 2007, zagrevanje 8 miliona m² prostora geotermalnim toplotnim pumpama povećalo se na 24 miliona m² prostora u 2004, da bi u 2007 dostiglo 30 miliona m² (Fridleifsson, et al., 2008)

Sa slike 175 uočava se da je 2005. godina predstavljena kao godina kada primena toplotnih pumpi doživljava pravu ekspanziju. U razvijenim zemljama Evrope primena toplotnih pumpi uz lokalno raspoloživi izvor energije, beleži konstantan porast u cilju poboljšanja energetske efikasnosti, a što je i pravno podstaknuto Direktivom 2002/91/EC (2010/31/EU) Evropskog parlamenta i saveta.

U tabelama 94 i 95 prikazani su podaci koji se odnose na ukupno instalirani broj toplotnih geotermalnih pumpi i ukupno instalirani toplotni kapacitet u Evropskoj Uniji, počevši od 2005. godine do 2010. godine.

Tabela 94. Ukupno instalirani broj toplotnih geotermalnih pumpi i ukupno instalirani toplotni kapacitet u EU (Geothermal Energy Barometar, 2007)

| Država | 2005 | | 2006 | |
|---------------|---------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|
| | Broj | Kapacitet (MW _{th}) | Broj | Kapacitet (MW _{th}) |
| Švedska | 230094 | 2070,8 | 2700111 | 2341,0 |
| Nemačka | 61912 | 681,0 | 90517 | 995,7 |
| Francuska | 63830 | 702,1 | 838,56 | 922,4 |
| Danska | 43252 | 821,2 | 43252 | 821,2 |
| Finska | 29106 | 624,3 | 33612 | 721,9 |
| Austrija | 32916 | 570,2 | 40151 | 664,5 |
| Norveška | 1600 | 253,5 | 1600 | 253,5 |
| Italija | 6000 | 120,0 | 7500 | 150,0 |
| Poljska | 8100 | 104,6 | 8300 | 106,6 |
| Češka | 3727 | 61,0 | 5173 | 83,0 |
| Belgija | 6000 | 64,5 | 7000 | 69,0 |
| Estonija | 3500 | 34,0 | 5000 | 49,0 |
| Irska | 1500 | 19,6 | 1500 | 19,6 |
| Mađarska | 230 | 6,5 | 350 | 6,5 |
| Engleska | 550 | 10,1 | 550 | 10,2 |
| Grčka | 400 | 5,0 | 400 | 5,0 |
| Slovenija | 300 | 3,4 | 420 | 4,6 |
| Litvanija | 200 | 4,3 | 200 | 4,3 |
| Slovačka | 8 | 1,4 | 8 | 1,4 |
| Letonija | 10 | 0,2 | 10 | 0,2 |
| Portugal | 1 | 0,2 | 1 | 0,2 |
| UKUPNO | 483236 | 6158,0 | 599511 | 7388,3 |

Izvor: EurObserv'ER 2007

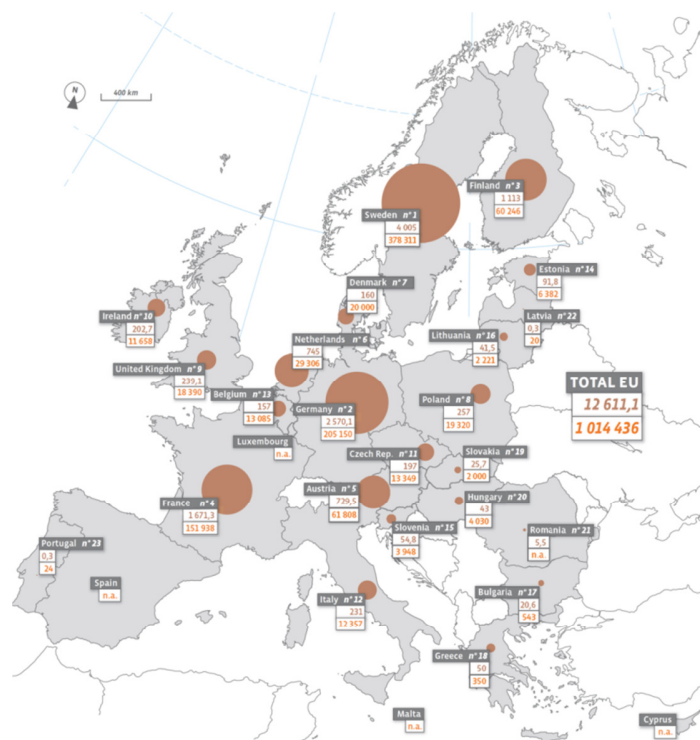
Tabela 95. Ukupno instalirani broj toplotnih geotermalnih pumpi i ukupno instalirani toplotni kapacitet u EU

(EurObserv'ER consortium, Heat pumps Barometar, 2011)

| Država | 2009 | | 2010 | |
|---------------|----------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|
| | Broj | Kapacitet (MW _{th}) | Broj | Kapacitet (MW _{th}) |
| Švedska | 348.636 | 3.702,0 | 378.311 | 4.005,0 |
| Nemačka | 179.634 | 2.250,5 | 205.150 | 2.570,1 |
| Francuska | 139.688 | 1.536,6 | 151.938 | 1.671,3 |
| Danska | 20.000 | 160,0 | 20.000 | 160,0 |
| Finska | 52.355 | 967,8 | 60.246 | 1.113,0 |
| Austrija | 55.292 | 618,8 | 31.808 | 729,5 |
| Norveška | 24.657 | 633,0 | 29.306 | 754,0 |
| Italija | 12.000 | 231,0 | 12.357 | 231,0 |
| Poljska | 12.200 | 202,2 | 19.320 | 257,0 |
| Češka | 11.127 | 174,0 | 13.349 | 197,0 |
| Belgija | 11.836 | 142,0 | 13.805 | 157,0 |
| Estonija | 5.422 | 78,0 | 6.382 | 91,8 |
| Irska | 11.444 | 196,1 | 11.658 | 202,7 |
| Mađarska | 3.030 | 26,0 | 4.030 | 43,0 |
| Engleska | 14.330 | 186,3 | 18.390 | 239,1 |
| Grčka | 350 | 50,0 | 350 | 50,0 |
| Slovenija | 3.849 | 43,3 | 3.948 | 54,8 |
| Litvanija | 1.865 | 34,5 | 2.221 | 41,5 |
| Slovačka | 1.845 | 23,5 | 2.000 | 25,7 |
| Letonija | 20 | 0,3 | 20 | 0,3 |
| Portugal | 24 | 0,3 | 24 | 0,3 |
| Bugarska | 543 | 20,6 | 543 | 20,6 |
| UKUPNO | 913.147 | 11.282,2 | 1.014.436 | 12.611,1 |

Izvor: EurObserv'ER 2011

Prikazanu tabelu 95 prati položajna karta (slika 176).



Legenda:

157

Ukupno instalisana snaga (MWth)

13 085

Ukupan broj geotermalnih toplotnih pumpi po državama

*procenjeno

n.a. nije dostupno

Slika 176. Instalisana snaga i broj geotermalnih toplotnih pumpi u Evropskoj Uniji do 2010. godine
(EurObserv'ER consortium, Heat pumps Barometar, 2011)

Evropska asocijacija toplotnih pumpi (EHPA) objavila je plan razvoja do 2020 godine. Istaknuto je da, grejanje i hlađenje koristi najmanje 40% od ukupnog broja korisnika energije u okviru EU i da supstitucija naftnih i gasnih kotlova, kao i grejanja na električnu energiju toplotnim pumpama može značajno da doprinese razvoju strategije za obnovljive izvore energije u okviru EU. Zaključeno je da bi broj instalacija toplotnih pumpi trebalo da dostigne blizu 70 miliona toplotnih pumpi u 2020 godini i da će one moći da postignu 20.5% od redukcionog plana emisije štetnih gasova (GHG) u EU do 2012 i 21.5% od ovog plana do 2020 godine. Zaključeno je da će u buduće toplotne pumpe činiti oko 30% cilja za obnovljivu energiju u 2020 godini u EU.

Geotermalne toplotne pumpe nalaze primenu u klimatizaciji objekata različitih po površini i nameni:

- U Cirihi, za potrebe klimatizacije Grand hotela “Dolder”, površine 47.000 m² koriste se geotermalne toplotne pumpe. Instalirana snaga grejanja 1GWh je i 1GWh hlađenja. Hidrogeotermalna energija se eksploatiše preko 75 bunara ukupne dubine 10 000 m.
- Deo objekta Ciriškog aerodroma, površine 58.000 m² (od ukupno 200.000 m²) koristi toplotne pumpe, koje obezbeđuju 2.120 MWh toplotne energije i 1.240 MWh rashladne energije.
- U Srbiji, u krugu Toplane "Konjarnik" (Beograd) klimatizacija novog objekta površine 250 m² odvija se preko toplotne pumpe. Toplotnom pumpom obezbeđeno je 27 kW, angažovana snaga je 7 kW. Eksploatacija podzemnih vodnih resursa vrši se preko bunara dubine 117 m, izdašnosti 1 l/s, a temperatura podzemnih voda iznosi 17-18°C.
- Sistem klimatizacije salona automobila u Čačku, površine 2.500 m², kao izvor energije koristi hidrogeotermalne vode. Toplotnim pumpama obezbeđeno je 100 kW toplotne snage. Eksploatacija podzemnih vodnih resursa vrši se preko bunara dubine 30 m, izdašnosti 5 l/s, a temperatura podzemnih voda iznosi 15-17°C.
- Kombinovana dečja ustanova na Bežanijskoj Kosi (Beograd), površine 1.380 m² koristi hidrogeotermalnu energiju za potrebe grejanja i hlađenja (slika 177). Eksploatacija podzemnih vodnih resursa vrši se preko bunara dubine 70 m, izdašnosti 5 l/s, a temperatura podzemnih voda iznosi 15-17°C.

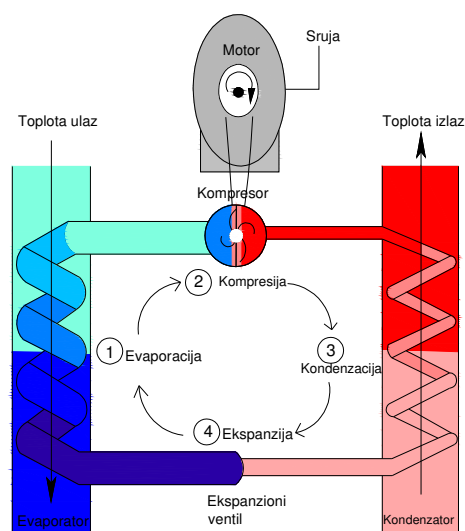


Slika 177. Kombinovana dečja ustanova na Bežanijskoj Kosi (foto: A. Vranješ)

19.2. PRINCIP RADA I PODELA TOPLOTNIH PUMPI

Toplotne pumpe su uređaji koji obezbeđuju razmenu toplote, odnosno oduzimanje toplote od jednog medija i zagrevanje drugog medija i obrnuto. U zavisnosti od fluida pomoću kojeg se vrši razmena toplote, postoji podela na toplotne pumpe voda-voda, voda-vazduh i vazduh-vazduh. Kod toplotnih pumpi voda-voda, koriste se i druge tečnosti pogodne za razmenu toplote, takođe umesto vazduha koriste se i drugi gasovi.

Princip rada toplotne pumpe zasniva se na sledećem: fluid od koga se toplota oduzima dovodi se sa isparivačke strane uređaja dok se fluid kome se toplota predaje dovodi sa kondenzatorske strane uređaja (slika 178).



Slika 178. Radni ciklus toplotne pumpe

Toplotne pumpe koje koriste kao obnovljiv izvor energije toplotu akumuliranu u zemljnoj unutrašnjosti (geotermalna energija) nazivaju se **geotermalne toplotne pumpe** (GHPs-*geothermal heat pumps*). Generalna podela geotermalnih toplotnih sistema je na:

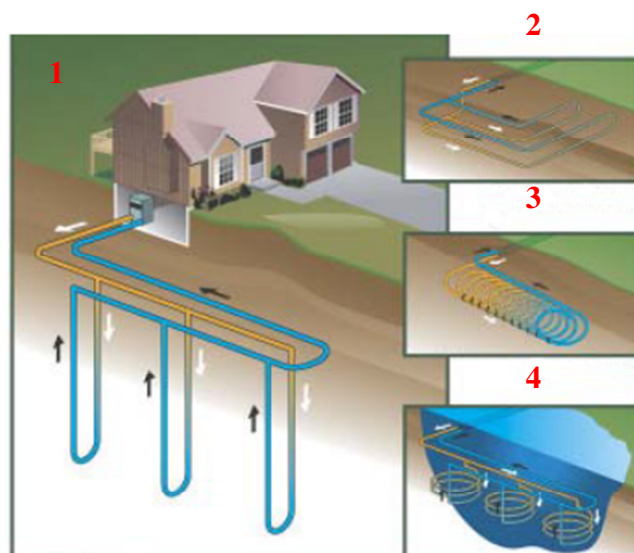
- zatvoreni sistem ("close loop")
- otvoreni sistem ("open loop")

Prikazana podela izvršena je prema geotermalnom izvoru energije. Kod "close loop" sistema koriste se geosonde (toplota akumulirana u stenama), a kod "open loop" sistema energija se dobija eksploatacijom podzemnih voda (toplota akumulirana u podzemnim vodama).

Zatvoren sistem ("close loop") čini toplotna pumpa na površini terena i sistem plastičnih cevi ispod površine terena, povezanih sa toplotnom pumpom (slika 179). Rad sistema zasniva se na neprekidnoj cirkulaciji tečnosti (voda ili antifriz) kroz sistem plastičnih cevi. Polaganje plastičnih cevi u zemlju može biti vertikalno (1), horizontalno (2) ili u vidu horizontalnih namotaja (3) i u vidu namotaja u okviru površinske akumulacije (4). Voda određene temperature iz toplotne pumpe kroz prvi krak cevi, ulazi u zemlju, struji i zagreva se, odnosno prima dodatnu količinu toplotne energije akumulirane u zemlji. Voda povišene temperature kroz drugi krak cevi ulazi u toplotnu pumpu, predaje dodatnu količinu energije, hladi se i odlazi u prvi krak cevi gde proces počinje iznova.

Prilikom horizontalnog postavljanja, cevi se ukopavaju na dubinu od 1 do 2 m, dok kod vertikalnog dubina se kreće od 50 do 250 m.

Važno je napomenuti da je prikazani sistem reverzibilan, odnosno tokom leta smer rada sistema je obrnut i akumulirana toplota na površini terena se sistemom cevi predaje zemlji.



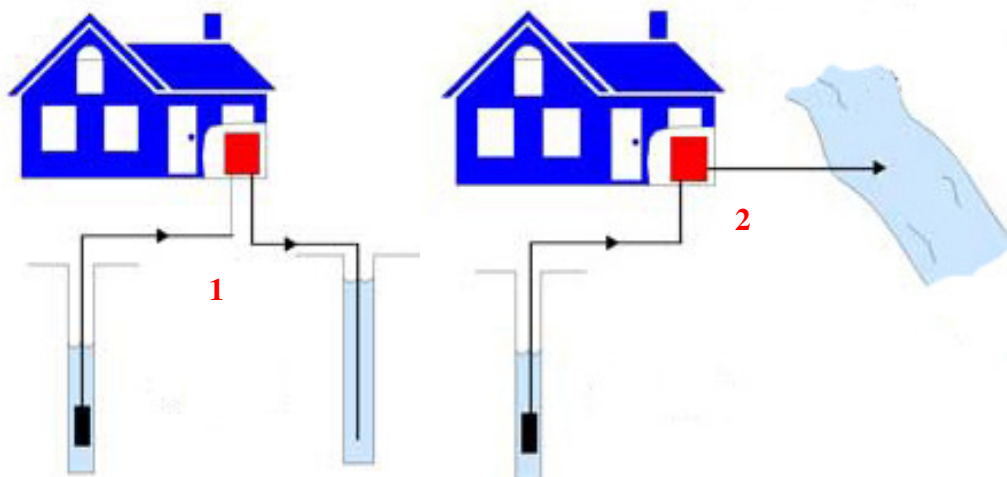
Slika 179. Zatvoreni sistem geotermalnih toplotnih pumpi (Goetzler, et al., 2009)

Otvoren sistem ("open loop") čini toplotna pumpa na površini terena i eksploatacioni bunar (slika 180). Podzemna voda zahvaćna eksploatacionim objektom predstavlja direktan izvor obnovljive energije. Voda određene temperature iz bunara dolazi do toplotne pumpe, gde se vrši proces razmene toplote. Ohlađena bunarska voda se vraća u podzemlje kroz upojni objekat-bunar (1) ili se pušta slobodno da površinski otiče (2). Toplotne pumpe voda - voda vezane na bunar mogu se koristiti u reverzibilnom režimu za obezbeđenje rashladne energije za hlađenje objekta u letnjem periodu.

Geotermalna toplotna pumpa otvorenog sistema u režimu grejanja funkcioniše tako što na primarnoj strani hladi bunarsku vodu koja je do nje dovedena a na sekundarnoj strani pomoću te oduzete energije greje vodu u sistemu grejanja objekta. Na primer, ako se bunarska voda toplotnom pumpom hladi sa temperature $t_{bn} = 20\text{ °C}$ na temperaturu $t_{bp} = 10\text{ °C}$ ona sa druge strane greje vodu u sistemu grejanja sa temperature od $t_p = 40\text{ °C}$ na temperaturu $t_r = 45\text{ °C}$. Osnovni preduslov za ovaj proces je postojanje dovoljne količine vode iz bunara i temperature bunarske vode.

Bitno je napomenuti da za mogućnost primene geotermalnih toplotnih pumpi ograničenje nije temperatura na kojoj se bunarska voda nalazi već količina toplote koju je moguće oduzeti od te vode. Dakle može se imati i bunarska voda niže temperature ako je njena količina odnosno protok dovoljan. Minimalna temperatura do koje se može ohladiti bunarska voda u toplotnoj pumpi limitirana je kriterijumom rizika od zamrzavanja, odnosno nije bezbedno hladiti je na temperaturu nižu od $t_{bp} = 4\text{ °C}$. Sa druge strane, toplotne pumpe greju vodu u instalaciji grejanja do maksimalne temperature od $t_r = 40 - 50\text{ °C}$.

Trebalo bi napomenuti da sa neprekidnim razvojem tehnologije toplotnih pumpi, postižu se i bolje performanse istih, te je upotrebom pojedinih toplotnih pumpi moguće dobiti na izlazu temperaturu $60\text{ °C}-65\text{ °C}$.

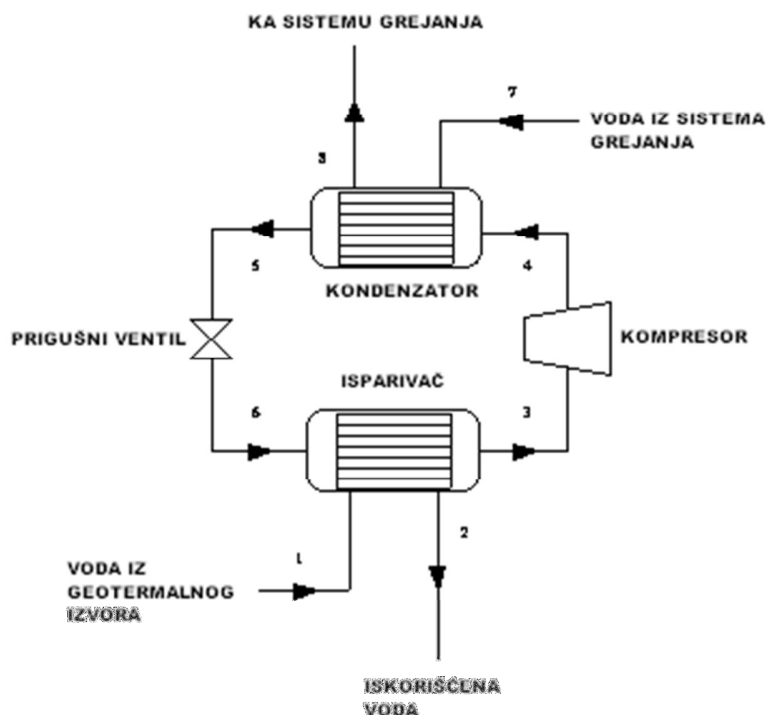


Slika 180. Otvoreni sistem geotermalnih toplotnih pumpi
(modifikovano prema Geo-Heat-Centar)

Posmatrajući "open loop" sisteme i toplotne pumpe voda-voda izvršena je sledeća klasifikacija istih na:

- jednostepena toplotna pumpa,
- dvostepena TP sa odvajačem kondenzata
- dvostepena TP sa razmenjivačem toplote

Princip rada jednostepene toplotne pumpe opisan je u prethodnom tekstu iz koga se zaključuje da se jednostepene toplotne pumpe mogu primenjivati samo u niskotemperaturnim sistemima grejanja i hlađenja, dakle u objektima u kojima su instalirani paneli ili fancoil uređaji (slika 181).



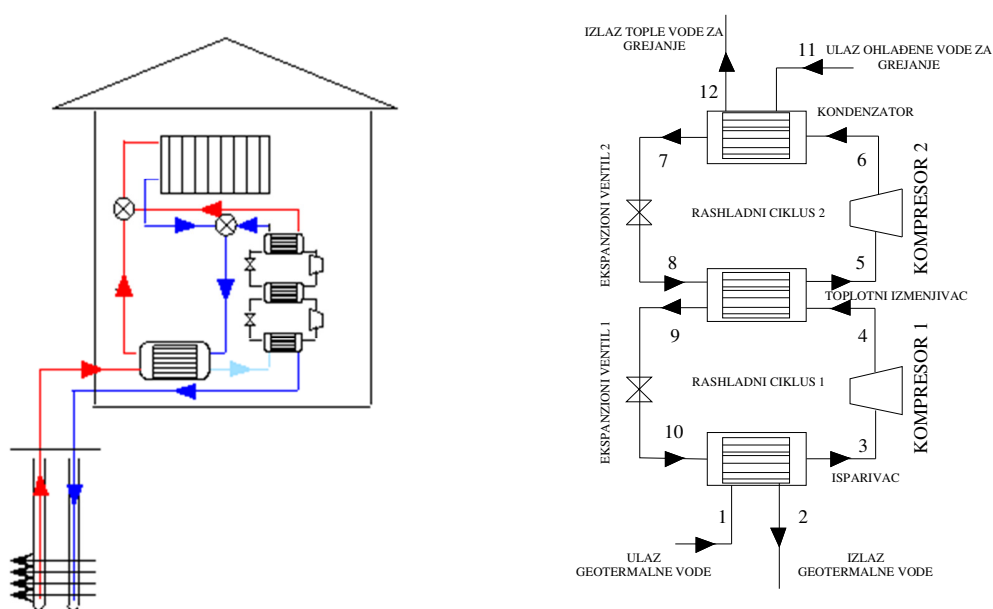
Slika 181. Šematski prikaz jednostepene toplotne pumpe (Stevanović Z., i dr., 2009)

U objektima u kojima postoje radijatori kao grejna tela zahteva se upotreba kaskadnih toplotnih pumpi. Razlog je temperatura sekundarnog nosioca koja može dostići najviše 50 °C, što je prenisko za potrebe centralnog grejanja. Kod visokotemperaturnih sistema centralnog radijatorskog grejanja, temperaturni nivo sekundarnog nosioca mora biti viši od 60°C.

Princip funkcionisanja kaskadne toplotne pumpe sa razmenjivačem toplote je “rad dve jednostepene toplotne pumpe. Između prvog i drugog stepena je razmenjivač toplote, koji je za prvi stepen kondenzator a za drugi – isparivač. Pošto su stepeni odvojeni, mogu se koristiti i različiti rashladni fluidi. U zajedničkom razmenjivaču toplote ovi rashladni fluidi ne dolaze u kontakt.

Korišćenje kaskadnih toplotnih pumpi preporučuje se u okviru postojećeg sistema daljinskog centralnog grejanja. Princip dat je na slici 182. Takav sistem omogućuje korišćenje toplote geotermalne vode do temperature 10°C, ali je svakako povoljnije da se radi sa vodama što veće temperature.

Temperature subgeotermalnih vodnih resursa, tamo gde postoje, obezbeđuju veću energetska efikasnost GTP postrojenja, u odnosu na "klasične" slučajeve, kada se kao eksterni fluid koristi voda niske temperature (najčešće 8-16 °C), s obzirom da je smanjen raspon između početne i izlazne (željene) temperature” (Stevanović Z., i dr., 2009).



Slika 182. Centralno grejanje objekta korišćenjem kaskadne toplotne pumpe (Stevanović Z., i dr., 2009)

19.3. REŽIM RADA TOPLOTNE PUMPE VODA-VODA I OSTVARIVE UŠTEDE U ENERGIJI

19.3.1. Jednostepene toplotne pumpe voda-voda

Za pogon toplotnih pumpi najčeće se angažuje električna energija. Postoje i apsorpcione toplotne pumpe za čiji pogon se koristi toplotna energija, ova vrsta je znatno ređe u upotrebi, mahom kod velikih kapaciteta. Električna energija se u toplotnoj pumpi troši za pogon kompresora. Energetski učinak toplotnih pumpi izražava se kroz nekoliko koeficijenata (2007/742/EC):

- Koeficijent efikasnosti (*Coefficient of performance*)–COP predstavlja odnos dobijene toplotne energije i angažovane električne energije. Njegova vrednost kreće se najčeće između sledećih vrednosti:

Toplotne pumpe vazduh - vazduh COP = 1.5 ÷ 2.8

Toplotne pumpe voda – vazduh COP = 2.0 ÷ 3.3

Toplotne pumpe voda – voda COP = 3.0 ÷ 6.5

Za korišćenje geotermalne energije najinteresantnije su toplotne pumpe voda-voda. Stepem korisnosti ovakvih toplotnih pumpi je COP = 3.0 ÷ 6.5. Dakle, sa 1kW uložene električne energije u rad toplotne pumpe dobija se 3.0 do 6.5 kW toplotne energije.

- Koeficijent energetske efikasnosti (*Energy efficiency ratio*)–EER predstavlja odnos rashladne energije i angažovane električne energije.
- Sezonski koeficijent efikasnosti (*Seasonal coefficient of performance*)–SCOP predstavlja srednju vrednost koeficijenta efikasnosti sistema toplotne pumpe tokom jedne grejne sezone.
- Sezonski koeficijent energetske efikasnosti (*Seasonal energy efficiency ratio*)–SEER predstavlja srednju vrednost energetske efikasnosti sistema toplotne pumpe tokom jedne letnje sezone.
- Koeficijent energetske efikasnosti uređaja (*The primary energy ratio*)–PER jednak je: COP × 0.40* (ili COP/2,5) za toplotne pumpe na električni pogon
COP × 0,91** (ili COP/1,1) za toplotne pumpe na pogon na gas

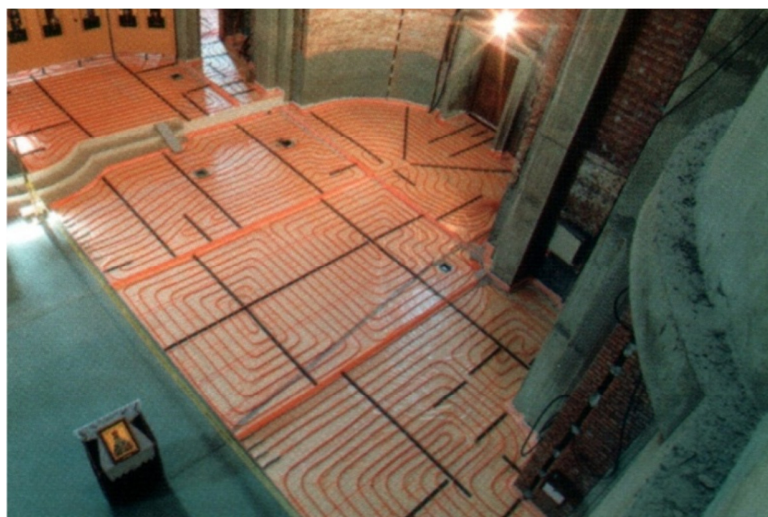
* 0.40 je evropski prosek efikasnosti električne energije uključujući i gubitke u mreži

** 0.91 je evropski prosek gasne efikasnosti uključujući i distributivne gubitke

Kod klimatizacije objekata (grejanje/hlađenje), zidno panelno grejanje je sistem koji se najbolje kombinuje sa toplotnim pumpama. To je niskotemperaturno grejanje, maksimalna temperatura vode u panelima je 45°C, što odgovara režimima izlazne temperature toplotne pumpe. Na slici 183 prikazan je izgled zidnih panela u fazi montaže, a na slici 184 prikazani su podni paneli takođe u fazi montaže unutar objekata.



Slika 183. Zidni paneli u fazi montaže (www.sm-inzenjering.rs)



Slika 184. Podni paneli u fazi montaže (www.sm-inzenjering.rs)

Kod zidnog grejanja se koriste zidni paneli velikih površina a niske temperature, što rezultuje uštedom energije minimum 30% u odnosu na radijatorsko grejanje. Korišćenjem zidnog panelnog grejanja u kombinaciji sa toplotnom pumpom vezanom na bunar može se ostvariti ukupna ušteda energije za grejanje od preko 75% . Dakle, za zagrevanje prostora je potrebno manje od 20% energije koja je potrebna za zagrevanje klasičnim sistemima grejanja. Ovako velikim uštedama energije za grejanje se investicija u ovakav sistem grejanja vraća u veoma kratkom roku. To je uzrok masovnog korišćenja ovakvih sistema u razvijenim zemljama.

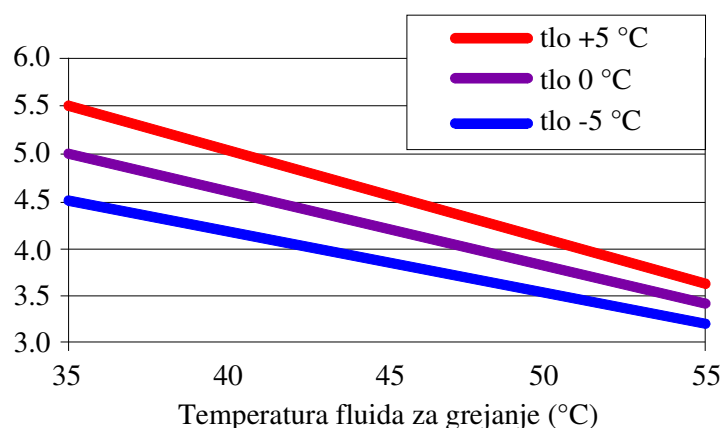
Ugrađeni zidni paneli su nevidljivi u prostoru, niti su vidljive cevne mreže ventila ili bilo čega u prostoru. Prostor sa zidnim grejanjem izgledaju lepo i luksuzno. Zidno panelno grejanje je prijatno i zdravo za čoveka, prostor je ravnomerno zagrejan, nema cirkulacije i zadržavanja prašine, nema neprijatnog sušenja vazduha. Ovakav vid grejanja je trajan a paneli po prostorijama ne zahtevaju nikakvo održavanje niti se mogu oštetiti. Neki proizvođači za ovakve panele daju garancija 10 godina a njihov vek trajanja je jednak trajanju objekta.

Toplotne pumpe voda - voda vezane na bunar mogu se koristiti u reverzibilnom režimu za obezbeđenje rashladne energije za hlađenje objekta u letnjem periodu. Princip rada je isti kao i pri grejanju samo je proces obrnut. Toplotna pumpa sa sekundarne strane rashlađuje vodu za hlađenje objekta a sa primarne zagreva bunarsku vodu. Faktori uštede geotermalnih toplotnih pumpi su u režimu hlađenja još veći nego u režimu grejanja. Posebno je interesantan direktan način zidnog hlađenja bez angažovanja toplotne pumpe. U ovom režimu se obilaznim vodom bunarska voda direktno, samo preko izmenjivača, dovodi do panela. Pri ovakvom hlađenju angažuje se jedino električna energija za pogon cirkulacionih i bunarske pumpe, što se svodi na praktično besplatno hlađenje. Sistem zidnog hlađenja je prijatan za čoveka, nema neprijatne cirkulacije hladnog vazduha kao u slučaju klima uređaja.

Kod ovog sistema je veoma značajan higijenski aspekt iz razloga što ne postoji mogućnost zadržavanja prašine i razvoja bakterija i mikroorganizama koje se razvijaju u klasičnim vazдушnim klima sistemima (Milenić, i dr., 2009).

Najbolji energetski učinak postiže kada je u sistemu toplotne pumpe sekundar predstavljen podnim ili zidnim panelima. Osim sekundara za postizanje optimalnog režima rada toplotnih pumpi utiču ulazne i izlazne temperature i projektovani proticaj podzemnih voda.

Koeficijent efikasnosti toplotne pumpe zavisi od ulaznih i izlaznih temperatura na primaru (bunarska strana) i sekundaru (strana ka sistemu grejanja u objektu). Koeficijent efikasnosti opada sa povišenjem izlazne temperature na sekundaru t_r kao i sa snižavanjem izlazne temperature na primeru t_{bp} . Koeficijent efikasnosti takođe raste sa povećanjem temperature napojne vode iz bunara t_{bn} kao i pri većoj izdašnosti odnosno protoku što utiče na porast srednje logaritamske temperature u primaru. Oba ova parametra zavise od karakteristika bunara.



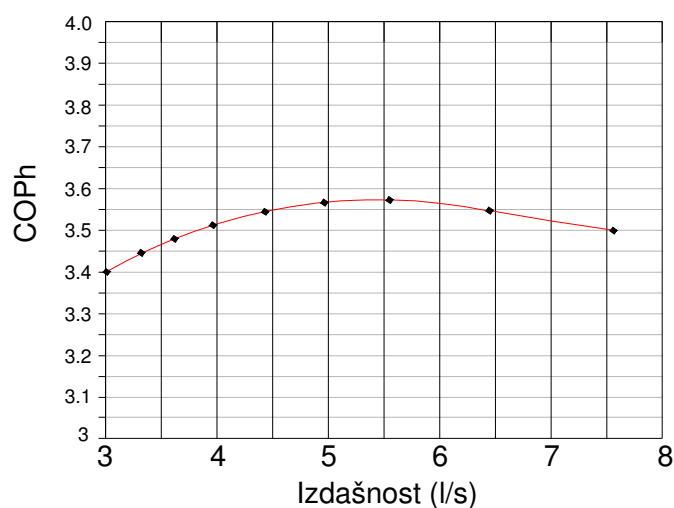
Slika 185. Grafički prikaz zavisnosti koeficijenta iskorišćenja toplotne pumpe i izlazne temperature vode na sekundaru (Milenić, i dr., 2009)

Dok se na parametre bunara ne može uticati dotle se snižavanjem izlazne temperature na "sekundaru t_r " može bitno povećati stepen korisnosti a time i uštedu ostvarenu korišćenjem geotermalne toplotne pumpe. Najbolje je toplotne pumpe koristiti pri režimu $t_r = 35$ °C, tada se mogu ostvariti i vrednosti $COP > 5$

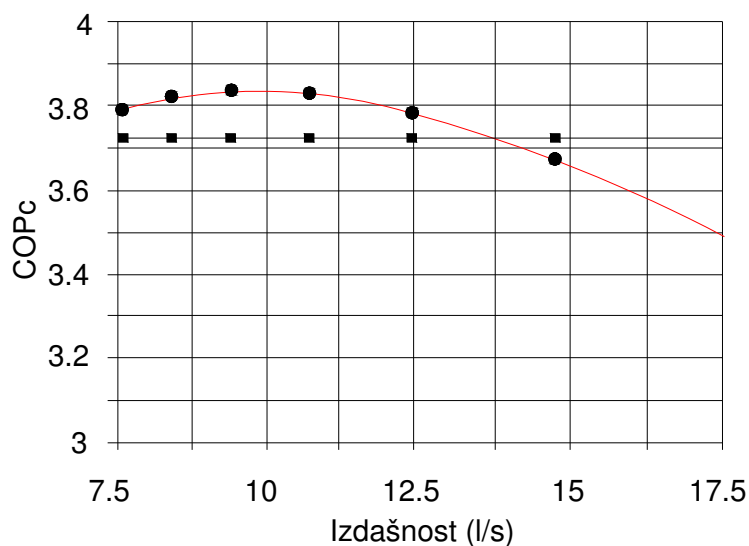
Kada se posmatra efikasnost celog sistema, a ne samo koeficijent iskorišćenja toplotne pumpe, u obzir se uzima:

- bunarska potapajuća pumpa
- cirkulaciona pumpa
- toplotna pumpa

Sa povećanjem izdašnosti bunara povećava se snaga potapajuće bunarske pumpe, te se troši više i električne energije, što u konačnom zbiru utiče na performanse celog sistema. Na slikama 186 i 187 prikazane su performanse sistema u režimu grejanja i u režimu hlađenja u zavisnosti od izdašnosti bunara.

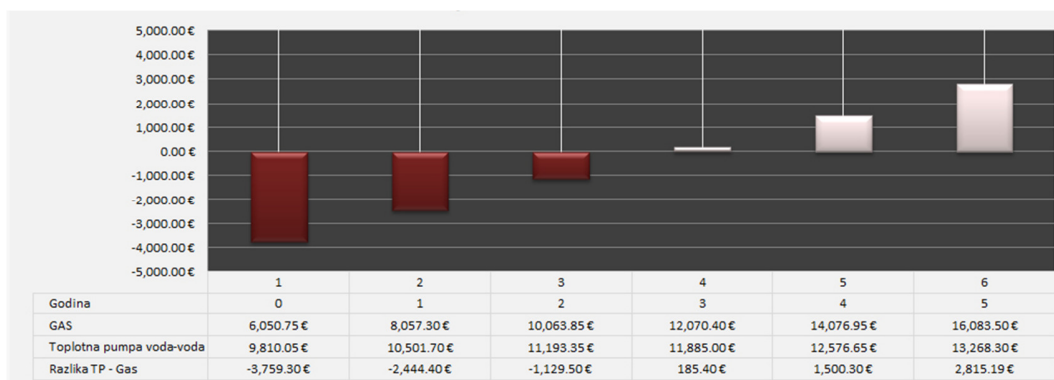


Slika 186. Zavisnost koeficijenta iskorišćenja celog sistema od izdašnosti bunara u režimu grejanja (Rafferty, 2000)



Slika 187. Zavisnost koeficijenta iskorišćenja celog sistema od izdašnosti bunara u režimu hlađenja (Rafferty, 2000)

Opravdanost korišćenje toplotnih pumpi voda-voda u niskotemperaturnim sistemima klimatizacije i period povrataka investicije prikazan je na slici 188.



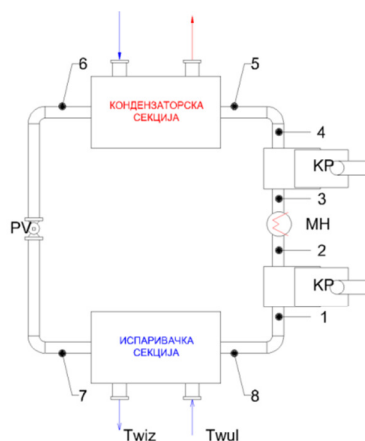
Slika 188. Period povrataka investicije računat za srednje izolavan objekat, površine 200 m² (www.artel.rs)

19.3.2. Kaskadne toplotne pumpe voda-voda

Na osnovu izvršenih analiza primene kaskadne toplotne pumpe voda-voda u sistemima visokotemperaturnog grejanja zaključeno je da se najbolje performanse dobijaju primenom toplotne pumpe sa dvostepenom kompresijom, spoljašnjim međuhlađenjem i jedostepenom ekspanzijom. Pomenute analize obuhvatale su sledeće (Stevanović Z., i dr., 2010):

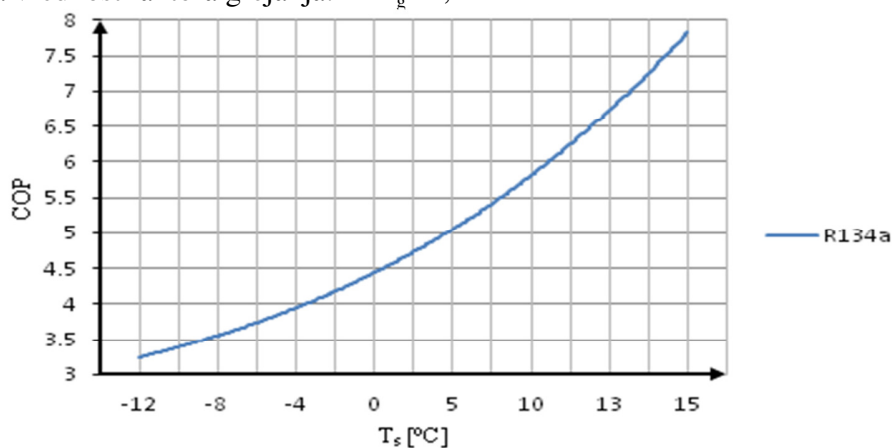
- Analiza meteoroloških uslova tokom grejnog perioda, s obzirom da oni imaju ključni uticaj na uslove rada toplotne pumpe
- Usporedna termodinamička analiza mogućih rešenja kaskadne toplotne pumpe, njihovo poređenje i izbor optimalnog rešenja za posmatrane vrednosti uticajnih parametara
- Izbor rashladnog fluida i termodinamička optimizacija primenjenog ciklusa
- Tehnoekonomska analiza predloženog rešenja
- Poređenje energetskih i tehnoekonomskih pokazatelja kaskadne toplotne pumpe sa jednostepenom toplotnom pumpom sa dodatnim električnim grejačem koja bi radila sa istim toplotnim učinkom
- Predlog optimizacije rada predložene kaskadne toplotne pumpe u zavisnosti od spoljašnjih meteoroloških uslova i parametara subgeotermalne vode

Na slici 189 prikazan je izgled kaskadne toplotne pumpe sa najboljim performansama.



Slika 189. Kaskadna toplotna pumpa sa spoljašnjim međuhladnjakom (Stevanović Z., i dr., 2010)

Sračunata vrednost faktora grejanja: $COP_g = 4,44$



Slika 190. Dijagram zavisnosti faktora grejanja od spoljašnje temperature (Stevanović Z., i dr., 2010)

Ukupna potrošnja električne energije tokom jedne grejne sezone: $E_{el} = 44.529,36 \frac{\text{kWh}}{\text{god}}$

Toplotna energija potrebna za grejanje tokom jedne grejne sezone: $Q_g = 215.691 \frac{\text{kWh}}{\text{god}}$

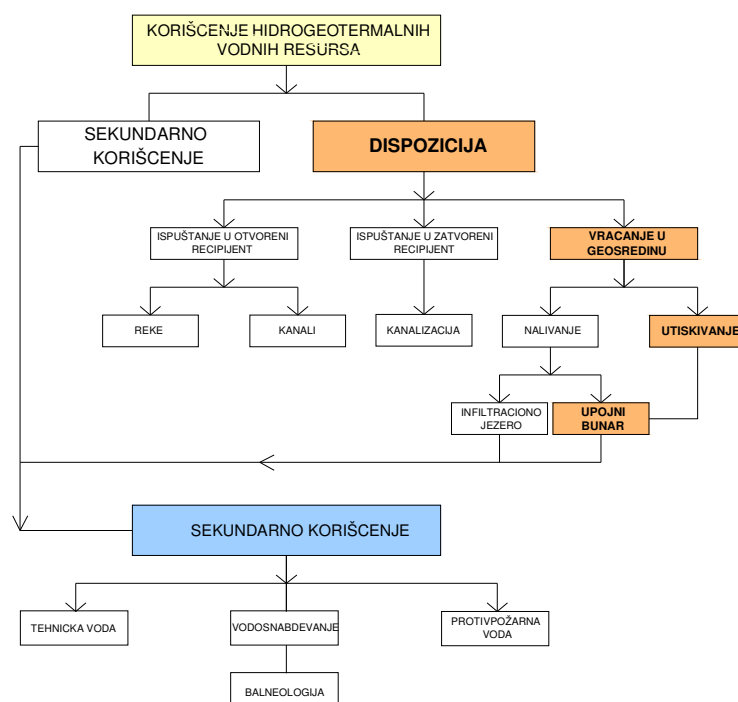
Sezonski faktor grejanja: $COP_{g,sezonski} = 4,855$

20. HIDROGEOLOŠKI DUBLETI

20.1. UPRAVLJANJE HIDROGEOTERMALNIM RESURSIMA U PROCESU EKSPLOATACIJE

Održivost sistema grejanja/hlađenja, nezavisno od kvadrature i namene objekta, zasniva se na optimizaciji parametara rada sistema, koji u ovom slučaju obuhvataju eksploataciju podzemnih voda i dispoziciju ili sekundarno korišćenje "energetski iskorišćenih" vodnih resursa. Eksploatacija i dispozicija hidrogeotermalnih resursa trebalo bi da se odvija u skladu sa principima održivog razvoja, odnosno poštujući ekološke, hidrogeološke, ekonomske i principe višenamenskog korišćenja resursa.

Na slici 191 prikazana je šema upravljanja hidrogeotermalnim resursima u procesu eksploatacije za potrebe grejanja/hlađenja objekata.



Slika 191. Algoritam upravljanja hidrogeotermalnim resursima u procesu eksploatacije

Algoritam upravljanja hidrogeotermalnim resursima u procesu eksploatacije (slika 191) grana se na dve primarne grane:

- 1. sekundarno korišćenje podzemnih voda nakon prolaska toplotnih izmenjivača**
- 2. dispoziciju podzemnih voda nakon prolaska toplotnih izmenjivača**

Korišćenje podzemnih vodnih resursa po izlasku iz sistema toplotne pumpe zavisi od hemizma podzemnih voda, temperature podzemnih voda i potreba korisnika.

Dispozicija podzemnih voda po izlasku iz sistema toplotne pumpe predstavlja složeno projektno rešenje, na koje utiču sledeći faktori:

- geološka/hidrogeološka građa terena
- broj i položaj vodonosnih slojeva
- hidrodinamički parametri sredine
- ekosistem
- stepen infrastrukturne razvijenost
- raspoloživost slobodnih površina terena
- (faktor koji se mora uzeti u obzir u urbanim sredinama)
- hidrografski uslovi na terenu

Sa algoritma (slika 191) uočava se da postoje tri projektna rešenja dispozicije podzemnih voda, a to su:

2a) ispuštanje podzemnih voda u otvoreni recipijent (reka, kanal), uslovi:

- postojanje otvorenog recipijenta na terenu
- zadovoljavajuća prihvatna moć reke ili kanala za duži vremenski period
- zadovoljavajući hemizam i temperatura podzemnih voda-očuvanje flore i faune

Ispuštanje u otvoreni recipijent moguće je ukoliko na posmatranom delu terena postoji prirodni ili veštački otvoreni tok, odgovarajućih prihvatnih moći (proticaj). Ispuštanje je regulisano Zakonom o vodama, odnosno vodnom saglasnošću, vodnim uslovima i vodnom dozvolom (poglavlje 13 doktorata).

Prednosti ispuštanja podzemnih voda u otvoreni površinski tok su :

- veće količine vode koje se mogu upustiti u površinski tok, nego u upojni bunar
- posredno prihranjivanje izdani infiltracijom
- jednostavni sistem dispozicije – cevovodna mreža (površinska/podzemna) sa postojanjem prirodnog gradijenta pada ili uz rad površinskih (buster) pumpi

Negativni aspekti ispuštanja podzemnih voda u otvoreni površinski tok su :

- mikoro promene ekosistema – promena flore i faune (lokalno)
- pojave visokih voda

2b) ispuštanje u zatvoreni recipijent (kišni kolektor ili kanalizacija)

- postojanje kišnog kolektora ili kanalizacije
- saglasnost nadležnog komunalnog preduzeća za ispuštanje podzemnih voda

Ispuštanje u zatvoreni recipijent najčešći je slučaj u urbanim i gusto naseljenim sredinama. Usled razvijene infrastrukture i velikih površina terena pod asfaltom, iskorišćene podzemne vode odlažu se ispuštanjem u zatvorene recipijente. Ispuštanje podzemnih voda u podzemni kolektor odvija se uz saglasnost nadležnog javnog komunalnog preduzeća.

Prednosti ispuštanja podzemnih voda u zatvoreni recipijent jesu veće količine podzemnih voda koje se mogu upustiti u odnosu na upojni bunar, dok je negativni aspekt ispuštanja podzemnih voda u zatvoreni recipijent procedura pribavljanja uslova i dozvola od nadležnih organa, i mogući negativni odgovor na traženi zahtev.

2c) vraćanje podzemnih voda u geosredinu (izdan i nadizdanska zona)

- nalivanje
- utiskivanje

Vraćanje iskorišćenih vodnih resursa u geosredinu predstavlja složeno projekto rešenje. U većini zemalja Evropske unije zakonom je propisano obavezno vraćanje podzemnih voda određene temperature i hemijskog sastava u geosredinu, te prethodne varijante odlaganja resursa ne uzimaju se u razmatranje.

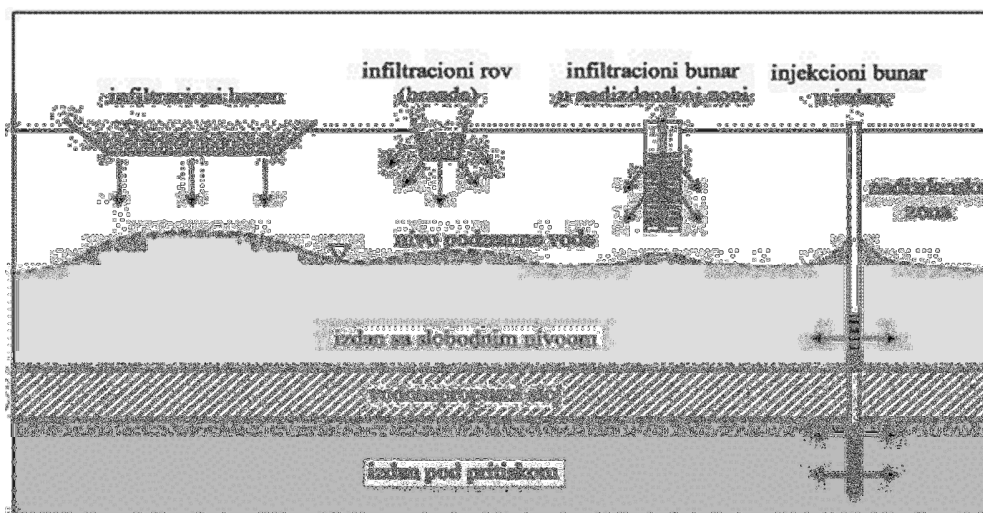
Na našim prostorima zakon ne naleže vraćanje podzemnih voda u podzemlje. U poglavlju 13 doktorata analizirana je pravna regulativa u EU koja se odnosi na injektiranje podzemnih voda i vraćanje istih u geosredinu.

Izbor metoda veštačke infiltracije zavisi od morfoloških, geoloških i hidrogeoloških svojstava terena, kao i od planiranog povećanja rezervi podzemnih voda. Metode za veštačko prihranjivanje (infiltraciju) izdani mogu da se podele u tri osnovne grupe (Stevanović Z., i dr., 2010) :

1. plavljenje (površine) zemljišta
2. nalivanje u aeracionu zonu
3. nalivanje (utiskivanje) u izdansku zonu

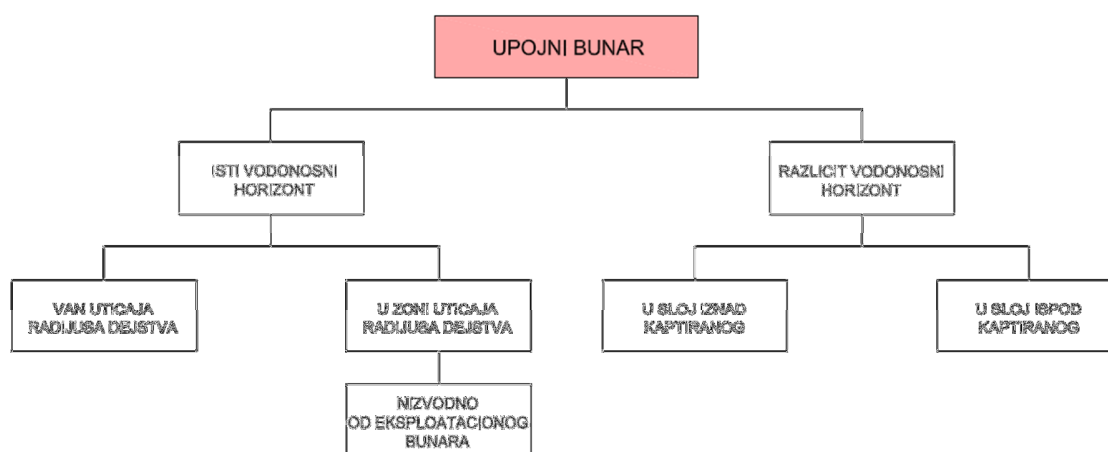
Plavljenje zemljišta je najjednostavnija metoda: površinska voda se upušta na plavljenju površinu, postepeno se infiltrira u podzemlje i prihranjuje izdan.

Nalivanje vode u aeracionu zonu može da se izvodi preko: infiltracionih bazena, infiltracionih brazdi/ rovova i plitkih infiltracionih bunara (slika 192).



Slika 192. Postupci infiltracije (veštačkog prihranjivanja) izdani
(Stevanović Z., i dr., 2010, prema Krešić, 2008)

Nalivanje u izdansku zonu sprovodi se preko dubokih bunara, odnosno preko upojnih (injekcionih) bunara. Na slici 193 prikazana su varijantna rešenja vraćanja podzemnih voda u izdan preko upojnih bunara.



Slika 193. Varijantna rešenja vraćanja podzemnih voda u izdan preko upojnog bunara

U tabeli 96 sublimirane su prednosti i nedostaci, uslovi i uticaj na životnu sredinu različitih podzemnih voda nakon prolaska kroz sistem klimatizacije.

Tabela 96. Analiza različitih načina odlaganja podzemnih voda nakon prolaska kroz toplotnu pumpu

| Tip | Prednosti | Nedostaci | Primenjivost | Uticaj na životnu sredinu |
|------------------------------|--|--|--|--|
| DISPOZICIJA | | | | |
| Infiltraciono jezero | 1. Mogućnost višenamenskog korišćenja 2. Estetika 3. Veštačka infiltracija | 1. Zauzimanje velike površine 2. Pojava kolmatacije 3. Održavanje i sprečavanje zaboravanja | 1. Zone van gusto naseljenih područja 2. Prigradske i seoske sredine 3. Poljoprivredna dobra | 1. Pojava mikroflora i mikrofauna |
| Upojni bunar | 1. Sistem bez gubitaka 2. Mogućnost vraćanja ukupnih eksploatisanih količina 3. Ravnoteža sistema | 1. Viša inicijalna cena sistema 2. Složeno projektno rešenje prilikom lociranja bunara 3. "Termalno zagađenje eksploatisane izdani | 1. Urbane zone 2. Povoljni hidrogeološki uslovi na terenu | 1. Promena nivoa podzemnih voda 2. Promena hemizma izdanskih voda |
| Potok, kanal | 1. Velika količina ispuštanja 2. Jednostavan sistem odlaganja | 1. Promena mikroekosredine – promena flore i faune (lokalno) 2. Pojave visokih voda | 1. Gradovi 2. Van gradova | Neophodna vodna saglasnost, vodni uslovi i vodna dozvola |
| Površina terena | 1. Smanjena inicijalna cena sistema 2. Veštačka infiltracija | 1. Zamočvarivanje terena 2. Procurivanje zagađivača u podzemlje 3. Zaleđene površine zimi 4. Aktiviranje vrtača i ponora | 1. Van gradova | 1. Pojava mikroflora i mikrofauna |
| Kanalizacija | 1. Nepovoljni hidrogeološki uslovi na terenu 2. Smanjena inicijalna cena sistema | 1. Procedura pribavljanja dozvola, mogući negativni odgovor na traženi zahtev 2. Ograničena količina ispuštanja | 1. Urbane i gusto naseljene sredine | Nije registrovano |
| SEKUNDARNO KORIŠĆENJE | | | | |
| Vodosnabdevanje | 1. Kaskadno korišćenje resursa 2. Zadovoljenje potreba za pijaćom vodom 3. Lokalni izvor pijaće vode | 1. Nepovoljan hemizam podzemnih voda 2. Procedura pribavljanja dozvola, mogući negativni odgovor na traženi zahtev | 1. Gradovi-stambene jedinice 2. Van gradova-kuće | Nije registrovano |
| Industrija | 1. Kaskadno korišćenje resursa 2. Smanjenje troškova u potrebi za vodom | 1. Nepovoljan hemizam podzemnih voda | 1. Svi vidovi industrije | Nije registrovano |
| Navodnjavanje | 1. Kaskadno korišćenje resursa 2. Smanjenje troškova u potrebi za vodom | 1. Nepovoljan hemizam podzemnih voda 2. Nedovoljne količine | 1. Sve vrste irigacije | Nije registrovano |
| Tehnička voda | 1. Kaskadno korišćenje resursa 2. Smanjenje troškova u potrebi za vodom | 1. Nepovoljan hemizam podzemnih voda 2. Nedovoljne količine | 1. zalivanje zelenih površina 2. protivpožarna voda | Nije registrovano |

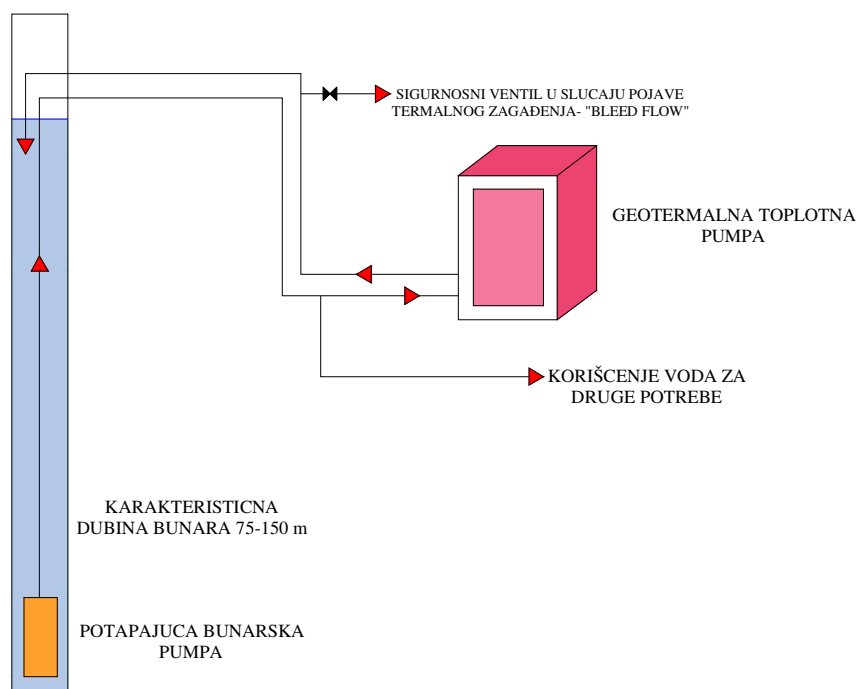
20.2. KLASIFIKACIJA UPOJNIH BUNARA

Prema načinu eksploatacije i dispozicije hidrogeotermalnih resursa razlikuje se:

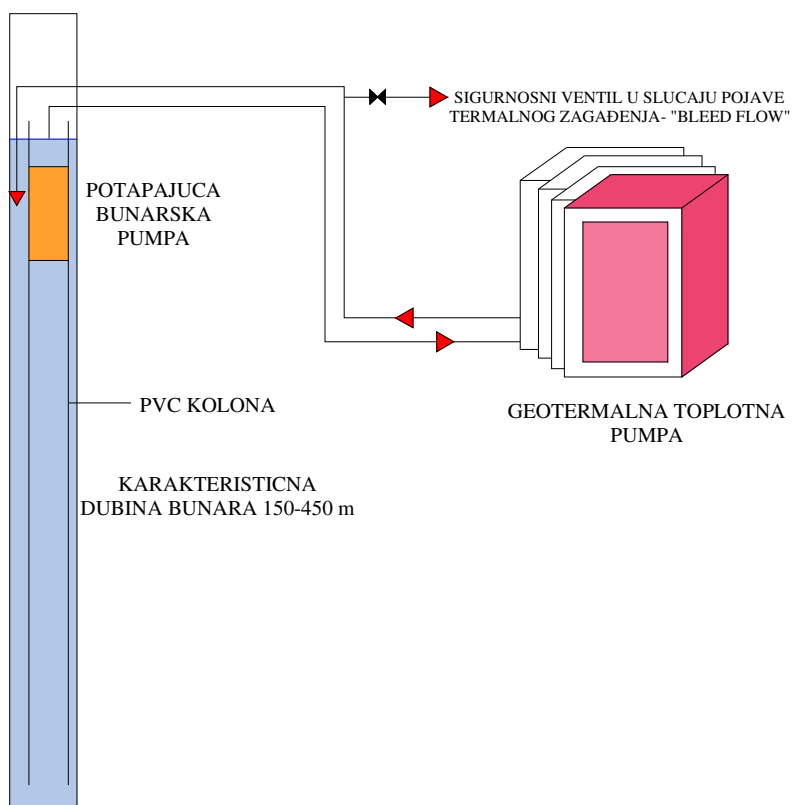
1. **Dvonamenski bunar** (*Standing column well*)
2. **Bunarski dubleti** (*Well-doublet*)

Dvonamenski bunar podrazumeva izradu jednog bunara sa dve funkcije. Bunar ima eksploatacionu i upojnu funkciju. Prečnik dvonamenskog bunara se kreće oko 150 mm, a dubina varira u zavisnosti od kvadrature objekta koji se greje, odnosno hladi. Na slici 194, prikazana je šema dvonamenskog bunara u sistemu toplotne pumpe za potrebe manjih objekata (kuća), a na slici 195, šema dvonamenskog bunara za potrebe većih objekata (upravne i poslovne zgrade...). Dvonamenski bunar sastoji se iz zacevljenog dela konstrukcije koji se nalazi u vodonosnom sloju i nezacevljenog dela koji se nalazi u podini vodonosnog sloja (kombinacija zacevljenog i open-hole bunara).

Razlika između dvonamenskih bunara prema kvadraturi objekata je u dubini, položaju potapajuće bunarske pumpe i PVC kolone koja se postavlja u slučaju klimatizacije većih objekata.



Slika 194. Šematski prikaz dvonamenskog bunara za potrebe grejanja/hlađenja manjih objekata (modifikovano, Orio et al., 2005)



Slika 195. Šematski prikaz dvonamenskog bunara za potrebe grejanja/hlađenja većih objekata (modifikovano, Orio et al., 2005)

Dubine dvonamenskih bunara za potrebe klimatizacije manjih objekata kreću se od oko 75 m do 150 m. Bunarska pumpa je pozicionirana na dnu bunara. U slučaju klimatizacije većih objekata dubine bunara se kreću od oko 150 m do oko 450 m. Bunarska pumpa se postavlja u PVC kolonu. PVC kolona mora imati perforacije u dužini od oko 6 m do 18 m od dna.

Kod oba slučaja dvonamenskih bunara projektovan je sigurnosni ventil. Uloga ventila je usmeravanje ohlađenih podzemnih voda po izlasku iz toplotne pumpe van bunara u slučaju pojave termalnog zagađenja (sniženja temperature podzemnih voda u bunaru). Ovaj proces je poznat pod nazivom "Bleed flow", a izražen je kod pojave pikova tokom grejne sezone (Orio et al., 2005).

Bunarski dublet podrazumeva izradu jednog eksploatacionog i jednog upojnog bunara. U okviru hidrogeoloških dubleta razlikuju se dva sistema. Prvi sistem se zasniva na promeni funkcije eksploatacionog i upojnog bunara, dok kod drugog sistema bunari ne menjaju funkciju.

Dvobunarski sistem sa promenom funkcije podrazumeva dublet u kome jedan bunar tokom zime predstavlja eksploatacioni a drugi upojni, dok se tokom leta njihova funkcija menja. Tokom zime upojni bunar akumulira hladniju vodu, idealnu za letnju eksploataciju, i obratno, letnji upojni bunar akumulira veću temperaturu potrebnu za zimsku eksploataciju. Menjanje funkcije sprečava i pojavu kolmatacije prifiltarske zone, čest problem kod upojnih bunara. Pa ipak, zbog velike cene uspostavljanja ovakvog sistema on se najmanje koristi (iako najoptimalniji).

Dvobunarski sistem bez promene funkcije, podrazumeva dublet koji unapred određuje bunare kao eksploatacione ili upojne bez promene tokom sezone. Voda se uvek vraća u bunar koji je projektovan kao upojni. Ovaj tip bunarskog dubleta je najčešći. Prilikom projektovanja eksploatacionog i upojnog bunara niz je faktora koji utiču na pravilno funkcionisanje sistema:

- a) faktor položaja eksploatacionog i upojnog bunara na posmatranom terenu
- b) faktor rastojanja između eksploatacionog i upojnog bunara
- c) faktor konstrukcionih karakteristika eksploatacionog i upojnog bunara

Nepravilno projektovani sistem dubleta dovodi do niza negativnih pojava koje utiču na energetske efikasnost i dugotrajnost funkcionisanja celokupnog sistema, kao što je opadanje COP vrednosti sistema, smanjenje raspoložive energije rashlađivanjem kolektorske sredine, te vraćanje upojnih voda na površinu terena, itd.

20.3. HIDROGEOLOŠKI DUBLETI

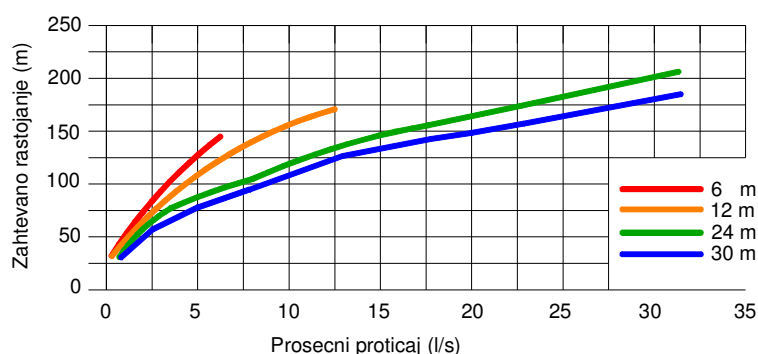
20.3.1. Optimalno rastojanje između eksploatacionog i upojnog bunara

Proračun optimalnog rastojanja između dva bunara, predstavlja najveći izazov u formiranju dubleta, i predmet su istraživanja velikog broja naučnika (Banks, 2009). Za proračun rastojanja (udaljenja) između eksploatacionog i upojnog bunara koristi se sledeća formula:

$$L > \frac{2Q}{T\pi i}$$

gde je: L – rastojanje između eksploatacionog i upojnog bunara (m)
 Q – izdašnost eksploatacionog bunara (m³/s)
 T – koeficijent transmisibilnosti (m²/s)
 i – hidraulički gradijent

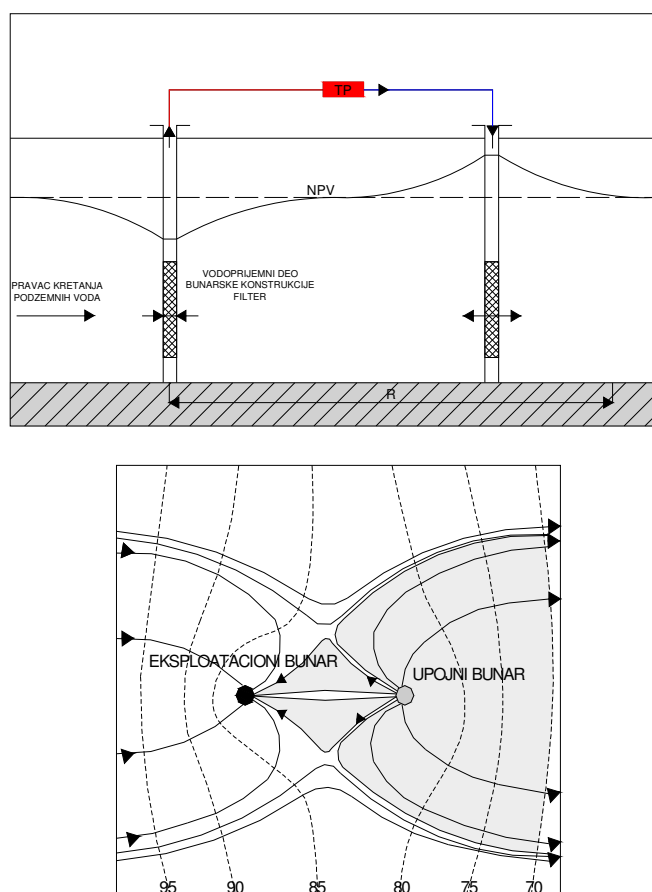
Ukoliko je hidraulički gradijent 0, razmatraju se i dodatni faktori poput zone uticaja radijusa dejstva, broj vodonosnih horizonata, hemizma podzemnih voda u svakom od horizonata itd. Minimalo prosečno rastojanje između dva bunara (na osnovu primera iz prakse) ne bi trebalo da bude ispod 30m. Minimalno rastojanje između eksploatacionog i upojnog bunara može se i definisati i na osnovu poznavanja debljine izdani, poroznosti, srednje izdašnosti bunara i broja dana kada je sistem u eksploataciji. Na dijagramu (slika 196) prikazana je zavisnost između debljine izdani, prosečne izdašnosti i minimalnog rastojanja između bunarskih dubleta.



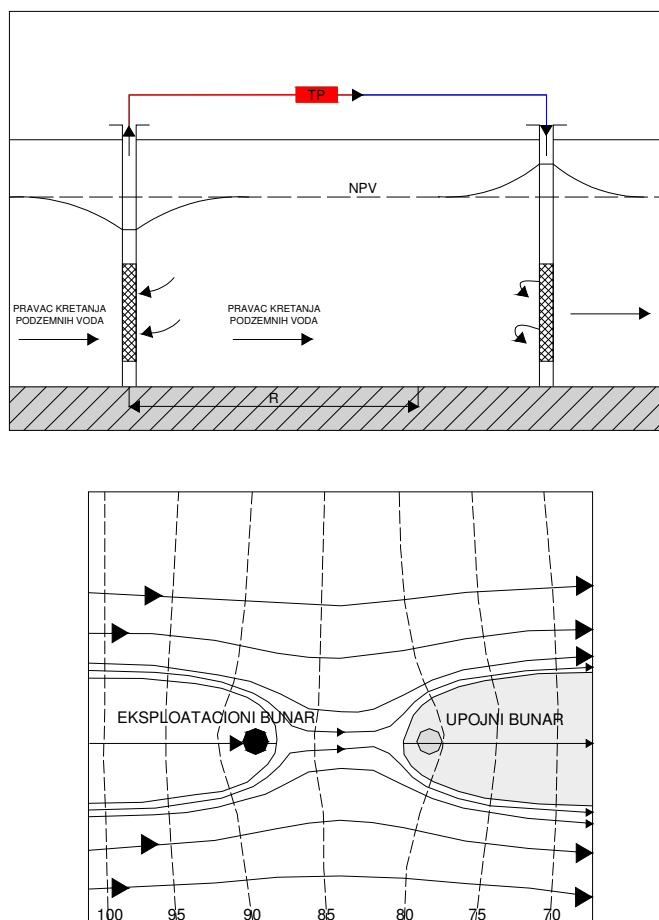
Slika 196. Određivanje minimalne udaljenosti bunarskih dubleta na osnovu hidrogeoloških parametara (Kavanaugh, Rafferty, 1997)

Prikazani dijagram bazira se na vrednostima poroznosti izdani od 20%, ukoliko je poroznost 10%, vrednosti rastojanja množe se koeficijentom 1.05, za vrednosti poroznosti od 30 % vrednosti rastojanja množe se koeficijentom 0.95.

Pretpostavlja se da je sistem 280 dana u eksploataciji. Izradom upojnog bunara u zoni uticaja radijusa dejstva eksploatacionog bunara može dovesti do narušavanja temperaturne ravnoteže zahvaćenih podzemnih voda, odnosno može dovesti do rashlađenja čitavog sistema u podzemlju. Obaranjem temperature zahvaćenih podzemnih voda smanjuje se i raspoloživa energija za potrebe klimatizacije, obzirom da upravo temperatura i izdašnost podzemnih voda određuju energetske potencijal. Izrada upojnih–injekcionih bunara u zoni radijusa dejstva eksploatacionih bunara moguće je jedino kada je u pitanju izdašna vodonosna sredina, pa se tako energija izgubljena rashlađivanjem sistema nadoknađuje količinama. Na slici 197 prikazan je primer bunarskog dubleta u planu (sa šematizovanim strujnim i ekvipotencijalnim linijama), gde se upojni bunar nalazi u zoni radijusa dejstva eksploatacionog bunara, odnosno van radijusa dejstva eksploatacionog bunara. Izradom injekcionog bunara van zone uticaja radijusa dejstva eksploatacionog bunara vrši se vraćanje iskorišćenih podzemnih voda u izdan bez posledica na eksploatacioni bunar (slika 198).



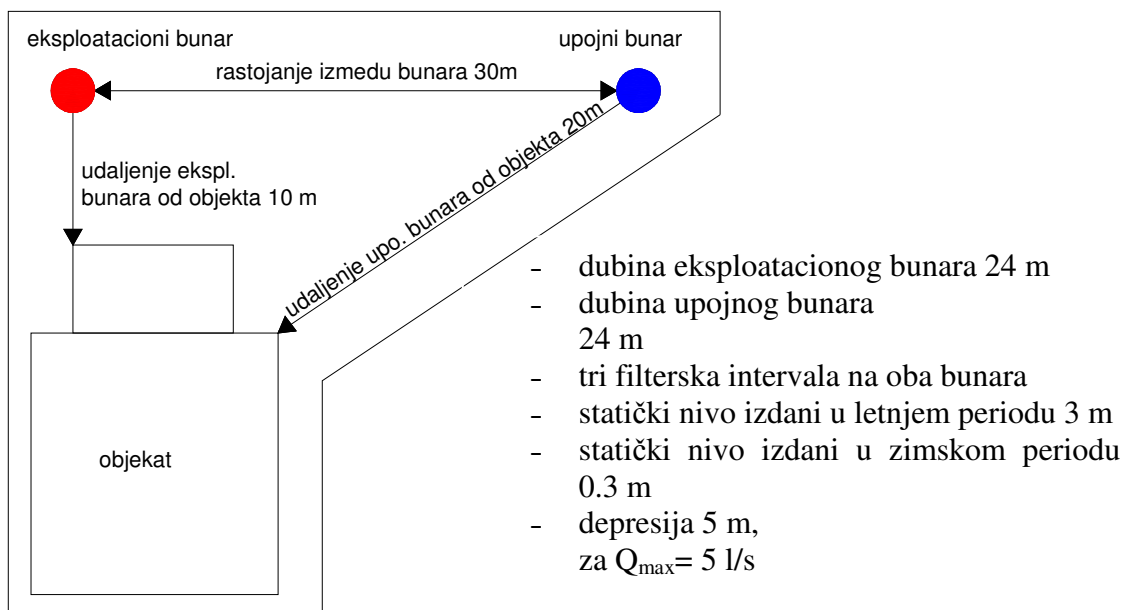
Slika 197. Uticaj upojnog bunara na eksploatacioni bunar u okviru iste izdani – upojni bunar u zoni radijusa dejstva eksploatacionog bunara (modifikovano prema Banks, 2009)



Slika 198. Uticaj upojnog bunara na eksploatacioni bunar u okviru iste izdani – upojni bunar van zone radijusa dejstva eksploatacionog bunara (modifikovano prema Banks, 2009)

Raspoloživost prostora je faktor koji ima veliki uticaj na projektovanje i kasniji rad hidrogeoloških dubleta, pa i celog sistema. Projektanti se često susreću sa problemom gde je prostor za izradu dubleta ograničen, naročito u gradskim sredinama (veličina parcele i površina terena van temeljnih jama objekta).

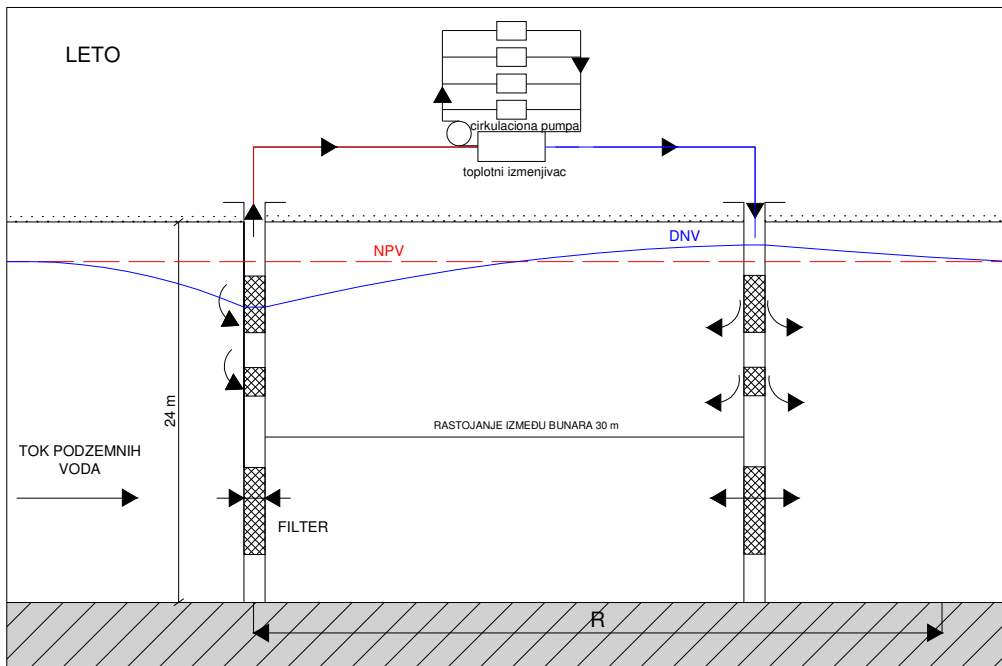
Prikazan je primer rada sistema hidrogeoloških dubleta u nepovoljnim uslovima sa hidrogeološkog aspekta i sa aspekta prostora. Upojni bunar se nalazi u radijusu dejstva eksploatacionog bunara, u sredini u kojoj su u zimskom periodu nivoi podzemnih voda veoma visoko. Na slici 199 prikazana je šema rasporeda objekata i bunara na terenu.



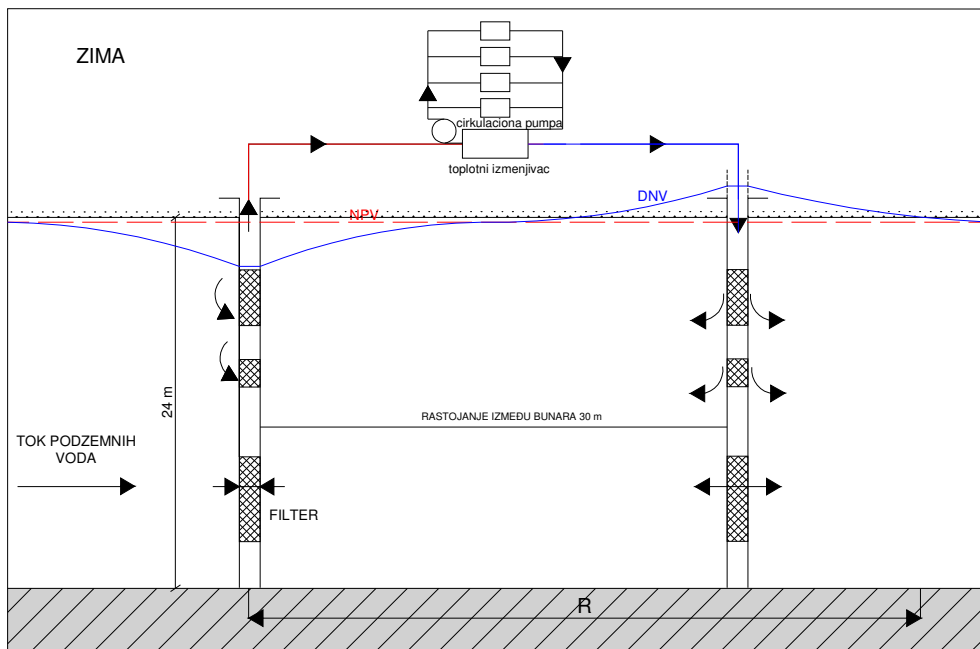
Slika 199. Šema bunarskih dubleta na terenu

Eksploatacioni i upojni bunar imaju iste konstrukcione karakteristike (dubina objekata, broj i položaj filterskih intervala bunarske konstrukcije). Hidrogeološke karakteristike terena su uslovile zahvatanje i vodonosnih slojeva koji zaležu relativno blizu površine terena, u cilju obezbeđenja dovoljnih količina podzemnih voda. Na slikama 200 i 201 prikazan je rad sistema u režimu hlađenja i u režimu grejanja.

Tokom 2009. i 2010. godine, došlo je do intenzivnih padavina, daleko većih od srednje višegodišnje vrednosti za pomenutu lokaciju. Padavine su prouzrokovale izdizanje i zadržavanje nivoa podzemnih voda do 0.3m ispod površine terena u dužem vremenskom periodu. Kao posledica navedenog, upojni bunar je prestao sa radom, jer je izazivao plavljenje terena, svaki put kada bi bio uključivan, tj. nije mogao da primi injektirane količine podzemnih voda (slika 201). To je dalje prouzrokovalo štetu na objektu i isključenje grejanja tokom najvećeg dela zime 2009/10. godine. Rešenje problema nametnulo je stavljanje upojnog bunara van funkcije i odvođenje voda do površinskog recipijenta na rastojanju od 1000 m.



Slika 200. Bunarski dublet u letnjem režimu rada



Slika 201. Bunarski dublet u zimskom režimu rada

20.3.2. Eksploatacione i upojne količine podzemnih voda

Iako, teoretski svaki bunar onu količinu podzemnih voda koju daje može i da primi, to je u praksi skoro nemoguće. Daleko realnija relacija je da je maksimalna količina vode koju bunar može da primi 70% od optimalne izdašnosti. Ovu činjenicu, posebno ukoliko se radi o izdanima sa slabijim filtracionim karakteristikama, treba imati na umu, te kao projektno rešenje predstaviti veći broj upojnih bunara.

Svaki eksploatacioni bunar ima svoju minimalnu, maksimalnu i optimalnu izdašnost. Pomenute izdašnosti definišu se nakon izvođenja testa crpenja. Prilikom određivanja maksimalne izdašnosti bunara mora se voditi računa o ulaznim brzinama u prifilterskoj zoni, kako se ne bi ugrozila stabilnost iste. Maksimalna količina vode koja se može zahvatiti, a da se pri tom ne naruši stabilnost prifilterske zone dobija se na osnovu sledeće formule:

$$Q = V_d \cdot M \cdot D_b \cdot \pi$$

gde je:

Q–maksimalna količina vode koja se može zahvatiti

V_d – kritična dozvoljena brzina

M–debljina kaptiranog sloja

D_b –prečnik bušenja

Kritična dozvoljena brzina (V_d) određuje se po kriterijumu Kovača:

$$V_d = \frac{0.356 \sqrt{K}}{200}$$

gde je:

K–koeficijent filtracije

U praksi se smatra da optimalna izdašnost iznosi dve trećine maksimalne izdašnosti, a može se i sračunati preko maksimalno dozvoljenih brzina. Optimalna izdašnost bunara utiče na ceo sistem klimatizacije. Sa jedne strane postiže se očuvanje resursa, a sa druge produžava vek bunara i bunarske automatike (potapajuća pumpa), što u ukupnom ekonomskom zbiru opravdava isplativost korišćenja obnovljivih izvora energije.

Negativne posledice nepravilnog odabira režima rada bunara mogu dovesti do nadeksploatacije, odnosno precrpljivanja izdani, promene hemijskog sastava tokom crpenja, zatim do ubrzanog starenja bunara (kolmatacija filterskog dela bunarske konstrukcije, pojava sufozije) i skraćenja radnog veka bunarske pumpe.

Projektovanje sistema u optimalnom režimu rada eksploatacionih objekata podrazumeva čitav niz hidrogeoloških istraživanja koja se mogu podeliti na istraživanja pre izrade bunara i istraživanja nakon izrade bunara (tabela 97). Pravilan metodološki pristup u hidrogeološkom istraživanju i poznavanju geološko/hidrogeoloških uslova na terenu dovodi do ispravnih projektnih rešenja u pogledu broja eksploatacionih bunara, zatim broja upojnih bunara, njihov međusobni dispozitet, kao i njihove tehničke karakteristike. Klimatski parametri (padavine i temperatura vazduha) direktno ili indirektno utiču na podzemne vodne resurse. Poznavanjem godišnjih (ili duži statistički niz) vrednosti padavina i temperature vazduha, njihovom korelacijom sa vrednostima nivoa i temperature podzemnih voda definiše se režim izdani.

Tabela 97. Metodološki pristup u projektovanju hidrogeoloških dubleta

| PRE IZRADE BUNARA | | | NAKON IZRADE BUNARA | | |
|---------------------------------|---------------------------------------|---------------|---------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| METODA | REZULTAT | PARAMETAR | METODA | REZULTAT | PARAMETAR |
| geofizičko ispitivanje terena | prostorni raspored litoloških članova | / | test crpenja | minimalna izdašnost | $Q_{min.}$ (l/s) |
| | dubinsko zaleganje litoloških članova | / | | maksimalna izdašnost | $Q_{max.}$ (l/s) |
| | dubina do kolektora podzemnih voda | / | | optimalna izdašnost | $Q_{opt.}$ (l/s) |
| | prisustvo raseda i rasednih zona | / | | koeficijent filtracije | K (m/s) |
| hidrogeološko kartiranje terena | hidrogeološka karta | / | | koeficijent transmisibilnosti | T (m ² /s) |
| istražno bušenje | istražna bušotina | / | | gubici linearnog karaktera | A (s/m ²) |
| geofizički karotaž | specifični električni otpor | S_n (Omm) | | gubici kvadratnog karaktera | B s ² /m ⁵ |
| | sopstveni električni potencijal | SP (mV) | | radijus cdejstva bunara | R (m) |
| | prirodna radioaktivnost-gama | G (imp/sec) | | specifična izdašnost izdani | μ (l) |
| | temperatura | T (°C) | | specifična izdašnost bunara | q (l/s/m') |

Razlike između eksploatacionih i upojnih bunara izvedenih u zbijenom tipu izdani su (Rafferty, 2000):

- filterski deo konstrukcije upojnog bunara trebalo bi da je dva puta veći nego kod eksploatacionog bunara
- ulazne brzine u prifilterskoj zoni upojnog bunara trebalo bi ograničiti na 0.013 m/s
- ulazne brzine u prifilterskoj zoni eksploatacionog bunara se kreću oko 0.026 m/s

Razlike između eksploatacionih i upojnih bunara izvedenih u pukotinskom tipu poroznosti kao „open hole“ sistemi praktično ne postoje. U tom slučaju nužno je obratiti pažnju na plombiranje glave upojnog bunara, kako ne bi došlo do „izlivanja“ vode pri injektiranju. Naime, nivo podzemnih voda u upojnom bunaru uvek je viši od statičkog nivoa podzemnih voda. Otvor cevi kroz koju se upušta voda u upojni bunar trebalo bi da se nalazi ispod statičkog nivoa, kako bi se sprečila pojava vazdušnih mehurića, koji mogu da dovedu do blokiranja protoka vode (Rafferty, 2000).

20.3.3. Analiza uticaja upojnog bunara na eksploatacioni bunar

Prema iskustvima iz prakse (sistemi instalirani u zemljama Evropske unije), u svakom sistemu koji se zasniva na radu hidrogeoloških dubleta posle izvesnog vremena doći će do promene početnih uslova rada sistema u vidu:

- hidrauličkog odziva sredine ("hydraulic feedback")
- termalnog odziva sredine ("thermal feedback")

Projektovanje hidrogeoloških dubleta predstavlja kompleksan inženjerski zadatak, jer nepravilno projektovani dublet može ugroziti rad čitavog sistema klimatizacije. U "loše" projekovanom sistemu vreme hidrauličkog i/ili termalnog odziva sredine je veoma kratko (nekoliko meseci), dok, kod "dobro" projektovanih sistema period pojave neželjenih posledica iznosi nekoliko decenija. Dakle, iako sistemi hidrogeoloških dubleta nisu večno održivi, njihov životni vek može biti dovoljno dug da bi sistemi postali ekonomski isplativi (Banks D., 2009).

U poglavlju 20.3.1. analizirano je optimalno rastojanje između eksploatacionog i upojnog bunara. Ukoliko su ispoštovani navedeni uslovi šanse za pojavu hidrauličkog odziva sredine su minimalne, u suprotnom vreme za koje će doći do hidrauličkog odziva sredine je (Banks D., 2009 prema Hoopes B., Harleman R., 1967; Grove B., 1971; Guven O., et al., 1986):

$$t_{hid} = \pi n_e D \frac{L^2}{3Q}$$

gde je:

n_e – efektivna poroznost

D – debljina izdani,

pod uslovom da je hidraulički gradijent (i) = 0, i usvaja se da ne postoji disperzija.

A, ukoliko je (i) \neq 0, vreme pojave hidrauličkog gradijenta jednako je (Banks D., 2009 prema Lippmann J., Tsang F., 1980):

$$t_{hid} = \frac{Ln_e}{K_i} \left[1 + \frac{4\alpha}{\sqrt{-1-4\alpha}} \tan^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{-1-4\alpha}} \right) \right]$$

gde je $\alpha = \frac{Q}{2\pi K D_i L} = \frac{Q}{2\pi T_i L}$

K –koeficijent filtracije, i je negativna vrednost, α je negativna vrednost

Kod pojave termalnog odziva negativne posledice ogledaju se u promeni temperature podzemnih voda na eksploatacionom bunaru. U prvom slučaju, vraćanjem “ohlađenih” podzemnih voda preko upojnog bunara dolazi do remećenja prirodnih vrednosti, odnosno snižava se temperatura podzemnih voda u izdani. U drugom slučaju, vraćanjem “zagrejanih” podzemnih voda, takođe se remete prirodni uslovi temperature koji vladaju u izdani.

Po izradi bunarskih sistema, vrše se opiti crpenja i opiti injektiranja podzemnih voda, te se modelskim putem pretpostavlja tok i brzina utisnutih podzemnih voda. Modeli prognoziraju period za koji je moguće da će doći do promene temperature podzemnih voda usled rada upojnog bunara. Na slici 202 prikazan je grafik koji predviđa promenu temperature podzemnih voda koje se zahvataju preko eksploatacionog bunara u sledećim uslovima:

- laminarni uslovi, homogena intergranularna sredina
- efekti disperzije ne postoje
- termalna ravnoteža između podzemnih voda i stenskog matriksa je trenutna
- gubici tolike kroz podinu i povlatu su zanemarljivi
- posmatrajući gradijent, upojni bunar je lociran nizvodno od eksploatacionog

Postoji nekoliko režima rada hidrogeoloških dubleta koji utiču na životni vek sistema (Banks, 2009):

Scenario 1.

Zima: bunar A je eksploatacioni, bunar B je upojni i u njega se vraćaju ohlađene podzemne vode

Leto: bunar A je eksploatacioni, bunar B je upojni i u njega se vraćaju zagrejane podzemne vode

Scenario 2.

Zima: bunar A je eksploatacioni, bunar B je upojni i u njega se vraćaju ohlađene podzemne vode

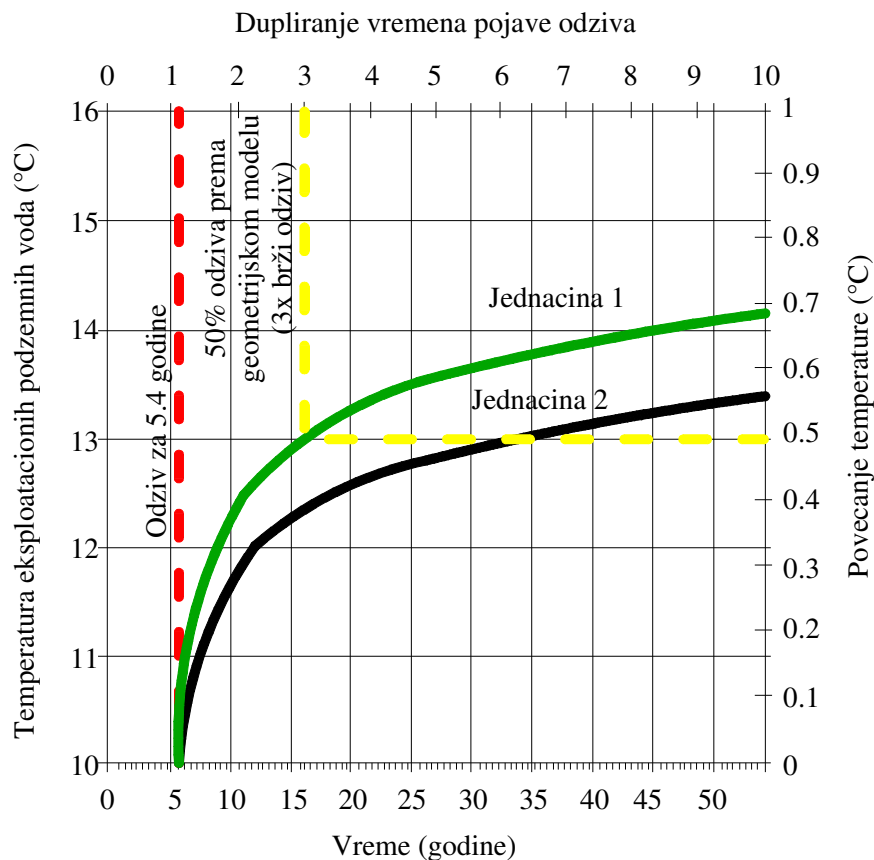
Leto: bunar B je eksploatacioni, bunar A je upojni i u njega se vraćaju zagrejane podzemne vode

Zima: bunar A je eksploatacioni, bunar B je upojni i u njega se vraćaju ohlađene podzemne vode

Scenario 1 ukoliko su godišnja opterećenja tokom sezone grejanja i hlađenja dobro izbalansirana, i ako se termalni odziv javi nakon nekoliko godina, mogu se očekivati vrlo male promene temperature u izdani nakon perioda pojave termalnog odziva, što produžava životni vek sistema.

Scenario 2 zapravo predstavlja skladištenje termalne energije u izdani ("aquifer thermal energy storage–ATES"). Ovo omogućava veći energetska učinak toplotnih pumpi tokom sezone grejanja i hlađenja, a sve pod uslovom da je ispoštovana udaljenost između bunara $L > \frac{2Q}{T\pi i}$

Ovakav režim bunara najviše odgovara bezfilterskim bunarima. Kod filterskih bunara promena smera proticaja podzemnih voda je ponekad otežana, ne odvija se automatski.



Proračunato vreme termalnog odziva je 5.43 godine, početna temperatura podzemnih voda je 10°C i temperatura injekcionih voda je konstantna i iznosi 16°C , hidraulički gradijent (i) = 0;

Jednačina 1: $t_{hid} = \pi n_e D \frac{L^2}{3Q}$;

Jednačina 2:

$$\frac{\theta_{eks.} - \theta_{inj.}}{\theta_0 - \theta_{inj.}} = 0.338 \exp\left(-0.0023 \frac{t}{t_{te}}\right) + 0.337 \exp\left(-0.1093 \frac{t}{t_{te}}\right) + 1.368 \exp\left(-1.3346 \frac{t}{t_{te}}\right),$$

θ_0 – početna temperatura podzemnih voda u izdani

$\theta_{eks.}$ – temperatura podzemnih voda u eksploatacionom bunaru koja se menja tokom vremena

$\theta_{inj.}$ – temperatura podzemnih voda u upojnom bunaru koja je konstantna tokom vremena

$$t_{te} = \pi D \frac{S_{VCaq} L^2}{3S_{VCwat} Q} \text{ ako } (i) = 0$$

$$t_{te} = \frac{S_{VCaq} L}{S_{VCwat} K i} \times \left[1 + \frac{4\alpha}{\sqrt{-1-4\alpha}} \tan^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{-1-4\alpha}} \right) \right], \text{ ako je } i < 0$$

S_{VCaq} – specifična toplota izdani

S_{VCwat} – specifična toplota vode

Slika 202. Prognozne temperature podzemnih voda u eksploatacionom bunaru u okviru open loop sistema (Banks, 2009)

21. IZBOR MATERIJALA GEOTERMALNE/TERMOTEHNIČKE OPREME U ZAVISNOSTI OD HEMIZMA PODZEMNIH VODA

21.1. HEMIJSKI SASTAV PODZEMNIH VODA

Hemizam podzemnih voda značajno utiče na održivost projektovanog sistema grejanja/hlađenja počev od eksploatacije resursa, njegove aplikacije, do dispozicije resursa. Takođe, energetska efikasnost sistema zavisi od hemijskog sastava podzemnih voda.

U prva dva koraka (eksploatacija i aplikacija) hemizam podzemnih voda određuje izbor materijala koji se koriste za opremanje bunara i termotehničkih podstanica. U trećem, poslednjem koraku, hemizam takođe može uticati na izbor materijala ukoliko se dispozicija odvija preko upojnih bunara. U slučaju da se odlaganje podzemnih voda vrši upuštanjem u otvoreni tok, hemizam utiče na promenu ekosistema.

Kod izrade bunara, negativan uticaj hemizma podzemnih voda ogleda se kroz pojavu korozije ili inkrustacije, te dolazi do smanjenja eksploatacionih, odnosno upojnih moći bunara. Korišćenjem inertnih materijala poput polivinil hlorida (PVC) mogu se izbeći neželjene reakcije na bunarskim konstrukcijama.

Na izbor materijala termotehničke opreme, toplotnih izmenjivača i toplotnih pumpi, utiču sledeće komponente hemijskog sastava: pH vrednost, sadržaj gvožđa i mangana, sadržaj jona kalcijuma, zatim karbonata, hidrokarbonata, hlorida, gasova, tvrdoća vode, mineralizacija. U zavisnosti od koncentracija pomenutih komponenata hemijskog sastava, kao i u zavisnosti od vrednosti Lanželijeveg indeksa i Riznerovog broja definišu se materijali za izradu toplotnih pumpi i toplotnih izmenjivača.

Takođe, bakteriološki sastav podzemnih voda utiče na efikasnost rada sistema.

Teorijske osnove procesa kolmatacije (inkrustacije) i korozije

Kolmatacija predstavlja proces taloženja soli iz podzemnih voda, što dovodi do smanjenja prijemne moći filterskog dela bunarske konstrukcije ili u slučaju toplotnih izmenjivača dolazi do smanjenja površine kontakta podzemnih voda i izmenjivača, što dovodi do smanjanja njegovog energetskog učinka.

Proces kolmatacije prema prirodi može biti hemijskog, mehaničkog i biološkog porekla (Polomčić, 2001). U tabeli 98. prikazane su koncentracije hemijskih parametara koji dovode do hemijske kolmatacije.

Tabela 98. Pregled potrebnih uslova za pojavu hemijske kolmatacije
(iz Polomčić, 2001, prema Vuković, Soro, 1990)

| Karakteristike podzemnih voda | Hemijska kolmatacija |
|-------------------------------|-----------------------------|
| pH | >7.5 |
| Tvrdoća | CaCO ₃ >300 mg/l |
| Sadržaj jona Fe | >2 mg/l |
| Sadržaj jona Mn | >1 mg/l |

Istaložavanje soli odvija se pri narušavanju karbonatne ravnoteže voda i oksido-redukcionih procesa. Za analiziranje mogućnosti stvaranja naslage koristi se Lanželijeov indeks zasićenja i Riznerov indeks stabilnosti, koji su definisni sledećim jednačinama (Milovanović, 2002):

$$\mathbf{L.I. = pH - pH_s}$$

$$\mathbf{R.I. = 2pH_s - pH}$$

gde su:

pH – izmerena aktuelna pH vrednost pri temperaturi vode 25°C

pH_s – pH vrednost vode kada je ravnotežno zasićena kalcijum karbonatom

pH_s se može odrediti eksperimentalnim putem ili pomoću formule:

$$\mathbf{pH_s = f(t) - f(Ca^{+2}) - f(A) + f(R)}$$

gde su:

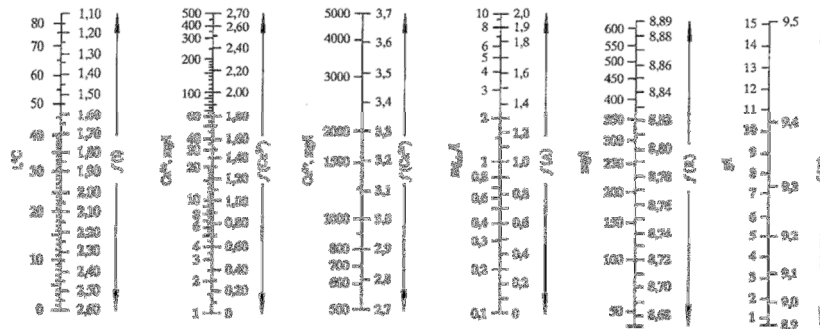
$f(t)$ – funkcija koja uzima u obzir sadržaj ugljene kiseline i rastvorenog kalcijuma u zavisnosti od temperature vode,

$f(\text{Ca}^{+2})$ – funkcija koja uzima u obzir uticaj koncentracije kalcijum-jona u mg/l

$f(A)$ – funkcija uticaja ukupne alkalnosti vode u mgekv/l

$f(R)$ – funkcija uticaja ukupnog sadržaja rastvorenih soli u mg/l

Na slici 203. prikazani su nomogram za određivanje pH_s vrednosti.



Slika 203. Nomogram za određivanje pH_s vrednosti (Milovanović, 2002)

U slučaju da je vrednost $L.I > 0$, sadržaj ugljen-dioksida u vodi je ispod ravnotežne koncentracije, pa dolazi do istaložavanja kalcijum-karbonata. Kada je vrednost $L.I. < 0$, tada je sadržaj rastvorenog ugljen dioksida iznad karbonatne ravnoteže i takva voda rastvara karbonatna jedinjenja. Vode sa vrednošću $R.I \geq 9$ karakterišu se korozivnošću, dok se vode sa vrednošću $R.I < 7$ karakterišu kolmativnim svojstvima. Za vrednosti $7 < R.I < 9$ moguća je pojava i korozije i kolmatacije (Polomčić, 2001). Pored hemijske kolmatacije, moguća je pojava i tzv. biološke kolmatacije koja je vezana za postojanje gvožđevitih i manganskih bakterija u podzemnim vodama. Naime, u dodiru sa kiseonikom dvovalentno gvožđe prelazi u trovalentno i dolazi do njegovog taloženja. U tabeli 99. prikazane su vrednosti koncentracija pojedinih parametara koji dovode do biološke kolmatacije.

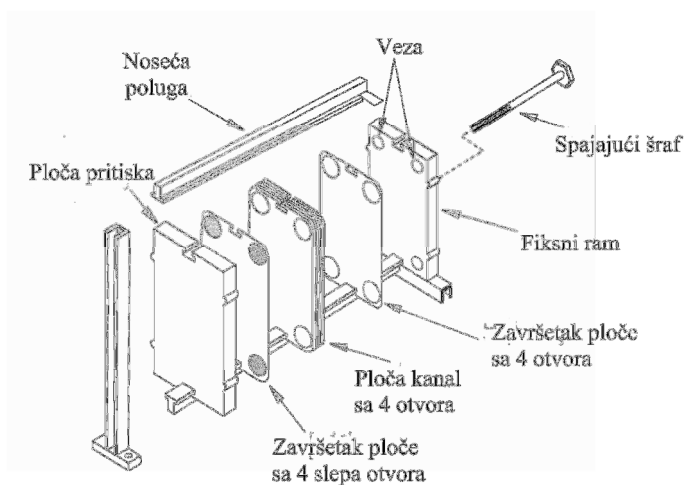
Tabela 99. Pregled potrebnih uslova za pojavu biološke kolmatacije (iz Polomčić, 2001, prema Vuković, Soro, 1990)

| Karakteristike podzemnih voda | Hemijska kolmatacija |
|-------------------------------|-----------------------|
| pH | 5.4-7.2 |
| Temperatura | 10-25 °C |
| Sadržaj jona Fe | 1.6 mg/l, max 14 mg/l |

21.2. UTICAJ HEMIJSKOG SASTAVA NA TOPLOTNE IZMENJIVAČE I TOPLOTNE PUMPE

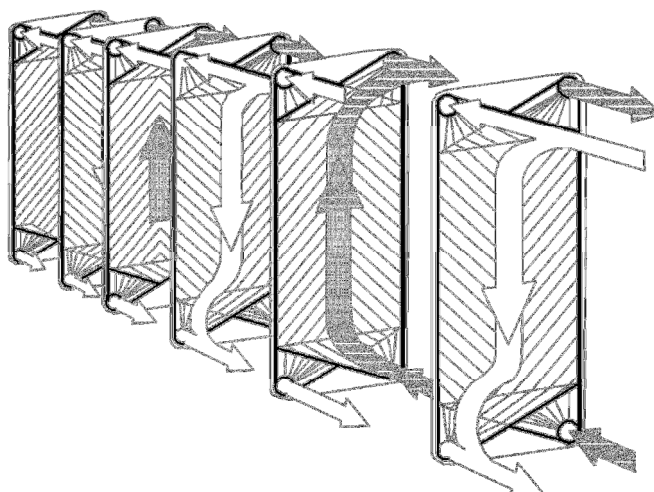
Toplotni izmenjivači su deo termotehničke opreme i služe za razmenu toplote između dva medijuma. Najveću primenu u geotermalnim sistemima pronalaze pločasti izmenjivači zbog svoje kompaktne konstrukcije, jednostavnog održavanja, povoljne cene i jednostavne mogućnosti povećanja kapaciteta (Milanović, 2002).

Na slici 204 prikazan je šematski izgled pločastog toplotnog izmenjivača rastavljenog na delove.



Slika 204. Pločati izmenjivač toplote (Rafferty, 1998)

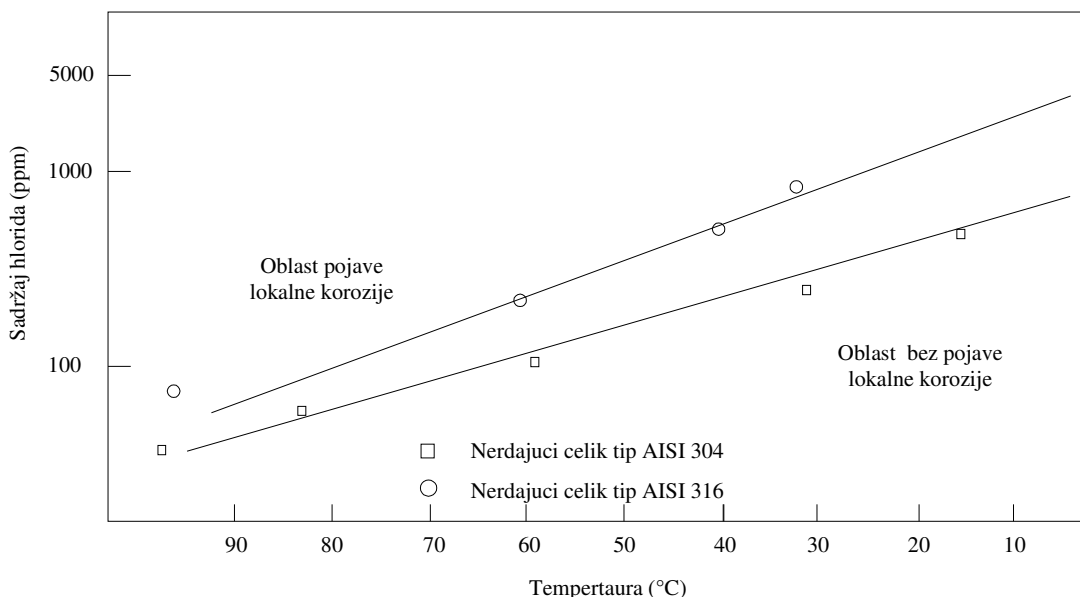
Princip rada toplotnih izmenjivača prikazan je na slici 205.



Slika 205. Kretanje fluida kroz pločasti izmenjivač (Rafferty, 1998)

Pločasti izmenjivači izrađuju se od sledećih materijala: Nerđajući čelik tip 304, Nerđajući čelik tip 316, Nerđajući čelik tip 317, Titanijum, Tantal, Incaloy 825, Hastelloy, Inconel, Aluminium Bronze, Monel (Rafferty, 1998).

Visoki sadržaji hlorida u vodi kao i niske vrednosti pH mogu izazvati koroziju i razaranje površina na pločastim izmenjivačima. Sadržaji hlorida preko 150 ppm uslovljavaju korišćenje pločastih izmenjivača izrađenih od nerđajućeg čelika tipa 316 umesto tipa 304, a ukoliko koncentracije hlorida premašuju 375 ppm preporučuje se korišćenje titanijskih izmenjivača (Rafferty, 1998). Na slici 206 prikazan je grafik koji pokazuje uticaj hlorida na koroziju u zavisnosti od temperature.



Slika 206. Uticaj hlorida na koroziju čelika tipa 304 i 316 u zavisnosti od temperature (Milanović, 2002)

Parametri hemijskog sastava geotermalnih voda koji nisu obuhvaćeni Lanželijeovim indeksom i Riznerovim brojem, a utiču na rad toplonih pumpi, i zahtevaju korišćenje odabranih materijala ili tretman voda pre aplikacije, prikazani su u tabeli 100. Prikazani parametri uzimaju se u obzir prilikom izbora toplotnih pumpi, kako ne bi došlo do njihovih oštećenja.

Tabela 100. Granične vrednosti komponenata hemijskog sastava geotermalnih voda koje utiču na rad toplotnih pumpi
(www.rehau.at, Tehničke informacije, program toplotnih pumpi 952002RS)

| Sadržana materija | Hemijski simbol | Granična vrednost |
|---------------------------|------------------|--------------------|
| Hlor | Cl | <100 mg/kg |
| Sulfati | SO ₄ | <50 mg/kg |
| Nitrati | NO ₃ | <100 mg/kg |
| Mangan, rastvoren | Mn | <0.1 mg/kg |
| Ugljen dioksid, rastvoren | CO ₂ | <5 mg/kg |
| Amonijak | NH | <2 mg/kg |
| Gvožđe, rastvoreno | Fe | <0.2 mg/kg |
| Slobodni hlorid | Cl | <0.5 mg/kg |
| Kiseonik | O ₂ | <2 mg/kg |
| Sumporvodoniak | H ₂ S | <0.05 mg/kg |
| Sulfiti | SO ₃ | <1 mg/kg |
| Slobodni hlorni gas | Cl ₂ | <1 mg/kg |
| pH Vrednost | | <6.5-9 |
| Elekt. provodljivost | | > 50µS i <600µS |

22. KORIŠĆENJE GEOTERMALNE ENERGIJE U KONCEPTU POVEĆANJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI U ZGRADARSTVU U REPUBLICI SRBIJI

22.1. TRENUTNO STANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI U ZGRADARSTVU

Pod energetsom efikasnosti se podrazumeva korišćenje energije tako da se za manje utrošene, odnosno iskorišćene energije postigne isti nivo energetske usluge. Efikasnost se odražava značajno na količinsku komponentu energenta, novčanu komponentu i na aspekt smanjenja emisije štetnih gasova u atmosferu (nemerljivi efekti energetske efikasnosti).

Zgrade predstavljaju jedne od najvećih potrošača energije. U cilju zadovoljenja energetske potrebe (grejanje, klimatizacija, unutrašnja rasveta...) zgrade „potroše“ oko 40% svetske energije, 16% sveže vode i 25% šumske građe, pri čemu se emituje 70% od ukupne emisije sumpor-dioksida i 50% od ukupne emisije ugljen-dioksida. Prema podacima iz 2004 godine potrošnja energije u građevinskom sektoru u 25 zemalja Evropske unije iznosi oko 472 Gtoe, a prosečno godišnje povećanje energije se kreće oko 1.8% za sve zemlje EU osim za Belgiju i Švedsku (Santamouris, 2007).

Trenutno stanje potrošnje energije u zgradama u Srbiji može se sagledati iz sledećeg (Stevanović Z., i dr., 2009):

- Skoro 50 % potrošene energije u Srbiji troši se u zgradama, od čega 65 % za grejanje zgrada. Dakle, skoro trećina ukupnih energetske potrebe Srbije odnosi se na zagrevanje stambenih i poslovnih objekata.
- Prema procenama godišnja potrošnja energije za grejanje stanova u Srbiji je od 150 do 250 kWh/m², u zavisnosti od starosti i stanja objekata.
- Struktura potrošnje energije je izuzetno nepovoljna: prema podacima iz 2002. godine oko 26% stanova priključeno je na toplane; 30% domaćinstava koristi električnu energiju; 20% koristi drva; 15% ugalj; manje od 6% gas. Znači, najviše trošimo najkvalitetniju energiju (električnu), za najniži nivo potrošnje (grejanje). Dobra strana je da preko 70% građana Srbije direktno kontroliše i plaća količinu energije koju troši, te bi trebalo da budu i finansijski zainteresovani da štede energiju.

Tabela 101. Srbija – stambeni fond prema opremljenosti
(Stevanović, i dr., 2009, prema podacima Republičkog zavoda za statistiku)

| STAMBENI FOND PREMA OPREMLJENOSTI 2002-2006. | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Godina | | | | |
| | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
| REPUBLIKA SRBIJA | | | | | |
| Sva naselja | | | | | |
| Broj stanova | 2750041 | 2763073 | 2778492 | 2793976 | 2811088 |
| Površina stanova, hilj. m ² | 181703 | 182765 | 183914 | 185080 | 186305 |
| Stanovi opremljeni instalacijama: | | | | | |
| Električne struje | 2722633 | 2735688 | 2751113 | 2766624 | 2783745 |
| Vodovoda | 2459894 | 2473244 | 2488933 | 2504601 | 2521970 |
| Centralnog grejanja | 712858 | 718928 | 728028 | 736434 | 746828 |
| Procentualno | 25.9 | 26.0 | 26.2 | 26.4 | 26.6 |
| Stanovi sa kupatilom | 2170036 | 2183747 | 2200111 | 2215031 | 2232177 |
| Gradska naselja | | | | | |
| Broj stanova | 1554496 | 1563773 | 1576300 | 1588580 | 1602685 |
| Površina stanova, hilj. m ² | 100080 | 100758 | 101620 | 102461 | 103391 |
| Centralna Srbija | | | | | |
| Sva naselja | | | | | |
| Broj stanova | 1999320 | 2009823 | 2021932 | 2035453 | 2049585 |
| Površina stanova, hilj. m ² | 126789 | 127638 | 128568 | 129594 | 130631 |
| Stanovi opremljeni instalacijama: | | | | | |
| Električne struje | 1978959 | 1989470 | 2001582 | 2015110 | 2029245 |
| Vodovoda | 1748588 | 1759139 | 1771283 | 1784825 | 1798989 |
| Centralnog grejanja | 509303 | 513675 | 520076 | 526973 | 534845 |
| Procentualno | 25.5 | 25.6 | 25.7 | 25.9 | 26.1 |
| Stanovi sa kupatilom | 1536212 | 1546737 | 1558994 | 1572368 | 1586198 |
| Gradska naselja | | | | | |
| Broj stanova | 1123791 | 1131002 | 1140583 | 1151039 | 1162246 |
| Površina stanova, hilj. m ² | 69679 | 70207 | 70901 | 71628 | 72387 |
| Vojvodina | | | | | |
| Sva naselja | | | | | |
| Broj stanova | 750564 | 753060 | 756368 | 758331 | 761311 |
| Površina stanova, hilj. m ² | 54905 | 55118 | 55336 | 55476 | 55664 |
| Stanovi opremljeni instalacijama: | | | | | |
| Električne struje | 743517 | 746028 | 749339 | 751320 | 754306 |
| Vodovoda | 711149 | 713915 | 717458 | 719584 | 722789 |
| Centralnog grejanja | 203555 | 205253 | 207952 | 209461 | 211983 |
| Procentualno | 27.1 | 27.3 | 27.5 | 27.6 | 27.8 |
| Stanovi sa kupatilom | 633667 | 636820 | 640925 | 642471 | 645787 |
| Gradska naselja | | | | | |
| Broj stanova | 430705 | 432771 | 435717 | 437541 | 440439 |
| Površina stanova, hilj. m ² | 30400 | 30551 | 30720 | 30833 | 31004 |

Preko 70% postojećeg stambenog fonda napravljeno je pre prvih ozbiljnih propisa o termičkoj zaštiti zgrada iz 1980.godine, tj.1987. godine. U tabeli 102. prikazana je struktura stambenog fonda Beograda prema godini izgradnje. Obzirom da je stambeni fond Beograda više od trećine stambenog fonda republike, ovi podaci mogu biti relevantni za procenu strategija energetske rekonstrukcije postojećeg stambenog fonda. Za ocenu stanja u Srbiji ne postoje potpuni podaci, ali se može pretpostaviti da nije bolje nego u Beogradu.

Tabela 102. Beograd – starosna struktura stambenog fonda
(Stevanović, i dr., 2009)

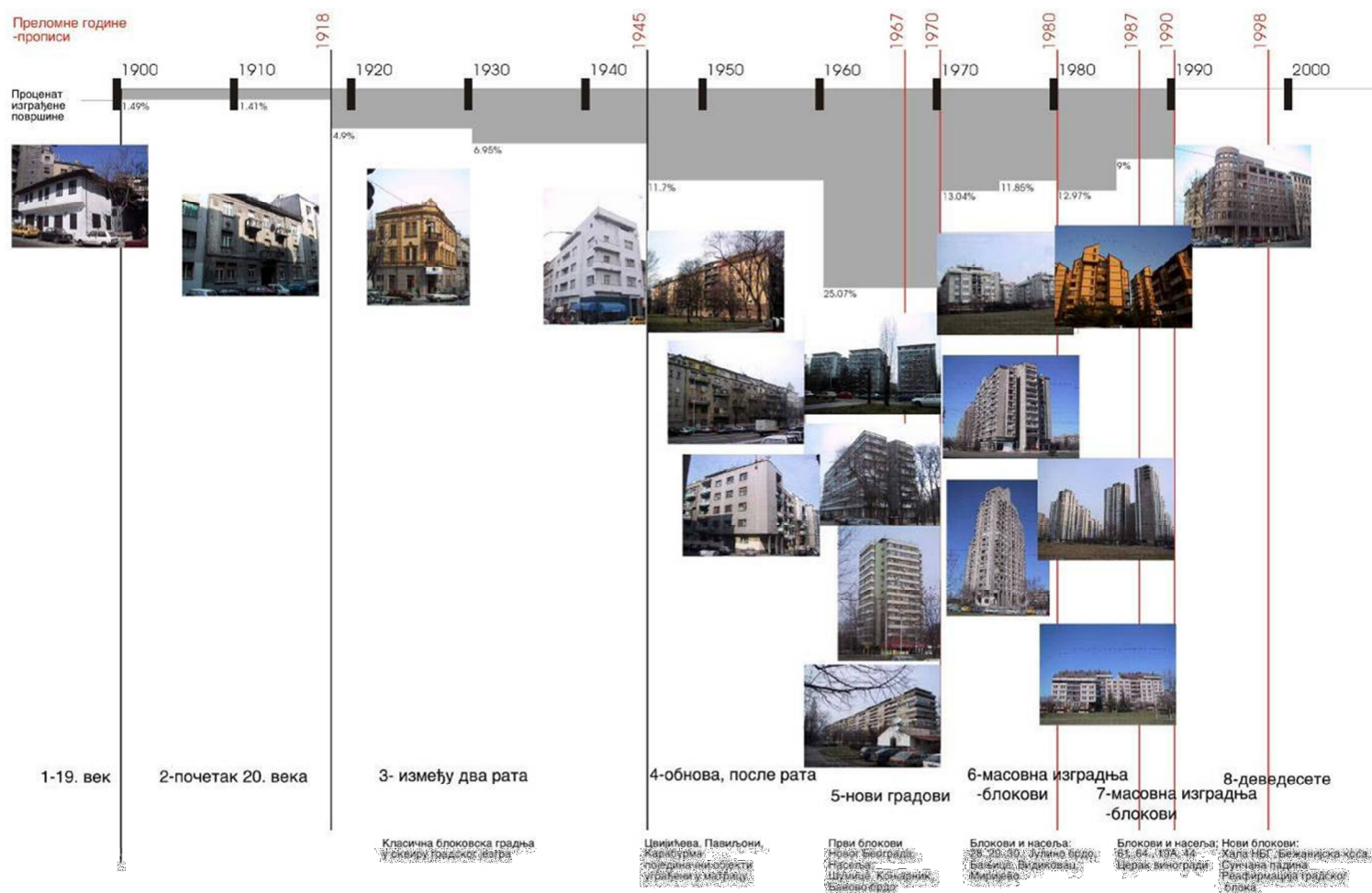
| Period | do1900 | 1901.- 1918. | 1919.- 1930. | 1931.- 1945. | 1946.- 1960. | 1961.- 1970. | 1971.- 1975. |
|-------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Br. stanova | 7624 | 7242 | 25087 | 35612 | 59991 | 128447 | 66809 |
| % | 1.32 | 1.25 | 4.34 | 6.16 | 10.38 | 22.23 | 11.56 |
| Godišnje | | 402.33 | 2090.58 | 2374.13 | 3999.40 | 12844.70 | 13361.80 |
| Kumulativno | | | | 75565 | 135556 | 264003 | 330812 |
| % | | | | 13.08 | 23.46 | 45.68 | 57.24 |

| Period | 1976.- 1980. | 1981.- 1985. | 1986.- 1990. | 1991.- 2001. |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Br. stanova | 60699 | 66466 | 46142 | 73813 |
| % | 10.50 | 11.50 | 7.98 | 12.77 |
| Godišnje | 12139.80 | 13293.20 | 9228.40 | 7381.30 |
| Kumulativno | 391511 | 457977 | 504119 | 577932 |
| % | 67.74 | 79.24 | 87.23 | 100.00 |

Na slici 207 prikazana je struktura građevinskog fonda Beograda.

Energetska neefikasnost objekata sagledana je kroz rezultate termovizijskog snimanja reprezentativnih objekata na području Beograda:

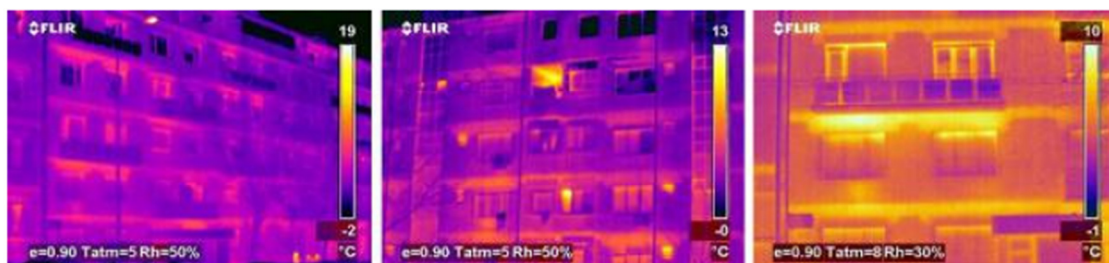
1. Stambena zgrada u Cvijićevoj ulici–centralni delovi grada Beograda
2. Stambena zgrada u Gandijevoj ulici–Novi Beograd



Slika 207. Struktura građevinskog fonda Beograda (Stevanović Z., i dr., 2009, prema Ignjatović, 2003)

1. Termovizijsko snimanje – Stambena zgrada u Cvijićevoj ulici (centralni deo grada Beograda)

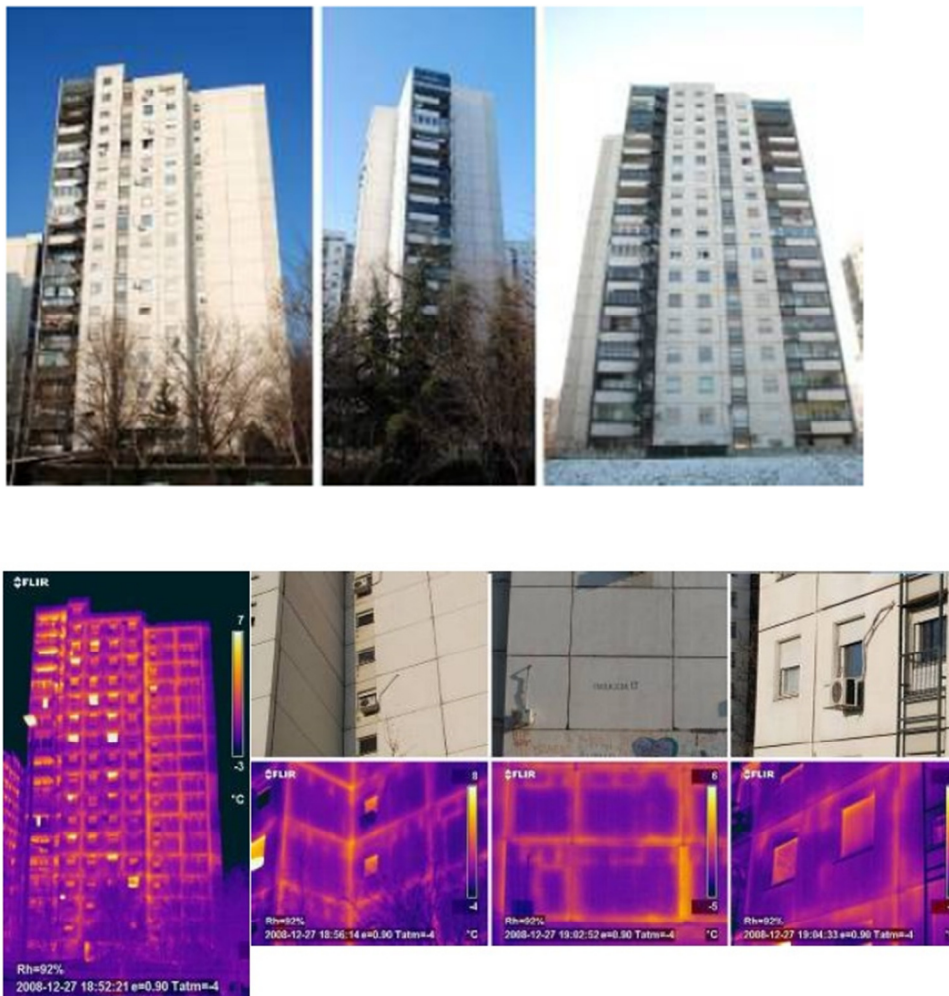
Stambena zgrada u Cijićevoj ulici br. 112-120 izgrađena je 1957. godine. Konstrukcija je masivna, fasadni i noseći zidovi su od opeke debljine 38 cm, međuspratne tavanice su armiranobetonske. Prozori su sa uskom kutijom i jednostrukim staklom. Fasada je omalterisana bez termoizolacije. Grejanje je projektovano na kaljeve peći, danas prevlađuje grejanje na struju (TA peći). Termovizijskim snimanjem objekta konstatovano je da se javljaju značajni linijski gubici na spojevima međuspratnih konstrukcija, oko otvora i na terasama (Stevanović Z., i dr., 2009).



Slika 208. Termovizijski snimci ulične i dvorišne fasade sa jasno vidljivim toplotnim gubicima (Stevanović Z., i dr., 2009)

2. Termovizijsko snimanje – Stambena zgrada u Gandijevoj ulici (Novi Beograd)

Noseći sklop objekta je od armiranobetonskih panela i montažnih armiranobetonskih tavanica. Fasadni paneli su armiranobetonski prefabrikovani, sa termoizolacijom u sredini. Prozori su drveni, krilo na krilo, jednostruko zastakljeni. Na osnovu termovizijskih snimaka uočena su slaba mesta na spojevima panela. Detalji spojeva u zoni međuspratne konstrukcije nisu dobro rešeni (Stevanović Z., i dr., 2009).



Slika 209. Termovizijski snimak jugoistočne strane zgrade sa detaljima fasade (Stevanović Z., i dr., 2009)

22.2. AKTUELNA PRAVNA REGULATIVA IZ OBLASTI ENERGETSKE EFIKASNOSTI OBJEKATA

Primer energetske efikasnosti može se sagledati kroz jedan stambeni objekat, izgrađen po standardima koji su propisani Direktivom 2002/91 EC Evropskog parlamenta i saveta, koja je ujedno predstavljala prvi pravni dokument ovoga tipa. U okviru Evropske Unije, maja 2010. godine doneta je nova Direktiva (2010/31/EU) , kojom se uređuju energetske performanse zgrada.

Pod ovom Direktivom, države članice moraju postići minimalne energetske zahteve za postojeće i nove zgrade, zatim moraju obezbediti sertifikate o energetskim performansama zgrada, redovnu inspekciju bojlera i sistema vazdušne ventilacije u zgradama. Osim toga, Direktiva nalaže državama članicama da do 2021. godine sve nove zgrade postignu nultu emisiju “nearly zero-energy buildings” (<http://ec.europa.eu>).

Performanse standardizovanog, energetski efikasnog objekta, predviđaju znatno manju količinu energije potrebne da bi se zagrejao jedan kvadrat prostora, u odnosu na trenutne (potrošnja energije u objektima stare gradnje dostiže i do 250 kWh/m²), a ukoliko se kao izvor energije koristi neki od obnovljivih vidova energije postiže se potpuno zadovoljenje u smislu energetske efikasnosti.

U cilju povećanja energetske efikasnosti, Vlada Republike Srbije uz delovanje Agencije za energetske efikasnost predložila je niz programa, kojima se podstiče racionalno korišćenje fosilnih izvora energije, i ulaganje u istraživanja u domenu obnovljivih izvora energije. Prema dosadašnjim iskustvima Evropske zajednice, Vlada je iznela 5 različitih vrsta instrumenata politike, kao deo Strateškog programa 1 (usaglašavanje politike srpske

Vlade sa trendovima energetske efikasnosti), radi povećanja energetske efikasnosti:

- Zakonska regulativa (zakoni, podzakonski akti)
- Ekonomske mere
- Istraživanje i razvoj
- Informisanje i obrazovanje
- Podaci i statistika

Prema Strateškom programu 1, koji se odnosi na razvijanje energetske efikasnosti, izdvajaju se sledeći ciljevi:

- Usvajanje zakonske regulative kojom se podstiče i podržava energetska efikasnost,
- Korišćenje ekonomskih instrumenata, uključujući podsticajne mere za povećanje energetske efikasnosti,
- Povećanje obima istraživačko-razvojnih poslova koji stvaraju bazu za razvoj energetske efikasne tehnologije i postupaka,
- Sprovođenje strategija informisanja, kampanja i obrazovnih aktivnosti u cilju povećanja svesti o energetske efikasnosti i širenja znanja o načinu ponašanja,
- Obezbeđenje kvalitetnijih podataka i statistike kako bi se stvorila pouzdana baza za definisanje strategija i merenje rezultata aktivnosti.

Važno je napomenuti da je na polju zakonske regulative iz oblasti energetske efikasnosti učinjen značajan korak za Srbiju. U okviru Zakona o planiranju i izgradnji, tokom 2011. godine donešena su dva pravilnika:

Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada („Službeni glasnik RS“ br. 061/2011)

Pravilnik o uslovima sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetske svojstvima zgrada („Službeni glasnik RS“ br. 061/2011)

Pomenuti pravilnici stupaju na snagu u decembru mesecu 2012. godine.

Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada

„Ovim pravilnikom bliže se propisuju energetske svojstva i način izračunavanja toplotnih svojstava objekata visokogradnje, kao i energetske zahtevi za nove i postojeće objekte. Odredbe ovog pravilnika ne primenjuju se na: zgrade za koje se ne izdaje građevinska dozvola; zgrade koje se grade na osnovu privremene građevinske dozvole, kao i zgrade koje se grade na osnovu građevinske dozvole za pripreme radove; radionice, proizvodne hale, industrijske zgrade koje se ne greju i ne klimatizuju; zgrade koje se povremeno koriste tokom zimske i letnje sezone (manje od 25% vremena trajanja zimske odnosno letnje sezone).“

Pravilnikom o energetske efikasnosti zgrada utvrđene su sledeće kategorije zgrada i propisana je maksimalna godišnja potrošnja energije za grejanje (tabela 103)

Tabela 103. Kategorizacija zgrada i dozvoljena maksimalna godišnja potrošnja energije za grejanje prema *Pravilniku energetskej efikasnosti zgrada*

| Kategorija zgrade | Dozvoljena maksimalna godišnja potrošnja energije za grejanje (kWh/m ² a) | | |
|---|--|---|--------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| | Nove zgrade | | Stare zgrade |
| stambene zgrade sa jednim stanom | 65 | | 75 |
| stambene zgrade sa dva ili više stanova | 60 | | 70 |
| upravne i poslovne zgrade | 55 | | 65 |
| zgrade namenjene obrazovanju i kulturi | 65 | | 75 |
| zgrade namenjene zdravstvu i socijalnoj zaštiti | 100 | | 120 |
| zgrade namenjene turizmu i ugostiteljstvu | 90 | | 100 |
| zgrade namenjene sportu i rekreaciji | 80 | | 90 |
| zgrade namenjene trgovini i uslužnim delatnostima | 70 | | 80 |
| zgrade za druge namene koje koriste energiju | / | | / |

Pravilnik o uslovima sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskej svojstvima zgrada

„Ovim pravilnikom bliže se propisuju uslovi, sadržina i način izdavanja sertifikata o energetskej svojstvima zgrada. Energetski pasoš moraju imati sve nove zgrade, kao i postojeće zgrade koje se rekonstruišu, adaptiraju, saniraju ili energetski saniraju, osim zgrada koje su ovim pravilnikom izuzete od obaveze energetske sertifikacije.“

„Energetski pasoš zgrade sadrži podatke o energetskej razredu zgrade prema njenim energetskej svojstvima određenim na osnovu izračunate potrebne finalne godišnje toplotne energije za grejanje za referentne klimatske podatke i omogućava poređenje zgrada s obzirom na njihova energetska svojstva. Zgrade se svrstavaju u osam energetskej razreda prema energetskej skali od „A+“ do „G“, s tim da „A+“ označava energetski najpovoljniji, a „G“ energetski najnepovoljniji razred.“

22.3. PREDNOSTI KORIŠĆENJA GEOTERMALNE ENERGIJE U ZGRADARSTVU U ODNOSU NA FOSILNA GORIVA

Značaj ovakvog načina grejanja/hlađenja (korišćenjem geotermalne energije) u zgradarstvu značajno je prepoznat u EU. Zemlje EU su još krajem prošlog veka završile projekte rekonstrukcije postojećeg stambenog fonda, radi uštede energije i njihovi standardi danas teže ka potrošnji energije za grejanje manjim od 80-100 kWh/m² godišnje. U Srbiji je još uvek stanje znatno drugačije. Postojeći objekti predstavljaju jednog od najvećih potrošača energije u Republici.

Danas se u Srbiji od ukupne potrošnje energije oko 50- 55% troši u zgradarstvu a od toga oko 70 % za grejanje i hlađenje. Pravilnom investicijom u uštedu energije mogla bi se čak prepoloviti potrošnja energije, uz povraćaj uloženog novca u periodu do pet godina. Prvi korak predstavlja smanjenje gubitaka kod krajnjih potrošača – u stanovima. Za energetska rekonstrukciju prosečnog stana u Srbiji, površine oko 70 m², potrebno je oko 3.000 – 4.000 evra. Ovakvom intervencijom štedelo bi se od 100 do 150 kWh/m² godišnje, ili 400 – 600 evra godišnje, pri današnjim cenama. Na taj način, ovakva investicija se isplati u roku 4–7 god. Da bi se ustanovila ekonomska opravdanost geotermalnih sistema u novim zgradama neophodno je uporediti ga sa konvencionalnim sistemima za grejanje i to u smislu početnih investicija, troškova održavanja, dugotrajnosti sistema i cene koštanja resursa za grejanje. Iskustva ukazuju da se početna ulaganja u hidrogeotermalne sisteme kreću u opsegu od 850 EUR po kWh za grejanje, do oko 1.000 EUR po kWh za kombinovane sisteme za grejanje i hlađenje. Početne cene ulaganja u konvencionalne sisteme, su generalno nešto niže od hidrogeotermalnih sistema, i to oko 40% u sistemima za grejanje, odnosno 20% za kombinovane sisteme za grejanje i hlađenje. Treba napomenuti da u poslednjih nekoliko godina cene sistema sa grejanje geotermalnom energijom značajno padaju i da se približavaju cenama konvencionalnih sistema. Za razliku od početne investicije, cene održavanja su niže u hidrogeotermalnim sistemima, i to oko 50% za kombinovane sisteme za grejanje i hlađenje. Imajući u vidu analizirane cene fosilnih energenata na svetskom tržištu (oko 10 EUR centa po kWh), vreme otplate ulaganja u hidrogeotermalni sistem se procenjuje na period od 2 do 4 godine. Kako je u poslednje vreme cena energenata i dodatno porasla, vreme otplate investicije se još više smanjuje (Milenic, Vranjes, 2011).

U tabeli 104 prikazana je komparativna analiza troškova potrebnih za proizvodnju 1 MWh toplotne energije u odnosu na vrstu energenta, cenu energenta i proizvođačku cenu u sezoni 2010/2011 u Republici Srbiji, koja pokazuje daleko najveću isplativost korišćenja subgeotermalne energije.

Analiza je izvedena u odnosu na sledeće korišćene parametre: prirodni gas se uvozi iz Rusije, vrsta uglja je lignit, prosečna cena peleta je 140eur/t, hidrogeotermalna energija je iz toplotnih pumpi sa prosečnim COP 1:4 i cenom električne energije od 0.05eur/KWh.

Tabela 104. Komparativna analiza troškova potrebnih za proizvodnju 1 MWh toplotne energije u odnosu na vrstu energenta, cenu energenta i proizvođačku cenu u decembru 2010 u Republici Srbiji (Milenic, Vranjes, 2011)

| Vrsta energenta | U odnosu na cenu energenta | Proizvođačka cena |
|----------------------------------|----------------------------|-------------------|
| | (€) | (€) |
| Prirodni gas | 52 | 72 |
| Mazut | 48 | 68 |
| Ugalj | 32 | 52 |
| Pelet | 38 | 58 |
| Hidrogeotermalna energija | 15 | 35 |

Korišćenje geotermalne energije u Srbiji se uglavnom ne plaća, jednom dobijena dozvola za eksploataciju podzemnih voda obnavlja se svakih 5 godina. Imajući u vidu značajna poskupljenja svih vidova fosilnih goriva, jasna je ekonomska isplativost ovakvog vida grejanja.

Pored toga, treba imati na umu i smanjenje emisije CO₂ u atmosferu. S obzirom da je Srbija potpisnik Kjoto protokola, kroz sistem „trgovine kvotama“ dobijaju se kompenzaciona finansijska sredstva na račun „sačuvane“ emisije hiljada tona CO₂ u atmosferu. Važeći Zakon o energetici uvodi kategorije povlašćenih korisnika, odnosno pravnih lica koja koriste obnovljive energetske resurse i predviđa niz beneficija i olakšica za njih (oslobađanje od carine na uvoz toplotnih pumpi i sl.).

Primenom svih opisanih mera cilj je postići smanjenje potrošnje energije i to u poslovnim zgradama i javnim objektima na 80-100 KWh/m²/god., u individualnim kućama na 70- 90 KWh/m²/god. i u stanovima za kolektivno stanovanje na 65- 80 KWh/m²/god.

Nažalost, i pored svih opisanih prednosti, kao i nesumnjivog potencijala, i dalje stoji utisak naučne i stručne javnosti o neshvatanju pravih vrednosti geotermalnih resursa. Zato na kraju, a umesto zaključka, pobrojavamo neke od aktivnosti koje je neophodno uraditi u narednom periodu, kako bi istraživanje, korišćenje i razvoj geotermalnih resursa dobilo svoje adekvatno mesto u društvu:

- Izrada jedinstvenog informacionog sistema korišćenja geotermalne energije u Republici Srbiji
- Nova evaluacija geotermalnog potencijala u Republici Srbiji, s obzirom da je poslednja rađena pre više od 20 godina
- Izrada geotermalnog atlasa Republike Srbije
- Usklađivanje postojećih zakonskih propisa vezanih za različite vidove korišćenja geotermalne energije
- Donošenje propisa o izradi neophodne dokumentacije za izradu geosondi
- Dalje stimulisanje korisnika geotermalne energije, posebno za domaćinstva i u zgradarstvu itd.

22.4. PRIMER OSTVARENE ENERGETSKE EFIKASNOSTI

Dobar primer energetske efikasnosti u zgradarstvu jeste upravni objekat firme Rehau, koji se nalazi u Guntramsdorfu u blizini Beča. Objekat je renoviran prema standardima koji se primenjuju za niskoenergetske objekte uz korišćenje obnovljivih izvora energije. U tabeli 105. prikazani su podaci koji se odnose na površinu objekta i potrebe za energijom pre i posle rekonstrukcije.

Tabela 105. Površina objekta i energetske potrebe pre i nakon renoviranja
(www.rehau.at)

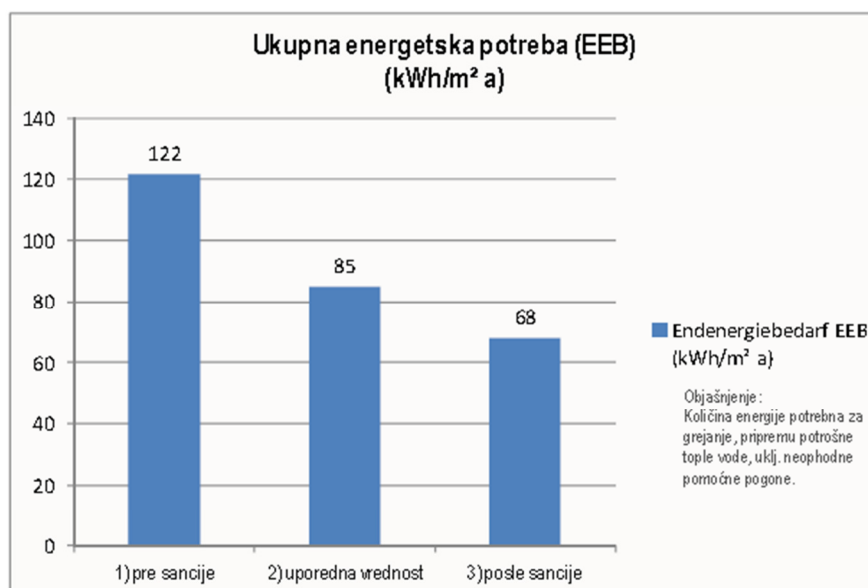
| | VB PRE | VB POSLE |
|--|-------------------------|-------------------------|
| Bruto-površina | 1.736 m ² | 1.866 m ² |
| Tretirana bruto zapremina | 6.258 m ³ | 6.249 m ³ |
| Godišnja potreba za toplotnom energijom | 151.659 kWh/a | 33.688 kWh/a |
| Godišnja potreba za rashladnom energijom | 9.047 kWh/a | 14.758 kWh/a |
| Specifično godišnje toplotna potreba | 61 kWh/m ² a | 23 kWh/m ² a |
| Toplotni gubici | 95 kW | 25 kW |
| Spec. Toplotni gubici | 55 W/m ² | 16,6 W/m ² |
| Toplotni dobici | - | 36 kW |
| Spec. Toplotni dobici | - | 25 W/m ² |

Fasada objekta je u potpunosti rekonstruisana: izolacioni sistem, spoljašnje osenčenje, i prozori. Za rekonstrukciju fasade korišćenia su Rehau tehnička rešenja. Unutar objekta nalaze se tri toplotne pumpe rasolina-voda (koristi se litogeotermalna energija), slika 212. Energiju obezbeđuju 14 geosondi PE-Xa (slika 213). Instaliran je 1 antimikrobški izmenjivač toplote zemlja-vazduh AWADUKT Thermo (slika 214), 1250 m² akustične rashladne tavanice (slika 215), 1500 m² podnog grejanja i hlađenja (slika 216).

Sistem se sastoji još iz:

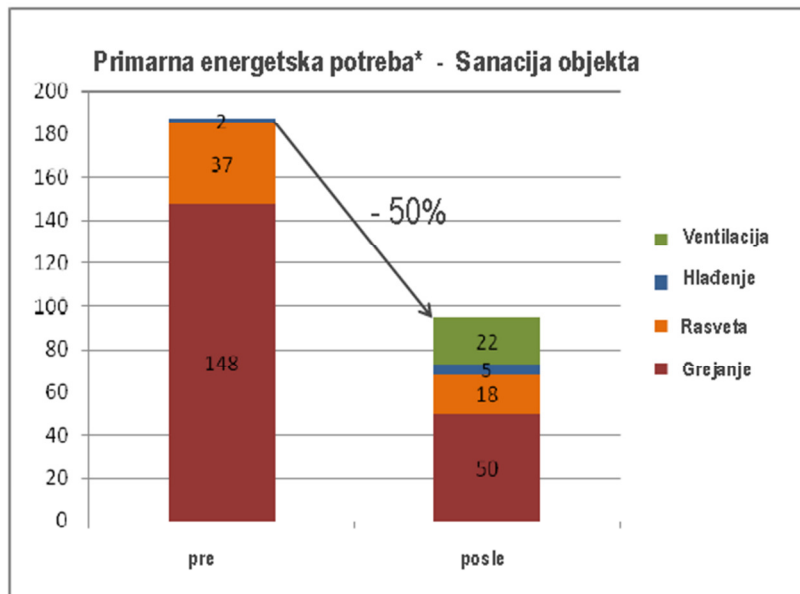
- Centralizovanog sistema upravljanja i monitoringa (slika 217)
- Sistemi kontrolisane ventilacije prema koncentraciji CO₂ u vazduhu
- Pasivno hlađenje
- Grejanje spoljašnjih površina

Na slici 210 prikazana je uporedna analiza energetskih potreba starog objekta upravne zgrade Rehau, prosečne poslovne zgrade uobičajene tehničke opremljenosti i renoviranog objekta upravne zgrade Rehau.



Slika 210. Uporedna analiza energetskih potreba tri različita objekta (www.rehau.at)

Na slici 211. prikazane su samo energetske potrebe objekta upravne zgrade pre i posle renoviranja



Slika 211. Uporedna analiza energetskih potreba objekta pre i posle renoviranja (www.rehau.at)



Slika 212. Toplotna pumpa (foto: A. Vranješ)



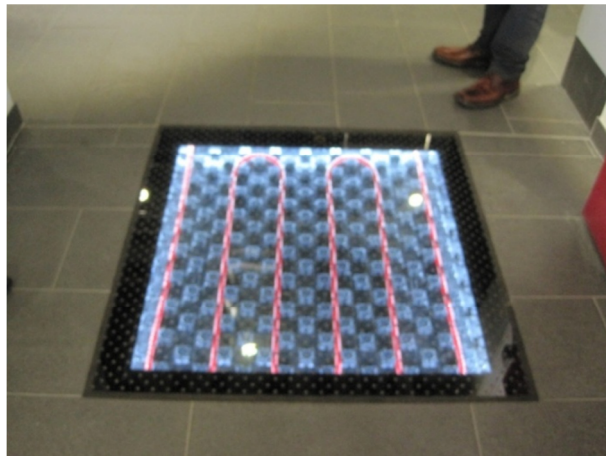
Slika 213. Geosonde (foto: A. Vranješ)



Slika 214. Antimikrobski izmenjivač toplote zemlja-vazduh "AWADUKT Thermo"
(foto: A. Vranješ)



Slika 215. Akustične rashladne tavanice (foto: A. Vranješ)



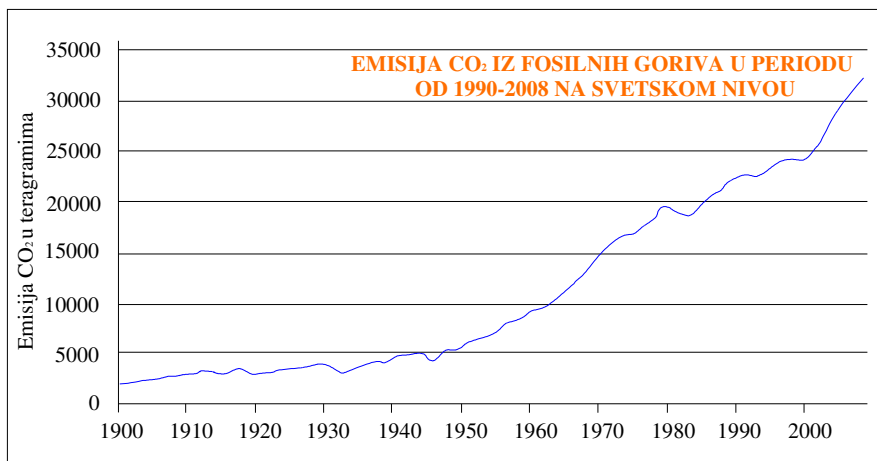
Slika 216. "Rehau" podno grejanje i hlađenje (foto: A. Vranješ)



Slika 217. Centralizovani sistem upravljanja i monitoringa (foto: A. Vranješ)

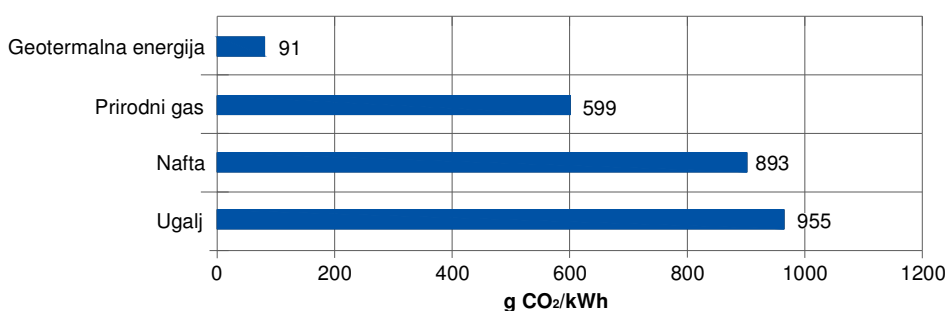
23. EKOLOŠKI ASPEKTI KORIŠĆENJA HIDROGEOTERMALNE ENERGIJE

Učešće obnovljivih energetskih izvora u proizvodnji energije smanjuje potrebe za fosilnim energentima i povećava nivo kvaliteta životne sredine. Vrlo važan aspekt korišćenja OIE jeste smanjenje emisije štetnih gasova, te postizanje jednog od ciljeva politike EU "20-20-20", a to je smanjenje nivoa štetnih gasova za 20% u odnosu na nivo iz 1990. godine (slika 218).



Slika 218. Promena emisije CO₂ tokom vremena
(Boden et al., 2010)

Korišćenje geotermalne energije i visoke i niske entalpije značajno smanjuje emisiju CO₂ u atmosferu. Prilikom proizvodnje struje iz geotermalnih izvora energije (temperatura fluida >250 °C) oslobađa se oko 91 g/KWh. Odnos emitovanog CO₂ gasa iz različitih energenata pri proizvodnji električne energije prikazan je na slici 219.



Slika 219. Emisija CO₂ pri proizvodnji električne energije iz različitih energetskih izvora u USA
(Fridleifsson et al., 2008 prema Blommfield et al., 2003)

Prilikom korišćenja geotermalne energije niske entalpije (temperatura fluida <100 °C) emisija CO₂ može se oceniti kao nepostojeća, odnosno kreće se u opsegu od 0 do 1 g CO₂/kWh, u zavisnosti od sadržaja karbonatne komponente u vodi (Fridleifsson et al., 2008).

Takođe, korišćenjem hidrogeotermalnih resursa temperature do 30°C uz upotrebu toplotnih pumpi emisija CO₂ može se oceniti kao nepostojeća. Zapravo emisija ugljen-dioksida u niskotemperaturnim sistemima klimatizacije zavisi od načina pogona toplotnih pumpi. U većini slučajeva za pogon toplotnih pumpi koristi se električna energija, pri čijoj proizvodnji se oslobodi izvesna količina CO₂ gasa. Ukoliko se električna energija neophodna za pogon toplotnih pumpi proizvodi iz obnovljivih izvora energije, onda se praktično emisija CO₂ gasa iz niskotemperaturnih sistema može zanemariti.

Prema izvršenim analizama toplotne pumpe koje koriste električnu energiju kao pokretač smanjuju emisiju CO₂ za 45% u odnosu na naftne kotlove i 33% u odnosu na gasne kotlove. Ukupna redukciona moć toplotnih pumpi u smanjenju emisije CO₂ procenjena je na 1.2 biliona tona godišnje ili oko 6% od ukupne emisije (Fridleifsson et al., 2008).

VII. REZULTATI HIDROGEOTERMALNIH ISTRAŽIVANJA TERITORIJE GRADA BEOGRADA

24. ENERGETSKE POTREBE I ENERGETSKI BILANS TERITORIJE GRADA BEOGRADA

Osnovni dokument kojim se nalažu mere strateškog razvoja teritorije grada Beograda jeste **Regionalni prostorni plan administrativnog područja Beograda** (RPP AP Beograda). Planom je obuhvaćen razvoj grada po svim sektorima (društveni i ekološko-ekonomski aspekt), a zasniva se na "implementaciji ideje održivog razvoja prema Agendi 21" i poštovanju deklaracija i povelja propisanih od strane Evropske unije.

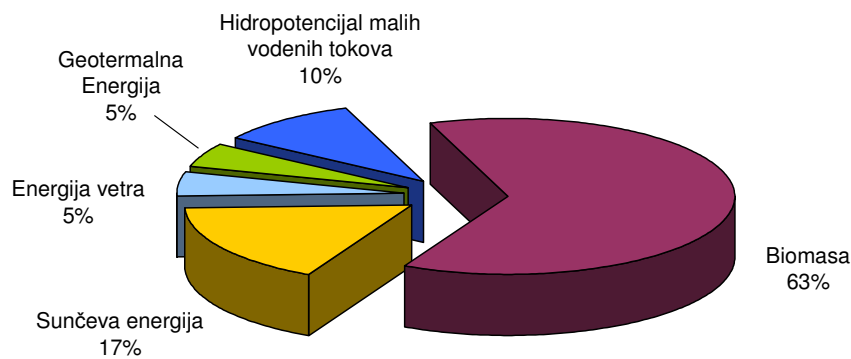
Dinamika razvoja definisana je na tri nivoa, odnosno date su određene propozicije i rešenja do 2006 godine, sledeći nivo obuhvata period od 2006. god. do 2011. god. i treći nivo prikazuje delovanja na polju razvoja grada Beograda posle 2011. godine.

Osnova svih razvojnih planova po sektorima jeste održivo upravljanje i gazdovanje kako društvenim, tako i prirodnim dobrima, uz primenu određenih zakonskih akata, a koji se uređuju i propisuju u skladu sa državnim zakonima i zakonima Evropske unije.

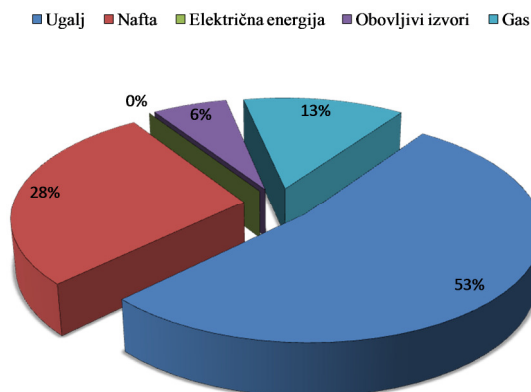
Jedan od važnih sektora u razvoju teritorije grada Beograda predstavlja energetske sektor, kojim su obuhvaćeni konvencionalni i obnovljivi izvori energije. Energetski razvoj Republike Srbije, odnosno grada Beograda stavljen je pod **Zakon o energetici**.

Zakonom o energetici se "uređuju ciljevi energetske politike i način njenog ostvarivanja, način organizovanja i funkcionisanja tržišta energije, uslovi za uredno i kvalitetno snabdevanje kupaca energijom i uslovi za ostvarivanje bezbedne, pouzdane i efikasne proizvodnje energije, upravljanje sistemima prenosa, transporta i distribucije energije i način obezbeđivanja nesmetanog funkcionisanja i razvoja ovih sistema, uslovi i način obavljanja energetske delatnosti, uslovi za ostvarivanje energetske efikasnosti i zaštite životne sredine u obavljanju energetske delatnosti i nadzor nad sprovođenjem ovog zakona".

Jedan od osnovnih principa razvoja energetske infrastrukture grada Beograda jeste korišćenje lokalno raspoloživih obnovljivih izvora energije. Beograd, kao i većina gradova u Evropi sreće se sve češće sa problemima poput nestanka energenata na svetskom tržištu, nestabilnosti njihovih cena i povećanja zagađenja životne sredine. A, ujedno, navedeni problemi predstavljaju tri komponente koje učestvuju u primeni programa energetske efikasnosti. Eksploatacija i korišćenje obnovljivih izvora energije predstavlja jedan od uslova za održivi razvoj energetike i zadovoljenje domaćih potreba za energijom, a istovremeno se deluje po zakonskim propisima Evropske Unije čiji je akcenat na smanjenju korišćenja fosilnih goriva i zaštiti životne sredine. Kako je energetska Srbija deo globalne strategije evropskog energetskog razvoja, svaki planski dokument i nacrt predviđa korišćenje obnovljivih izvora energije. Prema „Energetskom bilansu Republike Srbije za 2008. godinu“ obnovljivi izvori energije učestvuju u energetskom potencijalu sa sledećim procentom (slike 220 i 221).



Slika 220. Procentualno učešće OIE u energetskom potencijalu (Energetski bilans Republike Srbije za 2008. godinu)



Slika 221. Struktura energenata u ukupnoj potrošnji primarne energije u 2008. godini (Energetski bilans Republike Srbije za 2008. godinu)

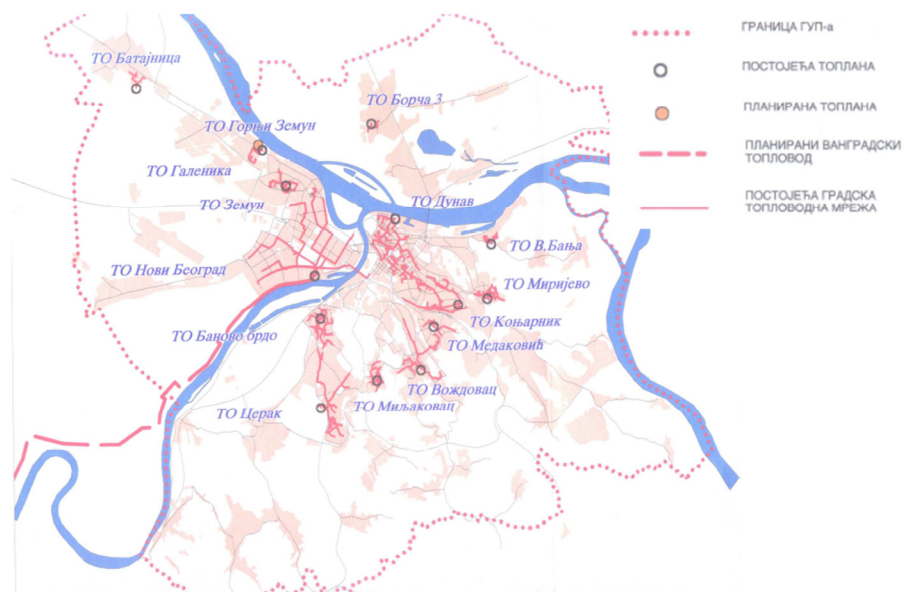
U cilju povećanja učešća obnovljivih izvora energije (hidrogeotermalnih resursa) u ukupnom energetsom bilansu grada Beograda, neophodno je sagledati energetske potrebe grada i to sa aspekta toplotne energije. Naime, posmatrajući hidrogeotermalne resurse na teritoriji Beograda, temperature podzemnih voda na užoj teritoriji grada ne prelaze 30°C, odnosno na široj 60°C, te podmirivanje dela potreba za električnom energijom iz podzemnih voda tehnološki i ekonomski nije opravdano.

Potrebe u toplotnoj energiji na nivou grada prikazane su kroz proizvodnju toplotne energije koja se ostvaruje u JKP "Beogradske elektrane", obzirom da ovo javno preduzeće podmiruje najveći deo toplotnih potreba gradskog stambenog i poslovnog fonda (oko 50 % od ukupnih potreba, a ostalih 50% podmiruje se iz električne energije i to 20%, zatim iz gasa 20 % i 10% korišćenjem uglja, drva...). U narednom tekstu prikazana je struktura Beogradskih elektrana na području generalnog urbanističkog plana (tabela 106).

Tabela 106. Struktura Beogradskih Elektrana–pregled instalisanog kapaciteta Toplana na podrčju GUP-a grada Beograda (www.beoelektrane.rs na dan 23.07.2012.)

| Toplana | Instalisani kapacitet (MW) | Pogonsko gorivo | Potrošnja po godini | |
|-----------------|----------------------------|----------------------|--|-----------------------------|
| | | | Prirodni gas | |
| Novi Neograd | 920 | prirodni gas i mazut | Prirodni gas | 300 000 000 cm ³ |
| Dunav | 346 | prirodni gas/mazut | Mazut | 50 000 t |
| Konjarnik | 232 | prirodni gas/mazut | Ugalj | 3000 t |
| Voždovac | 232 | prirodni gas/mazut | Lož ulje | 236 000 l |
| Medaković | 50 | prirodni gas/mazut | Peleti | 2 000 t |
| Banovo Brdo | 104 | prirodni gas/mazut | Briketi | 2 500 t |
| Cerak | 232 | prirodni gas/mazut | Prosečna godišnja proizvodnja 3 500 000 MWh toplotne energije | |
| Miljakovac | 116 | prirodni gas/mazut | | |
| Višnjička Banja | 28.4 | mazut | | |
| Mirijevo | 116 | prirodni gas/mazut | | |
| Zemun | 60 | prirodni gas/mazut | | |
| Batajnica | 80 | prirodni gas/mazut | | |
| Galenika | 20 | prirodni gas/mazut | | |
| Borča III | 20 | prirodni gas/mazut | | |
| Mladenovac | 25 | prirodni gas/mazut | | |
| UKUPNO | 2581.4 | | | |

Za proizvodnu toplotne energije koristi se prirodni gas (82%), teško ulje za loženje-mazut (17%), ugalj (0.4%), lož ulje (0.1%), biomasa-peleti (0.2%), biomasa-briketi (0.3%). Na slici 222 prikazan je sadašnji sistem snabdevanja grada Beograda (područje GP-a) toplotnom energijom, i planirani razvoj JKP-a "Beogradske Elektrane".



Слика 222. Систем снабдевања топлотном енергијом на ужем подручју града Београда (Група аутора, 2007)

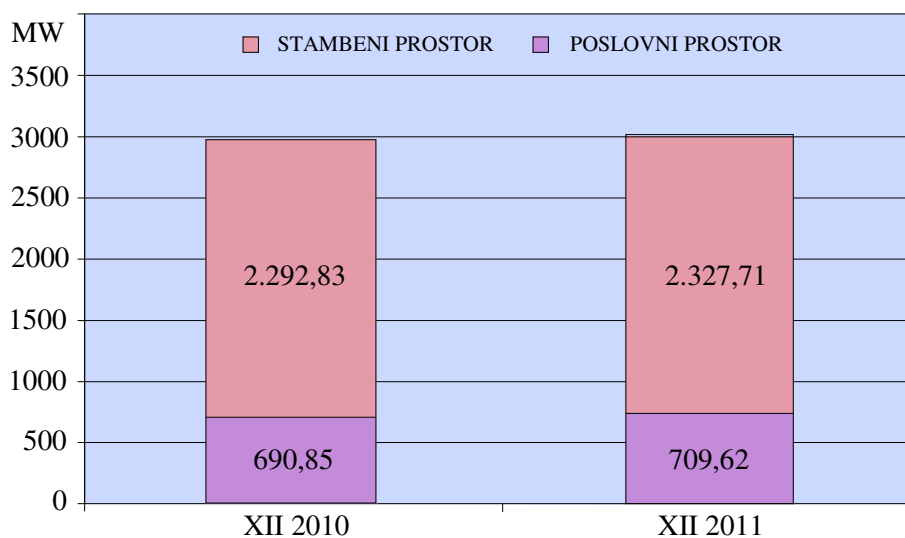
Према подацима из 2004. године однос снаге извора "Београдских електрана" и топлоте конзума стамбеног и пословног простора приказан је у табели 107.

Табела 107. Однос укупне топлотне снаге извора и топлоте конзума за 2004. годину (Група аутора, 2008)

| Топлотни извор Топлана | Снага (MW) | Конзум стамбеног простора (MW) | Конзум пословног простора (MW) | PTV (MW) | Укупни конзум (MW) | Потребна снага извора (MW) | Вишак /манјак снаге извора (MW) | Однос снаге извора и топлоте конзума (MW) |
|---------------------------|------------|--------------------------------|--------------------------------|----------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|---|
| Нови Београд | 780.20 | 650.868 | 397.185 | 0.770 | 1048.823 | 776.13 | 4.07 | 0.744 |
| Дунав | 348.90 | 156.856 | 197.966 | 5.220 | 360.041 | 266.46 | 82.47 | 0.969 |
| Коњарник | 232.60 | 176.007 | 61.163 | / | 237.171 | 175.51 | 57.09 | 0.981 |
| Церак | 232.60 | 174.765 | 16.943 | 13.448 | 205.157 | 151.82 | 80.78 | 1.134 |
| Вождовац | 116.30 | 103.079 | 23.285 | 15.567 | 141.930 | 105.03 | 11.27 | 0.819 |
| Баново Брдо | 104.60 | 89.561 | 26.119 | / | 115.679 | 85.60 | 19.00 | 0.904 |
| Миријево | 58.15 | 73.89 | 3.774 | / | 77.583 | 57.41 | 0.74 | 0.749 |
| Милјакovac | 58.15 | 65.298 | 9.660 | / | 74.958 | 55.50 | 2.65 | 0.776 |
| Медаковић | 50.02 | 41.605 | 5.553 | 4.445 | 51.603 | 38.19 | 11.83 | 0.969 |
| Борча III | 20.44 | 25.148 | 1.675 | 3.304 | 30.128 | 22.29 | (1.85) | 0.678 |
| Батајница | 23.20 | 18.813 | 4.988 | 1.538 | 25.338 | 18.75 | 4.45 | 0.916 |
| Вишњ. банја | 24.80 | 18.944 | 0.682 | 3.442 | 23.067 | 17.07 | 7.73 | 1.075 |
| Младеновац | 44.54 | 10.968 | 8.651 | / | 19.619 | 14.52 | 30.02 | 2.270 |
| Остали извори | 361.22 | 219.572 | 66.823 | 8.245 | 296.385 | 219.32 | 141.90 | 1.219 |
| УКУПНО | 2455.72 | 1825.293 | 824.468 | 55.978 | 2707.483 | 2003.54 | 452.18 | 0.907 |

Prema podacima "Izveštaja o poslovanju za 2011. godinu" (Grupa autora, 2011), krajem decembra 2011. godine, toplotna energija je isporučena na 16.626.486 m² stambenog prostora i 4.435.100 m² poslovnog prostora (ukupna instalisana snaga poslovnog prostora je 709.616 KW).

U narednim godinama sa razvojem sambenog fonda grada, te povećanjem broja stanova i poslovnih objekata povećavaće se i zahtevi za toplotnom energijom. U periodu od decembra 2010. godine do decembra 2011. godine ukupam konzum za stambeni i poslovni prostor povećan je za 1.8% (slika 223). Trebalo bi imati na umu i energiju koja je potrebna za hlađenje, uglavnom poslovnih objekata, a koja se obezbeđuje iz izvora električne energije.



Slika 223. Instalisani konzum kod potrošača sa stanjem krajem decembra 2010. i 2011. godine (Grupa autora, 2011)

U tabeli 108 prikazana je procena potreba u toplotnoj energiji do 2030. godine u poslovnom i stambenom sektoru, uz pretpostavku da će nove zgrade biti građene po evropskim standardima, a da će postojeći fond biti postepeno obnavljan (od današnjih 606.160 stanova, 497.100 bi bilo obnovljeno).

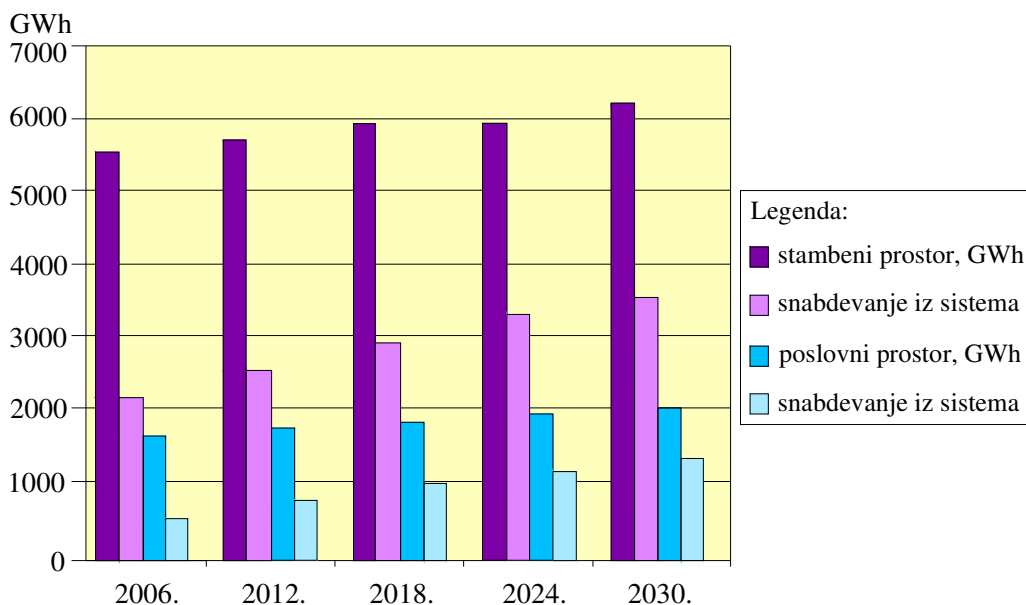
Procene potreba u poslovnom sektoru date su uz pretpostavku da će 85 % postojećih objekata biti revitalizovano, te da će specifična potrošnja energije u obnovljenim i novim objektima iznositi 100 kWh/m²god, a u preostalih 15 % starnih, neobnovljenih objekata 170 kWh/m²god (Grupa autora, 2008).

Tabela 108. Procena potreba u toplotnoj energiji do 2030. godine u stambenom i poslovnom sektoru na užem području grada Beograda (Grupa autora, 2008)

| STAMBENI PROSTOR | | | POSLOVNI PROSTOR | | |
|--|--------------------------------|---|--|--------------------------------|---|
| Ukupna površina stanova 2030. godine | 47.3 miliona m ² | | Ukupna površina stanova 2030. godine | 19.8 miliona m ² | |
| Potrebe u energiji 2006. godine | 5.626 GWh/god | | Potrebe u energiji 2006. godine | 7.328 GWh/god | |
| Potrebe u energiji 2030. godine | 6.300 GWh/god | | Potrebe u energiji 2030. godine | 8.400 GWh/god | |
| Prosečna potrošnja finalne energije 2006. godine | 150 kWh/m ² | stopa rasta 0.47% uz mere energetske efikasnosti | Specifična potrošnja finalne energije 2006. godine | 170 kWh/m ² | stopa rasta 0.57% uz mere energetske efikasnosti |
| Prosečna potrošnja finalne energije 2030. godine | 133.2 kWh/m ² | | Specifična potrošnja finalne energije 2030. godine | 105 kWh/m ² | |
| Procena potreba u toplotnoj energiji po godinama u stambenom prostoru | | | | | |
| | 2006. | 2012. | 2018. | 2024. | 2030. |
| Ukupna P stanova (10 ⁶ m ²)/ ukupni broj stanova | 37.124/ 606.160 | 38.722/ 623.496 | 40.972/ 640.656 | 43.875/ 657.879 | 47.305/ 674.995 |
| Novi stanovi (10 ⁶ m ²) | / | 1.876 | 4.405 | 7.586 | 11.295 |
| Postojeći neobnovljeni stanovi (10 ⁶ m ²) | 37.124 | 29.089 | 21.005 | 13.228 | 5.568 |
| Postojeći obnovljeni stanovi (10 ⁶ m ²) | / | 7.754 | 15.562 | 23.061 | 30.442 |
| Ukupna potrošnja energije za grejanje stanova | 5.626 GWh/god | 5.725 GWh/god | 5.871 GWh/god | 6.062 GWh/god | 6.300 GWh/god |
| Grejanje novih stanova | / | 232 GWh/god | 544 GWh/god | 936 GWh/god | 1.395 GWh/god |
| Grejanje postojećih neobnovljenih stanova | 5.626 GWh/god | 4.406 GWh/god | 3.184 GWh/god | 2.003 GWh/god | 844 GWh/god |
| Grejanje postojećih obnovljenih stanova | / | 1.087 GWh/god | 2.143 GWh/god | 3.123 GWh/god | 4.061 GWh/god |
| Procena potreba u toplotnoj energiji po godinama u poslovnom prostoru | | | | | |
| | 2006. | 2012. | 2018. | 2024. | 2030. |
| Ukupna P (10 ⁶ m ²) | 9.762 | 12.352 | 15.629 | 17.601 | 19.822 |
| P novog poslovnog prostora (10 ⁶ m ²) | / | 2.590 | 5.867 | 7.839 | 10.060 |
| P obnovljenog postojećeg (10 ⁶ m ²) | / | 5.562 | 7.760 | 8.298 | 8.298 |

... nastavak tabele

| | | | | | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| P neobnovljenog postojećeg (10 ⁶ m ²) | 9.762 | 4.201 | 2.002 | 1.464 | 1.464 |
| Ukupna potrošnja energije za grejanje | 1.700 GWh/god | 1.658 GWh/god | 1.748 GWh/god | 1.880 GWh/god | 2.100 GWh/god |
| Potrošnja energije za grejanje novog poslovnog prostora | / | 259 GWh/god | 587 GWh/god | 784 GWh/god | 1004 GWh/god |
| Potrošnja energije za grejanje obnovljenog postojećeg | / | 685 GWh/god | 821 GWh/god | 846 GWh/god | 846 GWh/god |
| Potrošnja energije za grejanje neobnovljenog postojećeg | 1.700 GWh/god | 714 GWh/god | 340 GWh/god | 250 GWh/god | 250 GWh/god |



Slika 224. Procene u snabdevanju toplotnom energijom iz sistema stambenog i poslovnog fonda Beograda
(Grupa autora, 2008)

Sa porastom broja stanova očekuje se i porast standarda života, a to povlači sa sobom i povećanje energetske potreba domaćinstava (prevashodno se misli na povećanje električne energije u cilju hlađenja objekata).

Proračun potrebnih količina električne energije zasnovan je na sledećim pretpostavkama:

- prosečna instalisana snaga svih uređaja 3.5 kW
- korišćenje 30 dana godišnje, u proseku 4 sata dnevno
- u 2030. godini svako peto domaćinstvo će imati klima uređaj

Tabela 109. Porast električne energije u domaćinstvima (Grupa autora, 2008)

| Godina | 2006. | 2012. | 2018. | 2024. | 2030. |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ukupna potrošnja, GWh/god. | 3.764 | 3.650 | 3.400 | 3.900 | 4.500 |
| Potrošnja po domaćinstvu, kWh/god. | 6.539 | 6.159 | 5.525 | 6.095 | 6.751 |
| Potrošnja po članu domaćinstva, kWh/god. | 2.352 | 2.281 | 2.125 | 2.438 | 2.813 |

24.1. TRENUTNO STANJE KORIŠĆENJA HIDROGEOTERMALNIH RESURSA NA TERITORIJI GRADA BEOGRADA

Korišćenje podzemnih voda za potrebe grejanja i hlađenja objekata na teritoriji grada Beograda (centralni delovi grada), poslednjih nekoliko godina dobija sve više na značaju, s obzirom da je u svetu i Evropi trend korišćenja niskotemperaturnih sistema u stalnom porastu još od devedesetih godina prošlog veka. Obzirom da su podzemne vode niske entalpije tek skoro našle primenu u toplifikaciji objekata na našim prostorima, nepostoji obavezujuća zakonska regulativa koja bi ispratila eksploataciju i aplikaciju ovog vida obnovljivih resursa na odgovarajući način. Naime, konstatovan je veći broj korisnika, koji koriste podzemne vode, bez prethodno dobijenih dozvola za istraživanje i eksploataciju prirodnih resursa. Problematika zakonske regulative iz oblasti korišćenja geotermalne energije detaljnije je obrađena u poglavlju V doktorata.

Napravljen je uvid u korisnike hidrogeotermalne energije za potrebe grejanja i hlađenja objekata, uglavnom u centralnim delovima grada. Već pomenuto nepostojanje zakonski obavezujuće projektne i druge tehničke dokumentacije dovelo je do toga da je teško kvantifikovati do sada izvedene sisteme.

Prikazani rezultati oslanjaju se na anketiranje proizvođača opreme (toplotne pumpe voda-voda) i izvođačkih kuća koje istu ugrađuju. Objekti javne namene, kao što su vrtići, zatim objekti u funkciji poslovnog prostora uglavnom koriste podzemne vode uz prethodno pribavljenu projektnu i tehničku dokumentaciju.

Korisnici su podeljeni u četiri kategorije prema nameni objekata:

- privatne kuće ($P_{sr.} = 300 \text{ m}^2$)
- stambene zgrade sa dva ili više objekata* ($P_{sr.} = 1400 \text{ m}^2$)
- zgrade namenjene obrazovanju i kulturi, zgrade namenjene zdravstvu i socijalnoj zaštiti* ($P_{sr.} = 2000 \text{ m}^2$)
- upravne i poslovne zgrade, zgrade za druge namene koje koriste energiju* (za poslovni prostor $P_{sr.} = 1500 \text{ m}^2$, za magacinski prostor $P_{sr.} = 2000 \text{ m}^2$)

*Utvrđene kategorije zgrada prema *Pravilniku o energetskej efikasnosti zgrada* (Grupa autora, 2001)

Prilikom sagledavanja koliko se trenutno podzemnih vodnih resursa koristi u niskotemperaturnim sistemima klimatizacije, usvojene su sledeće vrednosti za toplotni konzum objekata:

- privatne kuće $Q \approx 60 \text{ W/m}^2$
- stambene zgrade sa dva ili više objekata $Q \approx 70 \text{ W/m}^2$
- zgrade namenjene obrazovanju i kulturi, zgrade namenjene zdravstvu i socijalnoj zaštiti $Q \approx 50\text{-}80 \text{ W/m}^2$
- upravne i poslovne zgrade, zgrade za druge namene koje koriste energiju $Q \approx 40\text{-}60 \text{ W/m}^2$, magacinski objekti $Q \approx 70\text{-}80 \text{ W/m}^2$

Prema *Pravilniku o uslovima, sadržini, i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada* (Grupa autora, 2001), kategorisani objekti pripadaju **energetskom razredu C**, posmatranom za stare objekte.

U tabeli 110 prikazan je procenjen broj objekata, kategorizovanih prema nameni, koji za potrebe grejanja i hlađenja koriste hidrogeotermalne resurse, te toplotne pumpe voda-voda. Proračun količina podzemnih voda koje se eksploatišu izveden je na osnovu kategorije objekta, srednje kvadrature objekta i srednje vrednosti toplotnog konzuma objekta.

Tabela 110. Procenjena trenutna eksploatacija podzemnih voda na uđoj tereitoriji grada Beograda za potrebe grejanja/hlađenja objekata

| TREKUTNO KORIŠĆENJE HIDROGEOTERMALNIH RESURSA NA TERITORIJI GRADA BEOGRADA | | | | | | |
|---|---|-----------------|---|-----------------|---|--------------------|
| Vrsta objekta po nameni | privatne kuće | stambene zgrade | zgrade namenjene zdravstvu i socijalnoj zaštiti | | upravne i poslovne zgrade, magacinski objekti | |
| | | | vrtići | klinike/bolnice | poslovni prostor | magacinski prostor |
| Broj objekata | 30 | 1 | 2 | 1 | 3 | 5 |
| Toplotni konzum po objektu | 18 kW | 100 kW | 120 | 50 | 80-100 | 150 |
| Količina podzemnih voda | 30 l/s | 5 l/s | 12 l/s | 3 l/s | 15 l/s | 40 l/s |
| UKUPNO | 105 l/s | | | | | |
| Napomena | U proračunu je korišćena vrednost $\Delta T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ | | | | | |

Iz prilođene tabele 110 uoćava se da procenjene kolićine podzemnih voda koje se trenutno koriste u niskotemperaturnim sistemima klimatizacije u svim vrstama objekata iznose oko 100 l/s. Ove kolićine podzemnih voda su daleko ispod raspolođivih kolićina koje se mogu zahvatati na teritoriji grada, a što ukazuje da je primena hidrogeotermalnih resursa kao obnovljivih izvora energije u poćetnoj fazi.

- Primenjujući sličnu metodologiju, sagledan je broj objekata i ukupno dobijena toplotna snaga za klimatizaciju objekata koji koriste geosonde:
- ukupno urađeno grejanje/hlađenje na oko 30 objekata
- ukupna duđina izbušenih sondi: oko 20.000m
- ukupna površina objekata pod grejanjem/hlađenjem geosondama: 20.000 m²
- ukupna instalisana snaga toplotnih pumpi: oko 1 MW

Perspektivnost ovakvih načina grejanja je svakako ogromna, jer je resurs praktično neiscrpan. Prema dosadašnjem iskustvu iz jedne geosonde dubine 100 m može se prosećno dobiti 5-6 KW, tako da se za stambene objekte površine do 300m², odnosno toplotni konzum do 20-30KW, geosonde nameću kao ekonomski najisplativiji način korišćenja geotermalne energije (Milenić, i dr., 2011).

25. ANALIZA GEOTERMALNIH INDIKATORA NA TERITORIJI GRADA BEOGRADA

Pod geotermalnim indikatorima podrazumevaju se sve hidrogeološke pojave i objekti na površini terena čije su temperature fluida više od srednje godišnje temperature vazduha terena na kome se nalaze, uključujući i sve petrološke pojave osmatrane na površini ili bušenjem, čiji fizičke osobine (temperatura) i hemijske osobine (mineraloški sastav) ukazuju na mogući izvor geotermalne energije.

Prethodna definicija obuhvata sve geotermalne pojave: hidrogeotermalne, litogeotermalne, magmotermalne i pneumogeotermalne. Na području grada Beograda analizirane su hidrogeotermalne pojave, te su u narednom tekstu prikazani indikatori koji se odnose samo na njih.

Zahvaljujući tehnologiji toplotnih pumpi moguće je iskoristi energiju akumuliranu u subhidrogeotermalnim resursima*. Sve pojave koje ukazuju na hidrogeotermalnu potencijalnost terena mogu se podeliti na savremene i paleohidrogeotermalne pojave.

Prema Milivojeviću (1982) “paleohidrogeotermalne pojave su sve pojave mineralnih naslaga koje su nastale u davnoj ili nedavnoj geološkoj prošlosti istaložavanjem iz hidrogeotermalnih fluida na mestima njihovog isticanja na kopnu ili pod vodom i u šupljinama stenskih masa u obimu Zemljine kore, one pojave u obimu Zemljine kore što su nastale, takođe, u davnoj ili nedavnoj geološkoj prošlosti uzajamnim dejstvom tih fluida i stenskih masa, ako i anomalne vrednosi toplotnog polja u područjima nekadašnje cirkulacije hidrogeotermalnih fluida”.

Na teritoriji grada analizirani su sledeći indikatori hidrogeotermalnih resursa:

- **savremeni indikatori**
 - efekat “toplotnog ostrva”
 - izvori i bunari čija je temperatura podzemnih voda viša od
 - srednje godišnje temperature vazduha za Beograd ($11.9^{\circ}\text{C} \approx 12^{\circ}\text{C}$)
 - hemijski sastav podzemnih voda
- **paleoindikatori**
 - hidrogeotermalno izmenjene stene
 - mineralne naslage

* Pojam i definicija subhidrogeotermalnih resursa prikazani su u okviru poglavlja V–Razmatranja i značaj istraživanja i korišćenja hidrogeotermalnih resursa.

Savremeni indikatori – efekat “toplotnog ostrva”

Teorijska razmatranja efekta “toplotnog ostrva”

Fenomen mikroklimatskih promena usled urbanizacije terena poznat je u naučnoj literaturi još s početka XIX veka. Proučavanjem ovog fenomena intenzivno se bave naučnici tokom druge polovine XX veka, u vreme kada većina današnjih metropola, uključujući i Beograd, započinje svoj razvoj. Istraživanja su pokazala da se usled urbanizacije terena, te usled mikroklimatskih promena ispoljava efekat “toplotnog ostrva”. Na teoretske osnove pomenutog efekta, te na njegov uticaj na podzemne vode nailazimo u radu Allen A., et. al. (2003):

Efekat "toplotnog ostrva" (Howard, 1833) je posledica urbanizacije, koja dovodi do mikroklimatskih promena, koje se manifestuju povećanjem temperature vazduha (Kratzer, 1956; Bornstein, 1968; Oke, 1973; Chandler, 1981). Ovo povećanje temperature može, prilikom povoljnih klimatskih uslova, da bude i do 10°C u odnosu na neurbanizovano predgrađe. Ovaj efekat je najizraženiji u letnjem periodu, kada su temperature i onako visoke, a mnogo više je izražen noću nego tokom dana (Jauregui i dr., 1997), ovaj fenomen je izražen i tokom zime. Efekat »toplotnog ostrva« zavisi od veličine gradskog jezgra. Temperature su različito raspoređene unutar velikih gradova, i uvek su znatno više u urbanizovanim delovima grada sa mnogo građevina i asfaltiranih površina nego u perifernim oblastima sa parkovima i vrtovima. Važno je naglasiti da se efekat »toplotnog ostrva« ne pojavljuje u svim gradovima. Njegovo nastajanje zavisi od brojnih faktora, klimatskih uslova, lokalnih topografskih karakteristika, površine koja je prekrivena asfaltom, građevina i drugih antropogenih faktora i zastupljenosti prirodnih površina kao što su parkovi, travnate površine i vrtovi.

Efekat »toplotnog ostrva« uzrokovan je još i formiranjem "dôma" urbanog zagađenja, "zarobljavanjem" dugotalasne radijacije, visokotermalnom apsorpcijom betonskih površina, smanjenjem evaporacije i ujedno smanjenjem hlađenja atmosfere kao i antropogenom toplotom usled intenzivnog naseljavanja gradskih prostora. Imajući ovo u vidu, verovatno glavni uzrok je zamena prirodnog vegetacionog pokrivača sa veštačkim materijalima (asfalt, beton...). Sve navedeno, ima dve vrlo važne posledice:

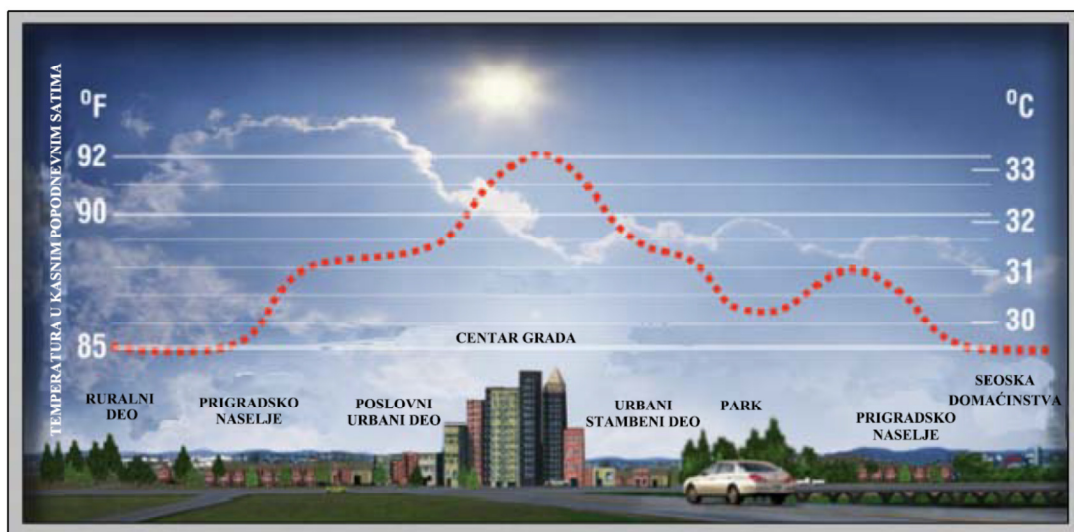
- Evaporacija vlažnosti tla i transpiracija sa vegetacionog pokrivača značajno opada u gusto naseljenim oblastima; ovi procesi u prirodnim uslovima prouzrokuju hlađenje atmosfere pod uticajem endotermskih prirodnih reakcija (latentna toplota isparavanja), trošeći veliku količinu solarne radijacije na površini zemlje.

- Apsoorbicija velikog dela sunčevog zračenja u gradovima, koje u normalnim uslovima mogu da budu upotrebljeni u procesima evaporacije, pomoću građevina i betonskih površina koje imaju mnogo manji albedo nego prirodne površine. Ova absorbovana toplota, akumulirana tokom dana, se polako otpušta tokom noći.

- Dakle, glavne karakteristike efekta "toplotnog ostrva" su (Voogt, 2004):
 - prostorni oblik "toplotnog ostrva", izoterme formiraju takav oblik koji liči na ostrvo koje prati oblik urbanizovane sredine okružene sa okolnom hladnijom sredinom (slika 225). Obično se kriva oštro diže u površinskom delu na granici između ruralne i urbane sredine, i praćena je slabim, ali čestim varijacijama temperature prema centru gde se obično pojavljuje najveća temperatura.
 - Intenzitet efekta "toplotnog ostrva". Temperatura je pod uticajem "toplotnog ostrva" obično veća od 1-3°C.
 - Površinske karakteristike i efekat "toplotnog ostrva"; prirodne karakteristike površine su veoma značajan faktor prostornog rasporeda temperature. Temperatura je veća u gusto naseljenim oblastima, a znatno niža u parkovima i u nenaseljim rejonima.

Ovaj efekat takođe ima značajan uticaj na podzemne vode koje su formirane ispod gradova, i to dovodi do povećanja temperature tla i stena kao i bilo kog fluida koji se nalazi u njemu.

Podzemne vode ispod urbanizovanih delova grada mogu da imaju temperaturu nekoliko stepeni višu nego što je prosečna temperatura podzemnih voda u manje urbanizovanom okruženju. Ovo se dešava kada je nivo pozemnih voda plitko ispod površine terena urbanizovanih sredina, i ove vode se mogu eksploatisati i koristiti za zagrevanje ili hlađenje pomoću toplotnih pumpi, iskorišćavanjem prikupljene toplote.



Slika 225. Profil efekta "toplotnog ostrva" (Heatisland.lbl.gov)

Efekat »toplotnog ostrva« na užoj teritoriji Beograda

Tokom 2005. i 2006. godine na delu teritorije grada Beograda izvedena su terenaska istraživanja u cilju sagledavanja temperaturnog režima podzemnih voda, te mogućeg uticaja efekta "toplotnog ostrva" (Milenić i dr., 2006). Osnove za ovakav vid istraživanja jesu predispozicije koje grad Beograd poseduje kao izuzetno urbanizovano područje. Temperatura vazduha u urbanizovanom delu grada je za nekoliko stepeni viša od manje urbanizovanog predgrađa.

Na užoj teritoriji grada Beograda sagledane su hidrogeološke karakteristike terena i temperaturni režim podzemnih voda, te je dokazano postojanje efekta "toplotnog ostrva" i njegov uticaj na podzemne vode. Posledice urbanizacije nisu se podjednako odrazile na temperaturni režim podzemnih voda na čitavoj ispitivanoj teritoriji grada Beograda. Područje koje je "pogođeno" efektom "toplotnog ostrva", a samim tim i podzemne vode, jeste Novi Beograd.

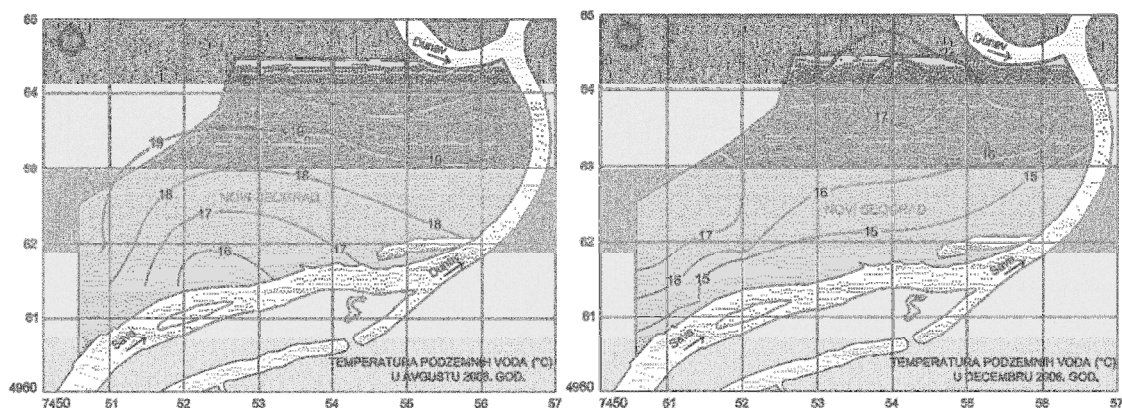
Područje Novog Beograda predstavlja tipičan teren aluvijalnih ravni velikih reka, močvaran i peskovit, koji početkom '50-tih dobija prve obrise urbanizovanog prostora, da bi danas, pola veka kasnije izrastao u grad sa oko 250.000 stanovnika naseljenih u 86 000 stanova. Teren pripada visokourbanizovanom prostoru sa preko 200 solitera i 600 velikih objekata ispresecanih sa 160 km asfaltnih saobraćajnica (Vranješ, Dončev, 2012).

U cilju utvrđivanja postojanja efekta “toplotnog ostrva” na Novom Beogradu, te uticaja ovog fenomena na podzemne vodne resurse, metodologija istraživanja bila je umerena u pravcu:

- definisanja i okonturivanja teritorije sa povišenim temperaturama podzemnih voda kao posledice postojanja efekta “toplotnog” ostrva
- definisanja uticaja efekta “toplotnog” ostrva po vertikali na fonske vrednosti temperature podzemnih voda
- definisanja i kategorizacije faktora koji utiču na povećanje temperature podzemnih voda u urbanizovanom delu terena u odnosu na okolne ruralne delove terena

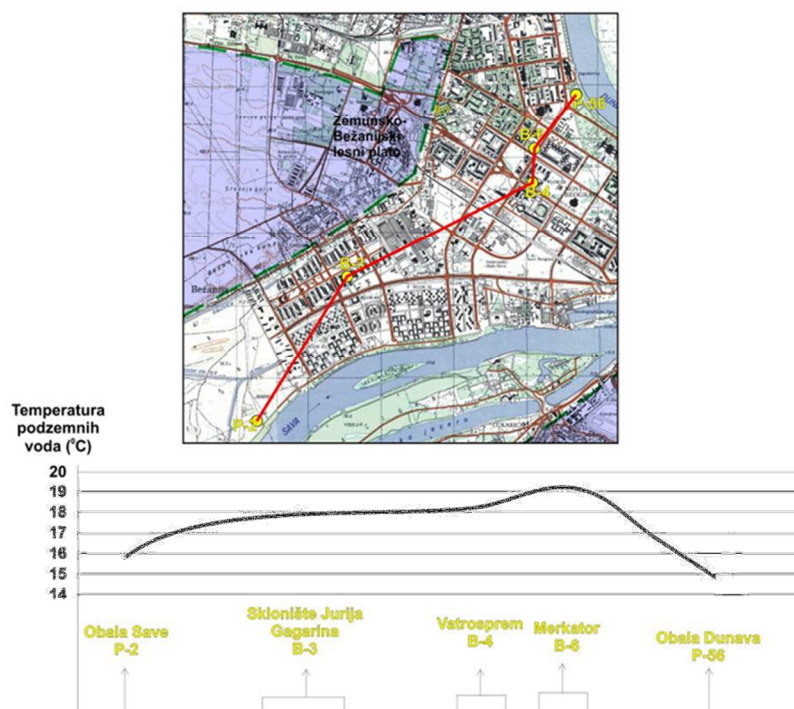
Horizontalno rasprostranjenje efekta “toplotnog ostrva”

Horizontalno rasprostranjenje sagledano je na osnovu karti hidroizoterma za područje Novog Beograda, slika 226. Sa ovih karata jasno se vidi da je temperatura podzemnih voda u manje urbanizovanim područjima oko 13-14°C. Idući ka centralnim i jako urbanizovanim delovima Novog Beograda, temperatura podzemnih voda doseže čak i 20°C (u letnjim mesecima). Temperaturna razlika podzemnih voda se kreće od 3-6°C.



Slika 226. Karta hidroizoterma teritorije Novog Beograda (Milenić, i dr., 2006)

Na slici 227. prikazan je temperaturni profil terena podzemnih voda osmatranih na bunarima i piježometrima krećući se od leve obale Save ka desnoj obali Dunava.



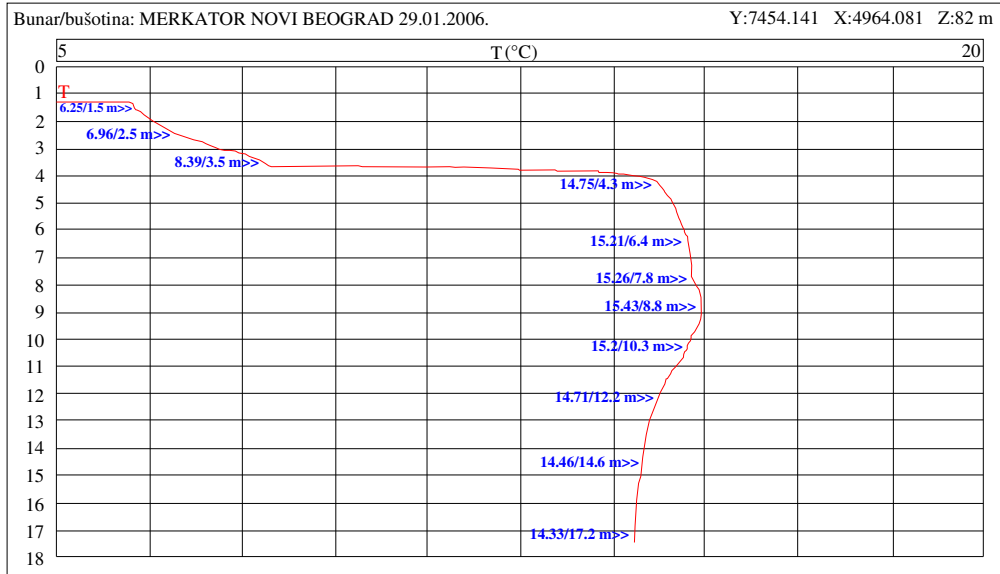
Slika 227. Šematski prikaz promene temperature podzemnih voda na Novom Beogradu (Milenić, i dr., 2006)

Vertikalna distribucija temperature podzemnih voda

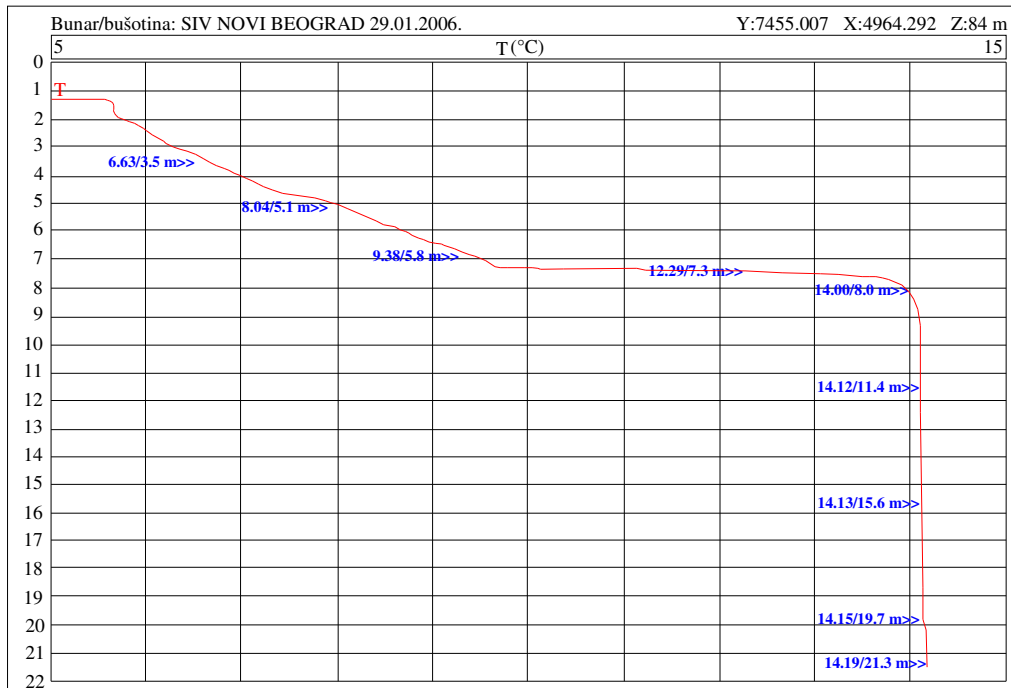
U cilju definisanja dubine uticaja efekta "toplotnog ostrva" na podzemne vode, na području Novog Beograda, na reprezentativnim hidrogeološkim objektima vršen je temperaturni karotaž. Termokarotažna merenja vršena su u zimskom periodu kako bi se utvrdili minimumi temperature. Utvrđena dubina uticaja efekta toplotnog ostrva se kreće od 12 m do 15 m ispod površine terena odakle se temperatura podzemnih voda "vraća" odnosno teži svojim prirodnim vrednostima (slika 228).



1



2



Slika 228. Rezultati termokarotažnih snimanja bunara na lokacijama:
1– Merkator, 2– SIV

Na području Novog Beograda izvedena su termovizijska snimanja terena u cilju definisanja toplotnih anomalija koje mogu biti izazvane akcidentnim situacijama, poput pucanja toplovodnih cevi i kanalizacionih cevi. Na slici 229. prikazana je položajna karta lokacija na kojima je konstatovano pucanje toplovodnih cevi.



Slika 229. Položajna karta akcidentnih lokacija konstatovanih termovizijskim snimanjem terena na području Novog Beograda

Veća odstupanja vrednosti temperature podzemnih voda konstatovana na terenu (na lokaciji Merkatora, na osmatračkom bunaru (P6) dana 07.09.2005 god. izmerena je temperatura podzemnih voda od 20.5°C, dok su na ostalim bunarima istog dana izmerene temperature od 14.3 °C do 18.4°C) , mogu biti posledica anomalije izazvane havarijama podzemnih instalacija.

Savremeni indikatori – izvori i bunari čija je temperatura podzemnih voda viša od srednje godišnje temperature vazduha za Beograd (11.9°C≈12°C)

Svaka hidrogeološka pojava ili objekat sa temperaturom podzemnih voda višom od srednje godišnje temperature vazduha ukazuje na potencijalni izvor geotermalne (hidrogeotermalne) energije.

Povišene vrednosti temperature podzemnih voda u odnosu na referentnu temperaturu vazduha posledica su geološko-tektonske građe i hidrogeoloških uslova na terenu, ali i antropogenih aktivnosti (efekat “toplotnog ostrva”).

Analizirajući hidrogeološke pojave i objekte na teritoriji grada Beograda kroz prikaz hidrogeoloških reiona, uočeno je da se temperature podzemnih voda kreću u opsegu od 11 °C do 30 °C, za dubinski zahvat do 300 m. Kroz analizu prikazane su i duboke bušotine, bušene u cilju spoznaje geotermalnih karakteristika terena (okolina Grocke, Vrčina, Koraćička banja i Banja Selters Obrenovačka Banja, Čibutkovica...), koje kaptiraju podzemne vode temperature do 60 °C.

Na užoj teritoriji grada Beograda, u okviru granica generalnog urbanističkog plana sagledani su izvori, bunari i pijezometri čije temperature podzemnih voda ukazuju na njihovu potencijalnost sa energetskeg aspekta. Generalno posmatrano, dominantan vid dreniranja podzemnih voda jeste preko vodozahvatnih objekata, i to u okviru zbijenog i karstnog tipa izdani.

Izvori podzemnih voda konstatovani su na teritoriji Košutnjaka, Topčidera, na Avali, zatim u Žarkovu (izvor Bele Vode), na Kalemegdanu (izvor Sveta Petka), u Višnjčkoj Banji. Temperature podzemnih voda merene na pomenutim izvorima se kreću u opsegu od 10°C do 15°C (temperature podzemnih voda izvora Sv. Petka karakterišu se većim temperaturnim oscilacijama, od 9°C do 21°C).

U tabelama 111 i 112 prikazani su bunari na užoj i široj teritoriji grada i njihove temperature. Bunari su klasifikovani prema dubini u četiri intervala: do 100 m, od 100 m do 300 m, od 300 m do 500 m i preko 500 m. Prikazane tabele prati položajna karta (slika 230).

Na užoj teritoriji grada najdublja bušotina je izvedena u Leštanima , dubina iznosi 800 m, a zahvata podzemne vode temperature 25 °C. To je ujedno i najtoplija pojava na užoj teritoriji grada (misli se na temperaturu podzemnih voda merenih na površini terena). Prilikom izrade bunara BS-1 (100 m) u Skadarliji, temperatura zahvaćenih podzemnih voda iznosila je 34 °C. Tokom eksploatacije temperatura podzemnih voda je opala na 22-24°C.

Na široj teritoriji grada najdublja bušotina izvedena je u Koraćičkoj banji. Njena dubina iznosi 1800 m. Pomenuta bušotina kaptira podzemne vode temperature 30 °C, ali iz gornjih vodonosnih horizonata (bazalna serija neogenih sedimenata) od 160 m do 220 m (Milivojević, 2004). Najviša izmerena temperatura podzemnih voda na široj teritoriji grada iznosi 52 °C. Temperatura je izmerena na ustima bušotina dubine 1150 m u Banji Selters.

Tabela 111. Analizirani bunari na užem području grada

| Rb. | Koordinata | Lokacija | Dubina (m) | Temperatura podzemnih voda (°C) |
|--------------------------------|----------------------|-------------------|------------|---------------------------------|
| UŽE PODRUČJE GRADA | | | | |
| DUBINA BUNARA DO 100 m | | | | |
| 1. | 7455.077 4961.080 | Čukarička padina | 65 | 20 |
| 2. | 7458.155 4963.786 | Skadarlija BS-1 | 61 | 22 |
| 3. | 7459.450 4963.664 | Osmana Đikića | 83 | 19 |
| 4. | 7458.387 4962.971 | Tašmajdanski park | 54 | 17 |
| 5. | 7459.068 4961.289 | Lamartinova | 80 | 17 |
| 6. | 7455.299 4959.916 | Vidikovac | 97 | 17 |
| DUBINA BUNARA 100-300 m | | | | |
| 7. | 7463.715 4971.628 | Ovča | 162 | 21 |
| 8. | 7463.463 4967.681 | Krnjača | 124 | 18 |
| 9. | 7458.390 4964.927 | Toplana Dorćol | 150 | 23 |
| 10. | 7458.164 4964.320 | Skender Begova | 101 | 22 |
| 11. | 7458.206 4963.389 | Skadarlija BS-2 | 103 | 21 |
| 12. | 7457.928 4964.007 | Dobračina | 141 | 20 |
| 13. | 7458.883 4963.447 | Takovska | 120 | 17 |

... nasatvak tabele

| | | | | |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|-----|----------|
| 14. | 7460.359 4963.520 | Stadion OFK | 142 | 20 |
| 15. | 7461.784 4960.224 | Toplana Konjarnik | 115 | 18 |
| 16. | 7457.083 4958.812 | Americka ambasada | 152 | 17 |
| 17. | 7458.191 4959.873 | FK Crvena Zvezda | 100 | 17 |
| 18. | 7457.654 4959.918 | Šekspirova | 100 | 17 |
| 19. | 7457.776 4959.409 | Jevrema Grujića | 100 | 17 |
| 20. | 7459.876 4956.754 | Toplana Voždovac | 106 | 21 |
| 21. | 7456.984 4954.947 | Manastir Rakovica | 150 | 19 |
| 22. | 7465.907 4958.518 | Kaluđerica | 240 | 21 |
| 23. | 7468.408 4954.791 | Boleč | 203 | 23 |
| 24. | 7472.971 4954.655 | Ritopek | 121 | 19 |
| 25. | / | Radmilovac | 145 | 23 |
| 26. | 7466.791 4953.764 | Leštane | 166 | 21 |
| DUBINA BUNARA 300-500 m | | | | |
| 27. | 7458.206 4963.879 | Skadarlija BS-3 | 321 | 24 |
| 28. | 7460.014 4958.052 | Soko Štark | 333 | 24 (29)* |
| DUBINA BUNARA PREKO 500 m | | | | |
| 29. | 7445.878 4965.470 | "Radiofar" Surčin | 520 | 33.5 |
| 30. | 7466.791 4953.764 | Leštane | 800 | 20.9 |

*Prilikom izrade bušotine u krugu "Soko Štarka", nabušena su dva vodonosna horizonta. Temperatura podzemnih voda u prvom vodonosnom horizontu prilikom bušenja iznosila je 18.5 °C, a temperatura u drugom (dubljem) vodonosnom horizontu iznosila je 29°C. Podzemne vode zahvaćene su iz prvog vodonosnog horizonata, dok je drugi horizont tamponiran. Na testu crpenja, izvedenom po izradi bunara konstatovana je temperatura zahvaćenih podzemnih voda od 26°C (Filipović, Mirković, 1972). Danas bunar nije u eksploataciji, voda temperature 24 °C ističe pod samoizlivom.

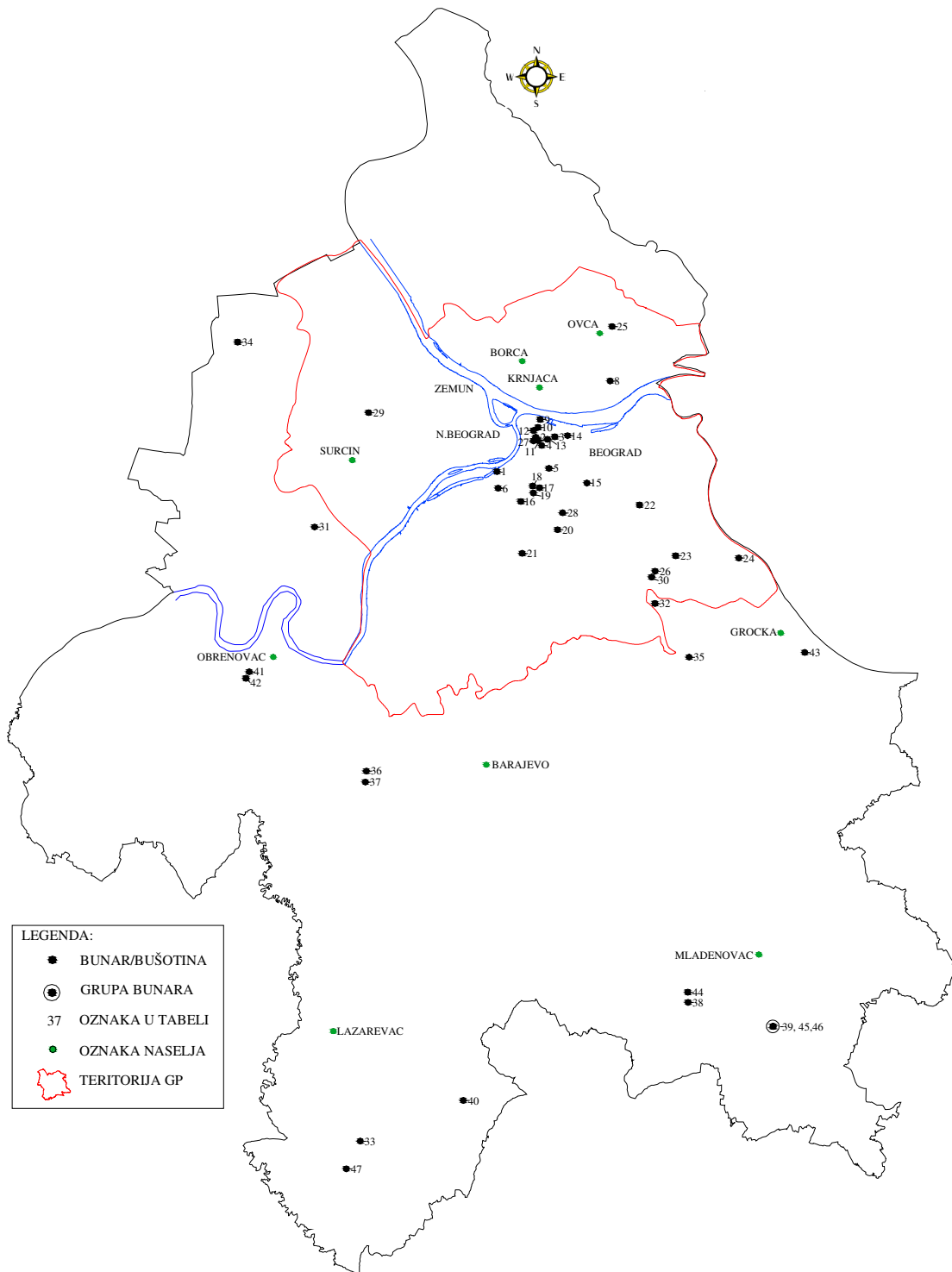
Iz priložene tabele uočava se da se temperature podzemnih voda na užem području grada kreću u opsegu od 17 °C do 20 °C, izuzev podzemnih voda na delu Surčina, "Radiofar", gde temperatura podzemnih voda dostiže 33 °C (bušotina 520 m).

Tabela 112. Analizirani bunari na široj teritoriji grada

| Rb. | Koordinata | Lokacija | Dubina (m) | Temperatura podzemnih voda (°C) |
|----------------------------------|----------------------|-----------------|------------|---------------------------------|
| ŠIRA TERITORIJA GRADA | | | | |
| DUBINA BUNARA DO 100 m | | | | |
| 31. | 7441.869 4956.879 | Jakovo | 92 | 18 |
| 32. | 7466.755 4951.184 | Zavojnička reka | 80 | 24 |
| 33. | 7445.230 4911.900 | Kruševica | 82 | 20.5 |
| DUBINA BUNARA 100-300 m | | | | |
| 34. | 7436.163 4970.469 | Ugrinovci | 215 | 18 |
| 35. | 7469.265 4947.528 | Vrčin pumpa | 185 | 22 |
| 36. | 7445.552 4939.072 | Vranić | 200 | 25 |
| 37. | 7445.552 4939.072 | Vranić | 240 | 24 |
| 38. | 7469.149 4922.234 | Banja Koraćica | 180-200 | 25.8 |
| 39. | 7475.509 4920.461 | Banja Selters | 273 | 31.5 |
| 40. | 7452.700 4915.000 | Rudovci | 119 | 18 |
| DUBINA BUNARA 300-500 m | | | | |
| 41. | 7436.943 4946.405 | Obrenovac | 450 | 34 |
| DUBINA BUNARA PREKO 500 m | | | | |
| 42. | 7436.943 4946.405 | Obrenovac | 605 | 30.5-34 |
| 43. | 7477.660 4947.784 | Grocka | 1400 | 31* |
| 44. | 7469.149 4922.234 | Banja Koraćica | 1800 | 30 |
| 45. | 7475.850 4920.439 | Banja Selters | 816 | 50 |
| 46. | 7475.531 4920.516 | Banja Selters | 1150 | 52 |
| 47. | 7444.140 4910.000 | Čibutkovica | 1002 | 25** |

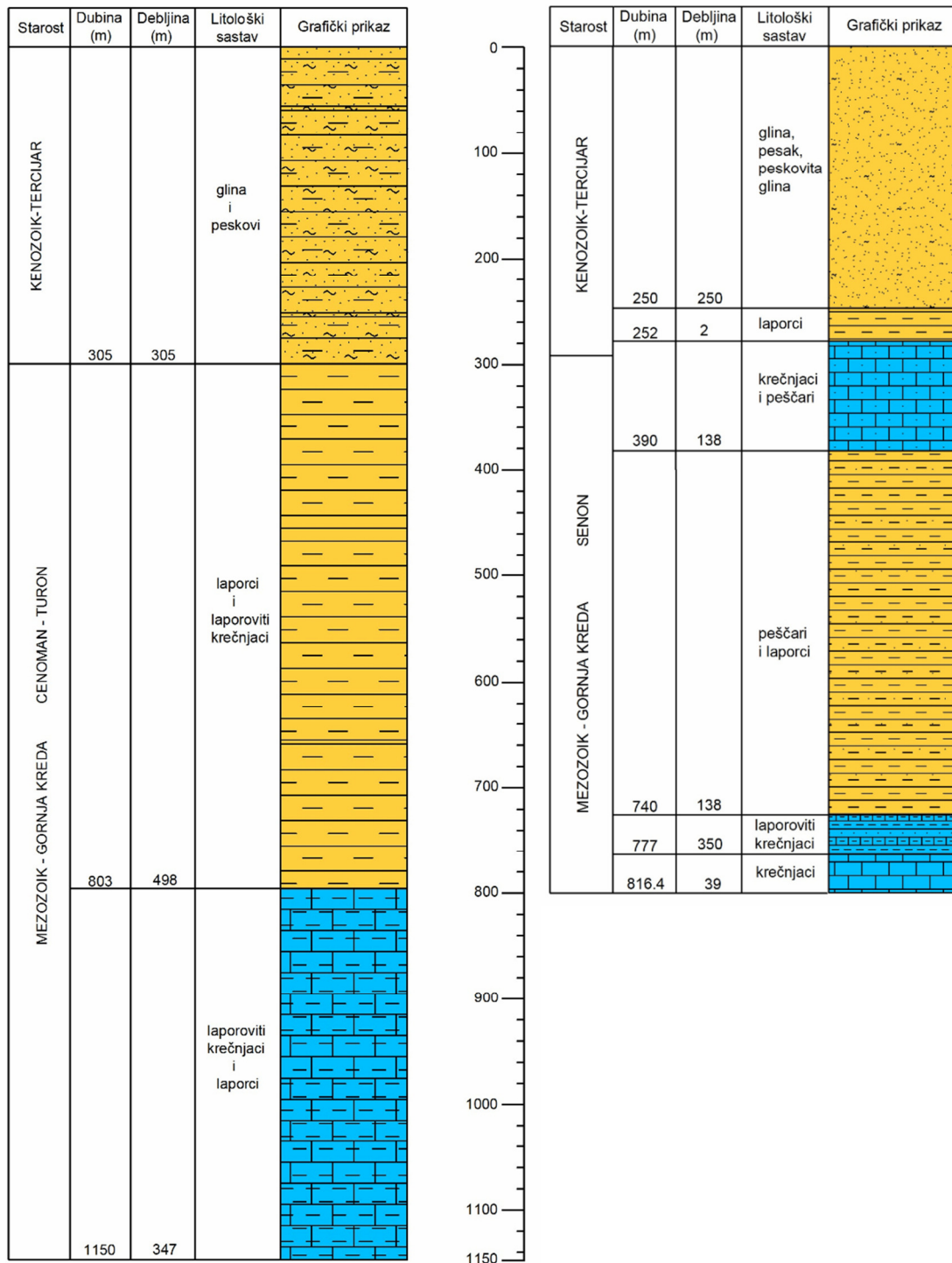
*Temperatura stene izmerena u sloju iznosi 80°C (Dokmanović, 1997, prema Perić, 1984)

**Temperatura podzemnih voda zahvaćenih dubokom bušotinom u Čibutkovici iznosi 25 °C, dok temperatura stene na ortu bušotine iznosi 66 °C.



Slika 230. Položajna karta analiziranih bunara na teritoriji grada Beograda

Na slici 231 prikazani su litološki profili bušotina MB-1 i MB-2.



Slika 231. Litološki profil terena na lokaciji bušotina MB-1 i MB-2 u Banji "Selters" (iz Milenić, 2007)

Savremeni indikatori-hemijski sastav podzemnih voda

Analiza hemijskog sastava hidrogeotermalnih resursa je jedan od neizostavnih metodoloških postupaka prilikom proučavanja istih. Hemizam podzemnih voda može ukazati, odnosno dati odgovore na pitanja poput geneze geotermalnih fluida, načini prihranjivanja hidrogeotermalnih sistema, kao i prognozne temperature podzemnih voda u rezervoaru. Izučavanje hemijskog sastava odvija se u okviru naučne oblasti – geotermalna geohemija.

U narednom tekstu prikazani su hidrogeotermometri, koji predstavljaju hemijske elemente čije koncentracije i odnosi u vodi sa drugim elementima mogu dati prognozne temperature u primarnim stenskim kolektorima-rezervoarima. Postoje ograničenja kada se ova metoda prognoze temperature hidrogeotermalnih fluida ne može primenjivati, te mora biti ispunjeno sledeće (Milivojević, 1989):

- hemijski procesi u rezervoaru, zavisni su od temperature, regulišu sadržaj elemenata, koji se koriste u datom geotermometru,
- u rezervoaru se nalazi dovoljna količina reagenasa – minerala sa datim elementima,
- u rezervoaru je ustanovljena ravnoteža između vode i stene - minerala,
- elementi i njihova jedinjenja ne dolaze ponovo u ravnotežu sa stenama povlatnog izolatora dok voda teče od rezervoara ka površini,
- ne dolazi do mešanja termalne sa hladnom vodom iz plitkih izdani.

Različiti geotermometri daju različite temperature termalnih voda u okviru hidrogeotermalnog sistema u zavisnosti od postignute hemijske ravnoteže između rastvora i hidrotermalnih minerala ili kao rezultat reakcije, mešanja ili degazacije za vreme isticanja. Prilikom određivanja geotermometara, koji će biti korišćeni za određene hidrogeotermalne sisteme treba voditi računa o hemijskoj ravnoteži određenih minerala, kao i o hemijskim procesima koji su se dešavali u toku stvaranja hemijskog sastava termalnih voda koje su uzorkovane.

Hidrogeotermometri koji se koriste za izračunavanje prognozne temperature prikazani su u tabeli 113.

Tabela 113. Hidrogeotermometri

| Geotermometar | Silicijum | Kalcedon | |
|-----------------------------|---|---|---|
| (Fournier, 1973) | $T(^{\circ}C) = \frac{1309}{5.19 - \log(SiO_2)} - 273.15$ | $T(^{\circ}C) = \frac{1032}{4.69 - \log(SiO_2)} - 273.15$ | |
| | $T(^{\circ}C) = \frac{1522}{5.75 - \log(SiO_2)} - 273.15$ | $T(^{\circ}C) = \frac{1182}{5.09 - \log(SiO_2)} - 273.15$ | |
| (Arnorsson, 1983) | $T(^{\circ}C) = \frac{1164}{4.90 - \log(SiO_2)} - 273.15$ | | |
| | $T(^{\circ}C) = \frac{1498}{5.70 - \log(SiO_2)} - 273.15$ | | |
| (Fournier and Potter, 1982) | $T(^{\circ}C) = -42.2 + 0.22831SiO_2 - 3.6686 * 10^{-4} SiO_2 + 3.1665 * 10^{-7} * SiO_2 + 77.034 * \log SiO_2$ | | |
| Geotermometar | Na-K | Geotermometar | K-Mg |
| (Truesdell, 1976) | $T(^{\circ}C) = \frac{856}{0.857 - \log(Na/K)} - 273.15$ | (Giggenbach, 1983) | $T(^{\circ}C) = \frac{4110}{14.0 - \log(K^2/Mg)} - 273.15$ |
| (Tonani, 1980) | $T(^{\circ}C) = \frac{833}{0.78 - \log(Na/K)} - 273.15$ | Geotermometar | Na-Ca |
| (Arnorsson, 1980) | $T(^{\circ}C) = \frac{933}{0.933 - \log(Na/K)} - 273.15$ | (Tonani, 1980) | $T(^{\circ}C) = \frac{1096.7}{3.080 - \log(Na/\sqrt{Ca})} - 273.15$ |
| | | Geotermometar | K-Ca |
| | | (Tonani, 1980) | $(^{\circ}C) = \frac{1930}{3.861 - \log(K/\sqrt{Ca})} - 273.15$ |

Paleoindikator–hidrogeotermalno izmenjene stene

Paleoindikator su pojave u vidu alterisanih stena ili u vidu naslaga stvorenih “odlaganjem minerala iz fluida...najvećim delom usled promene pritiska i temperature hidrogeotermalnih fluida” (Milivojević, 1982). Ovakve pojave ukazuju na nekadašnje kolektore ili pravce kretanja hidrogeotermalnih voda. Paleoindikator ili paleohidrogeotermalne pojave vezuju se za termalne vode.

Prema geološkoj građi i strukturnom sklopu terena područje Avale i njene okoline je okarakterisano kao perspektivno područje za formiranje termalnih voda. Pretpostavke su se jednim delom potvrdile, prilikom izvođenja hidrogeoloških istraživanja za potrebe PK “Beograd” u dolini Zavojničke reke, kada je otkrivena hidrogeotermalna anomalija. Pomenuta istraživanja su izvođena u periodu 1975-1979. godina.

Po načinu pojavljivanja i po spoljašnjem izgledu, paleohidrogeotermalne pojave Milivojević (1980) deli u dve grupe:

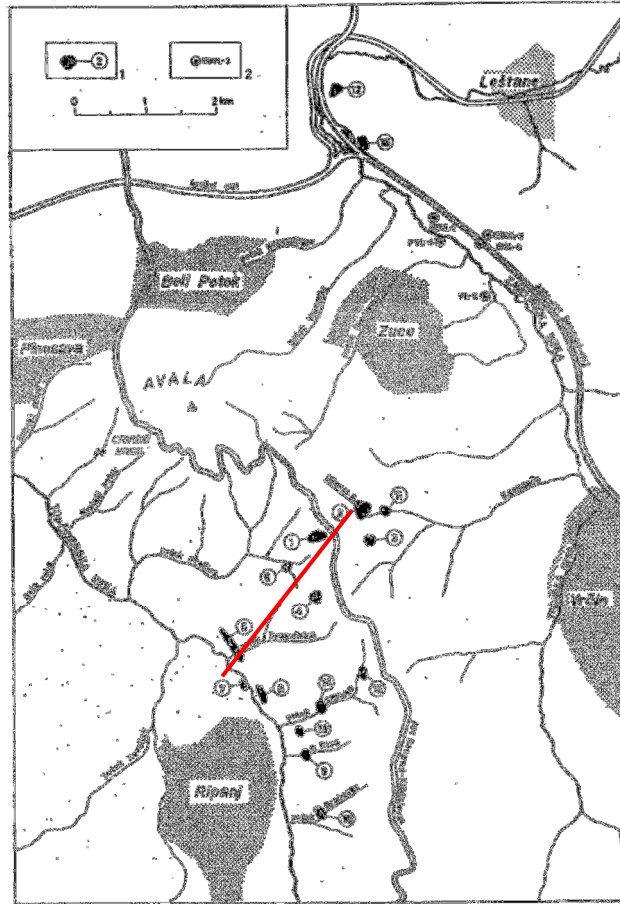
- kvarcitne pojave
- karbonatne pojave,

a prema geografskom položaju na tri grupe:

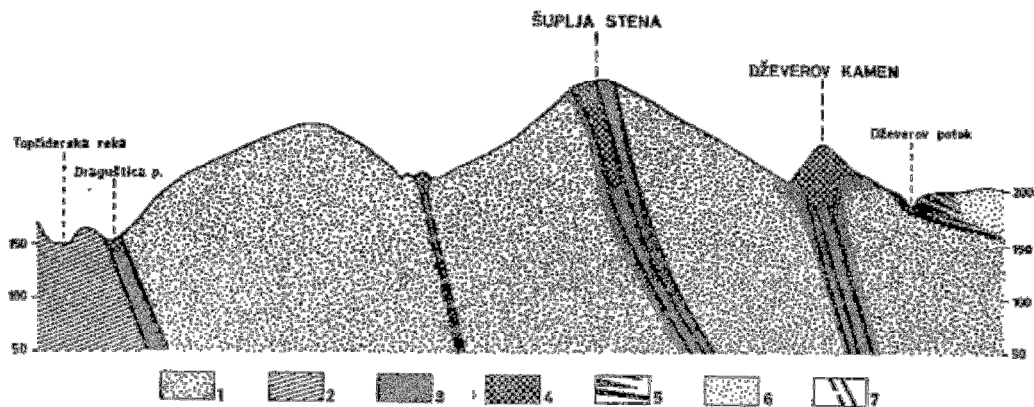
- pojave levo i desno od puta Beograd–Kragujevac u izvorišnim delovima desnih protoka Topčiderske i levih pritoka Zavojničke reke (Šuplja stena, Džever kamen, Rupine, Kamenik, pojava u potoku Smrdan)
- pojave duž doline Topčiderske reke (pojave u potoku Grabovac, u potoku Ripe i u potoku Draguštica)
- pojave u dolini Zavojničke reke

Na slici 232 prikazana je položajna karta paleohidrogeotermalnih pojava Avale i geološki presek terena Topčiderska reka–Dževerov potok.

Posmatrano van područja Avale, paleohidrogeotermalne pojave otkrivene su istočno od Barajeva prema Ripnju, u zaseoku Gupčevo brdo (zona limonitsko-kvarcnih masa, dimenzija $\approx 500 \text{ m} \times 70 \text{ m}$) i na području Kosmaj-Babe (hidrogeotermalno izmenjene stene krednog fliša na oko 0.1 km^2 i hidrogeotermalno izmenjeni piroklastiti na površini oko 0.8 km^2) (Milivojević M., 1982). Paleohidrogeotermalne pojave vezane za stene šumadijske mezozojske grede i njene okoline, dakle javljaju se u centralnim delovima područja grada Beograda.



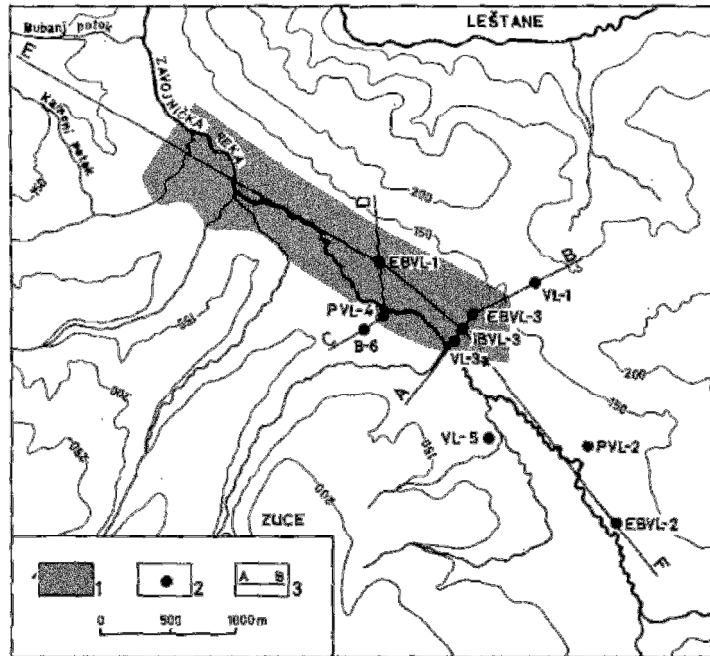
Legenda: 1– paleohidrogeotermalna pojava sa katastarskim brojem; 2–istražna bušotina u kojoj je otkrivena paleohidrogeotermalna pojava



Legenda: 1–serpentinit; 2–gornjekredni fliš; 3–hidrotermalno promenjeni serpentiniti; 4–karbonatne i silicijske naslage paleohidrogeotermalnih pojava; 5–silifikovani panonski šljunkovi; 6–nesilifikovani panonski peskovi; 7–rasedna linija

Slika 232. Geografski položaj paleohidrogeotermalnih pojava Avale i geološki presek terena Topčiderska reka–Šuplja stena–Dževerov kamen (Milivojević, 1980)

Hidrogeološka istraživanja izvođena u dolini Zavojničke reke (slika 233) konstatovala su hidrogeotermalnu anomaliju. Naime, nabušena je izdan sa termalnim vodama, čije su temperature bile relativno visoke u odnosu na dubinu bušenja (Milivojević, 1980), tabela 114.



Legenda: 1–zona rasprostranjenja paleohidrogeotermalnih pojava ispod površine terena u dolini Zavojničke reke; 2–istražna bušotina ili bunar; 3–trasa geološkog preseka terena

Slika 233. Makrolokacije istražnih bušotina i bunara u dolini Zavojničke reke u kojima su otkrivene paleohidrogeotermalne pojave (Milivojević, 1982)

Tabela 114. Odnos temperature podzemnih voda i dubine bušenja u dolini Zavojničke reke

| Bušotina | IBVL-3 | EBVL-3 | EBVL-1 | PVL-4 | VL-5 | EBVL-2 |
|--|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|---------------|
| Dubina (m) | 95 | 110 | 145 | 55 | 70 | / |
| Temperatura (°C) | 23.9 | 24.4 | 21.8 | 18.2 | 17.6 | 19.1 |
| Zona paleohidrogeotermalne pojave u bušotini (m) | 60-95 | 50-110 | 90-145 | 35-55 | 25-70 | / |

Analizirajući litologiju terena, severno od Avale, na osnovu istražnog bušenja, uočene su pojave stena vulkanskog porekla. Interesantno je da je na litološkom profilu u "Soko Štarku", Kumodraž (333 m), u intervalu od 200 m do 236 m konstatovana pojava tufova (10 cm proslojak) (Filipović B., Mirković, 1972).

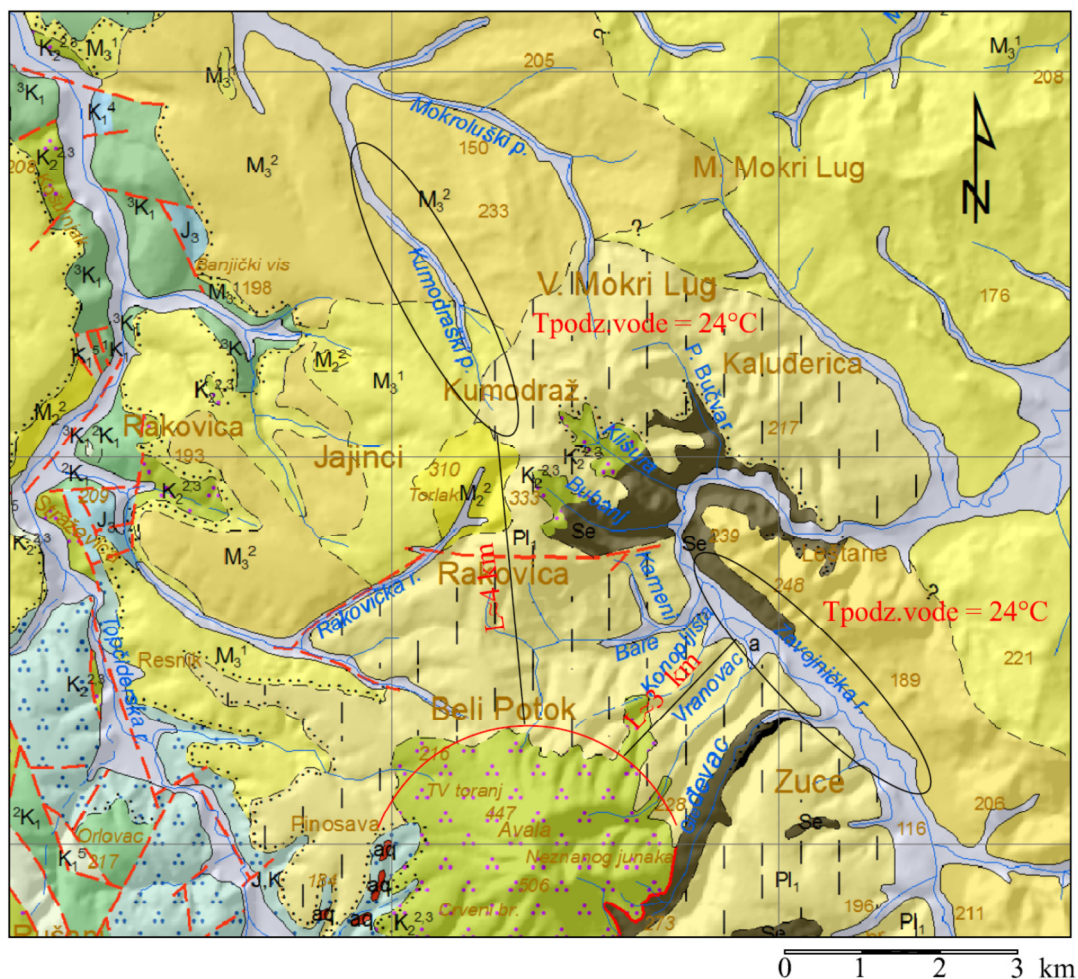
Pojava tufova konstatovana je takođe i na litološkom profilu u Velikom Mokrom Lugu, debljine oko 1.7 m. Prisustvo tufova ukazuje na vulkanske aktivnosti odigrane u blizini ovog dela terena (plutonit Avale).

“...Intrudovanje avalskog granitoidnog plutonita izvršeno je pre badena, vulkaniti su stvarani do sredine sarmata, tj. dotle su postojali magmatski rastopi. Po Karamati i Milovanoviću kristalizacija jednog ovakvog plutona u njegovom dubokom nivou završila se verovatno do kraja sarmata” (Milivojević, 1982).

Takođe, na bušotini u "Soko Štarku" nabušene su termalne vode. Otkrivena su dva vodonosna intervala, prvi od 139 m do 158 m sa temperaturom vode 18 °C i drugi u intervalu od 262 m do 333 m sa temperaturom 29°C. Prvi vodonosni interval je kaptiran, a drugi tamponiran. Prilikom izvođenja testa crpenja po izradi bunara, temperatura vode kretala se od 25 °C do 26 °C. Na osnovu režimskih osmatranja u periodu od 12.10.2005. do 15.02.2006. temperatura podzemnih voda se kretala od 23°C do 24°C, bušotina nije u eksploataciji. U litološkom profilu bušotina preovladavaju glinovito-laporovite stene sa pojavom peskova. Peščari su manje zastupljeni, a u intervalu od 88 m do 95 m i od 262 m do 326 m konstatovani su konglomeratični peščari (Filipović B., Mirković, 1972).

Posmatrajući prostorni položaj bušotine u "Soko Štarku" u odnosu na Avalu i pojave u dolini Zavojničke reke (slika 234), povišene temperature podzemnih voda u Kumodražu mogu se povezati sa magmatskim aktivnostima odigranim tokom neogena. Litološki, stene rezervoari u dolini Zavojničke reke i Kumodraškog potoka nisu iste. Termalne vode u dolini Zavojničke reke nabušene su u okviru karstifikovanih i silifikovanih sarmatskih krečnjaka, silifikovanih serpentinitskih konglomerata i breča i u okviru serpentinita. A, u dolini Kumodraškog potoka, termalne vode otkrivene su u okviru konglomeratičnih peščara. Na obe lokacije podzemne vode su formirane u okviru izdani pod pritiskom.

Imajući u vidu napred izneseno, pojava termalnih voda u Kumodražu može se zapravo smatrati paleohidrogeotermalnom pojavom. Na ovo ukazuje i činjenica da su stene, glavni nosioci termalnih voda, izgrađene od kvarca, feldspata i liskuna međusobno povezanih silicijumskom materijom (peščari).



Slika 234. Položajna karta avalskog plutonita i zona pojavljivanja podzemnih voda povišene temperature

26. OCENA GEOTERMALNOG GRADIJENTA NA TERITORIJI GRADA BEOGRADA

Teorijska razmatranja geotermalnog polja

Geotermalne karakteristike nekog terena zavise od više faktora: debljine i sastava Zemljine kore, starosti tektonskih aktivnosti, vrste magmatskih procesa, sadržaja radioaktivnih elemenata u stenama, hidrogeoloških karakteristika... Najveći značaj za geotermalne karakteristike terena imaju: debljina i sastav Zemljine kore, neotektonska kretanja i geotermalno polje.

Geotermalno polje je prostor u kome se oseća uticaj zemljinog unutrašnjeg temperaturnog (temperaturno polje predstavlja vrednost temperature na različitim dubinama u zemljinoj kori) i toplotnog polja (toplotno polje predstavlja vrednost gustine terestičnog toplotnog toka). Geotermalno polje se “karakteriše kao toplotni tok, koji je zbog toga među najvažnijim parametrima od kojih zavisi formiranje nalazišta geotermalne energije” (Milivojević, 1989).

Fizičko značenje pojma toplotnog toka prikazano je u sledećoj formuli:

$$q_x = -K \frac{dT}{dx} \text{ (J/m}^2\text{s) ili (W/m}^2\text{),}$$

a definiše se kao količina toplote koja teče kroz neko telo u toku određenog vremena. Za trodimenzionalno polje jednačina toplotnog toka glasi:

$$\vec{q} = -K \text{ grad } T \text{ (W/m}^2\text{),}$$

gde je T temperaturni gradijent koji predstavlja veličinu i pravac najveće promene temperature (Milivojević, 1989).

Intenzitet geotermalnog polja (gustina toplotnog toka) zavisi od:

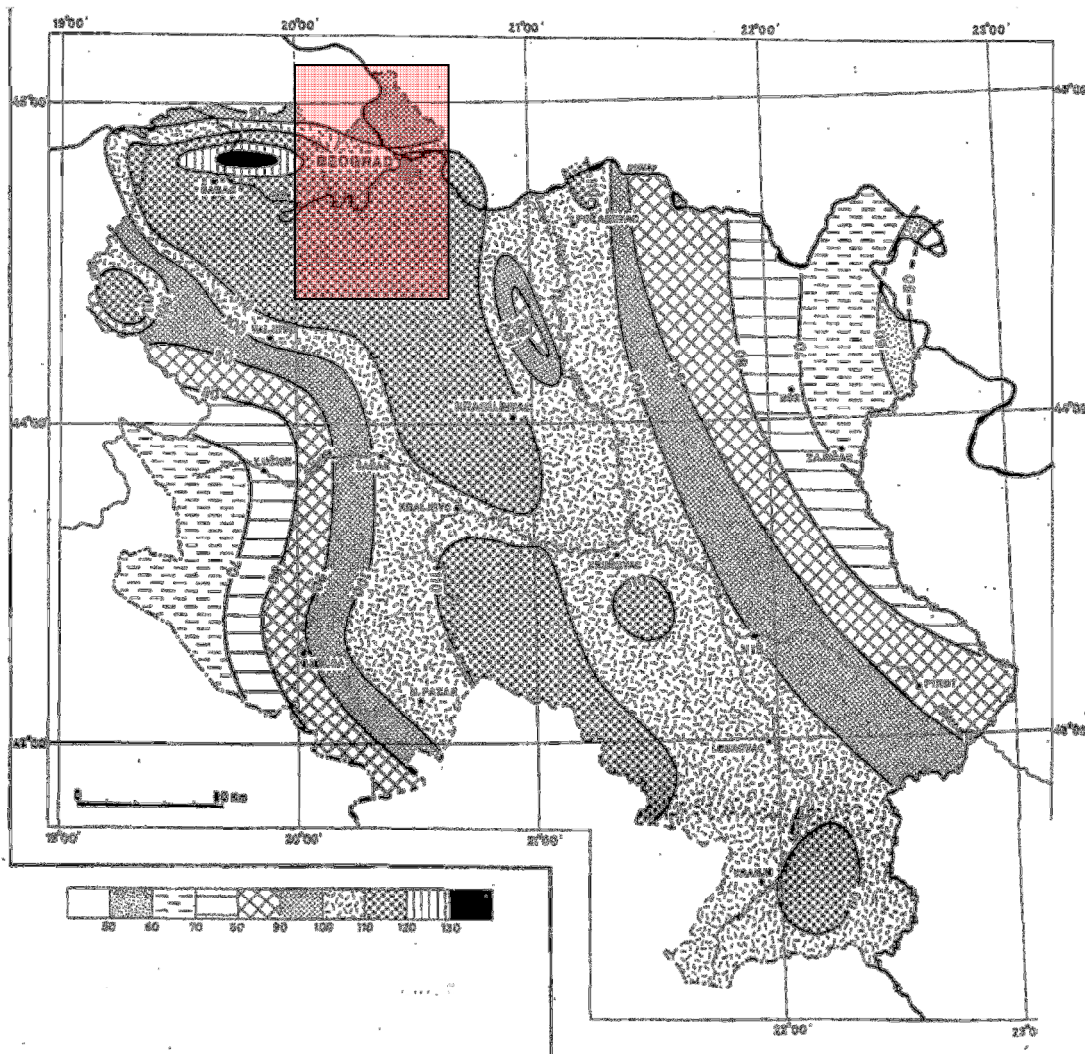
- geotermalnog gradijenta
- toplotne provodljivosti stenskih masa

Geotermalni gradijent je temperaturni gradijent koji nastaje usled toplotnog dejstva zemlje i predstavlja unutrašnju toplotu zemlje (gradijent temperature je vektor čiji se pravac poklapa sa najvećom promenom temperature). Pozitivna vrednost gradijenta temperature predstavlja pravac u kome se vrši porast temperature, što je u slučaju zemlje pravac prema zemljinom jezgru. Geotermiski stepen predstavlja recipročnu vrednost geotermalnog gradijenta. Geotermiski stepen ustvari predstavlja dubinu za koju se temperatura poveća za 1°C. Geotermalni gradijent ne može se univerzalno primeniti na celu planetu Zemlju, odnosno svaka geološka sredina ima svoj određeni geotermalni stepen. Prosečan porast temperature u kontinentalnim delovima Zemlje kreće se oko 30°C po kilometru dubine (°C/km), a najveći je u području okeanskih riftova, gde temperatura raste i preko 100°C/km.

Vrednosti toplotnog toka se određuju na dva načina: indirektno određivanje matematičkim putem na osnovu rezultata merenja temperature u bušotini i merenja toplotne provodljivosti u laboratoriji na uzorcima stena iz druge bušotine ili direktno merenje vrednosti toplotnog toka “in situ”.

Gustina toplotnog toka na teritoriji Srbije

Na slici 235 prikazana je karta gustine toplotnog toka na teritoriji Republike Srbije sa koje se uočavaju povišene vrednosti za celu teritoriju, obzirom da prosečna vrednost za kontinentalni deo Evrope iznosi oko 60 mW/m², (Milivojević, 1989, prema Čemark & Rybach, 1979).



Slika 235. Karta gustine toplotnog toka (mW/m²) (Milivojević, 1989)

Za određivanje toplotnog toka na teritoriji Srbije uglavnom su korišćeni podaci sa bušotina čije dubine prelaze 1000 m. Na teritoriji grada Beograda analizirane su četiri bušotine: bušotina OB-1 u Obrenovcu (605 m), bušotina u Koraćici (1800 m), bušotina u Grockoj (1400 m) i bušotina u Čibukovici (1000 m).

Tabela 115. Vrednosti toplotnog toka na terenu oko i ispod analiziranih bušotina za teritoriju grada Beograda (Milivojević , 1989)

| Redni broj | Lokalnost | Dubina bušotine (m) | Prosečni geotermalni gradijent ($10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/m}$) | Prosečna toplotna provodlj. ($\text{W/m}^\circ\text{K}$) | Prosečni toplotni tok 10^{-2} W/m^2 |
|------------|------------|---------------------|---|--|---|
| 1. | Obrenovac | 605 | 0.042 | 2.66 | 112 |
| 2. | Grocka | 1400 | 0.053 | 2.23 | 118 |
| 3. | Koraćica | 1800 | 0.052 | 2.27 | 118 |
| 4. | Čibukovica | 1000 | 0.044 | 2.65 | 116 |

Sa priložene karte (slika 235) i tabele 115 prosečne vrednosti toplotnog toka za teritoriju grada Beograda se kreću od oko 100 mW/m^2 do 120 mW/m^2 . Iz tabele se vidi da se prosečno povećanje temperature za 1°C dešava na svakih 40-50 metara dubine.

Prema autoru, karta gustine toplotnog toka je preliminarna i obzirom na nedostatak podataka (mali broj bušotina) „vršena je ekstrapolacija rezultata jednim delom, a slobodna procena vrednosti gustine toplotnog toka na osnovu geoloških podataka drugim delom“. Sadašnje stanje na terenu u pogledu rezultata dubokog bušenja, te vrednosti toplotnog toka je nepromenjeno.

Na terenu nije urađena ni jedna bušotina dubine preko 1000 m ili približno. Najdublja bušotina urađena poslednjih godina je bušotina na teritoriji Surčina, u blizini aerodroma „Nikola Tesla“, dubine 520 m, te bunar OB-2 u Obrenovcu (450 m), u blizini postojećeg bunara OB-1 (605 m).

Proračun geotermalnog stepena i registrovane temperaturne anomalije na teritoriji grada Beograda

Na osnovu raspoloživih podataka koji se odnose na temperature podzemnih voda i dubine bušenja, na užoj teritoriji grada izračunat je geotermalni stepen (tabela 116).

Geotermalni gradijent je računat po formuli:

$$\text{gradT} = \frac{\Delta T}{\Delta Z}$$

Tabela 116. Geotermalni stepen centralnih delova terena Beogradskog pobra

pri proračunu geotermalnog stepena usvojeno je da je „neutralni pojas“ (dubina na kojoj prestaje atmosferski uticaj) na dubini od 15 m i temperatura od 12 °C

| Bušotina | Temperatura vode (°C) | Dubina bunara (m) | Kaptirani interval (m) | Geotermalni stepen (m/°C) |
|-----------------------|--|-------------------|------------------------|---------------------------|
| SKADARLIJA | | | | |
| BS-1 | 21.5-21.8 | 60 | 47-55 | 4.44 |
| BS-2 | 20.6-20.8 | 103 | 56-103 | 11.1 |
| BS-2 | 23.6-23.8 | 321 | 64-147 | 12.0 |
| TOPLANA DORČOL | | | | |
| IB | 23 (temperatura merena na ortu bušotine u poremećenim uslovima) | 150 | / | 12.2 |
| SKENDER BEGOVA | | | | |
| BM-1 | 22 (temperatura merena na ortu bušotine u poremećenim uslovima) | 101 | / | 8.6 |
| DOBRAČINA | | | | |
| BD-1 | 20 | 141 | 97-137 | 15.3 |
| TAKOVSKA | | | | |
| IB-1 | 17 | 120 | 63-83 | 13.6 |

U tabeli 117 prikazane su geotermalne karakteristike dela terena oko Zavojničke reke, zatim dela terena oko Vrčina (tabela 118) i dela terena oko Surčina (tabela 119).

Tabela 117. Merene i prognozne vrednosti temperatura i geotermalnog stepena u bušotinama u dolini Zavojničke reke (Milivojević, 1982)

pri proračunu geotermalnog stepena usvojeno je da je „neutralni pojas“ (dubina na kojoj prestaje atmosferski uticaj) na dubini od 14 m i temperatura od 12.8 °C

| Bušotina | IBVL-3 | EBVL-3 | EBVL-1 | PVL-4 | VL-5 | EBVL-2 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Temperatura vode na ustima bušotine pri samoizlivu (°C) | 23.9 | 24.4 | 21.8 | 18.2 | 17.6 | 19.1 |
| Prognozna temperatura u podini neogena (°C) | 25.5 | 26.4 | 23.5 | 20.0 | 19.5 | 21.5 |
| Dubina do podine neogena (serpntinit) (m) | 80 | 100 | 112 | 50 | 55 | 97 |
| Geotermni stepen (m/°C) | 5.2 | 6.3 | 9.1 | 5.0 | 6.1 | 9.6 |

Tabela 118. Geotermalne karakteristike okoline Vrčina (Milivojević, 2004)

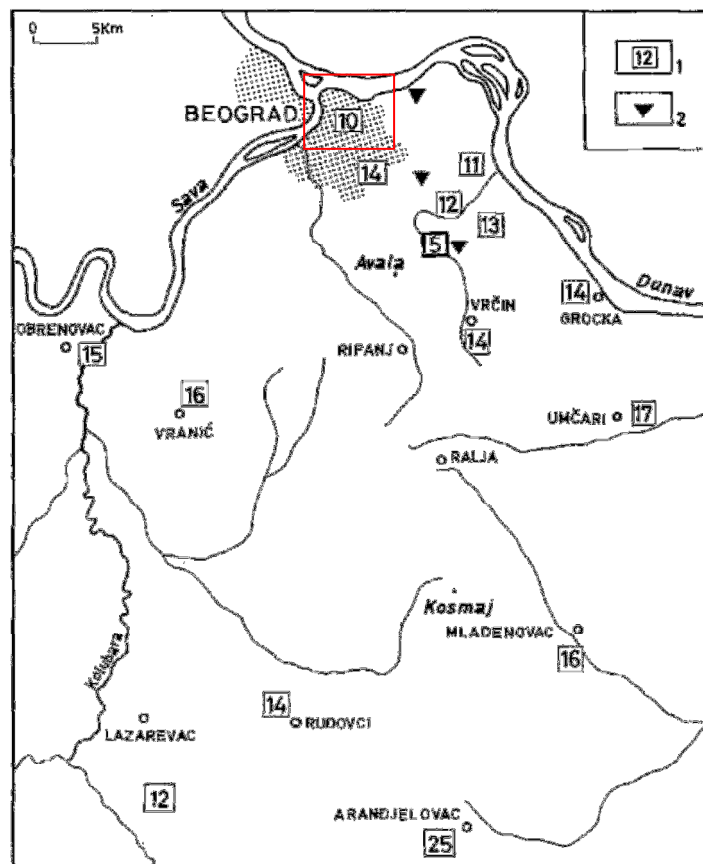
| Bušotina | Temperatura vode (°C) | Interval peskova sa izdanskom vodom (m) | Geotermalni stepen (m/°C) | Toplotna provodljivost (W/m°C) | Gustina geotermalnog toka (mW/m ²) |
|----------|-----------------------|---|---------------------------|--------------------------------|--|
| VRČIN | | | | | |
| RP-1 | 21-22 | 125-147 | 14.7 | 1.8 | 125 |

Tabela 119. Geotermalni stepen okoline Surčina

pri proračunu geotermalnog stepena usvojeno je da je „neutralni pojas“ (dubina na kojoj prestaje atmosferski uticaj) na dubini od 15 m i temperatura od 12 °C

| Bušotina | Temperatura vode (°C) | Dubina bunara (m) | Kaptirani interval (m) | Geotermalni stepen (m/°C) |
|----------|-----------------------|-------------------|------------------------|---------------------------|
| SURČIN | | | | |
| IB-1 | 33.5 | 520 | 280- 450 | 20 |

Na slici 236 prikazana je karta vrednosti geotermalnog stepena za teritoriju grada Beograda. Vrednost geotermalnog stepena u centralnim delovima grada iznosi 10 m/°C, što odgovara sračunatim srednjim vrednostima za istu teritoriju (tabela 116).



Slika 236. Vrednosti geotermalnog stepena na teritoriji grada Beograda (Milivojević, 1982)

Vrednosti geotermalnog stepena na čitavom području grada Beograda povišene su u odnosu na prosečan porast temperature u kontinentalnim delovima Zemlje, a najveće anomalije su registrovane na području Avale.

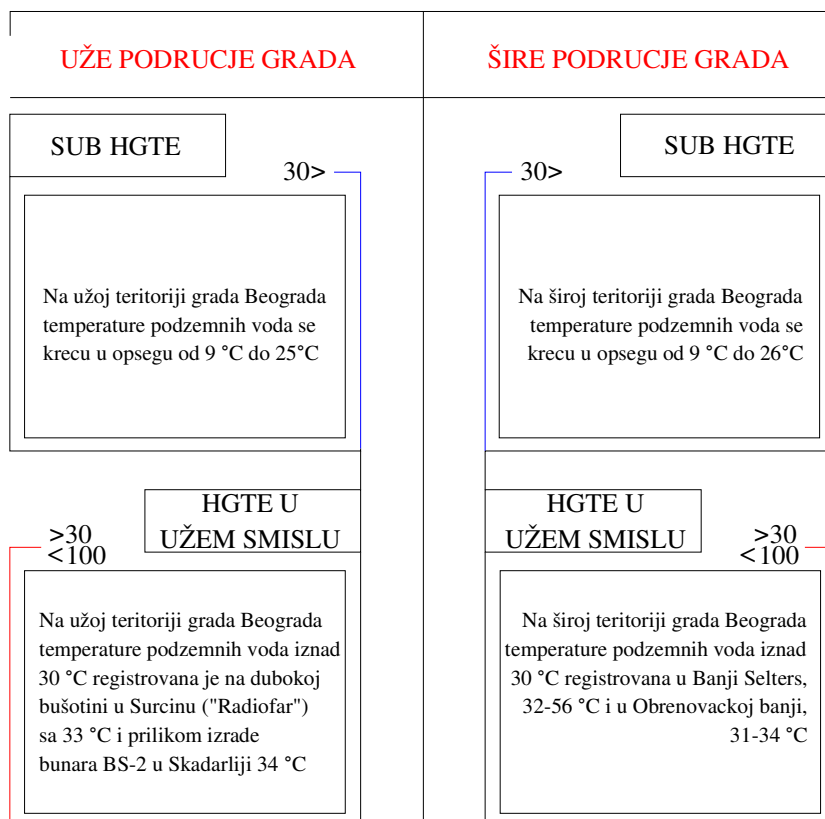
Povišene temperature podzemnih voda u dolini Zavojničke reke odražavaju temperature stenskih masa, a to je zaključeno na osnovu uslova koji vladaju na terenu. Podzemne vode su formirane u zatvorenoj hidrogeološkoj strukturi, u kojoj nije bilo cirkulacije sve do momenta otvaranja izdani izradom istražnih bušotina (Milivojević, 1982).

27. PODELA HIDROGEOTERMALNIH RESURSA NA TERITORIJI GRADA BEOGRADA

Najviša temperatura podzemnih voda na površini terena registrovana je u Banji Selters (Mladenovac) i iznosi 52 °C. Najniže temperature podzemnih voda registrovane su na području Avale (temperature izvora se kreću između 10°C i 14°C) i na području Topčidera i Košutnjaka (temperature izvora se kreću oko 10 °C). Izradom dubokih bušotina na području grada konstatovane su sledeće temperature stena:

- Grocka 1400 m – 80°C
- Čibutkovicica 1000 m – 64°C
- Leštane 800 m – 43 °C

Prema klasifikaciji baziranoj na temperaturi fluida (poglavlje 15), hidrogeotermalni resursi na području grada prikazani su na algoritmu (slika 237).



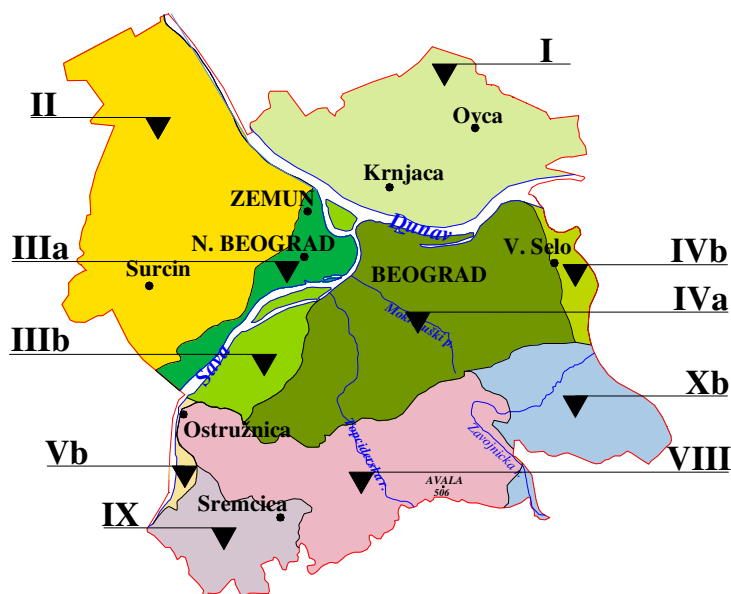
Slika 237. Klasifikacija hidrogeotermalnih resursa na području grada Beograda

U daljem tekstu doktorata koristi se termin "hidrogeotermalni resursi" bez obzira na temperaturu podzemnih voda.

28. OCENA POSTOJEĆIH HIDROGEOTERMALNIH RESURSA NA UŽOJ TERITORIJI GRADA BEOGRADA

Uža teritorija grada Beograda obuhvata sledeće opštine: Zemun, Novi Beograd, delove opštine Surčin, delove opštine Palilula, Stari Grad, Vračar, Savski Venac, Zvezdara, Rakovica, Čukarica, delove opštine Voždovac i delove opštine Grocka. Na slici 238. prikazana je teritorija grada Beograda sa izdvojenom teritorijom GP-a.

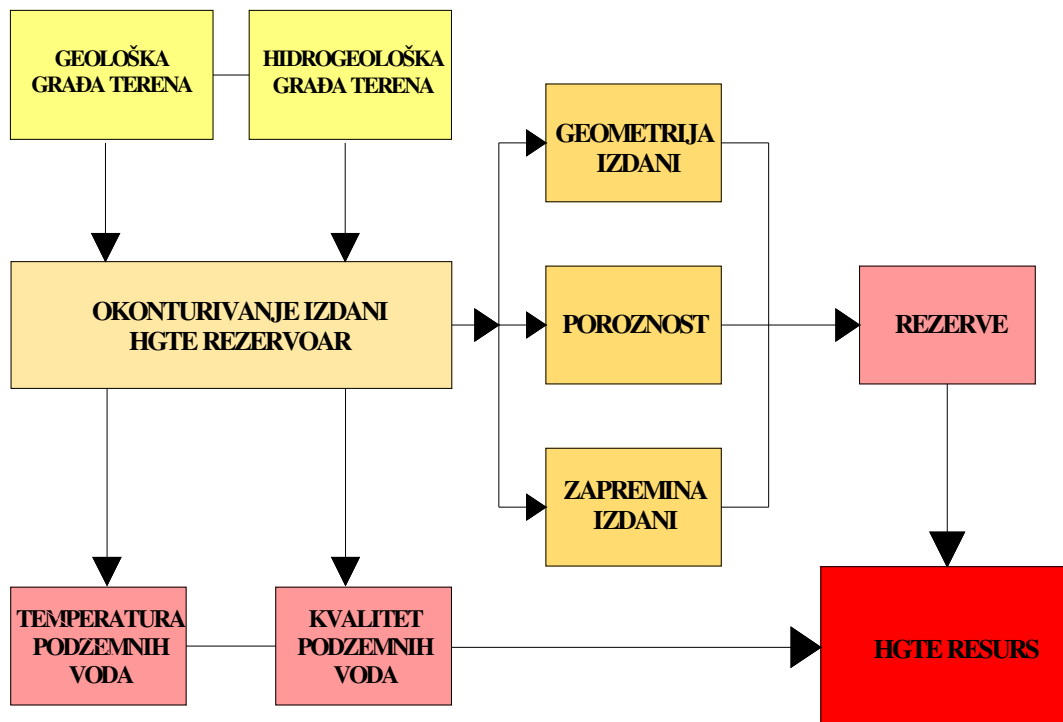
Posmatrano u odnosu na izdvojene hidrogeološke rejone (poglavlje 10 doktorata), teritorija generalnog urbanističkog plana obuhvata: delove hidrogeološkog rejona I (Pančevački rit), delove hidrogeološkog rejona II (Zemunsko-bežanijski lesni plato), hidrogeološki rejoni IIIa i IIIb (Savska aluvijalna ravan), hidrogeološki rejoni IVa i IVb (Centralno gradsko područje), delove hidrogeološkog rejona Vb (Savsko-kolubarska aluvijalna ravan), delove hidrogeološkog rejona VIII (Šumadijska mezozojska greda), delove hidrogeološkog rejona IX (Područje Sremčica-Barajevo), delove hidrogeološkog rejona Xb (Područje Mladenovac-Grocka).



Slika 238. Hidrogeološki rejoni na užem području grada Beograda

Za ocenu postojećih hidrogeotermalnih resursa, upravo je bilo neophodno sagledati geološku i hidrogeološku građu terena, zatim kvantitativne i kvalitativne karakteristike podzemnih voda formiranih u različitim tipovima izdani (poglavlja III i IV doktorata).

Na slici 239 prikazan je algoritam koji objedinjuje ulazne podatke neophodne za ocenu hidrogeotermalnih resursa i prikazuje njihovu međusobnu zavisnost. Osnovne podloge za ocenu hidrogeotermalnih resursa su geološka i hidrogeološka građa terena, te okonturivanje izdani, odnosno definisanje rezervoara hidrogeotermalnih resursa. Nakon okonturivanja izdani pristupa se sagledavanju kvalitativnih i kvantitativnih karakteristika hidrogeotermalnih resursa.

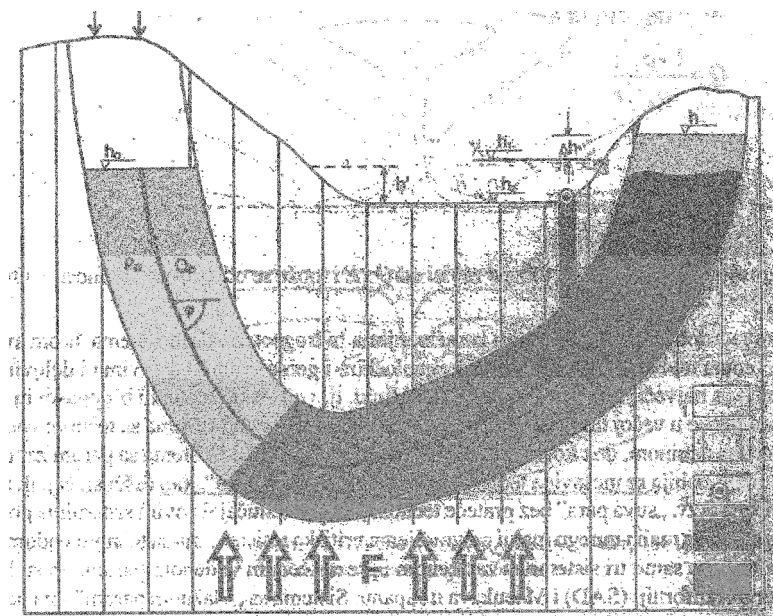


Slika 239. Algoritam ulaznih podataka za ocenu hidrogeotermalnih resursa

28.1. DEFINISANJE VRSTE I BROJA HIDROGEO TermALNIH SISTEMA

Oceni hidrogeotermalnih resursa na užoj teritoriji grada Beograda prethodilo je definisanje vrste i broja hidrogeotermalnih sistema. Pre prikaza definisanih sistema i kriterijuma na osnovu kojih su isti okontureni i predstavljeni u vidu modela, neophodno je terminološki objasniti pojam “hidrogeotermalnog sistema” obzirom da se ovaj pojam sreće u ranijoj geotermalnoj literaturi.

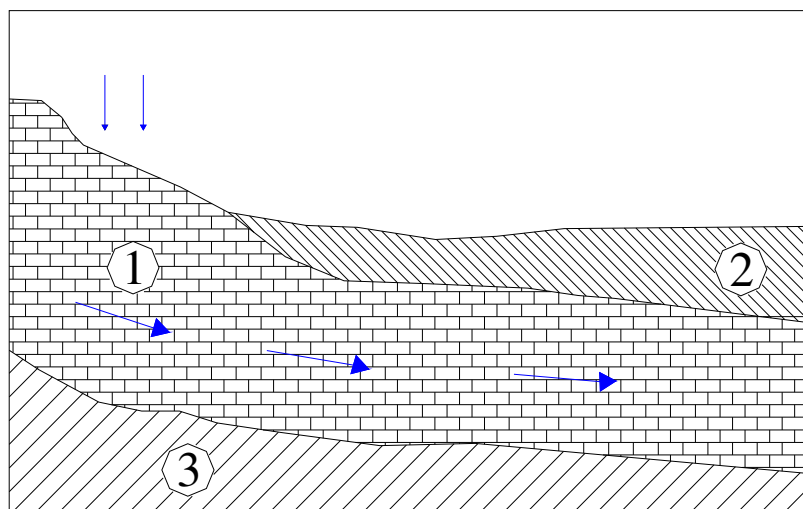
Termin “hidrogeotermalni sistem” definisao je Milivojević 1989. godine u svojoj doktorskoj disertaciji: “hidrogeotermalni sistem predstavlja onaj deo zemljine kore u kome se pored konduktivnog prenosa geotermalne toplote kroz stenske mase sa funkcijom hidrogeoloških izolatora vrši konvektivni prenos (u većoj meri) geotermalne toplote kroz stenske mase sa funkcijom hidrogeoloških kolektora ispunjenih hidrogeotermalnim fluidima, koji se mogu racionalno eksploatisati i koristiti kao energetski izvor komparativan sa drugim, konvencionalnim izvorima energije”. Prema istom autoru hidrogeotermalni sistemi “su u stvari jedna grupa geotermalnih sistema uopšte koji po definiciji predstavljaju deo zemljine kore sa specifičnim geološkim, hidrogeološkim i geotermalnim karakteristikama...” (Milivojević, 2012). Na slici 240 prikazana je šema opšteg hidrogeotermalnog sistema.



Legenda: 1–rezervoar; 2–izolatorske stene; 3–izvor termalne vode; 4–deo rezervoara sa hladnom vodom; 5–deo rezervoara sa toplom vodom

Slika 240. Šema opšteg modela hidrogeotermalnog sistema u kome dominira voda
(Milivojević, 2012)

Prilikom izrade doktorske disertacije autor je preuzeo termin “hidrogeotermalni sistem” i njime označio deo terena u kome je formirana izdan podzemnih voda, posmatrajući i povlatu i podinu izdani, bez obzira na temperaturu podzemnih voda u istoj. Na slici 241 prikazana je šema jednog od hidrogeotermalnih sistema izdvojenih na užoj teritoriji grada.



Legenda: 1–izdan formirana u krečnjacima; 2–povlata izdani; 3–podina izdani

Slika 241. Šematski prikaz hidrogeotermalnog sistema

Komparativan prikaz elemenata hidrogeotermalnog sistema po Milivojeviću i hidrogeotermalnih sistema izdvojenih na užoj teritoriji grada dat je u tabeli 120.

Tabela 120. Komparativan prikaz elemenata hidrogeotermalnih sistema

| BR. | ELEMENTI HIDROGEOTERMALNOG SISTEMA PO M. MILIVOJEVIĆU | | ELEMENTI HIDROGEOTERMALNIH SISTEMA NA UŽOJ TERITORIJI GRADA |
|-----|---|---|--|
| 1. | dovoljno “jak” izvor geotermalne toplote | / | - |
| 2. | rezervoar za akumuliranje geotermalne toplote | ✓ | izdan formirana u različitim stenama |
| 3. | barijera za zadržavanje akumulirane geotermalne toplote | ✓ | podina i povlata izdani |
| 4. | dobar provodnik geotermalne toplote kojim se ona dovodi od “izvora” do rezervoara | / | - |
| 5. | oblast napajanja sistema masom, tj. fluidima-vodom | ✓ | zone prihranjivanja izdani |
| 6. | zona isticanja fluida | / | zone dreniranja izdani |

Hidrogeotermalni sistemi izdvojeni na užoj teritoriji grada imaju manje elemenata koji ih definišu u odnosu na hidrogeotermalni sistem po Milivojeviću. Osnovna razlika proističe iz temperaturnih karakteristika hidrogeotermalnih voda u sistemima. Na teritoriji grada, u posmatranim sistemima temperature podzemnih voda ne prelaze 35°C.

Elementi hidrogeotermalnih sistema izdvojenih na užoj teritoriji grada Beograda su:

- izdan, koja se posmatra kao rezervoar hidrogeotermalnih resursa
- podina izdani
- povlata izdani
- zone prihranjivanja izdani
- zone dreniranja izdani

Klasifikacija hidrogeotermalnih sistema izvršena je prema litostratigrafskim karakteristikama stena u kojima je izdan formirana. Na užoj teritoriji grada Beograda izdvojeni su sledeći sistemi:

1. Hidrogeotermalni sistem u okviru kvartarnih sedimenata

2. Hidrogeotermalni sistem u okviru prekvartarnih sedimenata

2a. Hidrogeotermalni sistem u okviru tercijarnih sedimenata

2b. Hidrogeotermalni sistem u okviru krednih sedimenata

U svakom od sistema izvršena je klasifikacija hidrogeotermalnih resursa. Klasifikacija resursa izvršena je prema tipu izdani, odnosno prema tipu i starosti stena u kojima je izdan formirana (tabela 121).

Tabela 121. Hidrogeotermalni resursi u okviru hidrogeotermalnih sistema na užem području grada

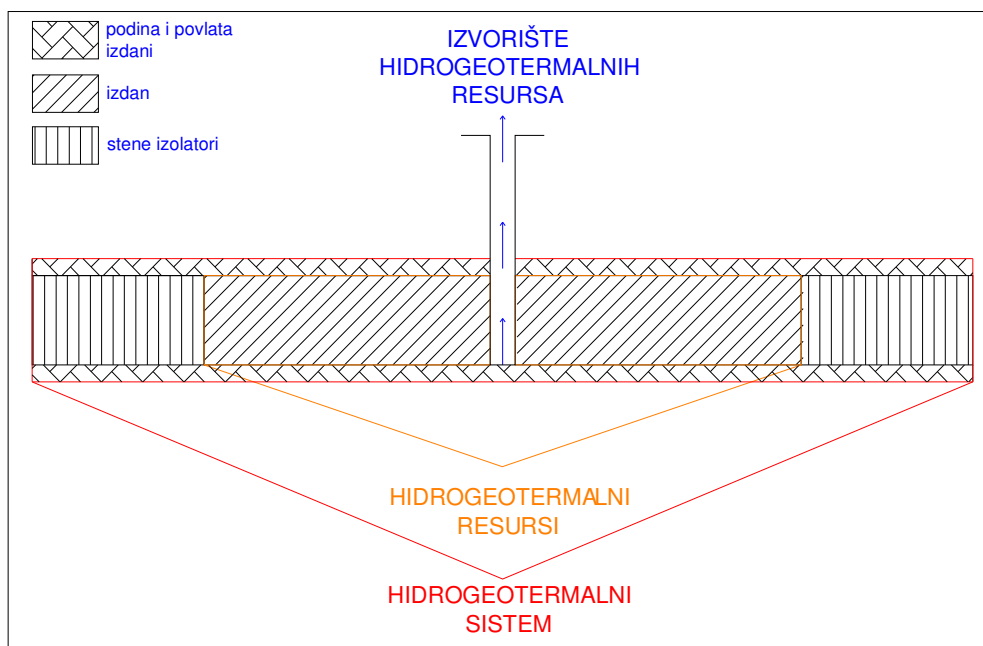
| | | HGT SISTEM | | HGT RESURSI |
|-----------|--|-------------------|----------------------|--|
| 1. | kvartarni sedimenti HGTSQ | | | u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata sa <i>Corbiculom fluminalis</i> |
| | | | | u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata kvartarne starosti |
| 2. | prekvartarni sedimenti HGTST | 2a. | tercijarni sedimenti | u okviru peskova pliocenske starosti |
| | | | | u okviru peskova sarmatsko-panonske starosti |
| | | 2b. | kredni sedimenti | u okviru krečnjaka tortona i sarmata |
| | | | | u okviru krečnjaka urgonske starosti |

Hidrogeotermalni resursi razlikuju se prema: tipu stena u kojima su formirane podzemne vode, starosti stena u kojima su formirane podzemne vode, kvalitetu podzemnih voda, temperaturi podzemnih voda.

U okviru hidrogeotermalnih sistema nalaze se izvorišta hidrogeotermalnih resursa.

Izvorište označava mesto na površini terena gde se odvija eksploatacija podzemnih voda i to je zapravo tačkasti objekat koji ima svoje koordinate. Prema Milivojeviću (2012) “izvorište geotermalne toplote predstavlja deo geotermalnog sistema sa Zemljinom površi gde je kaptirana geotermalna toplota i gde se vrši njena eksploatacija”. Ukoliko se eksploatacija hidrogeotermalnih resursa odvija preko bunara koncentrisanih na jednoj lokaciji, a njihov broj je veći od tri, taj deo terena označava se kao eksploataciono polje hidrogeotermalnih resursa.

Na slici 242 prikazani su odnosi HGT sistem–resurs–izvorište.



Slika 242. Šematski prikaz odnosa hidrogeotermalni sistem–hidrogeotermalni resursi–izvorište hidrogeotermalnih resursa

28.1.1. Hidrogeotermalni sistem u okviru kvartarnih sedimenata–HGTSQ

Hidrogeotermalni sistem u okviru kvartarnih sedimenata prostire se na:

teritoriji hidrogeološkog rejlona I (Pančevački rit),
teritoriji hidrogeološkog rejlona II (Zemunsko-bežanijski lesni plato),
teritoriji hidrogeološkog rejlona III (Savska aluvijalna ravan).

Pomenuti hidrogeotermalni sistem obuhvata:

- hidrogeotermalne resurse u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata
- hidrogeotermalne resurse u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata sa *Corbicula fluminalis*

Izdvajanje peskovito-šljunkovitih slojeva sa *Corbicula fluminalis* u okviru kvartarnih sedimenata opravdava se specifičnostima ovih slojeva u odnosu na ostale vodonosne slojeve kvartara. U cilju jasnog definisanja hidrogeotermalnih resursa, detaljno su razmatrani slojevi sa *Corbicula fluminalis*, počevši od njihovog naziva, starosti, uslova nastanka i karakteristika po kojima su ovi slojevi poznati u hidrogeološkoj literaturi.

“Slojevi sa *Corbicula fluminalis*” su peskovito-šljunkoviti slojevi koji nose naziv po fosilu školjke, pratiocu ovih sedimenata. Sinonim za “slojeve sa *Corbicula fluminalis*” jeste “Makiški slojevi”, koji nose naziv po stratotipskom profilu za sedimente pleistocenske starosti na Makišu. Dakle, slojevi u kojima je konstatovana *Corbicula fluminalis* stvarani su tokom starijeg kvartara u epohi pleistocena.

Međusobna smena tvorevina korita, povodnja, starača i mrtvaja upućuje na rečni karakter sedimenata (Nenadić D., Bogićević K., 2010), što potvrđuje i rečno poreklo faune *Corbicula fluminalis*. Uslovi sedimentacije diktiraju sastav klastičnih sedimenta i njihov položaj. Za rečne uslove sedimentacije karakteristično je prisustvo sedimenata većeg prečnika zrna i kosa slojevitost, te su i filtracione karakteristike predisponirane uslovima sedimentacije.

Na osnovu prisustva fosila faune *Corbicule fluminalis* moguće je ustanoviti: starost sedimenata i uslove sedimentacije, a iz toga slede i hidrogeološke karakteristike terena sa aspekta uslova formiranja podzemnih voda.

“Makiški slojevi imaju veliki privredni značaj, jer su za njih vezani kolektori podzemnih voda koji se koriste za vodosnabdevanje grada Beograda”(Nenadić, Bogićević, 2010). Ova konstatacija upućuje na veoma povoljne hidrogeološke uslove sa aspekta formiranja značajnih rezervi podzemnih voda, a samim tim i značajnih količina obnovljivih hidrogeotermalnih resursa.

Rasprostranjenje slojeva sa *Corbicula fluminalis* na užoj teritoriji grada konstatovano je na sledećim delovima terena:

1. Makiško polje
2. Ada Ciganlija
3. Bežanijsko polje
4. Veliko Ratno Ostrvo
5. Pančevčki rit
6. Ostružnica–Bežanijska Kosa–Centralni delovi Novog Beograda–Zemun

1. Makiško polje

“Po Simiću i Gačiću paleontološka ispitivanja pokazala su da je determinisana fauna rečno-jezerskog tipa i predstavlja najdonje slojeve kvartara. Prema spomenutim paleontološkim istraživanjima, može se zaključiti da se šljunkovito-peskoviti slojevi sa *Corbicula fluminalis* nalaze na celom prostoru Makiške izdani, izuzev u delu neposredno pri jugoistočnom obodu Makiša. Šljunkovito-peskoviti slojevi sa *Corbicula fluminalis* prostiru se i ispod korita reke save, prema Adi Ciganliji i Bežaniji, jer su isti bušenjem na ovom terenu konstatovani” (Živković, 1969).

- Debljina korisnog vodonosnog sloja ≈ 17 m
- Prečnik zrna ≈ 4 mm
- Koeficijent filtracije $\approx 1 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-6}$ m/s

2. Ada Ciganlija

“Prema paleontološkim ispitivanjima može se zaključiti da se šljunkovito-peskoviti sedimenti sa *Corbicula fluminalis*, nalaze ne samo na Makišu već i na celom području Ade Ciganlije i dalje ispod korita reke Save prema Bežaniji” (Živković, 1972).

- Debljina vodonosnog sloja $\approx 15-35$ m
- Prečnik zrna ≈ 4.5 mm
- Koeficijent filtracije $\approx 1 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-4}$ m/s

3. Bežanijsko polje

“Na celom terenu Bežanijskog polja nataloženi su šljunkovi, šljunkoviti peskovi i peskovi, koji se u hidrogeološkom pogledu mogu smatrati kao izraziti kolektori i oni predstavljaju glavni hidrogeološki kolektor na ovom delu posavske izdani” (Živković, 1974).

- Debljina vodonosnog sloja $\approx 5-25$ m
- Koeficijent filtracije $\approx 5 \times 10^{-4}$ m/s

4. Veliko Ratno ostrvo

“Preko tercijarnih glina nataloženi su šljunkovito-peskoviti sedimenti...Nalaskom faune *Corbicula fluminalis* u ovim sedimentima utvrđeno je da oni pripadaju starijem kvartaru pleistocenu” (Živković, i dr., 1980).

- Debljina vodonosnog sloja $\approx 15-22$ m
- Prečnik zrna ≈ 3.3 mm - 6.80 mm
- Koeficijent filtracije $\approx 1 \times 10^{-4}$ m/s - 3×10^{-3} m/s

5. Pančevački rit

“Kvartarne naslage izgrađuju celu površinu Pančevačkog rita. Najstariji kvartarni sedimenti dokazani faunistički su slojevi peskovito-šljunkoviti sa *Corbicula fluminalis*. U okviru peskovito-šljunkovitih naslaga kvartara formirana je jedinstvena izdan koja ima kontinualno rasprostranjenje na čitavom prostoru Pančevačkog rita” (Grupa autora, 1984)

- Debljina vodonosnog sloja ≈ 14 m
- Prečnik zrna ≈ 2 mm - 10 mm
- Koeficijent filtracije $\approx 2 \times 10^{-4}$ m/s - 8×10^{-4} m/s

6. Ostružnica–Bežanijska Kosa–Centralni delovi Novog Beograda–Zemun

“Novijim istraživanjima (Knežević i dr., 1998) makiški slojevi otkriveni su u bušotinama u koritu Save kod Ostružnice prilikom izgradnje mosta zaobilaznice autoputa Dobanovci–Bubanj Potok. Uzvodno od Ostružnice, sa desne strane obale Save između Ostružnice i Umke, kvartarni sedimenti izgrađuju jednu manju ravan poznatu pod nazivom “Mali Makiš”.

Na području Zemuna (u bušotini ZK-1) makiški slojevi se nalaze u dubinskom intervalu od 6.5 m do 49.1 m. U bušotini ZK-14, takođe na području Zemuna, policiklične rečne pleistocenske tvorevine konstatovane su u dubinskom intervalu od 38.0 m do 68.5 m, ispod lesnih i barsko-rečnih naslaga. Kod Bežanijskog groblja (bušotina ZK-26) ove naslage su otkrivene takođe u podini barskorečnih sedimenata na dubini od 38.4 m do 63 m. Makiški slojevi su konstatovani i na području Novog Beograda (bušotina ZK-11) kod zgrade starog “Merkatora”, a debljina im se kreće u intervalu od 15.0 m do 30.0 m” (Nenadić, Bogićević, 2010).

U prethodnom tekstu iznete su konstatacije koje ukazuju na dokazano rasprostranjenje šljunkovito-peskovitih sedimenata sa *Cornicula fluminalis*, poznatih i pod nazivom Makiški slojevi, na užoj teritoriji grada Beograda. Pored toga, prikazane su i neke od karakteristika hidrogeoloških parametara sredine, koje ukazuju na veoma povoljne uslove formiranja i akumuliranja značajnih rezervi hidrogeotermalnih resursa.

Ako se posmatra celokupna teritorija na kome je konstatovano rasprostranjenje makiških slojeva i ako se posmatraju srednje vrednosti izdašnosti bunara koji kaptiraju posmatrane slojeve, uočavaju se izvesne razlike pre svega u pogledu izdašnosti. A to dalje upućuje na zaključak da na rezerve podzemnih voda u okviru makiških slojeva utiču između ostalog dva faktora:

- Položaj slojeva sa *Corbicula fluminalis* u okviru kvartarne serije
- Uslovi prihranjivanja

Položaj slojeva sa *Corbicula fluminalis* u okviru kvartarne serije

Najizraženije razlike u pogledu položaja šljunkovito-peskovitih slojeva u okviru kvartarne serije sedimenata su u priobalnim delovima reka i na delu Bežanijske Kose i Zemuna. Na Bežanijskoj Kosi i Zemunu Makiški slojevi su konstatovani bušenjem ispod debelih naslaga (oko 40 m) lesa i drugih barsko-rečnih naslaga. Dok je, na ostalim delovima terena povlata predstavljena uglavnom peskovitim glinama, barskim glinama, prašinstim peskovima aluvijalnog porekla. Prosečna debljina povlatnog pokrivača, posmatrajući priobalje Save i Pančevački rit kreće se oko 10 m. Raličite dubine zaleganja Makiških slojeva objašnjavaju se izraženim fluvijalnim procesima, odnosno spiranjem mlađih holocenskih sedimenata u priobalnim delovima terena, te različitim geomorfološkim uslovima koji su vladali tokom formiranja lesnog pokrivača.

Uslovi prihranjivanja

Makiški slojevi prema hidrogeološkim parametrima sredine predstavljaju sredinu veoma povoljnu za akumuliranje značajnih količina podzemnih voda. Međutim, faktori koji utiču na formiranje značajnih količina podzemnih voda jesu izvori prihranjivanja. Ako se pogleda situacija na terenu, uočava se da je primarni vid prihranjivanja makiških slojeva infiltracija rečnih voda. Na onim delovima terena (Zemun, Bežanijska Kosa) gde nije ostvarena hidraulička veza sa rekam, te se izdan hrani jedino infiltracijom atmosferskih padavina, slojevi su manje izdašni.

U cilju ocene hidrogeotermalnih resursa formiranih u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata sa *Corbiculom fluminalis* sagledani su sledeći delovi terena: Makiško polje, Ada Ciganlija, Bežanijsko polje sa priobalnim delovima Save do Ušća, Veliko Ratno Ostrvo, Pančevčki rit.

28.1.1.1. Okonturivanje hidrogeotermalnog sistema HGTSQ

Hidrogeotermalni sistem u okviru kvartarnih sedimenata nosi oznaku HGTSQ. U okviru svojih granica obuhvata hidrogeotermalne resurse formirane u zbijenom tipu izdani, i to u okviru peskova i šljunkova sa *Corbicula Fluminalis* i u okviru ostalih peskova kvartarne starosti. U tabeli 122. prikazani su osnovni podaci o hidrogeotermalnom sistemu HGTSQ.

Tabela 122. Osnovni podaci o hidrogeotermalnom sistemu HGTSQ

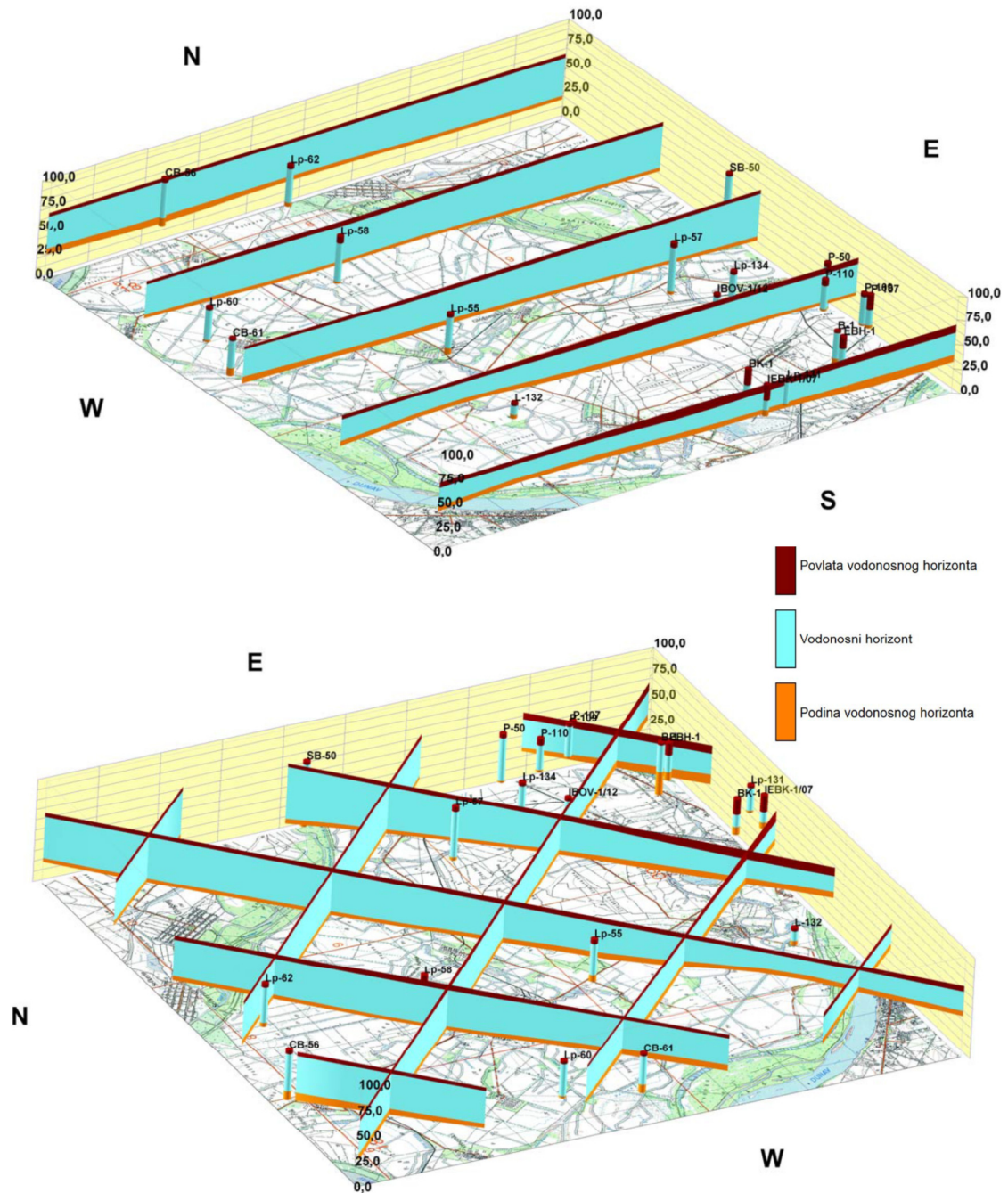
| HIDROGEOTERMALNI SISTEM U OKVIRU KVARTARNIH SEDIMENATA | | |
|--|---|--|
| HGTSQ | HGTE RESURSI U OKVIRU ŠLJUNKOVA I PESKOVA SA CORBICULA FLUMINALIS | HGTE RESURSI U OKVIRU PESKOVA KVARTARNE STAROSTI |
| | 1. | 2. |
| OZNAKA | A ₁ | A ₂ |
| POVRŠINA | ≈200 km ² | ≈200 km ² |
| POVLATA | Peskovita glina | Peskovita glina, les |
| PODINA | Glina | Glina |
| ZONE PRIHRANJIVANJA | Poznate | Poznate |
| ZONE PRAŽNENJA | Poznate | Poznate |

Okonturivanje sistema podrazumeva definisanje maksimalnog rasprostranjenja peskova i šljunkova kvartara, odnosno sagledavanje geometrije zbijenog tipa izdani. Na osnovu podataka prikazanih u poglavlju IV doktorata izvršeno je okonturivanje sistema. Podaci korišćeni prilikom okonturivanja sistema i definisanja rasprostranjenja zbijenog tipa izdani su:

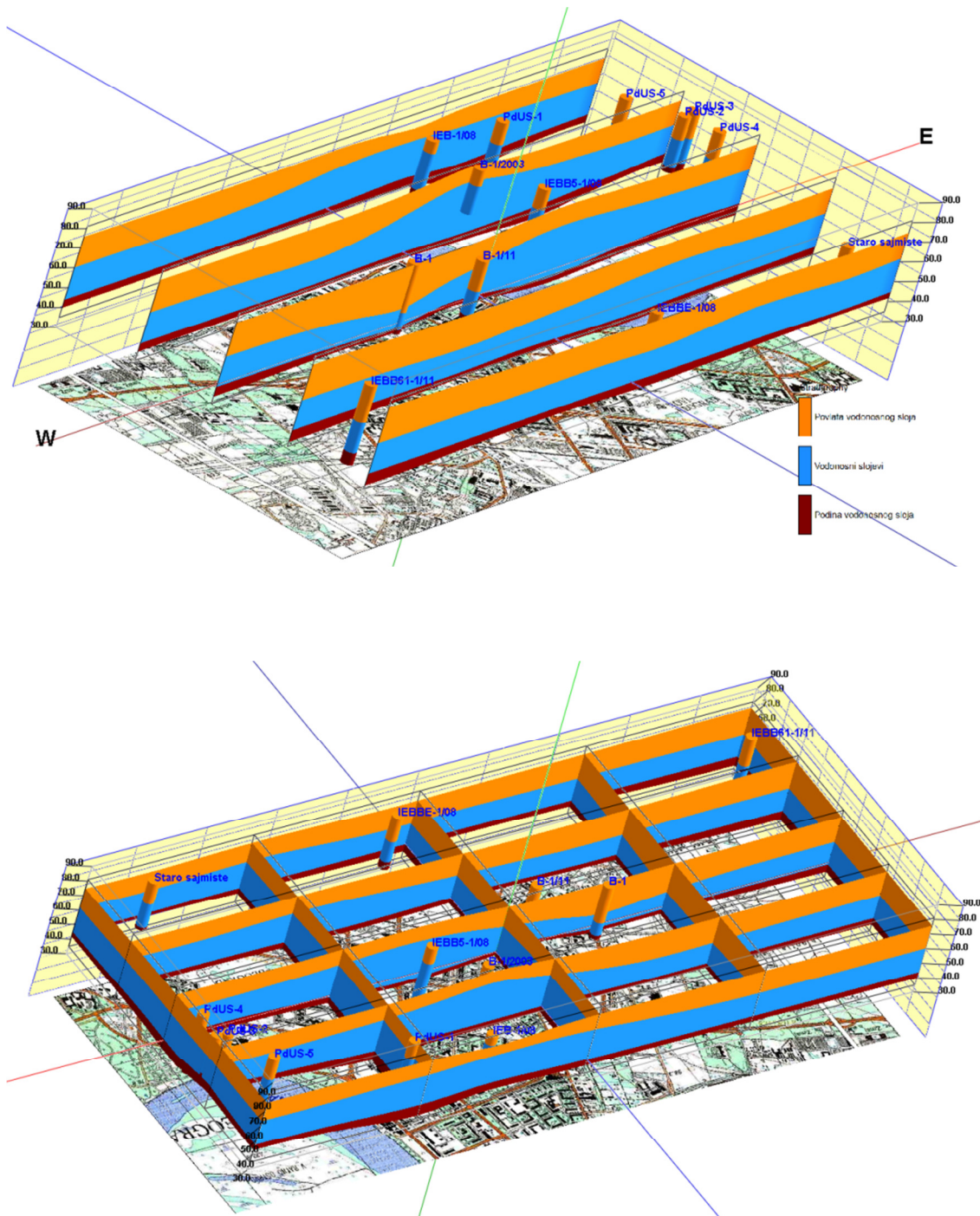
- prostorni položaj bunara i bušotina
- litostratigrafske karakteristike terena
- dubina do podine i povlate izdani (debljina izdani)

Na osnovu podataka dobijenih bušenjem, deo teritorije Pančevačkog rita i Novog Beograda interpretiran je kroz izradu kulisnog i sačastog blok dijagrama (slike 243 i 244). Ovakav prikaz rasprostranjenja i geometrije zbijenog tipa izdani je bio osnova za izradu karte maksimalnog rasprostranjenja kvartarnih sedimenata sa *Corbisula fluminalis* (A₁), odnosno peskova kvartarne starosti (A₂) u kojima su formirani hidrogeotermalni resursi (slika 245).

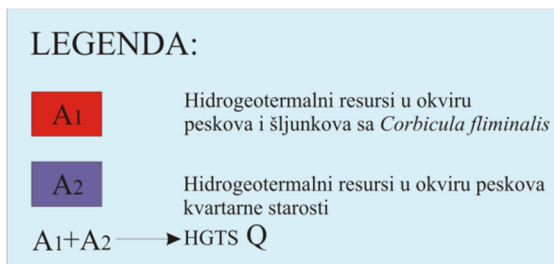
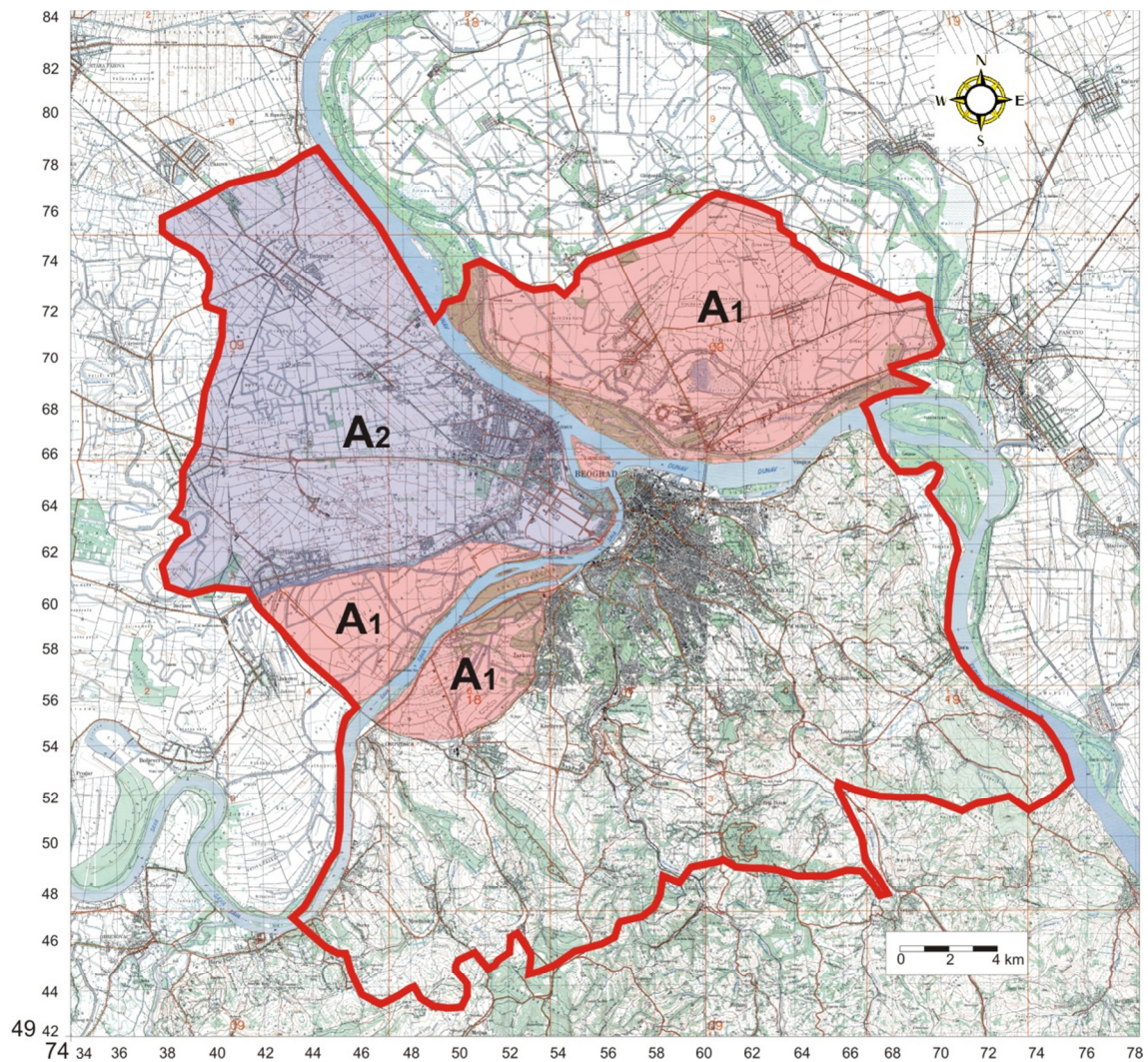
Za potrebe izrade kulisnog i sačastog blok-dijagrama korišćen je softverski paket RockWorks15.



Slika 243. Kulisni i sačasti blok dijagram Pančevačkog rita



Slika 244. Kulisni i sačasti blok dijagram dela područja Novog Beograda



Slika 245. Maksimalno rasprostranjenje hidrogeotermalnog sistema HGTSQ u okviru GP-a sa prikazom rasprostranjenja hidrogeotermalnih resursa-A₁ i hidrogeotermalnih resursa A₂

28.1.1.2. Temperaturni režim hidrogeotermalnog sistema HGTS_Q

Temperaturni režim hidrogeotermalnih resursa A₁–Pančevački rit

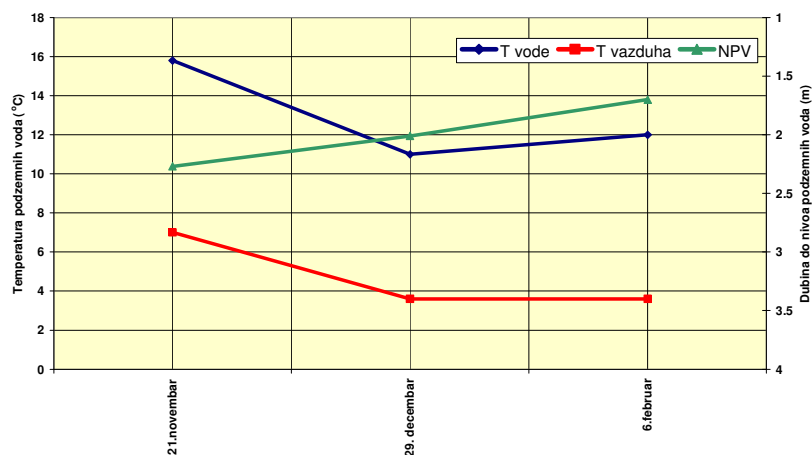
Temperaturni režim hidrogeotermalnih resursa A₁, na delu teritorije Pančevačkog rita sagledan je na osnovu režimskih osmatranja (tabela 123), te na osnovu vrednosti temperature podzemnih voda dobijenih po izradi istražno-eksploatacionih bunara (tabela 124). Režimska osmatranja vršena su u periodu od novembra 2005. godine do februara 2006. godine., a obuhvatala su osmatranje temperature i nivoa podzemnih voda.

Tabela 123. Temperature podzemnih voda formiranih u peskovito-šljunkovitim sedimentima sa *Corbicula fluminalis* delu teritorije Pančevačkog rita

| Naziv | Lokacija | Dubina do NPV (m) | T (°C) |
|---|------------------------|-------------------|--------|
| Režimska osmatranja temperature i nivoa podzemnih voda | | | |
| 21.11.2005., T _{vaz.} = 7°C | | | |
| Borča | Borča | 3.48 | 15.5 |
| Kotez | Kotež | 2.27 | 15.8* |
| PK-1 BK-1 | Krnjača-fabrika sokova | - | 14.5 |
| 29.12.2005., T _{vaz.} = 13°C | | | |
| Borča | Borča | 3.02 | 11.3 |
| Kotež | Kotež | 2.01 | 11.0** |
| PK-1 BK-1 | Krnjača-fabrika sokova | - | 14.2 |
| 06.02.2006., T _{vaz.} = 3.6°C | | | |
| Borča | Borča | 3.10 | 13.0 |
| Kotež | Kotež | 1.70 | 12.0 |
| PK-1 BK-1 | Krnjača-fabrika sokova | - | 12.8 |

* najviša izmerena temperatura podzemnih voda

** najniža izmerena temperatura podzemnih voda



Slika 246. Dijagram promene temperature podzemnih voda i dubine do nivoa podzemnih voda u piježometru u Kotežu

Tabela 124. Temperature podzemnih voda formiranih u peskovito-šljunkovitim sedimentima sa *Corbicula fluminalis* delu teritorije Pančevačkog rita merenih nakom 2006. godine

| Bunar | Lokacija | NPV (m) | T (°C) | Komentar |
|------------|----------|---------|--------|--|
| IEBK-1/07 | Krnjača | 15.80 | 15.00 | test crpenja rađen u avgustu mesecu, pri temperaturi vazduha od 30 °C |
| IEBK-3/07 | Krnjača | 5.70 | 14.50 | test crpenja rađen u avgustu mesecu, pri temperaturi vazduha od 25 °C |
| IEBOV-1/12 | Ovča | 3.00 | 13.10 | test crpenja rađen u februaru mesecu, pri temperaturi vazduha od -5 °C |

Srednja vrednost temperature hidrogeotermalnih resursa formiranih u peskovito- šljunkovitim sedimentima sa *Corbicula fluminalis* delu teritorije Pančevačkog rita iznosi $A_1 \approx 13.5$ °C

Temperaturni režim hidrogeotermalnih resursa A_1 –Savska aluvijalna ravan (Makiško-ostružnički podrejon)

Osmatranja temperature podzemnih voda na području Makiškog polja, na sedam odabranih pijezometara trajala su od novembra 2005. godine do februara 2006. godine (tabela 125).

Tabela 125. Rezultati merenja temperature i dubine do nivoa podzemnih voda na području Makiša novembar 2005.–februar 2006. godine

| Naziv | Lokacija | Dubina do NPV (m) | T (°C) |
|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------|--------|
| 21.11.2005. $T_{vaz}=3^{\circ}C$ | | | |
| P-68 | Levo od puta ka Obrenovcu | 3.32 | 14.0 |
| P-67 | Desno od puta ka Obrenovcu | 2.02 | 15.8 |
| P-66* | Desno od puta ka Obrenovcu | 2.12 | 16.0 |
| P-63*** | Desna obala Save-plovni put Bg | 12.03 | 17.4 |
| P-Ut-5m/3 | Desna obala Save | 4.80 | 15.0 |
| PM-1 | Desna obala Save-FV Makiš | 7.22 | 13.1 |
| P-2 | Desna obala Save-FV Makiš | 8.69 | 12.5 |
| 29.11.2005. $T_{vaz}=10,5^{\circ}C$ | | | |
| P-68 | Levo od puta ka Obrenovcu | 3.38 | 14.6 |
| P-67 | Desno od puta ka Obrenovcu | 2.18 | 15.2 |

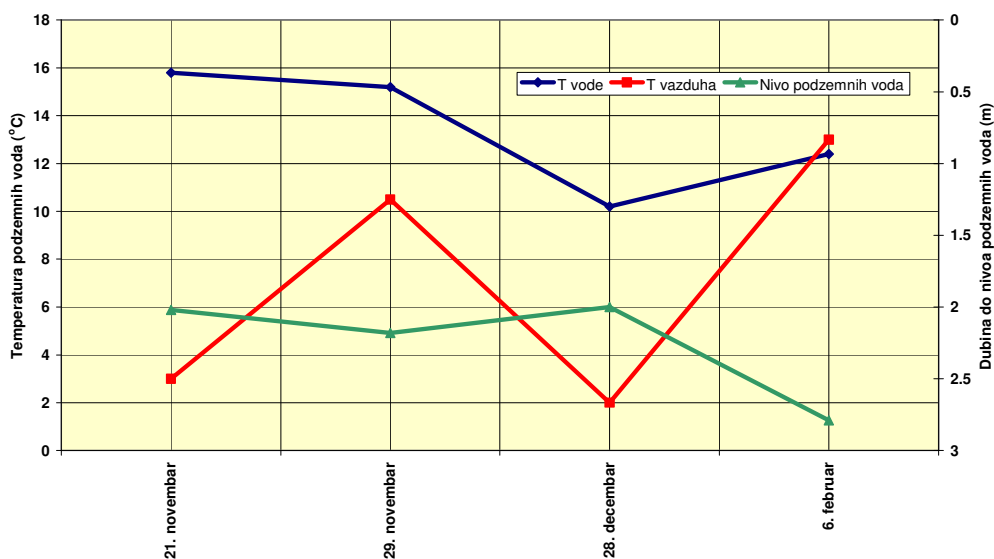
... nastavak tabele

| | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|-------|--------------------|
| P-63 ^{***} | Desna obala Save-plovni put Bg | 11.90 | 17.7 |
| P-Ut-5m/3 | Desna obala Save | 4.90 | 15.0 |
| PM-1 | Desna obala Save-FV Makiš | 7.27 | 13.5 |
| 2 | Desna obala Save-FV Makiš | 8.92 | 13.2 |
| 28.12.2005. $T_{vaz}=10,2^{\circ}C$ | | | |
| P-67 | Desno od puta ka Obrenovcu | 2 | 10.2 ^{**} |
| P-63 | Desna obala Save-plovni put Bg | 13.11 | 17.0 |
| PM-1 | Desna obala Save-FV Makiš | 7.62 | 12.6 |
| P-2 | Desna obala Save-FV Makiš | 9.28 | 12.8 |
| 6.02.2006. $T_{vaz}=13^{\circ}C$ | | | |
| P-67 | Desno od puta ka Obrenovcu | 2.79 | 12.4 |
| P-63 ^{***} | Desna obala Save-Plovni put Bg | 2.89 | 17.8 |
| P-Ut-5m/3 | Desna obala Save | 11.58 | 14.6 |
| PM-1 | Desna obala Save-FK Makiš | 7.44 | 13.0 |
| P-2 | Desna obala Save-FK Makiš | 16.36 | 13.5 |

* najviša izmerena temperatura podzemnih voda

** najniža izmerena temperatura podzemnih voda

*** visoke temperature podzemnih voda na delu terena oko pijeometra P-63 verovatno su posledica pucanja toplovodne cevi ili nekog akcidenta, te nisu korišćene u proračunu srednjih vrednosti temperatura podzemnih voda za ovaj deo terena.



Slika 247. Dijagram promene temperature podzemnih voda i dubine do nivoa podzemnih voda u pijeometru P-67 na Makiškom polju

Srednja vrednost temperature hidrogeotermalnih resursa formiranih u peskovito- šljunkovitim sedimentima sa *Corbicula fluminalis* delu teritorije Makiškog polja $A_1 \approx 13.5^{\circ}C$

**Srednja vrednost temperature hidrogeotermalnih resursa u formiranih
u peskovito- šljunkovitim sedimentima sa *Corbicula fluminalis***

$A_1 \approx 13.5^\circ\text{C}$

Temperaturni režim hidrogeotermalnih resursa A_2 –Savska aluvijalna ravan
(Novobeogradski podrejon) i Zemunsko-bežanijski lesni plato

Temperaturni režim hidrogeotermalnih resursa A_2 sagledan je na području Novog Beograda i Zemuna. Na pomenutoj teritoriji vršena su režimska osmatranja od avgusta 2005. godine do marta 2006. godine. U tabeli 126. prikazane su osmatrane vrednosti nivoa i temperatura podzemnih voda na reprezentativnim objektima na delu područja Novog Beograda.

Tabela 126. Temperature podzemnih voda formiranih u peskovima kvartarne starosti na delu područja Novog Beograda u periodu avgust 2005.-februar 2006. godine

| Datum | 17/18.8.2005. | 07.9.2005. | 23.9.2005. | 30.10.2005. | 16.11.2005. | 29.11.2005. | 28.12.2005. | 29.1.2006. | 15.02.2006. |
|-----------|---------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| Oznaka | NPV / T (°C) | | | | | | | | |
| 55-5 | 6.40 /15.0 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| P-9 | 5.22/15.7 | n.m. | 5.20/15.3 | 6.05/14.8 | 6.31/14.9 | 6.28/15.9 | 5.30/15.5 | n.m. | 5.72/14.5 |
| P-6 | 5.36/16.4 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| P-8 | 5.35/15.4 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| P-10 | 5.39/17.4 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| PS-54-15 | 5.49/15.2 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| PS-54 | 5.85/15.1 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| P-47 | 5.60/14.7 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| PS 54-4 | 5.67/14.8 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| PdUS1 | 9.43/14.7 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| PdUS 5 | 13.96/15.2 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| PdUs 4 | 14.88/16.6 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| PdUs 3 | 15.52/15.6 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| PpUS 16 | 10.63/15.6 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| PdUS 16 | 13.98/15.6 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| Dejton-2 | 8.39/17.7 | 8.56/17.1 | n.m. | 8.90/16.5 | 8.90/16.7 | 9.18/16.6 | 8.56/17.2 | 8.60/16.2 | n.m. |
| Dejton-1 | 8.44/17.3 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| P-ut-5m/6 | 5.11/16.8 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| P-ut-16/4 | 3.62/15.0 | n.m. | 3.53/15.8 | 4.69/14.3 | 4.61/14.6 | 4.62/14.6 | 2.84/13.4 | 2.60/12.0 | 3.30/11.3** |
| Ps-38 | 5.71/14.8 | n.m. | n.m. | n.m. | 7.13/16.8 | 7.35/17.1 | 6.20/ - | n.m. | 6.29/ - |
| P-II-1 | 5.83/14.6 | n.m. | 8.23/14.9 | 9.44/14.0 | 9.60/14.1 | 9.83/14.7 | 8.53/ - | n.m. | 8.69/13.8 |
| P-II-2 | 7.78/13.6 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| P-II-3 | 8.74/14.0 | n.m. | 9.84/15.0 | 10.74/14.9 | 11.04/14.8 | 11.53/15.0 | n.m. | n.m. | 11.02/15.6 |
| Ps-26 | 8.72/13.7 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| P-II-4 | 8.41/13.1 | n.m. | 10.79/13.6 | 10.94/12.8 | 11.71/12.7 | 12.92/13.4 | n.m. | n.m. | 11.98/12.6 |
| Ps-18 | 6.38/13.7 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |

... nastavak tabele

| Datum | 17/18.8.2005. | 07.9.2005. | 23.9.2005. | 30.10.2005. | 16.11.2005. | 29.11.2005. | 28.12.2005. | 29.1.2006. | 15.02.2006. |
|-------------------------------------|---------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| Oznaka | NPV / T (°C) | | | | | | | | |
| P-II-5 | 6.78/13.6 | n.m. | 11.18/15.2 | 9.98/13.0 | 10.73/12.3 | 10.98/12.3 | 8.30/13.9 | n.m. | 11.45/12.6 |
| P-II-6 | 7.23/13.3 | 7.07/14.3 | n.m. | n.m. | 10.12/15.8 | 10.77/17.3 | 5.31/16.3 | n.m. | 10.44/17.6 |
| P-II-7 | 8.95/17.3 | 8.95/17.3 | 9.10/16.5 | 8.88/15.7 | 8.99/15.7 | 9.30/16.4 | 9.04/15.7 | 8.90/15.2 | 9.10/15.7 |
| Merkator | n.m. | 3.31/20.5* | 3.62/19.4 | 3.68/17.9 | 3.78/17.6 | 3.65/18.0 | 6.31/16.8 | 3.50/15.4 | 3.72/15.1 |
| Vatrosprem | n.m. | 2.63/18.4 | 2.63/18.4 | 2.84/17.1 | 2.60/17.3 | 3.00/17.2 | n.m. | n.m. | n.m. |
| Sklonište 1 | n.m. | 5.35/18.1 | n.m. | 5.95/17.0 | 5.68/17.1 | 4.60/17.4 | n.m. | n.m. | 5.82/16.8 |
| 56-12 | n.m. | n.m. | 4.51/15.3 | 5.48/14.0 | 5.78/14.2 | 5.70/14.5 | 4.64/14.4 | n.m. | 5.11/13.0 |
| P-7 | n.m. | n.m. | 6.52/15.6 | 7.30/14.3 | 7.52/14.7 | 7.56/15.2 | 6.50/15.1 | n.m. | 7.00/13.9 |
| PpUs 1 | n.m. | n.m. | 15.12/15.6 | / | 15.33/15.4 | 16.70/15.4 | 15.62/15.0 | n.m. | n.m. |
| Psu-1 | n.m. | n.m. | 8.09/17.2 | 8.20/16.3 | 8.19/16.5 | 8.32/17.4 | 7.78/16.5 | 7.70/15.9 | 7.79/15.8 |
| SIV | n.m. | n.m. | 7.00/16.00 | 7.55/14.8 | 7.75/15.0 | 7.75/16.0 | 6.92/15.1 | 7.20/14.1 | 7.24/14.8 |
| Stadion FK Radnički | n.m. | n.m. | 1.69/17.8 | 2.15/15.4 | 2.18/15.1 | 2.20/15.0 | 1.60/14.4 | n.m. | 1.82/13.0 |
| B-1/2003 | n.m. | n.m. | -/19.6 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| Sklonište 2 | n.m. | n.m. | 5.20/18.0 | n.m. | n.m. | 5.20/17.3 | 5.12/17.6 | n.m. | n.m. |
| Sklonište 3 | n.m. | n.m. | n.m. | 5.15/17.5 | 5.04/17.3 | n.m. | n.m. | n.m. | 5.02/17.0 |
| SREDNJA DNEVNA T _{vod.} | 15.20 | 17.6 | 15.5 | 16.20 | 15.40 | 15.10 | 13.50 | 14.80 | 13.70 |
| SREDNJA DNEVNA T _{vay.} | 20.0 | 23.0 | 18.0 | 13.0 | 14.5 | 10.0 | 10.0 | 13.0 | 5.0 |

* najviša izmerena temperatura podzemnih voda

** najniža izmerena temperatura podzemnih voda

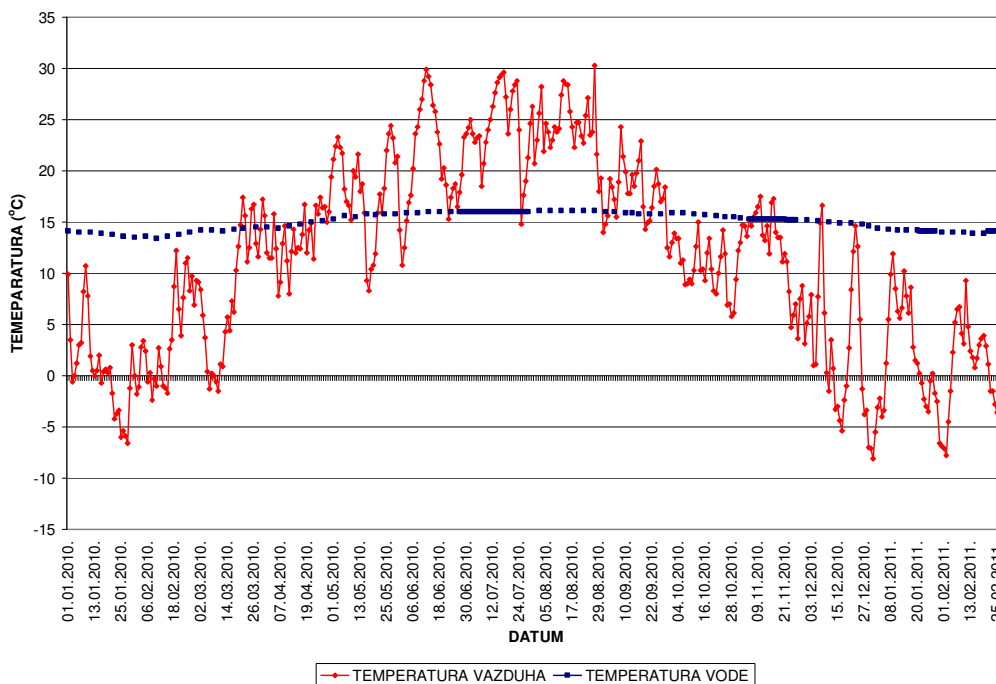
*** n.m. – nije mereno

Srednja vrednost temperature hidrogeotermalnih resursa formiranih u peskovima kvartarne starosti na delu Novog Beograda iznosi $A_2 \approx 15.2$ °C

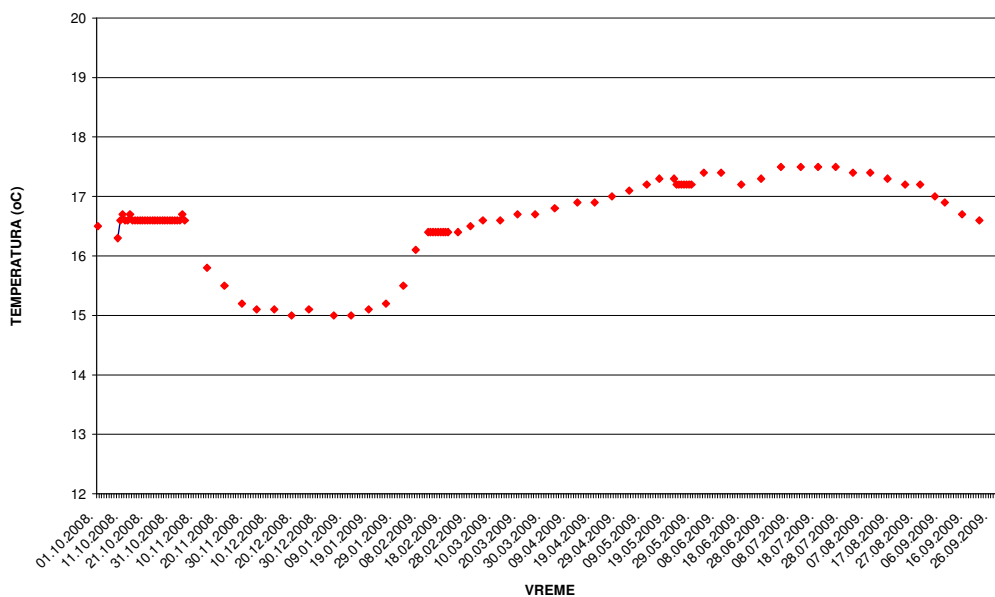
U cilju potpunog i ravnomernog sagledavanja temperaturnog režima podzemnih voda na teritoriji Novog Beograda, u tabeli 127 prikazani su istražno-eksploatacioni objekti na kojima su vršena osmatranja temperature podzemnih voda u trajanju od dvanaest meseci. Tabelu 127 prate dijagrami promene temperature podzemnih voda tokom osmatranog perioda.

Tabela 127. Bunari na teritoriji Novog Beograda izbušeni nakon režimskih osmatranja

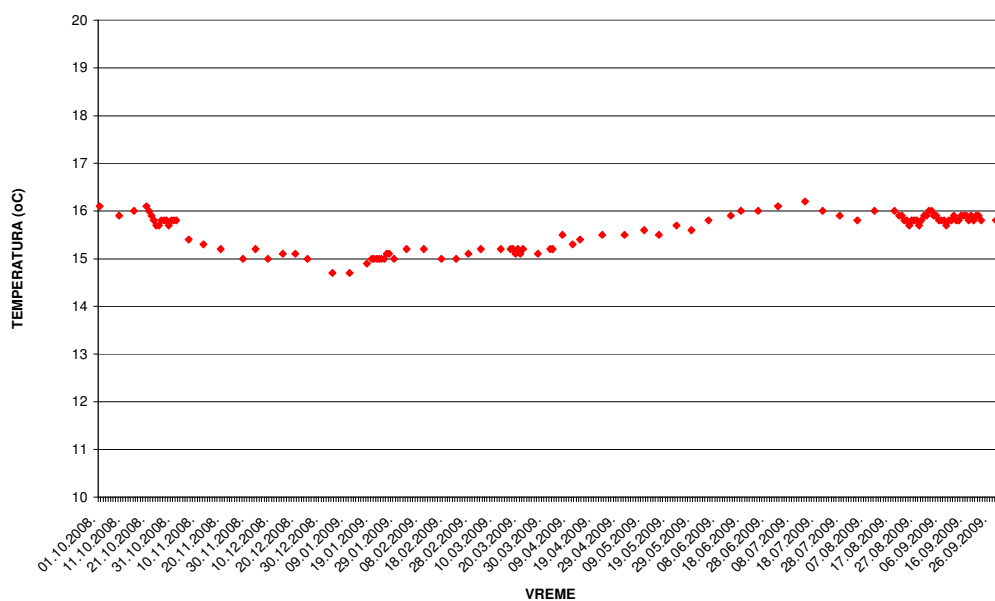
| Bunar | Lokacija | Period osmatranja temperature podzemnih voda | Interval kolebanja temperature | Srednja vrednost temperature podzemnih voda |
|------------|-------------|--|--------------------------------|---|
| IEBB5-1/08 | Blok 29 | 01.01.2010-25.02.2011. | 13.4°C-16.1°C | 14.7°C |
| IEB-1/08 | Blok 11a | 01.10.2008-26.09.2009 | 15.0°C-17.5°C | 16.20°C |
| IEBBE-1/08 | Toplana Nbg | 01.10.2008-26.09.2009 | 14.7°C-16.2°C | 15.5°C |



Slika 248. Dijagram promene temperature podzemnih voda istražno-eksploatacionog bunara IEBB5-1/08 u Bloku 29



Slika 249. Dijagram promene temperature podzemnih voda istražno-eksploatacionog bunara IEB-1/08 u Bloku 11a



Slika 250. Dijagram promene temperature podzemnih voda istražno-eksploatacionog bunara IEBBE-1/08u Toplani Novi Beograd

Srednja vrednost temperature hidrogeotermalnih resursa formiranih u peskovima kvartarne starosti na teritoriji Novog Beograda, osmatrana nakon 2006. godine iznosi $A_2 \approx 15.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

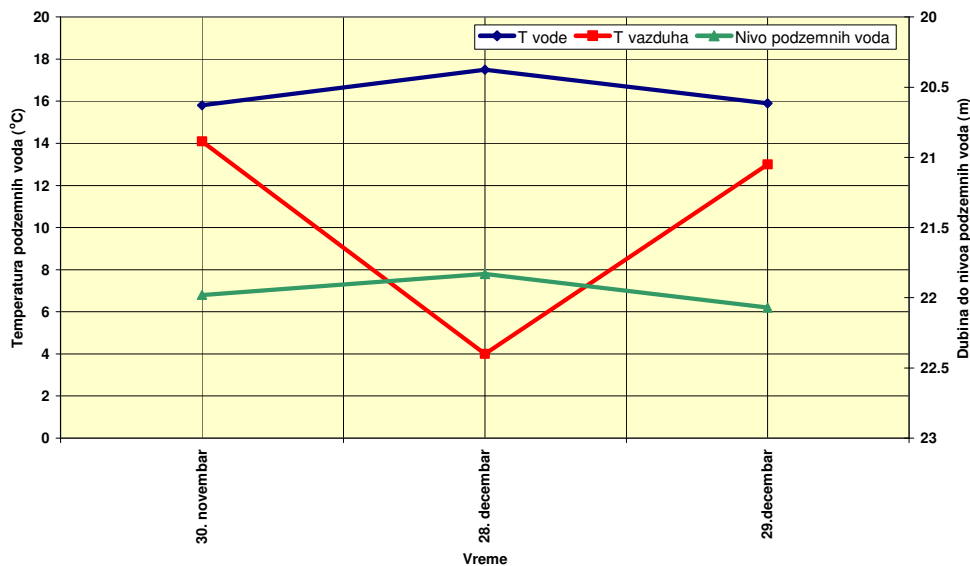
Na teritoriji Zemuna, na četiri reprezentativna bunara vršila su se osmatranja nivoa i temperature podzemnih voda u periodu novembra 2005. godine do februara 2006. godine (tabela 128).

Tabela 128. Rezultati merenja temperature i dubine do nivoa podzemnih voda na području Zemuna

| Redni broj | Naziv | Lokacija | Dubina do NPV (m) | T (°C) |
|--|-------|--------------------------|-------------------|-------------|
| 30.11.2005. $T_{vaz}=14.1^{\circ}\text{C}$ | | | | |
| 1. | INEP | U krugu instituta "INEP" | 15.67 | 14.5 |
| 2. | IMPA | U krugu fabrike "IMPA" | 21.98 | 15.8 |
| 28.12.2005. $T_{vaz}=4^{\circ}\text{C}$ | | | | |
| 1**. | INEP | U krugu instituta "INEP" | 15.70 | 12.0 |
| 2*. | IMPA | U krugu fabrike "IMPA" | 21.83 | 17.5 |
| 06.02.2005. $T_{vaz}=13^{\circ}\text{C}$ | | | | |
| 1. | INEP | U krugu instituta "INEP" | 15.63 | 14.1 |
| 2. | IMPA | U krugu fabrike "IMPA" | 22.07 | 15.9 |

* najviša izmerena temperatura podzemnih voda

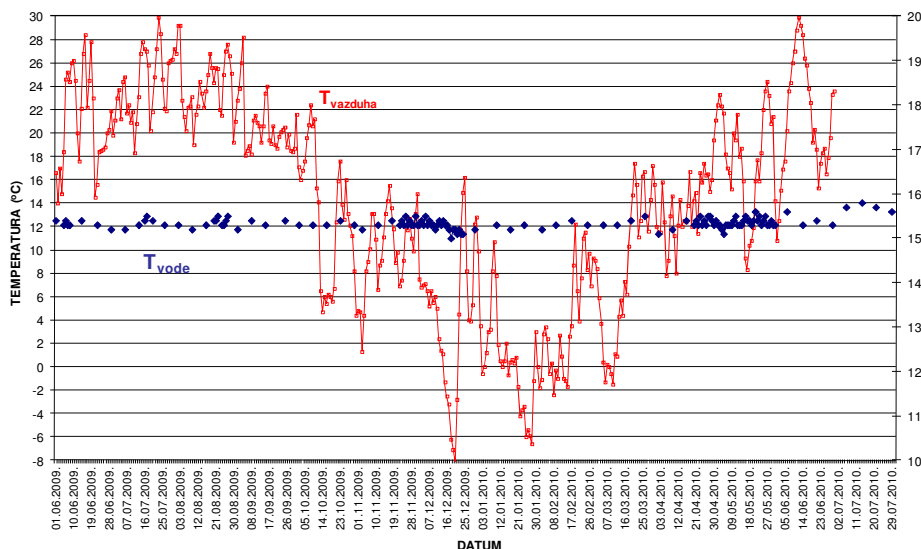
** najniža izmerena temperatura podzemnih voda



Slika 251. Dijagram promene temperature podzemnih voda i dubine do nivoa podzemnih voda u bunaru u krugu fabrike "IMPA"

Srednja vrednost temperature hidrogeotermalnih resursa formiranih u peskovima kvartarne starosti na delu Zemuna, iznosi $A_2 \approx 14.5^{\circ}\text{C}$

Posmatrano van teritorije Novog Beograda i Zemuna, hidrogeotermalni resursi A₂ prostiru se dalje na severozapad u pravcu Surčina i dalje van teritorije GP-a, obuhvatajući teritoriju Dobanovaca. Rezultati osmatranja temperaturnog režima podzemnih voda na teritoriji Dobanovaca, u trajanju od jednog hidrološkog ciklusa prikazani su na slici 252.



Period osmatranja: 01.06.2009–29.07.2010.

Objekat: Istražno-eksploatacioni bunar Nelt-3

Lokacija: Dobanovci

Slika 252. Dijagram promene temperature podzemnih voda istražno-eksploatacionog bunara Nelt-3 u Dobanovcima

Na delu teritorije Dobanovaca režim podzemnih voda je stabilan, oscilacije iznose svega 0.8°C (15.0°C -15.8°C).

**Srednja vrednost temperature hidrogeotermalnih resursa u okviru
peskova kvartarne starosti iznosi $A_2 \approx 15^\circ\text{C}$**

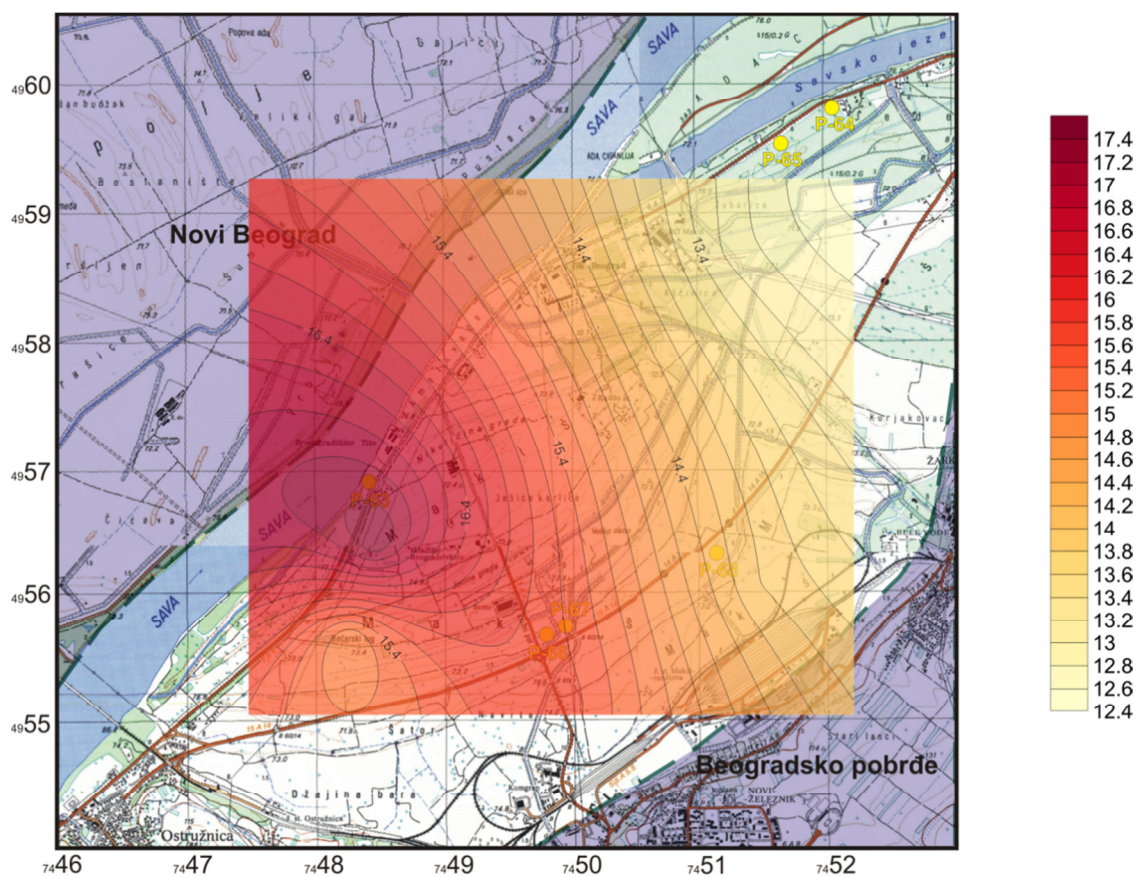
28.1.1.3. Izoterme u okviru hidrogeotermalnog sistema HGTS_Q

U okviru hidrogeotermalnog sistema HGTS_Q priložena je karta hidroizotermi:

- hidrogeotermalnih resursa A₁
- hidrogeotermalnih resursa A₂

Hidroizoterme hidrogeotermalnih resursa A₁–Makiško polje

Hidroizoterme hidrogeotermalnih resursa A₁ prikazane su samo na teritoriji Makiškog polja (slika 253), obzirom na nedovoljan broj podataka na ostalim delovima terena.

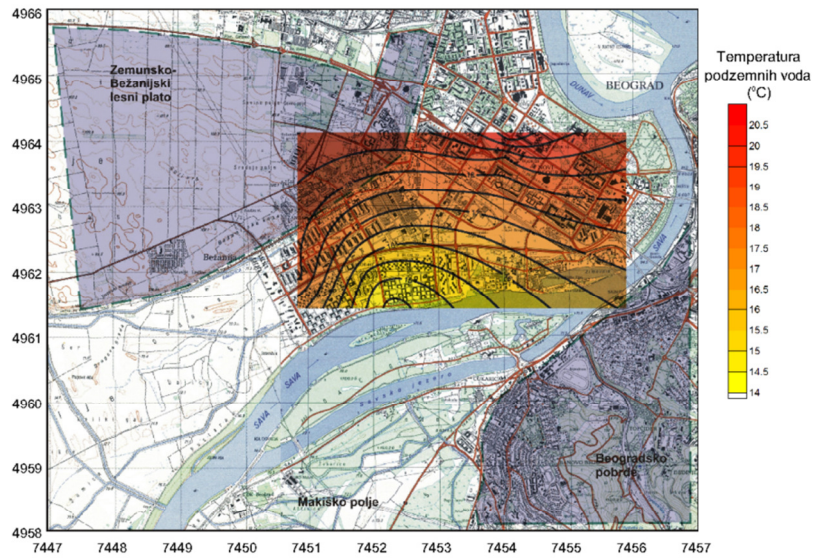


Slika 253. Hidroizoterme na području Makiškog polja na dan 21.11.2005. godine

Hidroizoterme hidrogeotermalnih resursa A₂

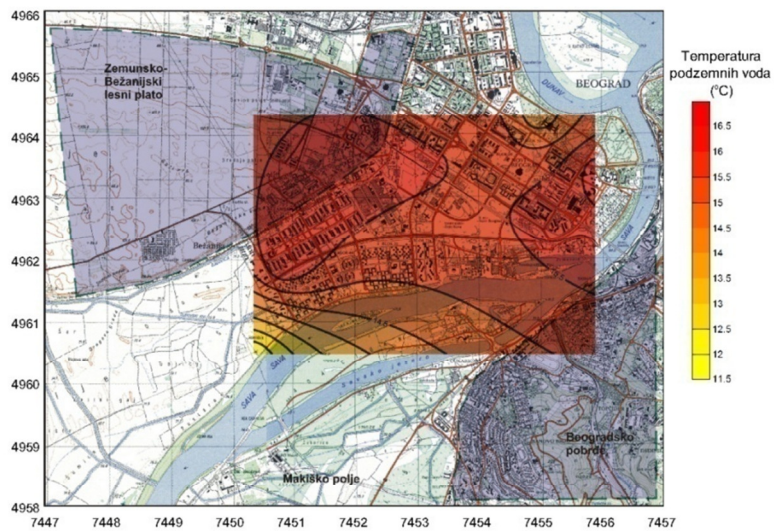
Hidroizoterme su prikazane na teritoriji Novog Beograda, za period od 07.09.2005. godine do 15.02.2006. godine, pri najvišim srednje dnevnom temperaturama vazduha i pri najnižim dnevnom temperaturama vazduha (slika 254).

REZULTATI MERENJA TEMPERATURE PODZEMNIH VODA I KARTA HIDROIZOTERMI
NA PODRUČJU NOVOG BEOGRADA NA DAN 07.09.2005.



SREDNJA TEMPERATURA VAZDUHA 23.0°

REZULTATI MERENJA TEMPERATURE PODZEMNIH VODA I KARTA HIDROIZOTERMI
NA PODRUČJU NOVOG BEOGRADA NA DAN 29.01.2006.



SREDNJA TEMPERATURA VAZDUHA 0.5°

Slika 254. Hidroizoterme na teritoriji Novog Beograda

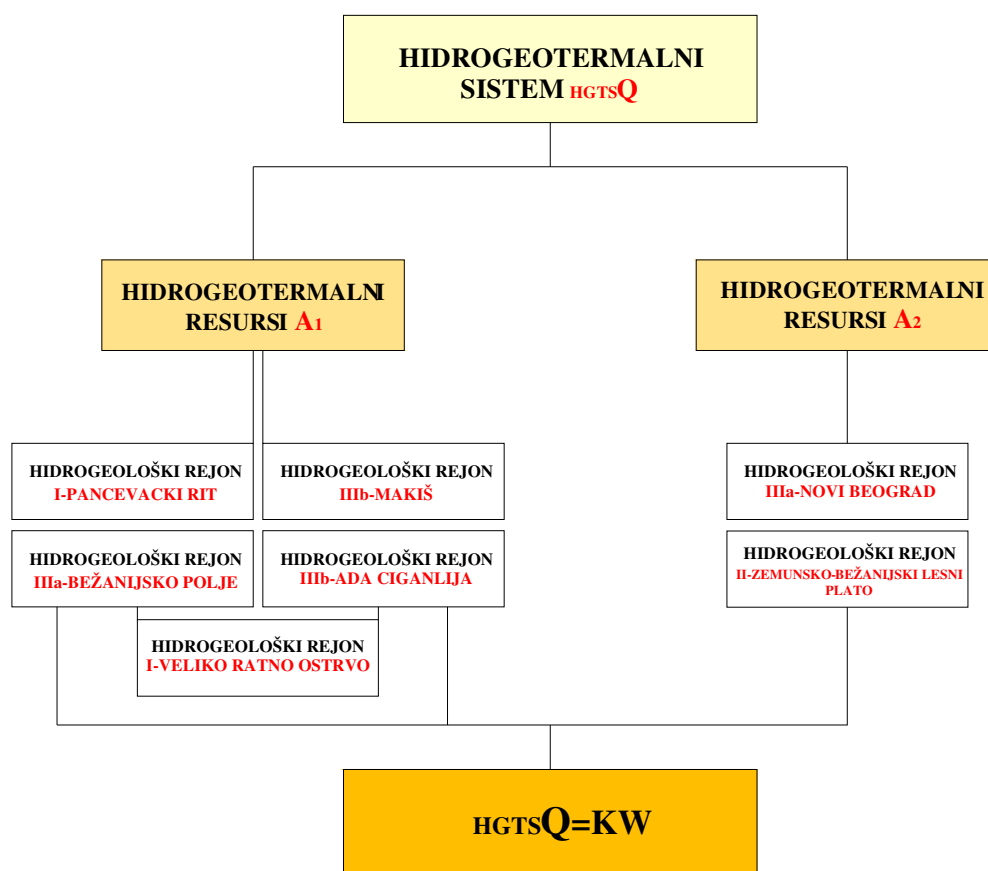
28.1.1.4. Kvantifikacija hidrogeotermalnih resursa u okviru sistema $HGTSQ$

Kvantifikacija hidrogeotermalnih resursa sistema $HGTSQ$ podrazumeva ocenu raspoložive toplotne snage koja je akumulirana u podzemnim vodama određene temperature u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata kvartara. U cilju kvantifikacije sagledane su raspoložive količine i temperature podzemnih voda formiranih u kvartarnim sedimentima.

Ulazni podaci su:

- količine podzemnih voda
 - zapremina izdani
 - prosečna efektivna poroznost stena
- temperatura podzemnih voda

Na slici 255 prikazan je algoritam hidrogeotermalnog sistema $HGTSQ$



Slika 255. Algoritam hidrogeotermalnog sistema $HGTSQ$

HIDROGEOTERMALNI RESURSI A₁

Hidrogeotermalni resursi A₁–Pančevački rit

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|--|---|
| Maksimalna površina rasprostranjenja peskovito-šljunkovitih sedimenata sa <i>Corbicula fluminalis</i> na teritoriji Pančevačkog rita u okviru granica GP-a | 130 km² |
| Prosečna debljina peskovito-šljunkovitih sedimenata na teritoriji Pančevačkog rita | 14 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 182 x 10⁷ m³ |
| Efektivna poroznost | 0.2* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 364 x 10⁶ m³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 13.5°C |

Hidrogeotermalni resursi A₁–Makiš

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|---|---|
| Maksimalna površina rasprostranjenja peskovito-šljunkovitih sedimenata sa <i>Corbicula fluminalis</i> | 25 km² |
| Prosečna debljina peskovito-šljunkovitih sedimenata na teritoriji Makiša | 17 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 425 x 10⁶ m³ |
| Efektivna poroznost | 0.2* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 85 x 10⁶ m³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 13.5°C |

Hidrogeotermalni resursi A₁–Bežanijsko polje

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|---|---|
| Maksimalna površina rasprostranjenja peskovito-šljunkovitih sedimenata sa <i>Corbicula fluminalis</i> | 35 km² |
| Prosečna debljina peskovito-šljunkovitih sedimenata na teritoriji Bežanijskog polja | 15 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 525 x 10⁶ m³ |
| Efektivna poroznost | 0.2* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 105 x 10⁶ m³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 12°C |

* Procenjena vrednost efektivne poroznosti za šljunkovito-peskovite slojeve sa *Corbicula fluminalis* iznosi minimalno 20% (Milenić, 2003)

Hidrogeotermalni resursi A₁–Ada Ciganlija sa Velikom ratnim ostrvom

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|---|-------------------------------------|
| Ada Ciganlija | |
| Maksimalna površina rasprostranjenja peskovito-šljunkovitih sedimenata sa <i>Corbicula fluminalis</i> | 3 km ² |
| Prosečna debljina peskovito-šljunkovitih sedimenata na teritoriji Ade Ciganlije | 25 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 75 x 10 ⁶ m ³ |
| Efektivna poroznost | 0.2* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 15 x 10 ⁶ m ³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 12°C |
| Veliko ratno ostrvo | |
| Maksimalna površina rasprostranjenja peskovito-šljunkovitih sedimenata sa <i>Corbicula fluminalis</i> | 2 km ² |
| Prosečna debljina peskovito-šljunkovitih sedimenata na teritoriji Velikog ratnog ostrva | 18 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 36 x 10 ⁶ m ³ |
| Efektivna poroznost | 0.2* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 72 x 10 ⁵ m ³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 11°C |

*Procenjena vrednost efektivne poroznosti za šljunkovito-peskovite slojeve sa *Corbicula fluminalis* iznosi minimalno 20% (Milenić, 2003)

U tabeli 129. prikazane su raspoložive količine i temperature hidrogeotermalnih resursa A₁

Tabela 129. Raspoložive količine i temperatura hidrogeotermalnih resursa A₁

| Hidrogeotermalni resursi A₁ | | | | | |
|--|----------------|---------------|---------------|------------------|---------------------|
| HGTSQ | Pančevački rit | Makiško polje | Ada Ciganlija | Bežanijsko polje | Veliko Ratno ostrvo |
| Raspoložive količine podzemnih voda (l/s) | 13.600* | 2.400 | 2.500 | 4.200 | 225 |
| | 4.450** | | | | |
| Srednja vrednost temperature podzemnih voda (°C) | 13.5 | 13.5 | 12.0 | 12.0 | 11.0 |

*Cela teritorija Pančevačkog rita (≈400 km²)

**Teritorija Pančevačkog rita u okviru granica generalnog urbanističkog plana (≈130 km²)

HIDROGEOTERMALNI RESURSI A₂

Hidrogeotermalni resursi A₂–Novi Beograd

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|---|---|
| Maksimalna površina rasprostranjenja peskovito-šljunkovitih sedimenata kvartara na Novom Beogradu | 20 km² |
| Prosečna debljina peskovito-šljunkovitih sedimenata na teritoriji Novog Beograda | 14 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 28 x 10⁷m³ |
| Efektivna poroznost | 0.1[*] |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 28 x 10⁶m³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 15.5 °C |

Hidrogeotermalni resursi A₂–Zemunsko-Bežanijski lesni plato

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|--|--|
| Maksimalna površina rasprostranjenja peskovito-šljunkovitih sedimenata kvartara na Zemunsko-Bežanijskom lesnom platou, teritorija GP-a | 175 km² |
| Prosečna debljina peskovito-šljunkovitih sedimenata na teritoriji Zemunsko-Bežanijskom lesnom platou | 13.5 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 236 x 10⁷m³ |
| Efektivna poroznost | 0.1[*] |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 236 x 10⁶m³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 15°C |

**Procenjena vrednost efektivne poroznosti za šljunkovito-peskovite slojeve iznosi minimalno 10%*

U tabeli 130. prikazane su raspoložive količine i temperature hidrogeotermalnih resursa A₂ na teritoriji Novog Beograda i Zemunsko-Bežanijskog lesnog platoa.

Tabela 130. Raspoložive količine i temperatura hidrogeotermalnih resursa A₂

| Hidrogeotermalni resursi A ₂ | | |
|--|--------------------|---------------------------------|
| HGTSQ | Novi Beograd | Zemunsko-Bežanijski lesni plato |
| Raspoložive količine podzemnih voda (l/s) | 2.200 [*] | 3.500 ^{**} |
| Srednja vrednost temperature podzemnih voda (°C) | 15.5 | 15.0 |

*Raspoložive količine podzemnih voda na delu teritorije Novog Beograda koje se mogu zahvatiti iz kvartarnih peskovito-šljunkovitih sedimenata sračunate su na osnovu:

- srednje vrednosti izdašnosti postojećih bunara (7 l/s),
- srednjih vrednosti radijusa dejstava bunara (oko 250 m po Zihartu)
- maksimalne površine rasprostranjenja izdani (20 km²)

**Raspoložive količine podzemnih voda na delu Zemunsko-Bežanijskog lesnog sračunate su na osnovu:

- srednje vrednosti izdašnosti postojećih bunara (7.5 l/s). Za potrebe procene srednje vrednosti izdašnosti bunara sagledani su i bunari van teritorije generalnog urbanističkog plana, a koji kaptiraju istu izdan (područje Dobanovaca i Surčina).
- srednjih vrednosti radijusa dejstava bunara (oko 500 m po Zihartu)
- maksimalne površine rasprostranjenja izdani na teritoriji GUP-a (175 km²)
- odnosa debljine kvartarnih sedimenata na delu terena Zemuna i Batajnice (1:2),

28.1.1.5. Ograničenja u korišćenju hidrogeotermalnih resursa

Na ograničenja u primeni hidrogeotermalnih resursa sistema HGTSQ za potrebe grejanja i hlađenja objekata utiče:

- hemijski sastav podzemnih voda
- raspoloživost slobodnih površina terena
- osnovna namena zemljišta

Ograničenja primene analizirana su u sistemu HGTSQ, imajući u vidu rasprostranjenje i hemizam hidrogeotermalnih resursa A₁ i A₂, kroz komparaciju koncentracija pojedinih elemenata hemijskog sastava podzemnih voda u odnosu na granične koncentracije istih. Granične koncentracije kritičnih hemijskih elemenata su one koncentracije pri kojima se odvija nesmetan rad toplotnih pumpi, odnosno iznad kojih je rad toplotnih pumpi ugrožen.

Hidrogeotermalni resursi A₁

Hemizam podzemnih voda kao faktor ograničenja primene resursa u niskotemperaturnim sistemima klimatizacije, posmatran je generalno za resurse A₁ na teritoriji Pančevačkog rita. Kritične hemijske vrednosti hidrogeotermalnih resursa A₁ su povišene koncentracije gvožđa i mangana, zatim povišene koncentracije jona amonijaka. Povišene koncentracije gvožđa i mangana mogu ugroziti rad i efikasnost sistema toplotnih pumpi voda–voda. U dodiru podzemnih voda sa vazduhom iniciraće se proces biološke kolmatacije.

Kako se mogu javiti značajne razlike i odstupanja u koncentracijama elemenata hemijskog sastava podzemnih voda iste izdani, u tabeli 131 analiziran je hemijski sastav nekoliko uzoraka podzemnih voda zbijenog tipa izdani u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata sa *Corbicula fluminalis* na području Pančevačkog rita u odnosu na granične koncentracije hemijskih elemenata pri kojima se odvija nesmetan rad toplotnih pumpi.

Tabela 131. Komparativna analiza hemijskog sastava hidrogeotermalnih resursa A₁ na teritoriji Pančevačkog rita u odnosu na granične koncentracije

| Granične vrednosti (mg/l) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|------|----------------|------------------|-----------------|-------|---------------|
| Cl | SO ₄ | NO ₃ | Mn | CO ₂ | NH ₃ | Fe | O ₂ | H ₂ S | SO ₃ | pH | El.prov.µS/cm |
| <100 | <50 | <100 | <0.1 | <5 | <2 | <0.2 | <2 | <0.05 | <1 | 6.5-9 | 50<600 |



| Merenе vrednosti (mg/l) | Bunar EBH-1 | Bunar BK-1 | Bunar IEBO-1/12 |
|-------------------------|-------------|------------|-----------------|
| | Krnjača | Krnjača | Ovča |
| Cl | 33.0 | 90.75 | 232.0 |
| SO ₄ | 108.0 | 90.0 | / |
| NO ₃ | 2.3 | 8.0 | <0.05 |
| Mn | 0.33 | 0.02 | 0.16 |
| CO ₂ | 71.2 | 14.96 | / |
| NH ₃ | /* | / | / |
| Fe | 8.75 | 1.40 | <0.2 |
| O ₂ | 2.2 | / | / |
| H ₂ S | 0.20 | / | / |
| SO ₃ | / | / | / |
| pH | 7.2 | 7.5 | 6.9 |
| El.prov.µS/cm | 880 | 1000 | 1567 |

* podaci nisu dostupni

Komentar: Na teritoriji Pančevačkog rita analizirana su tri uzorka podzemnih voda. Povišene vrednosti el. provodljivosti konstatovane su u sva tri uzorka. U dva od tri uzorka konstatovane su povišene koncentracije sulfata, gvožđa, ugljendioksida, i mangana. Od povišenih koncentracija u uzorcima javljaju se i hloridi, kiseonik i sulfidi.

Hidrogeotermalni resursi A₂

Hemizam podzemnih voda kao faktor ograničenja primene resursa u niskotemperaturnim sistemima klimatizacije, posmatran je generalno za resurse A₂ na teritoriji Novog Beograda. Kritične hemijske vrednosti hidrogeotermalnih resursa A₂ su povišene koncentracije gvožđa i mangana.

U tabeli 132 analiziran je hemijski sastav nekoliko uzoraka podzemnih voda zbijenog tipa izdani u okviru peskova kvartarne starosti na delu teritorije Savske aluvijalne ravni (područje Novog Beograda), zatim na delu Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa u granicama GP i van njega (tabele 133 i 134).

Tabela 132. Komparativna analiza hemijskog sastava hidrogeotermalnih resursa A₂ na delu teritorije Novog Beograda u odnosu na granične koncentracije

| Granične vrednosti (mg/l) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|------|----------------|------------------|-----------------|-------|---------------|
| Cl | SO ₄ | NO ₃ | Mn | CO ₂ | NH ₃ | Fe | O ₂ | H ₂ S | SO ₃ | pH | El.prov.μS/cm |
| <100 | <50 | <100 | <0.1 | <5 | <2 | <0.2 | <2 | <0.05 | <1 | 6.5-9 | 50<600 |

| Merenе vrednosti (mg/l) | Bunar IEBB5-1/08 | Bunar IEB-1/08 | Bunar IEBB61-1/12 |
|----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|
| | Centralni deo Novog Beograda | Priobalni deo Novog Beograda | Novi Beograd- granica sa lesnom zaravni |
| Cl | 43.4 | 70 | 5.52 |
| SO ₄ | 110.6 | 158 | 3.0 |
| NO ₃ | 3.5 | <0.5 | / |
| Mn | 0.564 | 0.292 | <0.1 |
| CO ₂ | 33.1 | 70.4 | 34 |
| NH ₃ | / | / | / |
| Fe | 0.06 | 0.07 | <0.2 |
| O ₂ | 4.7 | 2 | / |
| H ₂ S | <0.02 | / | - |
| SO ₃ | / | / | / |
| pH | 7.7 | 7.3 | 7.41 |
| El.prov.μS/cm | 1030 | / | 558 |

* podaci nisu dostupni

Komentar: Na teritoriji Novog Beograda analizirana su tri uzorka podzemnih voda. Povišene vrednosti ugljendioksida konstatovane su u sva tri uzorka. U dva od tri uzorka konstatovane su povišene koncentracije sulfata i mangana, a u jednom od tri uzorka javljaju se povišene koncentracije kiseonika i el. provodljivosti.

Tabela 133. Komparativna analiza hemijskog sastava hidrogeotermalnih resursa A₂ na delu teritorije Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa u odnosu na granične koncentracije

| Granične vrednosti (mg/l) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|------|----------------|------------------|-----------------|-------|---------------|
| Cl | SO ₄ | NO ₃ | Mn | CO ₂ | NH ₃ | Fe | O ₂ | H ₂ S | SO ₃ | pH | El.prov.µS/cm |
| <100 | <50 | <100 | <0.1 | <5 | <2 | <0.2 | <2 | <0.05 | <1 | 6.5-9 | 50<600 |

| Merene vrednosti (mg/l) | B-1 | B-1 | B-1 |
|-------------------------|-------------------|-------|------------------|
| | Ugrinovačka ulica | Navip | Stadion FK Zemun |
| Cl | 64 | 92 | 50 |
| SO ₄ | 120 | 9 | 52 |
| NO ₃ | 100 | 293 | 110 |
| Mn | / | / | / |
| CO ₂ | / | / | / |
| NH ₃ | / | / | / |
| Fe | / | / | / |
| O ₂ | / | / | / |
| H ₂ S | / | / | / |
| SO ₃ | / | / | / |
| pH | 7.5 | 7.1 | 7.7 |
| El.prov.µS/cm | 1300 | 1300 | 1115 |

*podaci nisu dostupni

Komentar: Na teritoriji Zemuna analizirana su tri uzorka podzemnih voda. Povišene vrednosti el. provodljivosti konstatovane su u sva tri uzorka. U dva od tri uzorka konstatovane su povišene koncentracije sulfata i nitrata.

Tabela 134. Komparativna analiza hemijskog sastava hidrogeotermalnih resursa A₂ na delu teritorije Dobanovaca (van GP) u odnosu na granične koncentracije

| Granične vrednosti (mg/l) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|------|----------------|------------------|-----------------|-------|---------------|
| Cl | SO ₄ | NO ₃ | Mn | CO ₂ | NH ₃ | Fe | O ₂ | H ₂ S | SO ₃ | pH | El.prov.µS/cm |
| <100 | <50 | <100 | <0.1 | <5 | <2 | <0.2 | <2 | <0.05 | <1 | 6.5-9 | 50<600 |

| Merene vrednosti (mg/l) | Bunar Nelt-Dobanovci | | | |
|-------------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| | 22.09.2009. | 30.11.2009. | 28.01.2010. | 18.05.2010. |
| Cl | 4.6 | 4.2 | 2.8 | 2.1 |
| SO ₄ | 2.7 | 1.6 | 2.3 | 1.7 |
| NO ₃ | 20.2 | 21.6 | 14.9 | 16.2 |
| Mn | <0.0002 | <0.0002 | <0.0003 | <0.0002 |
| CO ₂ | 21.5 | 38.5 | 13.8 | 35.6 |
| NH ₃ | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 |
| Fe | 0.09 | 0.1 | 0.07 | <0.05 |
| O ₂ | 7.9 | 6.0 | 6.7 | 4.4 |
| H ₂ S | / | / | / | / |
| SO ₃ | / | / | / | / |
| pH | 7.3 | 7.2 | 7.7 | 7.2 |
| El.prov.µS/cm | / | / | / | / |

*podaci nisu dostupni

Komentar: Na teritoriji van GP-a (Dobanovci) analizirana su četiri uzorka podzemnih voda uzorkovanih rokom jednog hidrološkog ciklusa. U sva četiri uzorka konstatovane su povišene vrednosti ugljendioksida i kiseonika.

Ograničenja koja proističu iz raspoloživosti slobodnih površina terena javljaju se u gusto naseljenim sredinama, i utiču na formiranje izvorišta hidrogeotermalnih resursa zbog:

- zauzetosti parcela građevinskim objektima,
- razvijene saobraćajne i infrastrukturne mreže

Ograničenja ovog tipa mogu se javiti prilikom eksploatacije:

- hidrogeotermalnih resursa A₂ na području Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa, u njegovim istočnim delovima, gde je najveća koncentracija stanovništva i na području dela Savske aluvijalne ravni (Novi Beograd)

Ograničenja koja proističu iz osnovne namene zemljišta uglavnom su vezana za hidrogeotermalne resurse sistema HGTSQ, i manjim delom na hidrogeotermalne resurse sistema HGTST.

Vid ograničenja koji proističu iz osnovne namene zemljišta podrazumeva da neki deo terena pripada kategoriji zemljišta čija namena isključuje eksploataciju podzemnih voda. Namene koje isključuju eksploataciju podzemnih voda, te isključuju formiranje izvorišta hidrogeotermalnih resursa su:

- izvorišta za vodosnabdevanje sa zonama sanitarne zaštite
- delovi terena značajni sa aspekta arheoloških nalazišta i prirodnih dobara, te zahtevaju prethodno pribavljanje saglasnosti nadležnih institucija. U ovom slučaju saglasnosti izdaje Zavod za zaštitu spomenika kulture grada Beograda i Zavod za zaštitu prirode.

Ograničenja ovog tipa mogu se javiti prilikom eksploatacije:

- hidrogeotermalnih resursa A₁, na delu teritorije Savske aluvijalne ravni:
 - Bežanijsko polje
 - Makiško polje
 - Ada Ciganlija
 - Veliko Ratno ostrvo
- hidrogeotermalnih resursa A₂, na delu teritorije Savske aluvijalne ravni (Novi Beograd)

Pomenuti delovi terena pripadaju zoni beogradskog izvorišta za vodosnabdevanje grada.

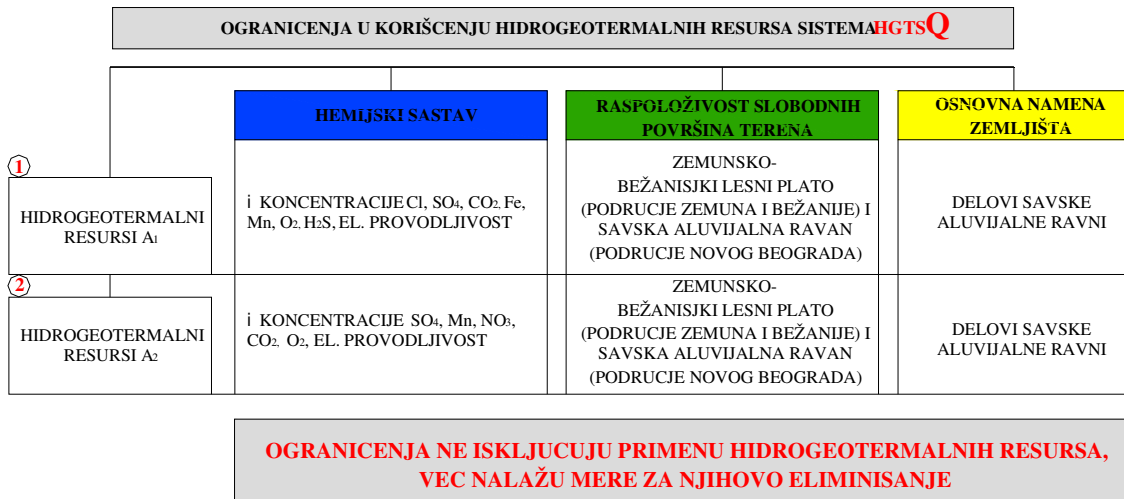
Ograničenja u korišćenju ne isključuju primenu hidrogeotermalnih resursa. U zavisnosti od tipa ograničenja primenjuju se mere koje eliminišu ista:

- **hemijski sastav podzemnih voda**
 - selektuje određene tipove materijala za izradu toplotnih izmenjivača, toplotnih pumpi i prateće opreme
 - zahteva tretman podzemnih voda

- **raspoloživost slobodnih površina terena**
 - pozicioniranje eksploatacionih bunara u okviru objekta
 - izrada "single well" sistema

- **osnovna namena zemljišta**
 - pribavljanje uslova od nadležnih Institucija

Na slici 256 prikazan je algoritam koji obuhvata sva analizirana ograničenja u korišćenju hidrogeotermalnih resursa sistema HGTSQ.



Slika 256. Algoritam ograničenja korišćenja hidrogeotermalnih resursa sistema HGTSQ

28.1.1.6. Pokazni primer korišćenja hidrogeotermalnih resursa u okviru sistema HGTSQ

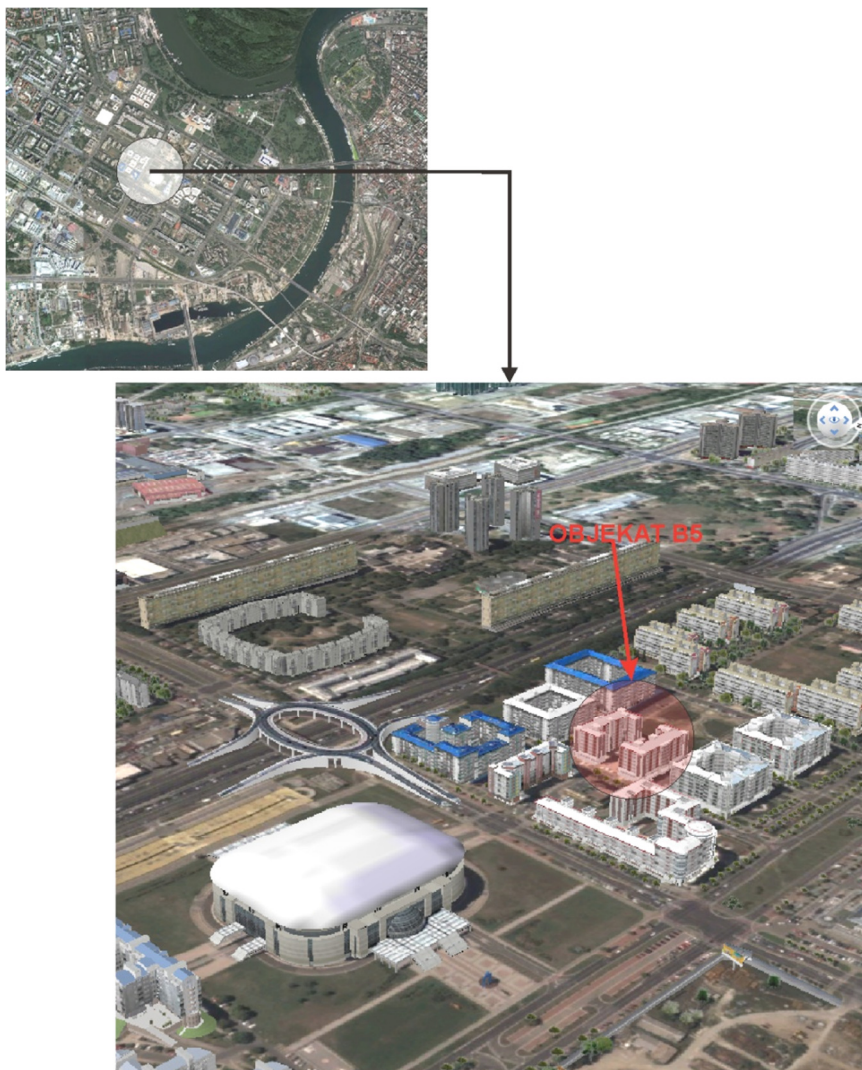
Najveći broj primera korišćenja podzemnih voda za potrebe grejanja i hlađenja objekata je na teritoriji opštine Novi Beograd. U tabeli 135 prikazani su objekti koji koriste hidrogeotermalne resurse ili su u fazi projektovanja.

Tabela 135. Pregled objekata u kojima se koriste ili je planirano korišćenje hidrogeotermalnih resursa

| Br. | Objekat | Lokacija | Namena | Površina | Sistem u funkciji |
|-----|---|---------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| 1. | Poslovni prostor Građevinske direkcije Srbije | Blok 29 Novi Beograd | Poslovni prostor | 1340 m ² | D |
| 2. | Stambeno-poslovni objekat VIG PLAZA | Blok 11a Novi Beograd | Poslovni prostor | 15 000 m ² | D |
| 3. | Upravna zgrada Beogradskih elektrana | Toplana na Novom Beogradu | Poslovni prostor | 9 000 m ² | N |
| 4. | Kombinovana dečija ustanova | Blok 12 Bežanijska Kosa | Predškolska ustanova | 1 137 m ² | D |
| 5. | Vrtić | Blok 61 Novi Beograd | Predškolska ustanova | 2 350m ² | P |
| 6. | Poslovni objekat Banca Intesa | Blok 11 Novi Beogard | Poslovni prostor | 36 000 m ² | P |
| 7. | Nelt | Dobanovci | Magacinski objekti | 100 000 m ² | N |
| 8. | Auto-Komerc | Surčin | Salon automobila | 3 000 m ² | D |
| 9. | Porche Krnjača | Krnjača | Salon automobila | 3 000 m ² | N |
| 10. | Stambeni kompleks u Ovči | Ovča | Stanovanje | 80 000 m ² | P |
| 11. | Apartmani | Ovča | Banjski turizam | 3340 m ² | P |
| | Spa centar | | | 10360 m ² | |

Legenda: D–da, N–ne, P–faza projektovaja

Na delu teritorije hidrogeotermalnog sistema HGTS_Q prikazan je primer eksploatacije podzemnih voda za potrebe klimatizacije objekta B5. Objekat B5 lociran je u Bloku 29 na Novom Beogradu (slika 257).



Slika 257. Lokacija stambeno-poslovnog objekta B5 na Novom Beogradu (Google Earth)

Gradevinski uslovi:

Obrađeni prostor veličine 1340 m² približno, sastoji se iz dva odvojena dela koji predstavljaju visoko prizemlje poslovnog objekta. Ispod prostora se nalaze tehničke prostorije i otvorena garaža, a iznad poslovne prostorije obrađivane termotehničkim instalacijama. Namena prostora je poslovna-kancelarijski rad.



Slika 258. Izgled stambeno-poslovnog objekta B-5 u Bloku 29 na Novom Beogradu (iz Milenić, 2011)

Klimatski uslovi:

Za spoljne projektne uslove usvojeni su standardni podaci koji se praktikuju za Beograd:

- Zima $T_{sp} = -15\text{ °C}$, leto $T_{sp} = +35\text{ °C}$

Unutrašnje projektne uslove temperature prema standardima za poslovne prostorije

- Zima $T_u = 20\text{ °C}$, leto $T_u = 26\text{ °C}$

Svež vazduh obrađen na temperaturu prostorije prema kriterijumu $L_s = 40\text{ m}^3/\text{h}$ po osobi

Energetski resurs:

Izvor energije obezbeđen je izradom istražno-eksploatacionog bunara IEBB5-1/08. Dubina bunara iznosi 42 m. Bunarska konstrukcija sastoji se iz dva filterska intervala, prvi od 20 m do 29 m i drugi interval od 31 m do 40 m. Bunarom su zahvaćene podzemne vode hidrokarbonatno magnezijumsko-kalcijumskog tipa, temperature od 13.4 do 16.1 °C. Optimalna izdašnost bunara je 4 l/s.

Termotehničke karakteristike:

Radni fluid voda - koristi se kao prenosivi energetski fluid za hlađenje panela i hlađenje FC sistema preko toplotne pumpe.

Toplotna pumpa predaje energiju zidnim panelima prema temperaturskom režimu za zagrevanje objekta, dok energiju fan coil jedinice koriste energiju toplotne pumpe u rashladnom režimu, kao dodatno vazdušno hlađenje.

Elementi podstanice :

- Geotermalne toplotne pumpe voda-voda
- Zatvorene membranske ekspanzione posude
- Akumulacioni sud
- Ventilaska armatura, zaustavna i regulaciona, sigurnosna armatura
- Cirkulacione pumpe
- Termoizolacija opreme u podstanici
- Izvršni i upravljački elementi automatike

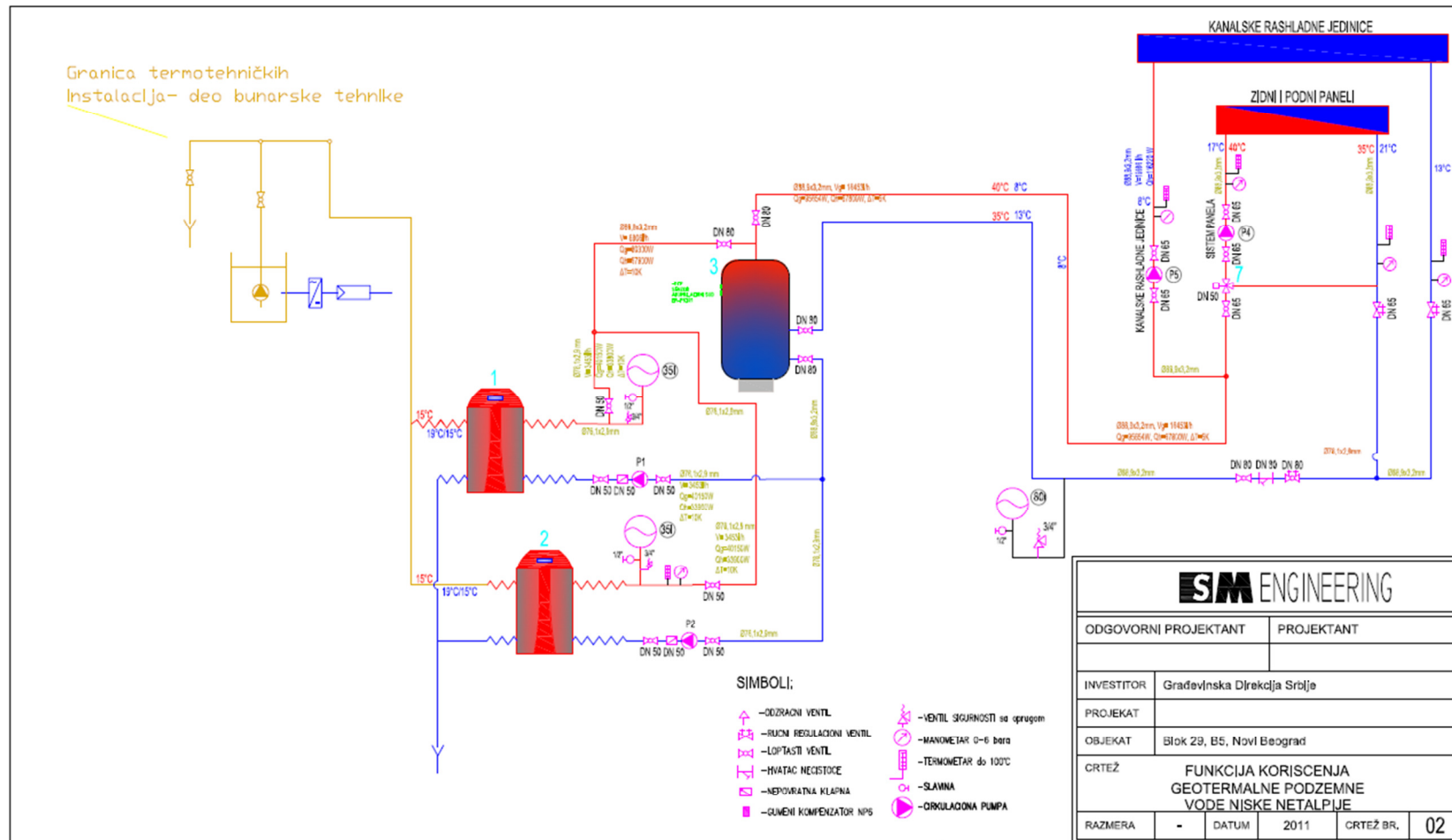
Kapacitet odabrane toplotne pumpe (paralelna veza dve toplotne pumpe) iznosi u režimu grejanja $Q_g = 40,15 \text{ kW}$ sa ostvarivim efektom toplotne pumpe $C.O.P = 6,42$ i maksimalnim inputom električne energije $P_{el} = 6,25 \text{ kW}$.

U režimu hlađenja $Q_h = 33,9 \text{ kW}$ sa ostvarivim efektom toplotne pumpe $E.E.R = 5,42$ i maksimalnim inputom električne energije $P_{el} = 6,25 \text{ kW}$. Protok geotermalne vode na ulazu jedne toplotne pumpe pri temperaturi od $t = 15^\circ \text{C}$ iznosi $G' = 0,9 \text{ l/s}$.

Ukupni protok: $\Sigma G_{min} = 1,8 \text{ l/s}$.

Pri manjim temperaturskim razlikama protok bunarske pumpe je veći i iznosi $\Sigma G_{max} = 3,6 \text{ l/s}$.

Na slici 259 prikazana je funkcionalna šema sistema grejanja/hlađenja poslovnog dela objekta B5 na Novom Beogradu.



Slika 259. Funkcionalna šema sistema grejanja/hlađenja poslovnog dela objekta B5 na Novom Beogradu (iz Milenić, 2011)

28.1.2. Hidrogeotermalni sistem u okviru prekvartarnih sedimenata– HGTST

Hidrogeotermalni sistem u okviru prekvartarnih sedimenata prostire se na:

- teritoriji hidrogeološkog rejona I (Pančevački rit)
- teritoriji hidrogeološkog rejona II (Zemunsko-Bežanijski lesni plato)
- teritoriji hidrogeološkog rejona III (Savska aluvijalna ravan)
- teritoriji hidrogeološkog rejona IV (Centralno gradsko područje)
- delu teritorije hidrogeološkog rejona X (Gročanski podrejon)

Hidrogeotermalni sistem HGTST obuhvata:

- hidrogeotermalne resurse u okviru peskova pliocenske starosti
- hidrogeotermalne resurse u okviru peskova panonsko-sarmatske starosti
- hidrogeotermalne resurse u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti
- hidrogeotermalne resurse u okviru krečnjaka kredne starosti

Hidrogeotermalni resursi u okviru peskova pliocenske starosti konstatovani su na području Pančevačkog rita, na području Zemuna i dalje prema Batajnici i Surčinu. Temperature podzemnih voda formiranih u okviru pliocenskih peskova na području Pančevačkog rita, kao i količine koje se trenutno eksploatišu nisu bile dostupne za vreme pisanja doktorata.

Hidrogeotermalni resursi u okviru peskova panonsko-sarmatske starosti konstatovani su u Vinči, Leštanima, Boleču i Ritopeku i dalje ka Vrčinu. Na području Vrčina prostranstvo izdani u panonskim peskovima iznosi najmanje 40 km², a na osnovu istraživanja na području Zaklopače, Begaljice i Grocke “realna je pretpostavka da se ovaj kolektorski kompleks i njegova izdan prostiru istočno od Vrčina prema Grockoj...njeno prostranstvo bi bilo najmanje oko 100 km².” (Milivojević, 2004). Hidrogeotermalni resursi u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti konstatovani su na delu područja Pančevačkog rita, na delu teritorije Novog Beograda, na delu centralnog gradskog područja i na delu Makiša. Hidrogeotermalni resursi u okviru krečnjaka kredne (urgonske) starosti nisu jasno sagledani zbog nedostatka podataka. Urgonski krečnjaci konstatovani su u podini tortonskih krečnjaka na Dorćolu i na Tašmajdanu, dok se na Mostaru javljaju u podini sarmatskih krečnjaka.

U krugu Skadarlije, bušenjem nisu konstatovani krečnjaci urgona, ali se povišene temperature podzemnih voda objašnjavaju mogućim prilivom iz dubljih delova terena, odnosno iz krednih sedimenata. Takođe, urgonski krečnjaci su konstatovani bušenjem u

Ulici Žanke Stokić na Senjaku, u podini sarmatskih krečnjaka. Na Adi Ciganliji u podini kvartarne serije javljaju se kredni sedimenti.

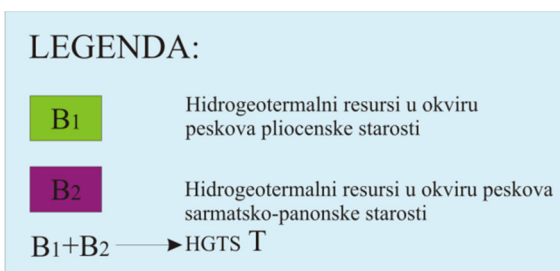
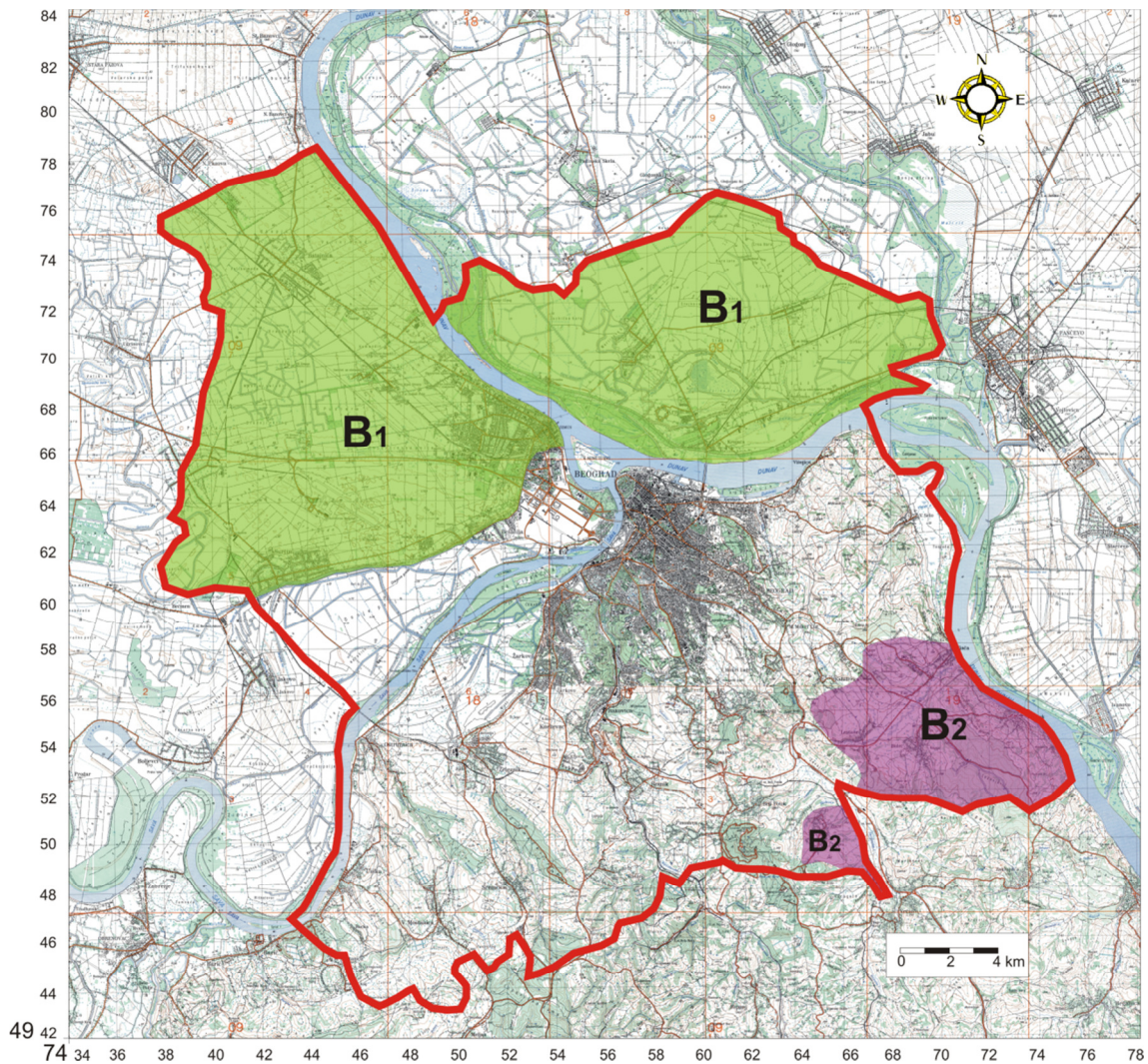
28.1.2.1. Okonturivanje hidrogeotermalnog sistema HGTS^T

Hidrogeotermalni sistem u okviru prekvartarnih sedimenata nosi oznaku HGTS^T. U tabeli 136. prikazani su osnovni podaci o hidrogeotermalnom sistemu HGTS^T.

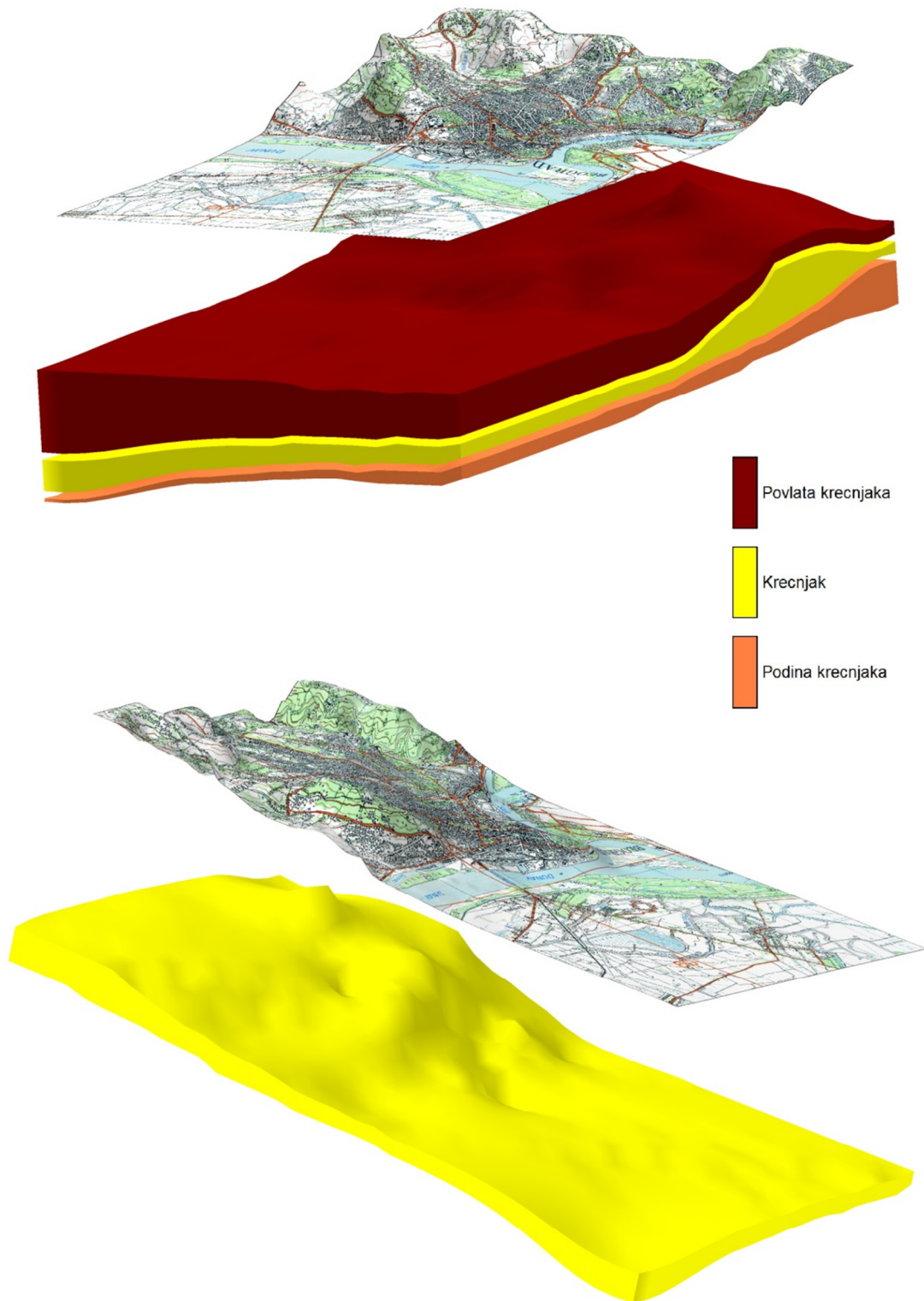
Tabela 136. Osnovni podaci o hidrogeotermalnom sistemu HGTS^T

| HIDROGEOTERMALNI SISTEM U OKVIRU PREKVARTARNIH SEDIMENATA | | | | |
|---|---|---|--|---|
| HGTS ^T | HGTE RESURSI U OKVIRU PESKOVA PLIOCENSKE STAROSTI | HGTE RESURSI U OKVIRU PESKOVA SARMATSKO-PANONSKE STAROSTI | HGTE RESURSI U OKVIRU KREČNJAKA TORTONSKO-SARMATSKE STAROSTI | HGTE RESURSI U OKVIRU KREČNJAKA KREDNE STAROSTI |
| | 1. | 2. | 3. | 4. |
| OZNAKA | B ₁ | B ₂ | B ₃ | B ₄ |
| POVRŠINA | ≈ 300 km ² | ≈ 45 km ² | ≈ 160 km ² | ≈ 20 km ² |
| POVLATA | glina, peskovita glina | glina, peskovita glina | glinovito-laporoviti sedimenti, les, peskovito-šljunkoviti sedimenti | krečnjaci |
| PODINA | glina | bazalni konglomerati, serpentiniti | pesak, glina, peščari, laporci | nepoznata |
| ZONE PRIHRANJIVANJA | nepoznate | poznate | poznate | nepoznate |
| ZONE PRAŽNENJA | poznate | poznate | poznate | nepoznate |

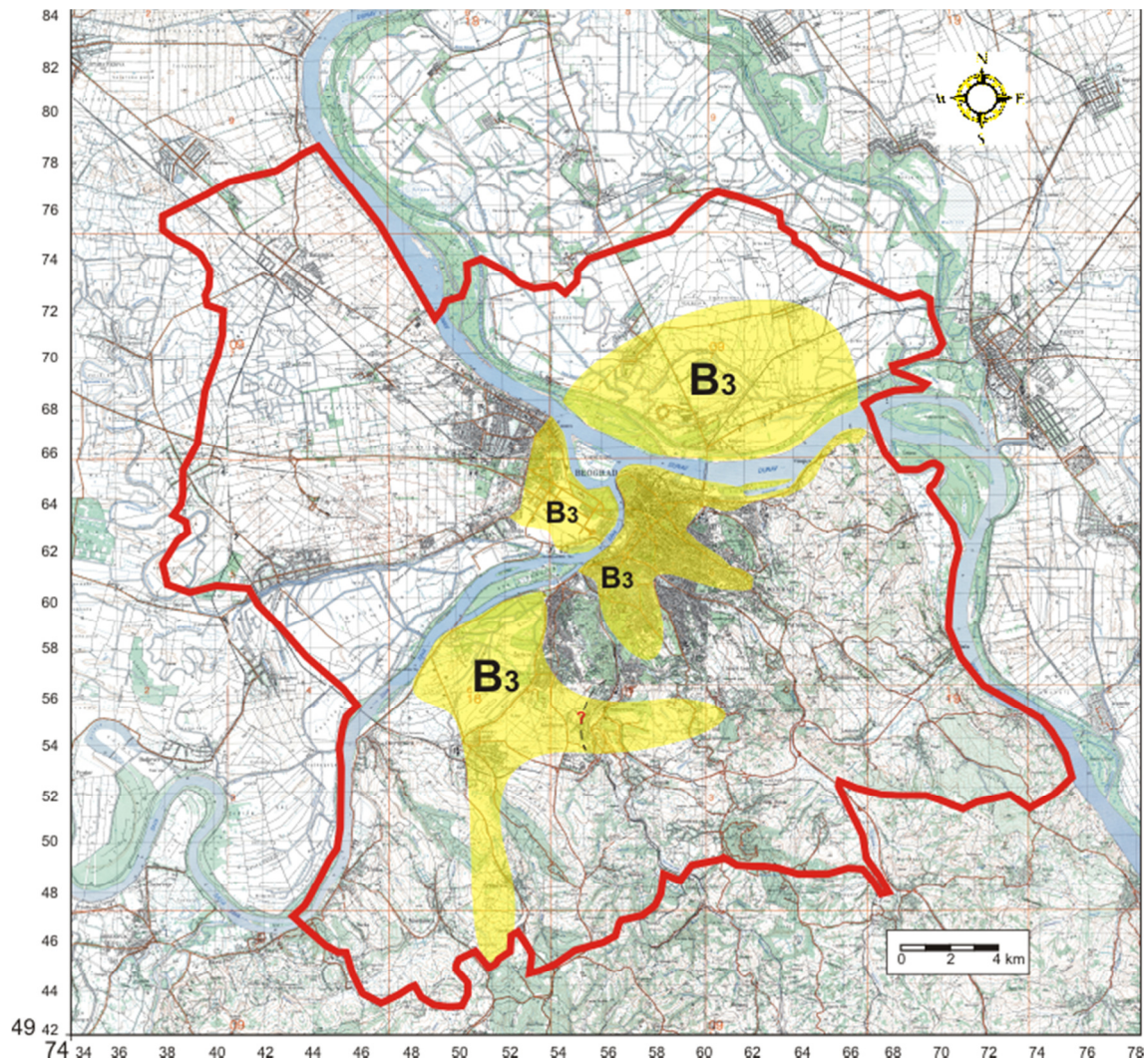
Na slici 260. prikazano je maksimalno rasprostranjenje hidrogeotermalnih resursa B₁ i B₂. Na osnovu podataka dobijenih bušenjem izrađen je model rasprostranjenja krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti na delu centralnog gradskog područja, pančevačkog rita i dela Novog Beograda (slika 261). Model rasprostranjenja krečnjaka bio je osnova za izradu karte maksimalnog rasprostranjenja krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti na užem području grada Beograda (hidrogeotermalni resursi B₃), slika 262. Za potrebe izrade modela tortonsko-sarmatskih krečnjaka korišćen je softverski paket RockWorks15. Na slici 263. prikazano je maksimalno rasprostranjenje hidrogeotermalnih resursa B₄.



Slika 260. Maksimalno rasprostranjenje hidrogeotermalnih resursa B₁ u okviru peskova pliocenske starosti i hidrogeotermalnih resursa B₂ u okviru peskova sarmatsko-panonske starosti



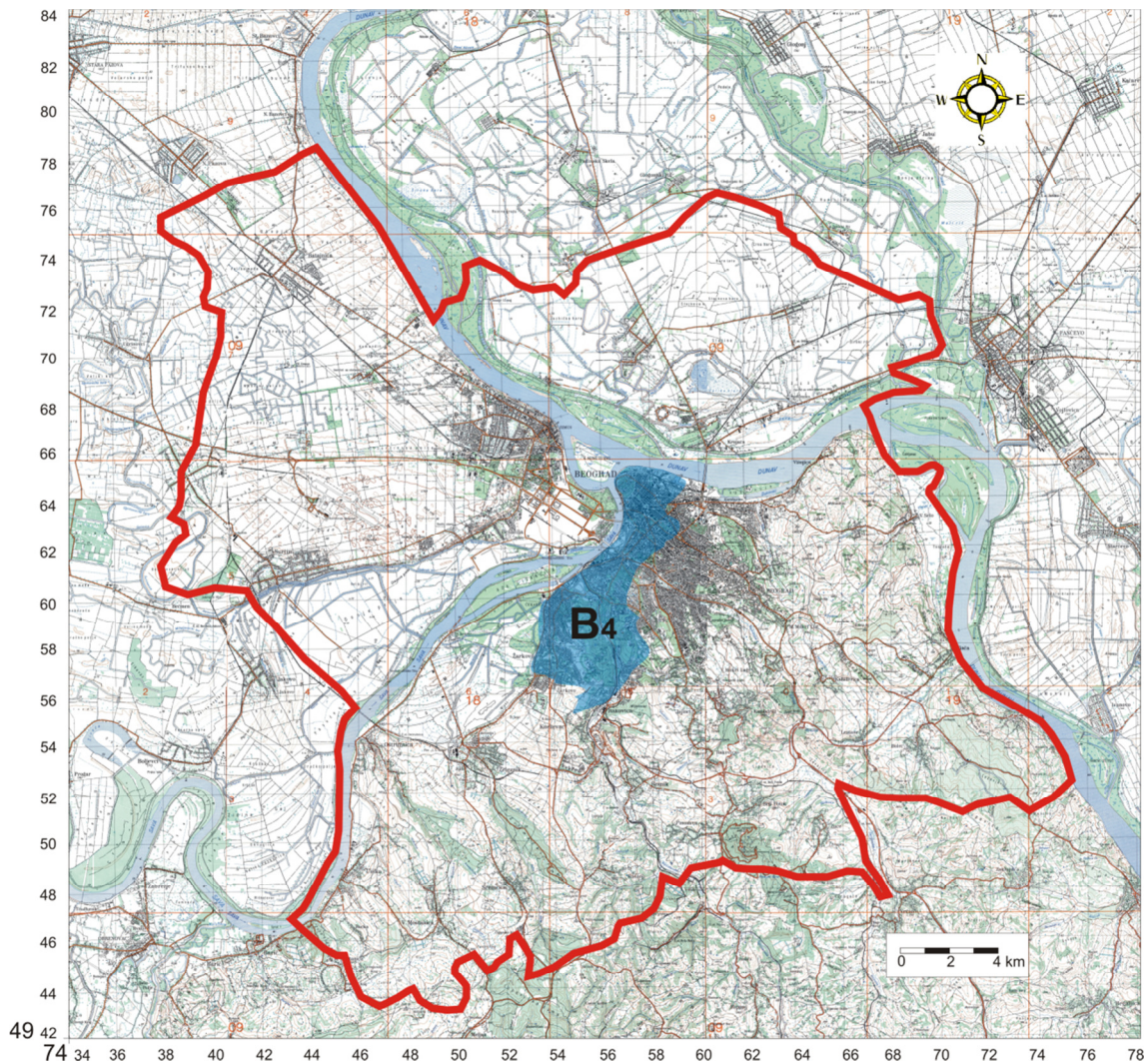
Slika 261. Model rasprostranjenja krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti



LEGENDA:

B3 Hidrogeotermalni resursi u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti

Slika 262. Maksimalno rasprostranjenje hidrogeotermalnih resursa B₃ u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti



LEGENDA:

B4 Hidrogeotermalni resursi u okviru krečnjaka kredne starosti

Slika 263. Maksimalno rasprostranjenje hidrogeotermalnih resursa B₄ u okviru krečnjaka kredne starosti

28.1.2.2. Temperaturni režim hidrogeotermalnog sistema HGTS T

Temperaturni režim hidrogeotermalnih resursa B₁-Zemunsko-bežanijski lesni plato

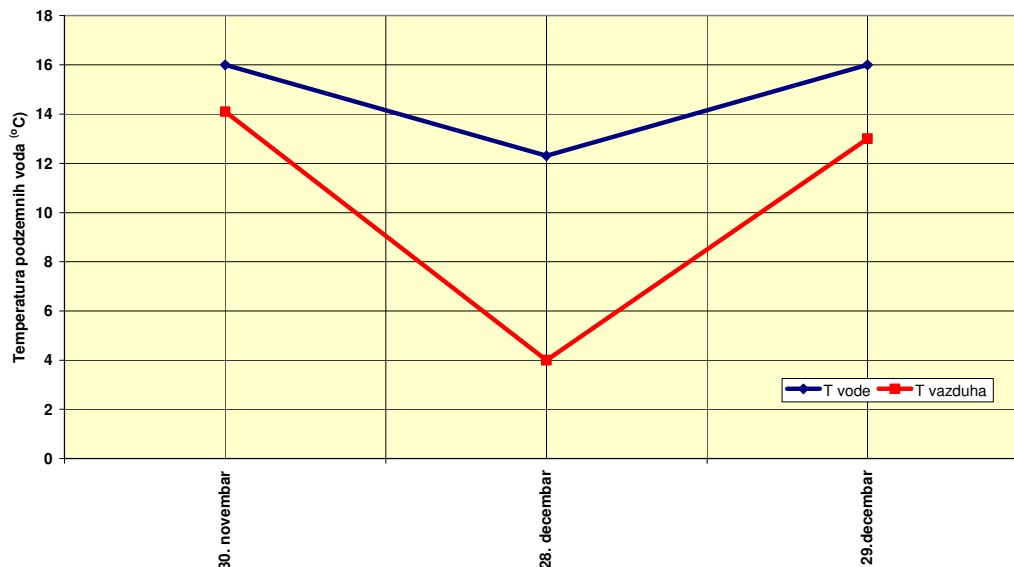
Temperaturni režim hidrogeotermalnih resursa u okviru peskova pliocenske starosti na području Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa sagledan je na osnovu podataka dobijenih izradom eksploatacionih bunara na ovom delu terena, te na osnovu režimskih osmatranja temperature podzemnih voda na dva bunara u periodu od novembra 2005. godine do februara 2006. godine (tabela 137).

Tabela 137. Temperature podzemnih voda formiranih u okviru peskova pliocenske starosti na području Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa

| Redni broj | Naziv | Lokacija | Dubina do NPV (m) | T (°C) |
|---|-------------|-----------------------------|-------------------|-------------|
| Režimska osmatranja temperature i nivoa podzemnih voda | | | | |
| 15.11.2005. | | | | |
| 1 | INSA | U krugu fabrike "INSA" | 17.72 | 15.3 |
| 30.11.2005. T _{vaz} =14.1°C | | | | |
| 1* | TELEOPTIK | U krugu fabrike "Teleoptik" | - | 16.0 |
| 2. | INSA | U krugu fabrike "INSA" | 18.19 | 15.2 |
| 28.12.2005. T _{vaz} =4°C | | | | |
| 1** | TELEOPTIK | U krugu fabrike "Teleoptik" | - | 12.3 |
| 2. | INSA | U krugu fabrike "INSA" | 17.93 | 12.5 |
| 06.02.2005. T _{vaz} =13°C | | | | |
| 1* | TELEOPTIK | U krugu fabrike "Teleoptik" | - | 16.0 |
| 2. | INSA | U krugu fabrike "INSA" | 17.7 | 14.5 |
| 09.11.2009. | | | | |
| 1. | B-4 | Batajnica | - | 15.0 |
| 22.05.2010. | | | | |
| 2. | B-5 | Batajnica | 16.50 | 14.5 |
| 27.12.2008. | | | | |
| 3. | "Europolis" | Zemun | - | 13.0 |

* najviša izmerena temperatura podzemnih voda

** najniža izmerena temperatura podzemnih voda



Slika 264. Dijagram promene temperature podzemnih voda i dubine do nivoa podzemnih voda u bunaru u krugu fabrike "Teleoptik"

Na području Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa srednja vrednost temperature hidrogeotermalnih resursa $B_1 \approx 14^\circ\text{C}$

Temperaturni režim hidrogeotermalnih resursa B_2 –Gročanski podrejon

Temperaturni režim podzemnih voda formiranih u peskovima sarmatsko-panonske starosti sagledan je na osnovu pojedinačnih merenja na istražno-eksploatacionim bunarima u različitim vremenskim periodima i različitim hidrološkim uslovima. Na ovom delu terena nisu rađena kontinualna osmatranja nivoa i temperature, kao što je slučaj sa teritorijom Novog Beograda, Zemuna i centralnih delova grada Beograda.

Analizirane su vrednosti temperatura merenih na bunarima u okviru generalnog urbanističkog plana i van njega, obzirom da je znatan deo rasprostranjenja vodonosnih sarmatsko-panonskih peskova konstatovan u okolini Vrčina, Zaklopače, Grocke zatim u okolini Umčara.

Tabela 138. Temperature podzemnih voda formiranih u okviru sarmatsko-panonskih peskova

| Redni broj | Bunar/pijezometar | Lokacija | T (°C) |
|------------|-------------------|------------------|-------------|
| 1. | BF-1 | Boleč | 22.0 |
| 2. | IEBB-1/2003 | Boleč | 23.0 |
| 3. | IB-1 | Bubanj potok | 16.5 |
| 4. | P-3 | Grocka | 24.0 |
| 5.* | G-1 | Grocka | 24.5 |
| 6. | IB-1 | Kaluđerica | 21.0 |
| 7. | B2M-1 | Leštane | 22.0 |
| 8. | BL-1 | Leštane | 21.0 |
| 10. | L-2 | Leštane | 21.0 |
| 11. | IB-1 | Radmilovac | 23.0 |
| 12. | IB-2 | Radmilovac | 19.0 |
| 13. | B-1 | Ritopek | 17.0 |
| 14. | B-1 | Ritopek-Livadice | 19.0 |
| 15. | R-3 | Umčari | 18.0 |
| 16. | BV-1 | Vinča | 22.0 |
| 17. | BV-2 | Vinča | 17.0 |
| 18.** | BV-2 | Vrčin | 16.0 |
| 19. | BV-4 | Vrčin | 20.0 |
| 20. | B-1 | Vrčin | 17.0 |

* najviša izmerena temperatura podzemnih voda

** najniža izmerena temperatura podzemnih voda

Srednja vrednost temperature hidrogeotermalnih resursa u okviru peskova sarmatsko-panonske starosti $B_2 \approx 20.0\text{ }^\circ\text{C}$

Temperaturni režim hidrogeotermalnih resursa B_3 –Centralno gradsko područje

Temperaturni režim hidrogeotermalnih resursa B_3 sagledan je na Centralnom gradskom području. Na pomenutom delu terena vršena su režimska osmatranja od oktobra 2005. godine do marta 2006. godine. U tabeli 139. prikazane su osmatrane vrednosti nivoa i temperatura podzemnih voda na reprezentativnim bunarima i pijezometrima.

Tabela 139. Temperature podzemnih voda formiranih u krečnjacima tortonsko-sarmatske starosti na centralnom gradskom području u periodu oktobar 2005.-februar 2006. godine

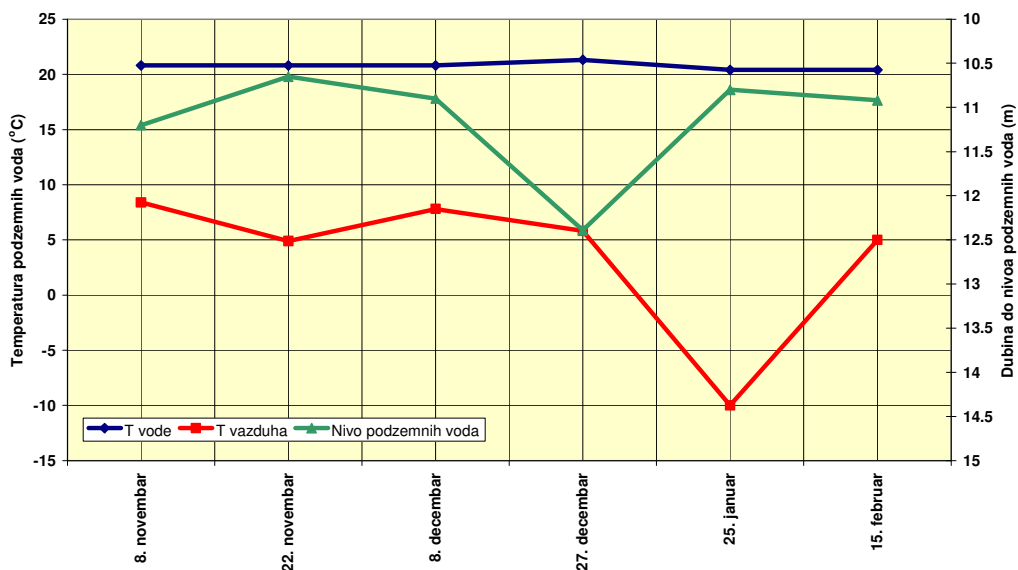
| Datum | 12.10.2005. | 08/10.11. 2005. | 22.11.2005. | 08.12.2005. | 27.12.2005. | 25.01.2005. | 15.02.2006 |
|----------------------------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Oznaka | NPV / T (°C) | | | | | | |
| B-1 BIP | -/16.5 | n.m. | n.m. | -/16.5 | -/16.6 | n.m. | n.m. |
| B-2 BIP | -/16.6 | -/16.3 | -/16.3 | -/16.1 | -/16.9 | n.m. | n.m. |
| B-3 BIP | -/15.6 | -/15.5 | -/15.1 | -/15.3 | n.m. | -/15.2 | n.m. |
| B-2 Skadarlija | -/22.4* | 11.20/20.8 | 10.65/20.8 | 10.90/20.8 | 12.39/21.3 | 10.80/20.4 | 10.92/20.4 |
| B-3 Skadarlija | -/18.8 | -/18.3 | -/18.3 | n.m. | n.m. | n.m. | n.m. |
| Botanička bašta | n.m.*** | -/15.2 | -/14.7 | -/15.2 | -/16.2 | -/14.6 | n.m. |
| Višnjička banja-Kap. | n.m. | -/14.6 | -/14.3 | -/14.3 | -/14.0 | -/13.3 | -/12.9 |
| izvor u Višnjičkoj banji | n.m. | -/15.3 | -/14.5 | -/15.0 | -/14.3 | -/14.0 | -/13.7** |
| Idea | n.m. | 4.89/16.6 | 4.76/16.3 | n.m. | 4.28/16.3 | 4.30/15.1 | 4.69/15.5 |
| Lučka kapetanija | n.m. | 5.30/16.4 | 5.30/16.4 | 5.39/16.4 | 5.42/16.3 | 5.48/14.9 | n.m. |
| Marakana | n.m. | n.m. | n.m. | 25.10/15.7 | 25.32/15.3 | 25.56/15.0 | n.m. |
| Sv. Petka | n.m. | n.m. | n.m. | -/16.6 | -/16.3 | -/14.3 | n.m. |
| Izvor Bele Vode | n.m. | n.m. | n.m. | -/15.1 | -/15.4 | -/15.1 | -/15.2 |
| SREDNJA DNEVNA T _{vod.} | 17.9 | 16.5 | 16.3 | 16.0 | 16.3 | 15.2 | 15.5 |
| SREDNJA DNEVNA T _{vav.} | 16.0 | 8.4 | 4.9 | 7.8 | 5.8 | -10 | 5.0 |

* najviša izmerena temperatura podzemnih voda

** najniža izmerena temperatura podzemnih voda

*** n.m. – nije mereno

Srednja vrednost temperature hidrogeotermalnih resursa formiranih u krečnjacima tortonsko-sarmatske starosti na centralnom gradskom području iznosi $B_3 \approx 16.0$ °C



Slika 265. Dijagram promene temperature podzemnih voda i dubine do nivoa podzemnih voda na bunaru B-2 u Skadarliji

U cilju potpunijeg sagledavanja temperaturnog režima hidrogeotermalnih resursa B₃, na centralnom gradskom području, analizirane su i temperature bunara koji nisu bili uključeni u osmatračku mrežu. Većina ovih bunara urađena je nakon 2006. godine.

Tabela 140. Temperature podzemnih voda formiranih u krečnjacima tortonsko-sarmatske starosti na centralnom gradskom području

| Redni broj | Bunar/pijezometar | Lokacija | T (°C) |
|------------|-------------------|-------------------|--------|
| 1. | IB-2 | Toplana Dorćol | 22.8* |
| 2. | BM-1 | Skender Begova 51 | 22.3* |
| 3. | IEBBD-1 | Dobračina 8 | 20.0 |
| 4. | IB-1 | Takovska 48 | 17.1 |
| 5. | B-1 | Osmana Đikića 18 | 19.0* |
| 6. | B-1 | Tašmajdan | 17.0 |
| 7. | CGL-1 | Lamartinova | 16.9 |
| 8. | IBS-1/11 | Žanke Stokić | 14.8* |
| 9. | IB-1 | Američka ambasada | 17.4* |
| 10. | IBŠ-1/12 | Šekspirova | 16.0 |
| 11. | B-1 | Jevrema Grujića | 16.9 |
| 12. | IBV-1/08 | Toplana Voždovac | 21.1* |

*Temperatura podzemnih voda merena je temperaturnom sondom prilikom izvođenja karotažnih merenja u bušotini, odmah nakon završetka bušenja.

Srednja vrednost temperature podzemnih voda formiranih u krečnjacima tortonsko-sarmatske starosti na centralnom gradskom području, osmatrana nakon 2006. godine iznosi $B_3 \approx 18.5 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperaturni režim hidrogeotermalnih resursa B_3 –Savska aluvijalna ravan

Temperaturni režim hidrogeotermalnih resursa B_3 formiranih u okviru krečnjaka tortonsko-badske starosti na delu teritorije Novog Beograda sagledan je na osnovu rezultata režimskih osmatranja vršenih od avgusta 2005. godine do decembra 2005., te na osnovu merenja temperature podezmnih voda u pijezometrima koji nisu bili uključeni u osmatračku mrežu (tabela 141).

Tabela 141. Temperature podzemnih voda formiranih u krečnjacima tortonsko-sarmatske starosti na delu teritorije Novog Beograda

| Redni broj | Naziv | Lokacija | Dubina do NPV (m) | T (°C) |
|---|---------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| Režimska osmatranja temperature i nivoa podzemnih voda | | | | |
| 17-18. 08.2005., $T_{vaz.} = 20^\circ\text{C}$ | | | | |
| 1. | PdUS1 | Lev ob. Sav. -PC Ušće | 9.43 | 14.7 |
| 2. | PdUS 5 | Lev ob. Sav-PC Ušće | 13.96 | 15.2 |
| 3. | PdUs 4 | Lev. ob. Sav-PC Ušće | 14.88 | 16.6 |
| 4. | PdUs 3 | Lev. ob. Sav-PC Ušće | 15.52 | 15.6 |
| 23.09.2005., $T_{vaz.} = 18^\circ\text{C}$ | | | | |
| 5. | PdUS 5 | Lev. ob. Sav-PC Ušće | 9.18 | 15.7 |
| 30.10.2005., $T_{vaz.} = 13^\circ\text{C}$ | | | | |
| 6. | PdUS 5 | Lev. ob. Sav-PC Ušće | 10.56 | 13.7 |
| 16.11.2005., $T_{vaz.} = 14,5^\circ\text{C}$ | | | | |
| 7. | PdUS 5 | Lev. ob. Sav-PC Ušće | 10.65 | 14.2 |
| 29.11.2005., $T_{vaz.} = 10^\circ\text{C}$ | | | | |
| 8. | PdUS 5 | Lev. ob. Sav-PC Ušće | 10.98 | 14.3 |
| 28.12.2005., $T_{vaz.} = 10^\circ\text{C}$ | | | | |
| 9. | PdUS 5 | Lev. ob. Sav-PC Ušće | 10.02 | 13.8 |
| septembar 2004. godine | | | | |
| 1. | PdUS 8 | Lev. ob. Sav | - | 22.0^{***} |
| 2. | PdUS 12 | Lev. ob. Sav | - | 18.5^{***} |
| 3. | PdUS 13 | Lev. ob. Sav | - | 21.0^{***} |
| oktobar 2004. godine | | | | |
| 4. | PdUS 16 | | - | 18.0^{***} |

* najviša izmerena temperatura podzemnih voda

** najniža izmerena temperatura podzemnih voda

*** Temperatura podzemnih voda merena je temperaturnom sondom prilikom izvođenja karotažnih merenja u bušotini, odmah nakon završetka bušenja.

- Tokom 2004. godine prilikom izvođenja testova crpenja na bušotinama u zoni Ušća (IEBUS-2/04, IEBUS-3/04, IEBUS-4/04) konstatovana je temperatura podzemnih voda od 16 °C.
- Na lokaciji Bloka 11a na Novom Beogradu izvedena je istražna bušotina kojom su konstatovani krečnjaci badenske starosti na 46 m dubine. Na ortu bušotine (60 m) izmerena je temperatura od 22 °C.

Srednja vrednost temperature hidrogeotermalnih resursa formiranih u krečnjacima tortonsko-badske starosti na delu teritorije Novog Beograda iznosi ≈16.5 °C

Temperaturni režim hidrogeotermalnih resursa B₃–Pančevački rit

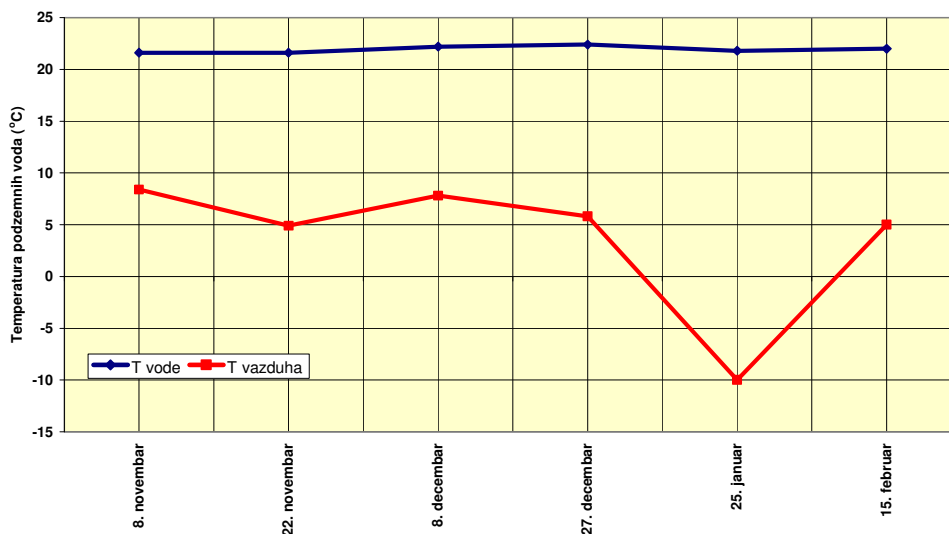
Na teritoriji Pančevačkog rita temperaturni režim hidrogeotermalnih resursa B₃ sagledan je na osnovu režimskih osmatranja temperatura na bušotini OB-1 u Ovči. Režimska osmatranja trajala su u periodu od novembra 2005. godine do februara 2006. godine (tabela 142).

Tabela 142. Temperature podzemnih voda formiranih u krečnjacima tortonsko-sarmatske starosti na delu teritorije Pančevačkog rita

| Redni broj | Naziv | Lokacija | T (°C) |
|---|-------|----------|--------------|
| Režimska osmatranja temperature i nivoa podzemnih voda | | | |
| 8-10.11. 2005., T _{vaz.} = 8.4°C | | | |
| 1. | OB-1 | Ovča | 21.6 |
| 22.11.2005., T _{vaz.} = 4.9°C | | | |
| 2. | OB-1 | Ovča | 21.6 |
| 8.12.2005., T _{vaz.} = 7.8°C | | | |
| 3. | OB-1 | Ovča | 22.2 |
| 27.12.2005., T _{vaz.} = 5.8°C | | | |
| 4. | OB-1 | Ovča | 22.4* |
| 25.01.2006., T _{vaz.} = -10°C | | | |
| 5. | OB-1 | Ovča | 21.8 |
| 15.02.2006., T _{vaz.} = 5°C | | | |
| 6. | OB-1 | Ovča | 22.0 |
| 1939. godina | | | |
| 1. | B-37 | Ovča | 19** |
| 1985. godina | | | |
| 2. | OB-1 | Ovča | 25 |

* najviša izmerena temperatura podzemnih voda

** najniža izmerena temperatura podzemnih voda



Slika 266. Dijagram promene temperature podzemnih voda u bušotini OB-1 u Ovči

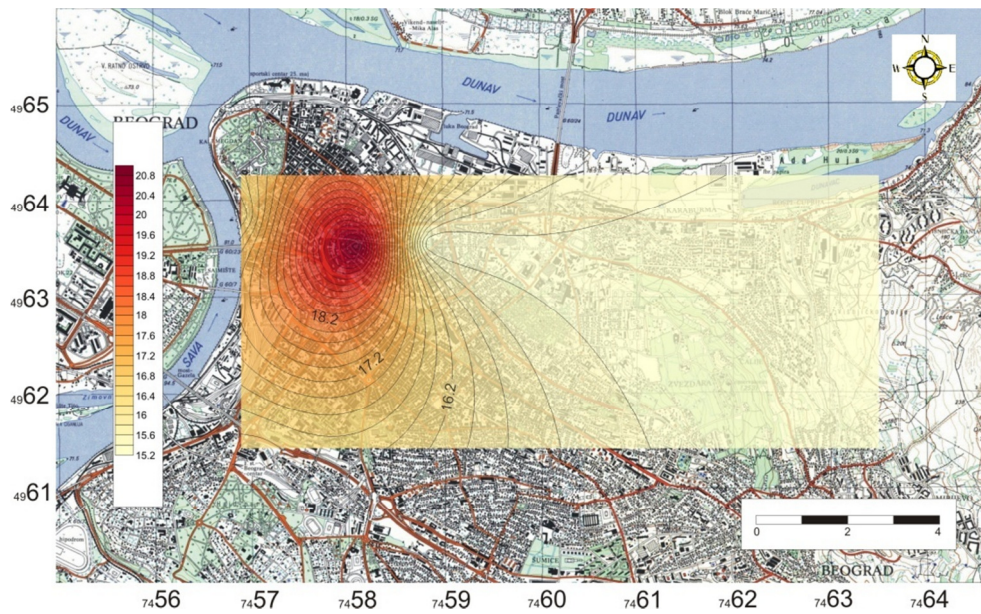
Srednja vrednost temperature hidrogeotermalnih resursa u okviru krečnjaka tortonско-sarmatske starosti na delu teritorije Pančevačkog rita $B_3 \approx 22^\circ\text{C}$

Srednja vrednost temperature hidrogeotermalnih resursa u okviru krečnjaka tortonско-sarmatske starosti iznosi $B_3 \approx 18.0^\circ\text{C}$

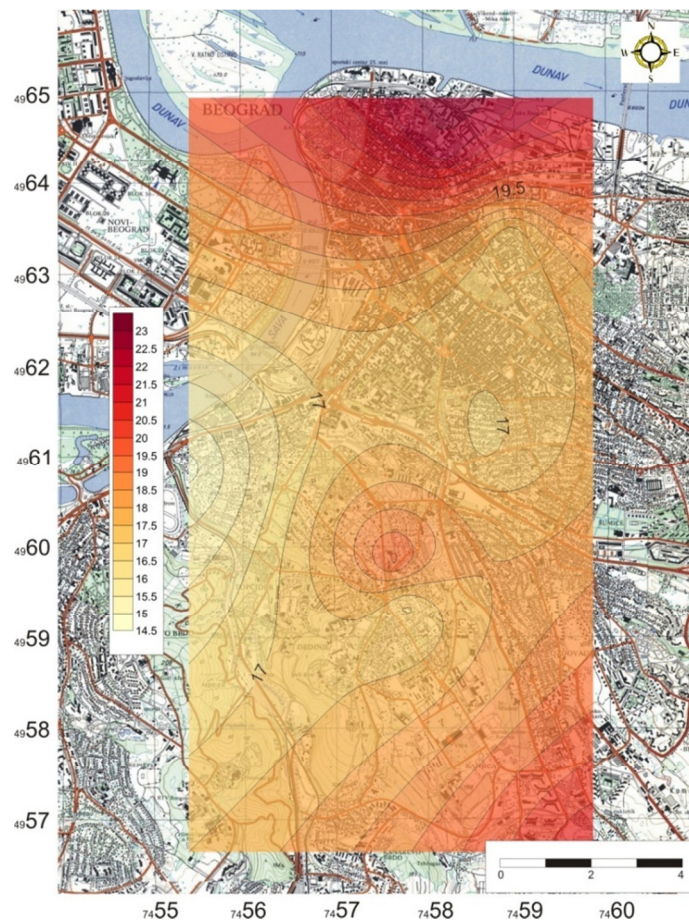
Srednja vrednost temperature hidrogeotermalnih resursa u okviru krečnjaka kredne (urgonske) starosti je procenjena $B_4 \approx 28-30^\circ\text{C}$

28.1.2.3. Izoterme u okviru hidrogeotermalnog sistema HGTST

U okviru hidrogeotermalnog sistema HGTST priložena je karta hidroizotermi na centralnom gradskom području, u okviru hidrogeotermalnih resursa B_3 . Na slici 267. prikazane su hidroizoterme konstruisane na osnovu podataka kontinualnih osmatranja temperature podzemnih voda (tabela 141). Na slici 268 prikazane su hidroizoterme konstruisane na osnovu vrednosti temperatura merenih nakon režimskih osmatranja (tabela 142).



Slika 267. Hidroizoterme na centralnom gradskom području na dan 22.11.2005. godine



Slika 268. Hidroizoterme na centralnom gradskom području nakon perioda režimskih osmatranja

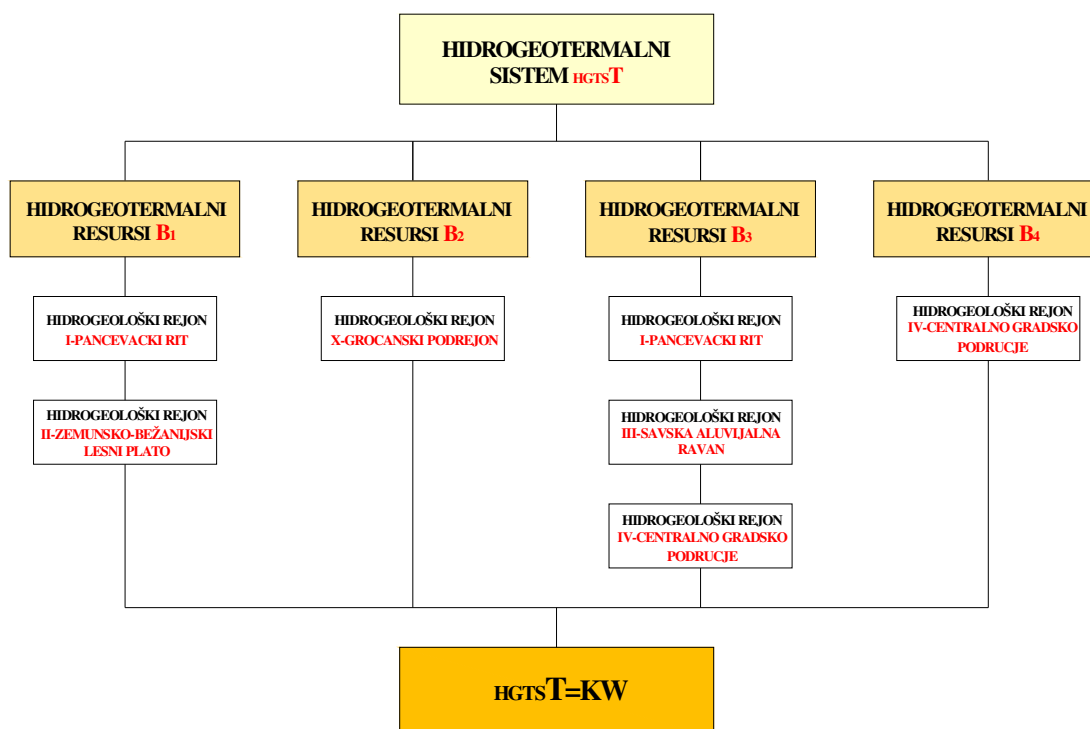
28.1.2.4. Kvantifikacija hidrogeotermalnih resursa u okviru sistema $HGTS_T$

Kvantifikacija hidrogeotermalnih resursa sistema $HGTS_Q$ podrazumeva ocenu raspoložive toplotne snage koja je akumulirana u podzemnim vodama određene temperature u okviru peskovitih sedimenata pliocenske i sarmatsko-panonske straosti, zatim u okviru krečnjaka tortonsko-kvartarne starosti.

Ulazni podaci su:

- **količine podzemnih voda**
 - zapremina izdani
 - prosečna efektivna poroznost stena
- **temperatura podzemnih voda**

Na slici 269 prikazan je algoritam hidrogeotermalnog sistema $HGTS_T$.



Slika 269. Algoritam hidrogeotermalnog sistema $HGTS_T$

HIDROGEOTERMALNI RESURSI B₁

Hidrogeotermalni resursi B₁–Zemunsko-bežanijski lesni plato

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|---|--------------------------------------|
| Maksimalna površina rasprostranjenja peskova pliocenske starosti na teritoriji Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa u okviru granica GP-a | ≈155km ² |
| Prosečna debljina peskova pliocenske starosti | 14 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 217 x 10 ⁷ m ³ |
| Efektivna poroznost | 0.1 |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 217 x 10 ⁶ m ³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 14°C |

*procenjena vrednost efektivne poroznosti za peskovite slojeve iznosi minimalno 10%

U tabeli 143. prikazane su raspoložive količine i temperature hidrogeotermalnih resursa B₁ na teritoriji Zemunsko-Bežanijskog lesnog platoa.

Tabela 143. Raspoložive količine i temperatura hidrogeotermalnih resursa B₁

| Hidrogeotermalni resursi B ₁ | |
|--|---------------------------------|
| HGTS ^T | Zemunsko-Bežanijski lesni plato |
| Raspoložive količine podzemnih voda (l/s) | 11.500* |
| Srednja vrednost temperature podzemnih voda (°C) | 14.0 |

*Raspoložive količine podzemnih voda na delu teritorije Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa koje se mogu zahvatiti iz peskova pliocenske starosti sračunate su na osnovu:

- srednje vrednosti izdašnosti postojećih bunara (11 l/s),
- srednjih vrednosti radijusa dejstava bunara (oko 350 m po Zihartu)
- maksimalne površine rasprostranjenja izdani (155 km²)

HIDROGEOTERMALNI RESURSI B₂

Hidrogeotermalni resursi B₂–Gročanski podrejon

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|---|------------------------------------|
| Maksimalna površina rasprostranjenja peskova sarmatsko-panonske starosti, posmatrano i van teritorije GUP-a | ≈150km ² |
| Prosečna debljina peskova sarmatsko-panonske starosti | 24 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 4 x 10 ⁹ m ³ |
| Efektivna poroznost | 0.1* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 4 x 10 ⁸ m ³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 21.5°C |

*procenjena vrednost efektivne poroznosti za peskovite slojeve iznosi minimalno 10%

U tabeli 144 prikazane su raspoložive količine i temperature hidrogeotermalnih resursa B₂ na teritoriji Gročanskog podrejona.

Tabela 144. Raspoložive količine i temperatura hidrogeotermalnih resursa B₂

| Hidrogeotermalni resursi B ₂ | |
|--|--------------------|
| HGTST | Gročanski podrejon |
| Raspoložive količine podzemnih voda (l/s) | 375* |
| Srednja vrednost temperature podzemnih voda (°C) | 20.0 |

* Raspoložive količine podzemnih voda na delu teritorije Gročanskog podrejona, koje se mogu zahvatiti iz sarmatsko-panonskih peskova izračunate su na osnovu prognoze kapaciteta “Vrčinske” izdani, koja pripada hidrogeotermalnim resursima B₂. Prema hidrodinamičkom modelu izdani površine preko 40 km², pri nepovoljnim uslovima prihranjivanja moguće je eksploatisati oko 100 l/s neprekidno u periodu od 20 godina (Simić, i dr., 1982).

IDROGEOTERMALNI RESURSI B₃

Hidrogeotermalni resursi B₃–Pančevački rit

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|--|---------------------------------------|
| Maksimalna površina rasprostranjenja krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti na teritoriji Pančevačkog rita | ≈ 65 km ² |
| Prosečna debljina krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti | 25 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 1625 x 10 ⁶ m ³ |
| Efektivna poroznost | 0.01* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 1625 x 10 ⁴ m ³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 22 °C |

*procenjena vrednost efektivne poroznosti za krečnjake iznosi minimalno 1%

Hidrogeotermalni resursi B₃–Savska aluvijalna ravan

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|---|------------------------------------|
| Maksimalna površina rasprostranjenja krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti na delu teritorije Novog Beograda | ≈10 km ² |
| Prosečna debljina peskova krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti | 30 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 3 x 10 ⁸ m ³ |
| Efektivna poroznost | 0.01* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 3 x 10 ⁶ m ³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 16.5 °C |

*procenjena vrednost efektivne poroznosti za krečnjake iznosi minimalno 1%

Hidrogeotermalni resursi B₃–Centralno gradsko područje

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|---|--------------------------------------|
| Maksimalna površina rasprostranjenja krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti | ≈ 85 km ² |
| Prosečna debljina krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti | 35 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 298 x 10 ⁷ m ³ |
| Efektivna poroznost | 0.01* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 238 x 10 ⁶ m ³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 17.0 °C |

*procenjena vrednost efektivne poroznosti za krečnjake iznosi minimalno 1%

U tabeli 145 prikazane su raspoložive količine i temperature hidrogeotermalnih resursa B₃.

Tabela 145. Raspoložive količine i temperatura hidrogeotermalnih resursa B₃

| Hidrogeotermalni resursi B₃ | | | |
|--|------------------|-------------------|----------------------------|
| HGTST | Pančevački rit | Novi Beograd | Centralno gradsko područje |
| Raspoložive količine podzemnih voda (l/s) | 100 [*] | 200 ^{**} | 600 ^{***} |
| Srednja vrednost temperature podzemnih voda (°C) | 22.0 | 16.5 | 17.0 |

* Raspoložive količine podzemnih voda na delu teritorije Pančevačkog rita, koje se mogu zahvatiti iz krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti procenjene su na osnovu srednje vrednosti izdašnosti postojećih bunara (OB-1 i B-37 po njihovoj izradi (9 l/s).

** Raspoložive količine podzemnih voda na delu teritorije Novog Beograda, koje se mogu zahvatiti iz krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti procenjene su na osnovu srednje vrednosti izdašnosti postojećih bunara (tabela 146)

Tabela 146. Raspoložive količine podzemnih voda na levoj obali Save od Ušća do starog železničkog mosta

| Bunar | Dubina bunara/Debljina izdani (m) | Izdašnost (l/s) | Statički nivo (m) | Dinamički nivo (m) | Depresija (m) |
|------------|-----------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|---------------|
| IEBUS-2/04 | 52/28-48 | 15.00 | 14.66 | 25.00 | 10.34 |
| IEBUS-3/04 | 109/52-106 | 30.00 | 14.14 | 18.00 | 3.86 |
| IEBUS-4/04 | 100/58-100 | 35.00 | 13.22 | 16.00 | 2.78 |
| UKUPNO | | 80.00 | | | |

*** Raspoložive količine podzemnih voda na delu centralnog gradskog područja, koje se mogu zahvatiti iz krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti procenjene su na osnovu vrednosti izdašnosti postojećih bunara, iznose oko 100 l/s.

28.1.2.5. Ograničenja u korišćenju hidrogeotermalnih resursa

Na ograničenja u primeni hidrogeotermalnih resursa sistema HGTS^T za potrebe grejanja i hlađenja objekata utiče:

- hemijski sastav podzemnih voda
- raspoloživost slobodnih površina terena
- osnovna namena zemljišta

Ograničenja primene analizirana su u sistemu HGTS^T, imajući u vidu rasprostranjenje i hemizam hidrogeotermalnih resursa B₁, B₂, i B₃ kroz komparaciju koncentracija pojedinih elemenata hemijskog sastava podzemnih voda u odnosu na granične koncentracije istih. Granične koncentracije kritičnih hemijskih elemenata su one koncentracije pri kojima se odvija nesmetan rad toplotnih pumpi, odnosno iznad kojih je rad toplotnih pumpi ugrožen.

Hidrogeotermalni resursi B₁

Hemizam podzemnih voda kao faktor ograničenja primene resursa u niskotemperaturnim sistemima klimatizacije, posmatran je generalno za resurse B₁ na teritoriji Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa. Kritične hemijske vrednosti hidrogeotermalnih resursa B₁ su povišena tvrdoća i mineralizacija.

Kako se mogu javiti značajne razlike i odstupanja u koncentracijama elemenata hemijskog sastava podzemnih voda iste izdani, u tabeli 147 analiziran je hemijski sastav nekoliko uzoraka podzemnih voda formiranih u peskovima pliocenske starosti na delu teritorije Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa u odnosu na granične koncentracije hemijskih elemenata pri kojima se odvija nesmetan rad toplotnih pumpi.

Hidrogeotermalni resursi B₂

U tabeli 148 analiziran je hemijski sastav nekoliko uzoraka podzemnih voda formiranih u peskovima sarmatsko-badenske starosti na delu teritorije Gročanskog podrejona u odnosu na granične koncentracije hemijskih elemenata pri kojima se odvija nesmetan rad toplotnih pumpi.

Hidrogeotermalni resursi B₃

U tabelama 149 i 150 analiziran je hemijski sastav nekoliko uzoraka podzemnih voda formiranih u karstnom tipu izdani u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti na centralnom gradskom području. U tabeli 151 analiziran je hemijski sastav podzemnih voda formiranih u karstnom tipu izdani u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti na teritoriji Pančevačkog rita.

Tabela 147. Komparativna analiza hemijskog sastava hidrogeotermalnih resursa B₁ na teritoriji Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa u odnosu na granične koncentracije

| Granične vrednosti (mg/l) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|------|----------------|------------------|-----------------|-------|---------------|
| Cl | SO ₄ | NO ₃ | Mn | CO ₂ | NH ₃ | Fe | O ₂ | H ₂ S | SO ₃ | pH | El.prov.µS/cm |
| <100 | <50 | <100 | <0.1 | <5 | <2 | <0.2 | <2 | <0.05 | <1 | 6.5-9 | 50<600 |



| Merenе vrednosti (mg/l) | bunar B-4 | bunar B-1 |
|----------------------------|----------------|-----------|
| | Batajnica | Zemun |
| Cl | 123 | 155 |
| SO ₄ | 188 | 118 |
| NO ₃ | 14 | 428 |
| Mn | 0.015 | <0.02 |
| CO ₂ | / [*] | 103.8 |
| NH ₃ | 0.11 | <0.07 |
| Fe | 0.024 | <0.01 |
| O ₂ | / | / |
| H ₂ S | / | <0.05 |
| SO ₃ | / | / |
| pH | 7.3 | 7.21 |
| El.prov.µS/cm | 1100 | 2180 |

** podaci nisu dostupni*

Komentar: Na teritoriji Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa analizirana su dva uzoraka podzemnih voda. Povišene koncentracije hlorida, sulfata i el. provodljivosti konstatovane su u oba uzorka, a u uzorku podzemnih voda na području Zemuna konstatovane su i povišene koncentracije nitrata i ugljendioksida.

Tabela 148. Komparativna analiza hemijskog sastava hidrogeotermalnih resursa B₂ na teritoriji Gročanskog podrejona u odnosu na granične koncentracije

| Granične vrednosti (mg/l) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|------|----------------|------------------|-----------------|-------|---------------|
| Cl | SO ₄ | NO ₃ | Mn | CO ₂ | NH ₃ | Fe | O ₂ | H ₂ S | SO ₃ | pH | El.prov.µS/cm |
| <100 | <50 | <100 | <0.1 | <5 | <2 | <0.2 | <2 | <0.05 | <1 | 6.5-9 | 50<600 |

| Merene vrednosti (mg/l) | bunar RP-1 | BF-1 |
|-------------------------|------------|--------|
| | Vrčin | Boleč |
| Cl | 5.7-7.1 | 673.9 |
| SO ₄ | 34.8-44.4 | 1.4 |
| NO ₃ | <2 | <0.006 |
| Mn | 0.008-0.05 | 0.046 |
| CO ₂ | 0.0-0.05 | <0.5 |
| NH ₃ | 2.38-3.21 | 3.71 |
| Fe | / | 2.38 |
| O ₂ | / | 0.5 |
| H ₂ S | <0.2 | <0.002 |
| SO ₃ | / | / |
| pH | 8.5-8.6 | 8.9 |
| El.prov.µS/cm | 700 | 3740 |

* podaci nisu dostupni

Komentar: Na teritoriji Gorčanskog podrejona analizirana su dva uzorka podzemnih voda. Povišene koncentracije amonijaka i el. provodljivosti konstatovane su u oba uzorka, a u uzorku podzemnih voda na području Boleča konstatovane su i povišene koncentracije hlorida i jona gvožđa.

Tabela 149. Komparativna analiza hemijskog sastava hidrogeotermalnih resursa B₃ na teritoriji centralnog gradskog područja u odnosu na granične koncentracije

| Granične vrednosti (mg/l) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|------|----------------|------------------|-----------------|-------|---------------|
| Cl | SO ₄ | NO ₃ | Mn | CO ₂ | NH ₃ | Fe | O ₂ | H ₂ S | SO ₃ | pH | El.prov.µS/cm |
| <100 | <50 | <100 | <0.1 | <5 | <2 | <0.2 | <2 | <0.05 | <1 | 6.5-9 | 50<600 |

| Merene vrednosti (mg/l) | bunar BS-1 | bunar BS-2 | bunar BS-3 |
|-------------------------|------------|------------|------------|
| | Skadarlija | Skadarlija | Skadarlija |
| Cl | 95.72 | 85.08 | 120.53 |
| SO ₄ | 185.00 | 170.00 | 120.00 |
| NO ₃ | / | / | / |
| Mn | / | / | / |
| CO ₂ | / | / | / |
| NH ₃ | / | / | / |
| Fe | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| O ₂ | / | / | / |
| H ₂ S | / | / | / |
| SO ₃ | / | / | / |
| pH | 7.40 | 7.50 | 7.45 |
| El.prov.µS/cm | 1223.00 | 1003.00 | 1048.00 |

* podaci nisu dostupni

Komentar: Analizirana su tri hemijska uzorka podzemnih voda uzorkovanih iz bunara koji se nalaze na relativno maloj međusobnoj udajenosti (u radijusu oko 500 m). U sva tri uzorka povišene su koncentracije sulfata i el. provodljivosti, a povišene koncentracije hlorida konstatovane su na jednom od tri uzorka.

Tabela 150. Komparativna analiza hemijskog sastava hidrogeotermalnih resursa B₃ na teritoriji centralnog gradskog područja u odnosu na granične koncentracije

| Granične vrednosti (mg/l) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|------|----------------|------------------|-----------------|-------|---------------|
| Cl | SO ₄ | NO ₃ | Mn | CO ₂ | NH ₃ | Fe | O ₂ | H ₂ S | SO ₃ | pH | El.prov.µS/cm |
| <100 | <50 | <100 | <0.1 | <5 | <2 | <0.2 | <2 | <0.05 | <1 | 6.5-9 | 50<600 |



| Merenе vrednosti (mg/l) | bunar CGL-1 | bunar IEBJG-1/12 |
|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| | Lamartinova ulica (Vračar) | Ulica Jevrema Grujića (Dedinje) |
| Cl | 37.2 | 51 |
| SO ₄ | 8.6 | 44 |
| NO ₃ | 9.0 | 26 |
| Mn | / [*] | <0.05 |
| CO ₂ | / | / |
| NH ₃ | / | / |
| Fe | 0.02 | <0.01 |
| O ₂ | / | / |
| H ₂ S | / | / |
| SO ₃ | / | / |
| pH | 7.42 | 7.2 |
| El.prov.µS/cm | / | 847 |

* podaci nisu dostupni

Komentar: Na teritoriji centralnog gradskog područja analizirana su dva uzorka podzemnih voda. Povišene vrednosti el. provodljivosti konstatovane su u jednom od uzoraka.

Tabela 151. Komparativna analiza hemijskog sastava hidrogeotermalnih resursa B₃ na teritoriji Pančevačkog rita u odnosu na granične koncentracije

| Granične vrednosti (mg/l) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|------|----------------|------------------|-----------------|-------|---------------|
| Cl | SO ₄ | NO ₃ | Mn | CO ₂ | NH ₃ | Fe | O ₂ | H ₂ S | SO ₃ | pH | El.prov.µS/cm |
| <100 | <50 | <100 | <0.1 | <5 | <2 | <0.2 | <2 | <0.05 | <1 | 6.5-9 | 50<600 |

| Merene vrednosti (mg/l) | OB-1 |
|-------------------------|--------|
| | Ovča |
| Cl | 8834 |
| SO ₄ | <0.5 |
| NO ₃ | 16.2 |
| Mn | 0.0073 |
| CO ₂ | 4.56 |
| NH ₃ | 49.9 |
| Fe | 1.21 |
| O ₂ | 0.7 |
| H ₂ S | <0.02 |
| SO ₃ | /* |
| pH | 7.7 |
| El.prov.µS/cm | 30400 |

* podaci nisu dostupni

Komentar: U analiziranom uzorku podzemnih voda konstatovane su povišene koncentracije hlorida, amonijaka, jona gvožđa i el. provodljivosti daleko iznad dozvoljenih koncentracija.

Ograničenja koja proističu iz raspoloživosti slobodnih površina terena javljaju se u gusto naseljenim sredinama, i utiču na formiranje izvorišta hidrogeotermalnih resursa zbog:

- zauzetosti parcela građevinskim objektima,
- razvijene saobraćajne i infrastrukturne mreže

Ograničenja ovog tipa mogu se javiti prilikom eksploatacije:

- hidrogeotermalnih resursa B₁ na području Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa i to u njegovim istočnim delovima, gde je najveća koncentracija stanovništva.
- hidrogeotermalnih resursa B₂, takođe na području Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa, u njegovim istočnim delovima, gde je najveća koncentracija stanovništva
- hidrogeotermalnih resursa B₃, na centralnom gradskom području, zatim na delovima savske aluvijalne ravni (delovi Novog Beograda). Pomenuti delovi terena, posmatrajući teritoriju GP-a spadaju u terene sa najvišom koncentracijom stanovništva i stepena urbanizacije.
- hidrogeotermalnih resursa B₄, na centralnom gradskom području.

Ograničenja koja proističu iz osnovne namene zemljišta uglavnom su vezana za hidrogeotermalne resurse sistema HGTSQ, i manjim delom na hidrogeotermalne resurse sistema HGTSST. Ovaj vid ograničenja podrazumeva da neki deo terena pripada kategoriji zemljišta čija namena isključuje eksploataciju podzemnih voda. Namene koje isključuju eksploataciju podzemnih voda, te isključuju formiranje izvorišta hidrogeotermalnih resursa su:

- izvorišta za vodosnabdevanje sa zonama sanitarne zaštite
- delovi terena značajni sa aspekta arheoloških nalazišta i prirodnih dobara, te zahtevaju prethodno pribavljanje saglasnosti nadležnih institucija. U ovom slučaju saglasnost izdaje Zavod za zaštitu spomenika kulture grada Beograda i Zavod za zaštitu prirode.

Ograničenja ovog tipa mogu se javiti prilikom eksploatacije:

- hidrogeotermalnih resursa B₃, na delu teritorije Savske aluvijalne ravni

Ograničenja u korišćenju ne isključuju primenu hidrogeotermalnih resursa. U zavisnosti od tipa ograničenja primenjuju se mere koje eliminišu ista:

- **hemijski sastav podzemnih voda**
 - **selektuje određene tipove materijala za izradu toplotnih izmenjivača, toplotnih pumpi i prateće opreme**
 - **ili zahteva tretman podzemnih voda**
- **raspoloživost slobodnih površina terena**
 - **pozicioniranje eksploatacionih bunara u okviru objekta**
 - **izrada "single well" sistema**
- **osnovna namena zemljišta**
 - **pribavljanje uslova od nadležnih Institucija**

Na slici 270 prikazan je algoritam koji obuhvata sva analizirana ograničenja u korišćenju hidrogeotermalnih resursa sistema HGTSST.

| OGRANICENJA U KORIŠĆENJU HIDROGEOTERMALNIH RESURSA SISTEMA HGTS ^T | | | |
|--|---|--|--------------------------------|
| | HEMIJSKI SASTAV | RASPOLOŽIVOST SLOBODNIH POVRŠINA TERENA | OSNOVNA NAMENA ZEMLJIŠTA |
| ① HIDROGEOTERMALNI RESURSI B ₁ | i KONCENTRACIJE Cl, SO ₄ , NO ₃ , CO ₂ , EL. PROVODLJIVOST | PODRUCJE ZEMUNSKO-BEŽANISJKOG LESNOG PLATO | / |
| ② HIDROGEOTERMALNI RESURSI B ₂ | i KONCENTRACIJE Cl, NH ₃ , Fe, EL. PROVODLJIVOST | PODRUCJE ZEMUNSKO-BEŽANISJKOG LESNOG PLATO | / |
| ③ HIDROGEOTERMALNI RESURSI B ₃ | i KONCENTRACIJE Cl, SO ₄ , NO ₃ , Fe, EL. PROVODLJIVOST | CENTRALNO GRADSKO PODRUCJE, DELOVI SAVSKE ALUVIJALNE RAVNI | DELOVI SAVSKE ALUVIJALNE RAVNI |
| ④ HIDROGEOTERMALNI RESURSI B ₄ | ? | CENTRALNO GRADSKO PODRUCJE | / |

OGRANICENJA NE ISKLJUCUJU PRIMENU HIDROGEOTERMALNIH RESURSA, VEC NALAŽU MERE ZA NJIHOVO ELIMINISANJE

Slika 270. Algoritam ograničenja korišćenja hidrogeotermalnih resursa sistema HGTS^T

28.1.2.6. Pokazni primer korišćenja hidrogeotermalnih resursa u okviru sistema HGTS^T

Hidrogeotermalni resursi karstnog tipa izdani u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti najveću i praktično jedinu primenu imaju u toplifikaciji stambenih objekata na užoj teritoriji grada. Nekada su se podzemne vode koristile u industriji piva (BIP Skadarlija i BIP na Mostaru), a danas su fabrički pogoni zatvoreni i bunari su van eksploatacije.

Korišćenje podzemnih voda kao izvora energije za potrebe toplifikacije objekata relativno je novijeg datuma. Pre desetak godina počinje masovnija eksploatacija podzemnih voda i njihova aplikacija u sistemima toplotnih pumpi voda-voda na području grada. Najveći broj primera su objekti površne od 300 m² do 500 m² (kuće) locirani na Dedinju, Dorćolu i Senjaku. Imajući u vidu raspoložive količine hidrogeotermalnih resursa B₃ u sistemu HGTS^T, danas se koristi tek jedna desetina resursa.

U tabeli 152 prikazani su objekti koji koriste hidrogeotermalne resurse ili su u fazi projektovanja.

Tabela 152. Pregled objekata u kojima se koriste ili je planirano korišćenje hidrogeotermalnih resursa

| Br. | Objekat | Lokacija | Namena | Površina | Sistem u funkciji |
|-----|--|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 1. | Klinika Bel Medic | Dedinje | zdravstvena ustanova | 750 m ² | D |
| 2. | Iračka ambasada | Dedinje | stanovanje | - | D |
| 3. | Poslovna zgrada | Dedinje | | 850 m ² | D |
| 4. | Stambeni objekat | Dobračina-Dorćol | stanovanje | - | P |
| 5. | Stambeni objekat | J. Grujića-Dedinje | stanovanje | 1000 m ² | P |
| 6. | Centar za smeštaj i dnevni boravak dece i omladine ometene u razvoju | Šekspirova 8-Dedinje | socijalna ustanova | - | P |

Legenda: D–da, N–ne, P–faza projektovaja

Na delu teritorije hidrogeotermalnog sistema HGTS_T prikazan je primer eksploatacije podzemnih voda za potrebe klimatizacije klinike “Bel Medic” na Dedinju.

Privatna klinika u Beogradu, grejna površina objekta 750 m²

Sadržaj: lekarske ordinacije, stomatološka ordinacija, čekaonice, rengen sala, ultrazvuk, operaciona sala, intenzivna nega, sobe za ležanje bolesnika, sanitarni blokovi.

Izvor toplotne energije: Geotermalna toplotna sa vezom na bunar (open loop sistem), grejnog kapaciteta 50 kw, angažovane el. snage 15kW

Unutrašnja instalacija: Zidno panelno grejanje i hlađenje, podno temperiranje, u operacionom bloku dodatni ventilacioni sistem sa apsolutnim filtrima

Režim grejanja objekta: bez prekida 24h, unutrašnja temperatura 24°C



Slika 271. Klinika u Beogradu koja koristi toplotnu pumpu voda-voda za grejanje
(iz Milenić, 2009)



Slika 272. Izgled toplotne pumpe i podstanice
(iz Milenić, 2009)

29. ENERGETSKI POTENCIJAL HIDROGEOTERMALNIH RESURSA UŽE TERITORIJE GRADA BEOGRADA

Raspoloživa toplotna snaga koja odgovara hidrogeotermalnim resursima na teritoriji grada Beograda sračunata je na osnovu jednačine:

$$E = C_p \times Q \times \Delta T$$

gde je:

E - nominalna raspoloživa snaga (kW)

C_p - specifična topline vode (konstanta, 4.2 KJ/kg/°C)

Q - izdašnost bunara (kg/s, isto što i l/s)

ΔT - temperaturna redukcija koja se može ostvariti u toplotnoj pumpi (do 5⁰C)

Na užem području grada sagledan je energetski potencijal akumuliran u:

- hidrogeotermalnim resursima sistema HGTSQ
 - hidrogeotermalni resursi A₁
 - hidrogeotermalni resursi A₂
- hidrogeotermalnim resursima sistema HGTSST
 - hidrogeotermalni resursi B₁
 - hidrogeotermalni resursi B₂
 - hidrogeotermalni resursi B₃

Hidrogeotermalni resursi B₄ u okviru sistema HGTSST nisu energetski valorizovani, obzirom na nedostatak ulaznih podataka.

U tabeli 153. prikazani su faktori koji se koriste za konverziju jedinica energije, te su prikazani odnosi tona ekvivalentne nafte (toe), električne energije i uglja u zavisnosti od vrste.

Tabela 153. Faktori za konverziju jedinica energije u međunarodnoj statistici
(Martinović, i dr., 2010)

| | | TJ | Gcal | Mtoe | MBtu | GWh |
|---|--------|---------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Teradžul | (TJ) | 1 | 238.8 | 2.388 x 10 ⁻⁵ | 947.8 | 0.2778 |
| Gigakalorija | (Gcal) | 4.1868 x10 ⁻³ | 1 | 10 ⁷ | 3.968 | 1.163 x10 ⁻³ |
| Miliona tona ekvivalentnata nafte | (Mtoe) | 4.1868 x10 ⁴ | 10 ⁷ | 1 | 3.968 x 10 ⁷ | 11630 |
| Miliona Btu | (MBtu) | 1.0551 x 10 ⁻³ | 0.252 | 2.52 x 10 ⁻⁸ | 1 | 2.931 x 10 ⁻⁴ |
| Gigavat sati | (GWh) | 3.6 | 860 | 8.6 x 10 ⁻⁵ | 3412 | 1 |
| Jedna tona ekvivalentne nafte (toe) iznosi 41,868 GJ ili 11,630 MWh električne enrgije, ili 2 tone kamenog uglja, odosno 5,586 tona sirovog lignita | | | | | | |

29.1. HIDROGEOTERMALNI SISTEM U OKVIRU KVARTARNIH SEDIMENATA

Količina toplotne snage akumulirana u podzemnim vodama hidrogeotermalnog sistema HGTSQ koje se mogu dobiti korišćenjem toplotnih pumpi prikazane su u tabeli 154.

Tabela 154. Toplotna snaga hidrogeotermalnog sistema HGTSQ

| HIDROGEOTERMALNI SISTEM HGTSQ | | | | |
|--|------------|--|---|---|
| ULAZNI PARAMETRI/RESURS | | | RASPOLOŽIVE KOLIČINE PODZEMNIH VODA Q (l/s) | SREDNJA VREDNOST TEMPERATURE PODZEMNIH VODA I OSTVARENI $\Delta T (^{\circ}C)$ |
| | | | I | II |
| Hidrogeotermalni resursi A₁ | 1. | Pančevački rit | 4.450 | 13.5/ 8.5 |
| | 2. | Makiško polje | 2.400 | 13.5/ 8.5 |
| | 3. | Ada Ciganlija | 2.500 | 12.0/ 7.0 |
| | 4. | Bežanijsko polje | 4.200 | 12.0/ 7.0 |
| | 5. | Veliko Ratno ostrvo | 225 | 11.0/ 6.0 |
| Hidrogeotermalni resursi A₂ | 1. | Novi Beograd | 2.200 | 15.5/ 10.5 |
| | 2. | Zemunsko- Bežanijski lesni plato | 3.500 | 14.5/ 9.5 |
| $E = C_p \times Q \times \Delta T$ | | | | |
| Hidrogeotermalni resursi A₁ | | | Hidrogeotermalni resursi A₂ | |
| 1. | E ≈ 160 MW | | 1. | E ≈ 97 MW |
| 2. | E ≈ 86 MW | | 2. | E ≈ 140 MW |
| 3. | E ≈ 74 MW | | | |
| 4. | E ≈ 124 MW | | | |
| 5. | E ≈ 6 MW | | | |
| $\sum E_{A1} \approx 450$ MW | | | $\sum E_{A2} \approx 240$ MW | |
| $\sum E_{HGTSQ} \approx 690$ MW | | | | |

29.2. HIDROGEOTERMALNI SISTEM U OKVIRU TERCIJARNIH SEDIMENATA

Količina toplotne snage akumulirana u podzemnim vodama hidrogeotermalnog sistema HGTS_T koje se mogu dobiti korišćenjem toplotnih pumpi prikazane su u tabeli 155.

Tabela 155. Toplotna snaga hidrogeotermalnog sistema HGTS_T

| HIDROGEOTERMALNI SISTEM HGTS_T | | | | | |
|--|------------|---|---|---|-----------|
| ULAZNI PARAMETRI/RESURS | | | RASPOLOŽIVE KOLIČINE PODZEMNIH VODA Q (l/s) | SREDNJA VREDNOST TEMPERATURE PODZEMNIH VODA I OSTVARENI ΔT (°C) | |
| | | | I | II | |
| Hidrogeotermalni resursi B₁ | 1. | Pančevački rit | * | | |
| | 2. | Zemunsko-Bežanijski lesni plato | 11.500 | 14.0/ 9.0 | |
| Hidrogeotermalni resursi B₂ | 1. | Gročanski podrejon | 375 | 20.0/ 15.0 | |
| Hidrogeotermalni resursi B₃ | 1. | Pančevački rit | 100 | 22.0/ 17.0 | |
| | 2. | Centralno beogradsko područje | 600 | 17.0/ 12.0 | |
| | 3. | Savska aluvijalna ravan (Novi Beograd) | 200 | 16.5/ 11.5 | |
| $E = C_p \times Q \times \Delta T$ | | | | | |
| Hidrogeotermalni resursi B₁ | | Hidrogeotermalni resursi B₂ | | Hidrogeotermalni resursi B₃ | |
| 2. | E ≈ 435 MW | 1. | E ≈ 24 MW | 1. | E ≈ 7 MW |
| | | | | 2. | E ≈ 30 MW |
| | | | | 3. | E ≈ 10 MW |
| | | | | ∑ E_{B3} ≈ 47 MW | |
| $\sum E_{HGTS^T} \approx 506 \text{ MW}$ | | | | | |

* Hidrogeotermalni resursi B₁ zbijenog tipa izdani u okviru peskova pliocenske starosti na teritoriji Pančevačkog rita nisu energetske valorizovani, obzirom na nedostatak ulaznih podataka.

29.3. ODNOS GEOTERMALNOG POTENCIJALA PREMA TOPLOTNIM ENERGETSKIM POTREBAMA

Na užem području grada Beograda ukupna toplotna snaga akumulirana u hidrogeotermalnim resursima iznosi $\sum E \approx 1200$ MW. U okviru hidrogeotermalnog sistema $_{HGTS}Q$ akumulirano je oko 700 MW, a u hidrogeotermalnom sistemu $_{HGTS}T$ oko 500 MW.

Trenutne potrebe u toplotnoj energiji na teritoriji grada koje pokrivaju JKP "Beogradske elektrane" iznose oko 2.500 MW, dakle skoro polovina trenutnih potreba u toplotnoj energiji potencijalno mogla bi biti zadovoljena iz hidrogeotermalnih resursa.

Na slici 273 prikazane su granice rasprostranjenja hidrogeotermalnog sistema $_{HGTS}Q$ i procentualni odnos akumulirane toplotne snage po delovima terena koje sačinjavaju sistem. Najveće količine energije akumulirane su na teritoriji Pančevačkog rita (23%), a najmanje na Velikom ratnom ostrvu (1%), što je u ovom slučaju uslovljeno površinom terena.

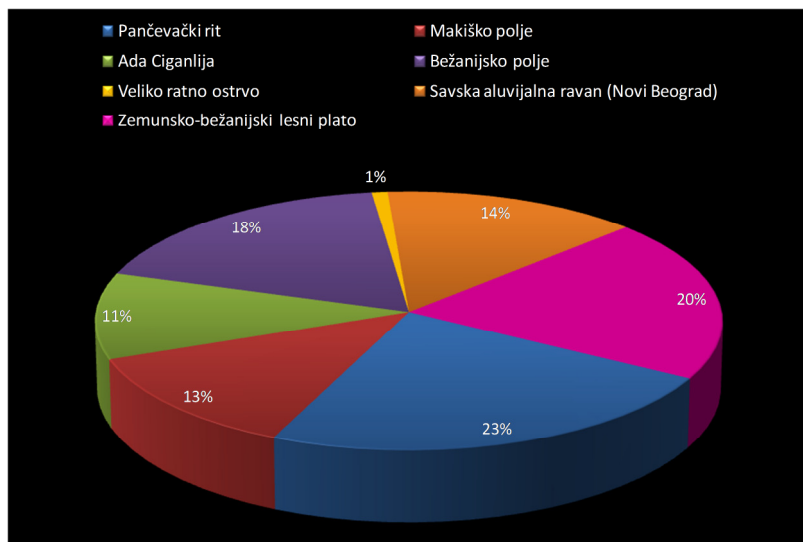
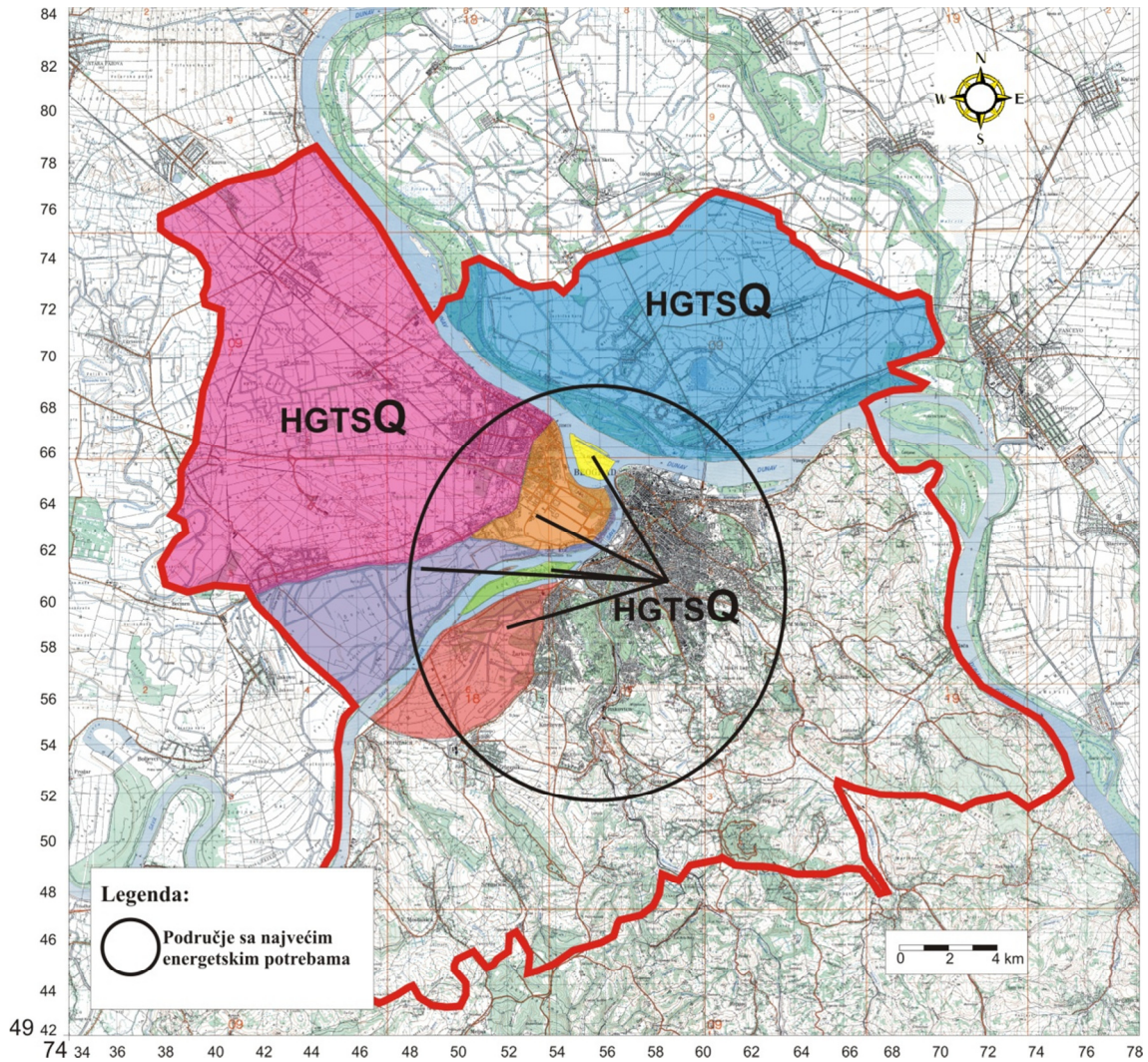
Nakon Pančevačkog rita sledi Zemunsko-bežanijski lesni plato (20%), potom delovi Savske aluvijalne ravni–Novi Beograd (14%). Područje Bežanijskog polja, Makiša, Ade Ciganlije učestvuju sa po preko 10% od ukupne akumulirane energije u okviru sistema $_{HGTS}Q$.

Na slici 274 prikazane su granice rasprostranjenja hidrogeotermalnog sistema $_{HGTS}T$ i procentualni odnos akumulirane toplotne snage po delovima terena koji pripadaju sistemu. Područje Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa prednjači po količini hidrogeotermalne enegrije u odnosu na druge delove sistema sa 86 %. Centralno gradsko područje učestvuje sa 6 %, a Gročanski podrejon sa 5 % hidrogeotermalne energije. Potom slede Savska aluvijalna ravan (2%) i Pančevački rit (1%).

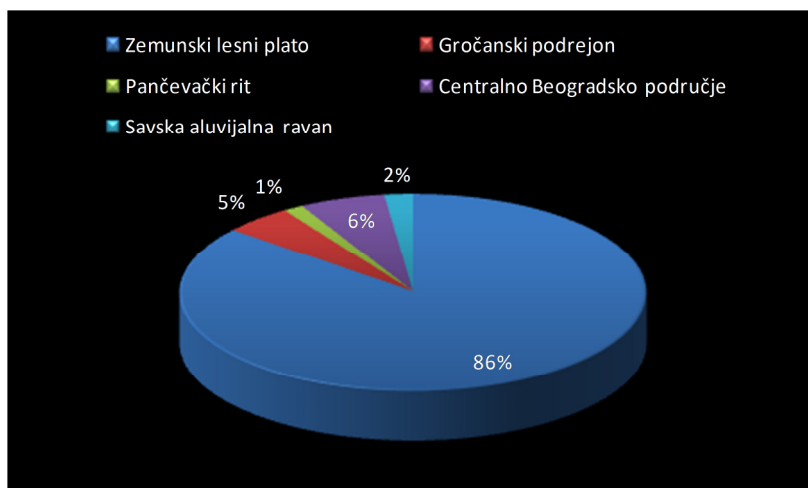
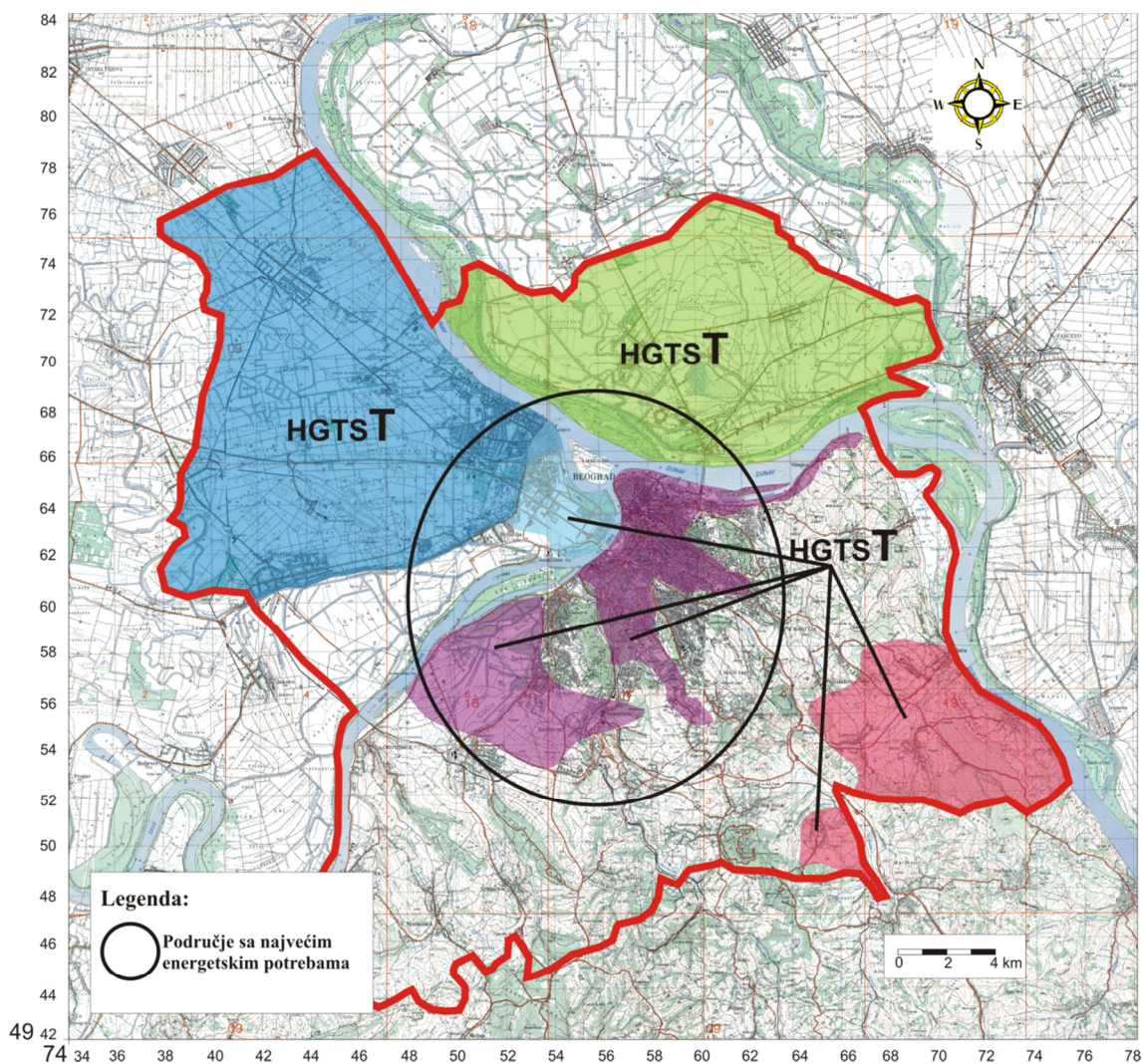
Odnos ukupne toplotne snage ($_{HGTS}Q+_{HGTS}T$) akumulirane u hidrogeotermalnim resursima na užem gradskom području prikazan je na dijagramu 1.

Prema podacima iz 2004. godine ukupni toplotni konzum (stambeni i poslovni prostor) koji se snabdeva iz izvora JKP "Beogradskih elektrana" za teritoriju Novog Beograda iznosi 1050 MW, za centralno gradsko područje (Dunav, Konjarnik; Cerak, Voždovac, Banovo Brdo, Mirijevo, Miljakovac, Medaković) iznosi 1260 MW, za Borču 30 MW i Batajnicu 25 MW. Na dijagramu 2. prikazane su potrebe i raspoloživi resurs na delovima teritorije užeg gradskog područja.

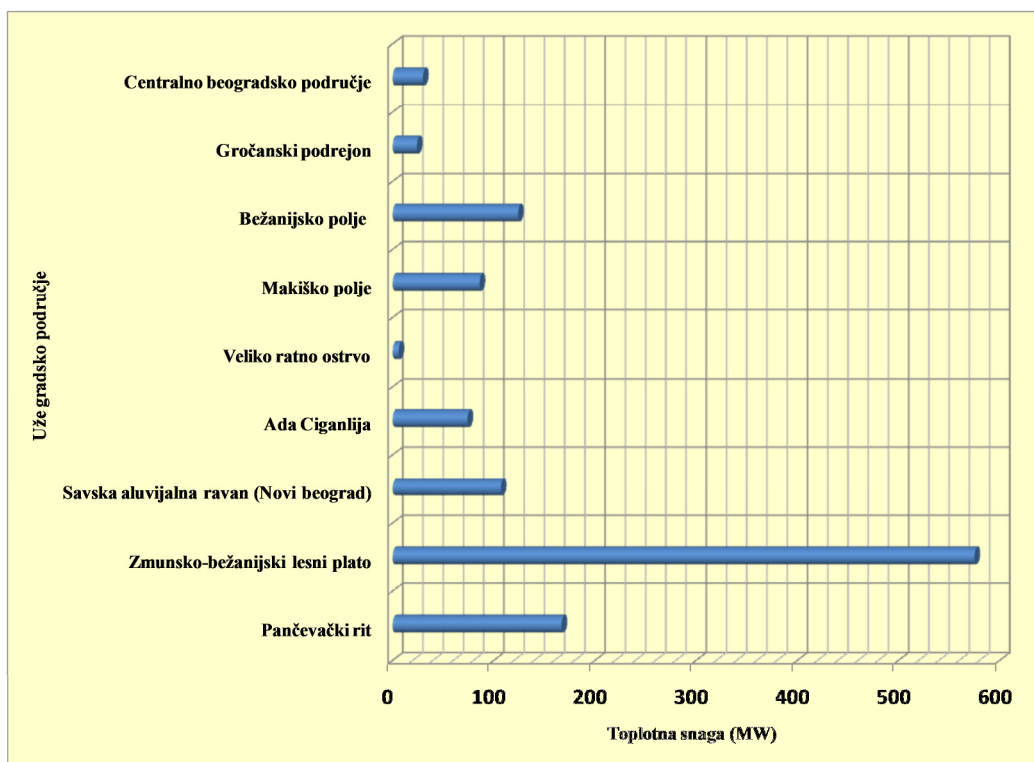
Na teritoriji Novog Beograda koristeći hidrogeotermalnu energiju moguće je zadovoljiti oko 2.8 % potreba u toplotnoj energiji, na centralnom gradskom području oko 2.3 %, dok područja na kome raspoloživost toplotne snage iz hidrogeotermalnih resursa prevazilazi potrebe jesu delovi terena Pančevačkog rita i Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa. Pomenuti delovi terena ne spadaju u gusto naseljene terene, ali prema razvojnim planovima grada Beograda, u narednim godinama može se očekivati širenje gradskog jezgra upravo na ovim delovima terena.



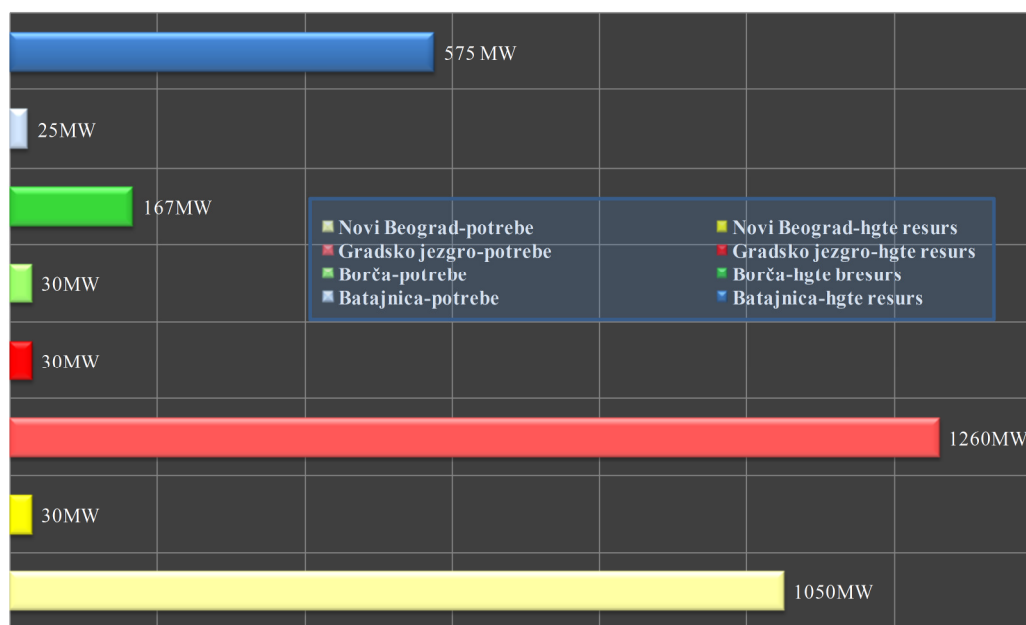
Slika 273. Granice rasprostranjenja HGTSQ i procentualni odnos hidrogeotermalnih resursa unutar sistema



Slika 274. Granice rasprostranjenja HGTST i procentualni odnos hidrogeotermalnih resursa unutar sistema



Dijagram 1. Odnos toplotne snage akumulirane u hidrogeotermalnim resursima na delovima terena užeg gradskog područja



Dijagram 2. Odnos potrebnog toplotnog konzuma i raspoložive toplotne snage koja se može dobiti eksploatacijom hidrogeotermalnih resursa na pojedinim delovima užeg gradskog područja

30. HIDROGEOTERMALNI RESURSI TERITORIJE BEOGRADA VAN GRANICA GP

Područje grada severno od Save i Dunava, a koje nije obuhvaćeno hidrogeotermalnim sistemima HGTSQ i HGTST (poglavlje 27.1.), pripada hidrogeološkom rejonu Pančevačkog rita, zatim Zemunsko-bežanijskom lesnom platou i Savsko-kolubarskoj aluvijalnoj ravni. Procentualno, teritorija severno od Save i Dunava van granica GP-a čini oko 15% od ukupne površine grada Beograda.

Južno od Save i Dunava, manji deo teritorije grada obuhvaćen je hidrogeotermalnim sistemima HGTSQ i HGTST, tačnije hidrogeotermalni resursi sagledani su u okviru granica GP-a, što predstavlja tek 5% od ukupne površine teritorije grada Beograda. Područje južno od Save i Dunava koje nije obuhvaćeno granicama Generalnog urbanističkog plana čini oko 60% od ukupne površine grada Beograda.

Posmatrano u odnosu na izdvojene hidrogeološke rejone, područje južno od Save i Dunava obuhvata sledeće: rejon V–Savsko-Kolubarska aluvijalna ravan, rejon VI–Kolubarsko-Tamnavska aluvijalna ravan, rejon VII–Kristalasti kompleks Vagana i Bukulje, zatim rejon VIII–Šumadijsko mezozojska greda, rejon IX–područje Sremčica-Barajevo i rejon X–područje Mladenovac-Grocka. Severni delovi rejona X ulaze u teritoriju GP.

Prilikom ocene postojećih hidrogeotermalnih resursa teritorije Beograda van granica GP usvojena je metodologija koja je definisana prilikom ocene hidrogeotermalnih resursa na užem području grada: izdvojeni su hidrogeotermalni sistemi, u okviru njih sagledani hidrogeotermalni resursi, količine i temperatura.

Na široj teritoriji grada Beograda, definisana su dva hidrogeotermalna sistema sa odgovarajućim podgrupama–resursima:

- hidrogeotermalni sistem u okviru kvartarnih sedimenata sa oznakom HGTSQ_I
 - hidrogeotermalni resursi AI₁ – u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata sa *Corbicula fluminalis*
 - hidrogeotermalni resursi AI₂ – u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata kvartarne starosti
- hidrogeotermalni sistem u okviru prekvartarnih sedimenata sa oznakom HGTS_T_I
 - hidrogeotermalni resursi BI₂ – u okviru peskova sarmatsko-panonske starosti
 - hidrogeotermalni resursi BI₃ – u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti

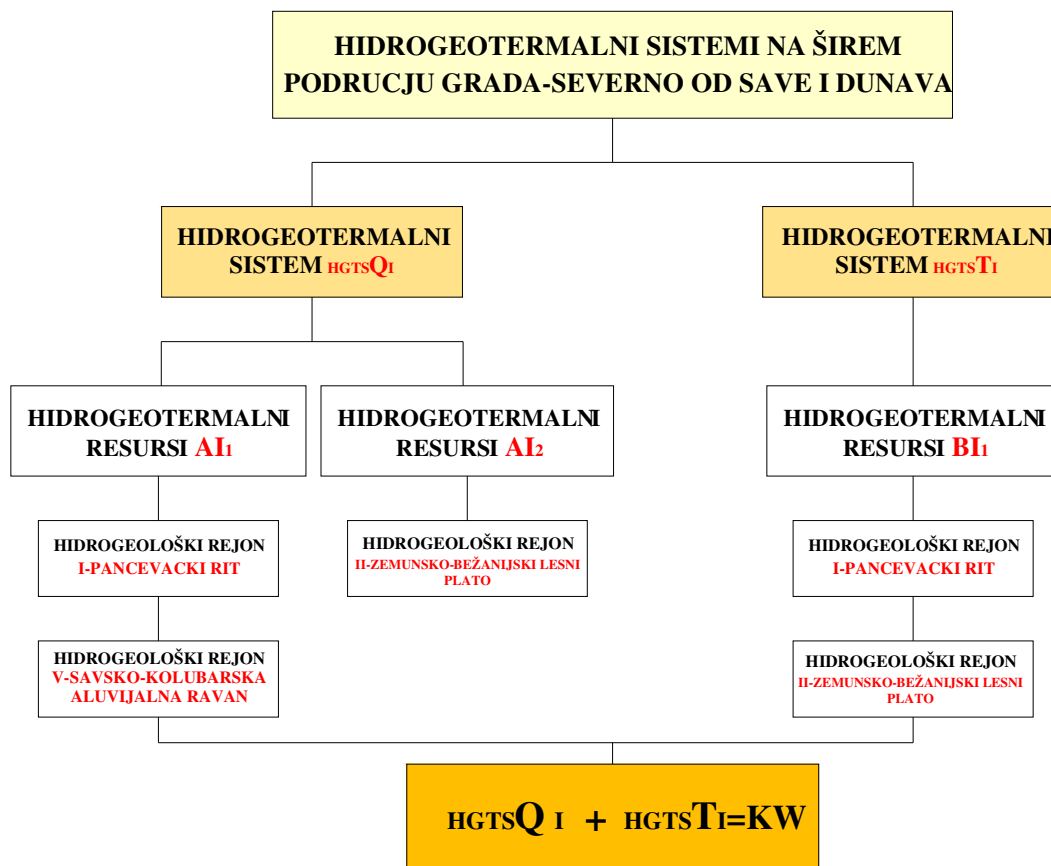
Izdvojeni hidrogeotermalni sistemi na širem području grada prikazani su na delu terena severno od Save i Dunava, odnosno južno od Save i Dunava.

Na delu teritorije severno od Save i Dunava izdvojeni su (slika 275):

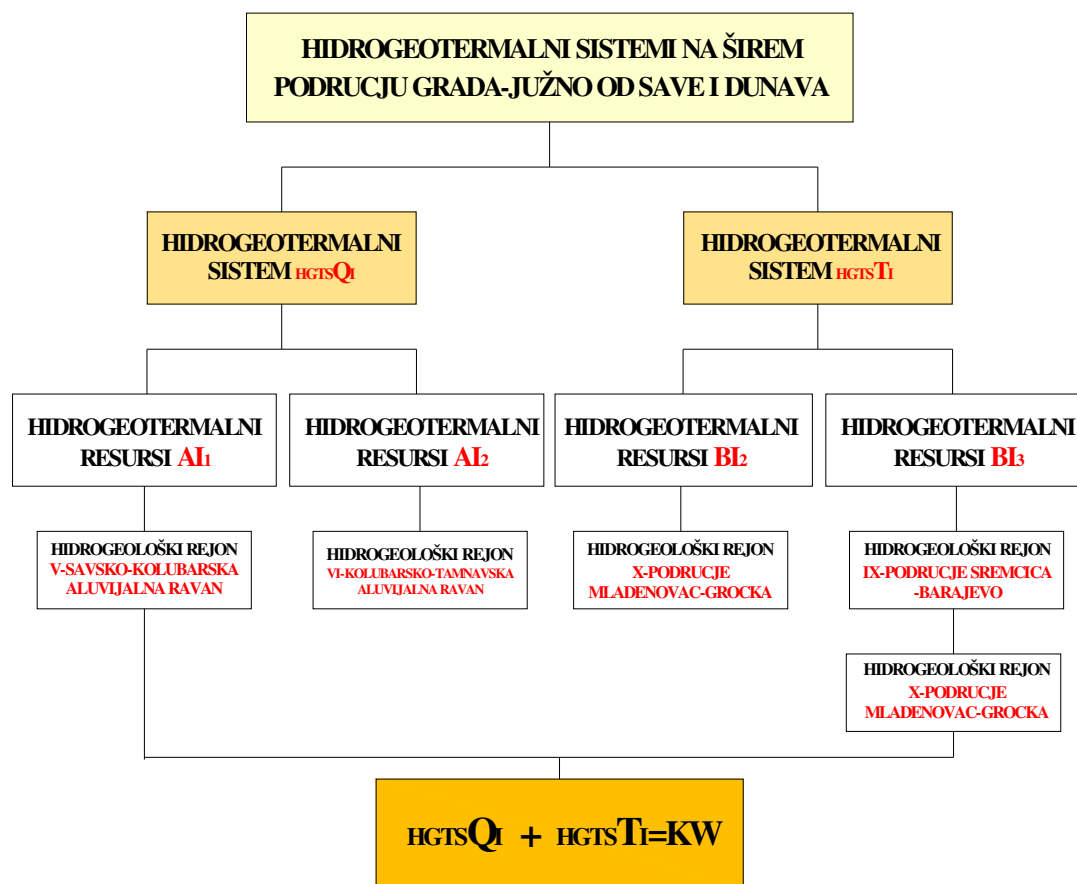
- hidrogeotermalni sistem $HGTSQ_I$
- hidrogeotermalni sistem $HGTS T_I$

Na delu teritorije južno od Save i Dunava izdvojeni su (slika 276):

- hidrogeotermalni sistem $HGTSQ_I$
- hidrogeotermalni sistem $HGTS T_I$



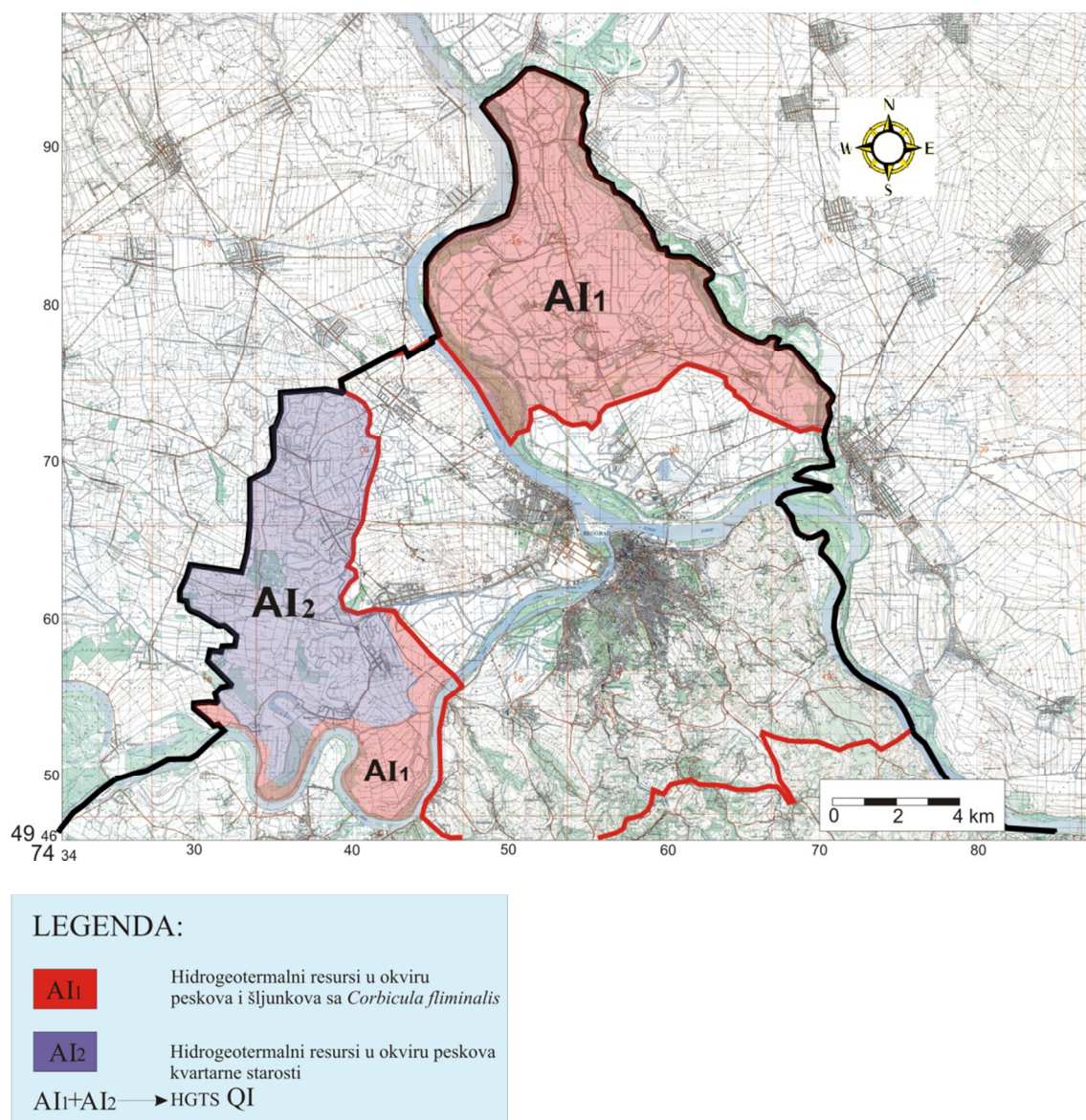
Slika 275. Algoritam hidrogeotermalnih sistema na široj teritoriji grada Beograda, severno od Save i Dunava



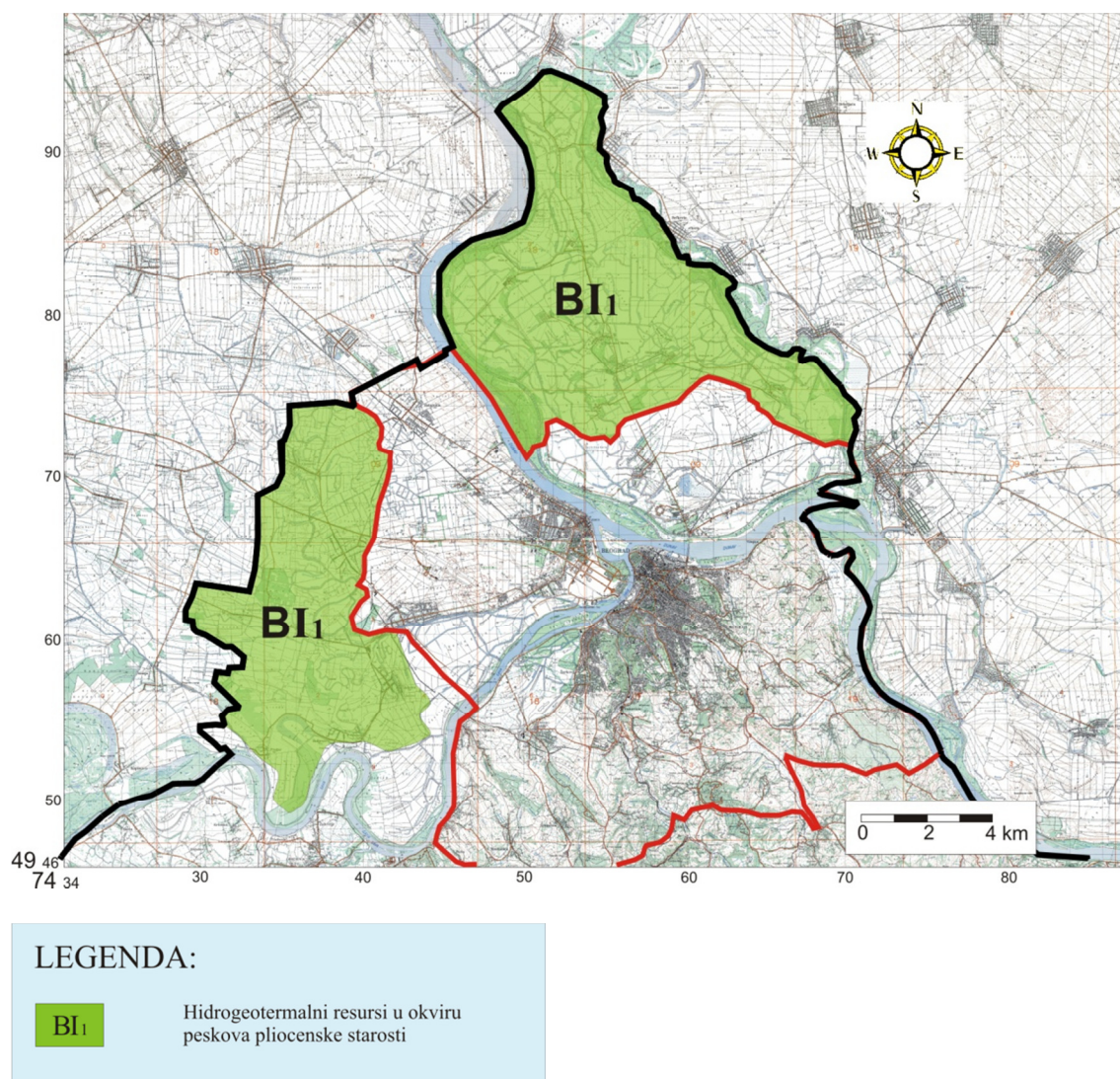
Slika 276. Algoritam hidrogeotermalnih sistema na široj teritoriji grada Beograda, južno od Save i Dunava

Na slikama 277 i 278 prikazano je maksimalno rasprostranjenje hidrogeotermalnih sistema $HGTSQ_1$ i $HGTS T_1$ na širem području grada Beograda severno od Save i Dunava.

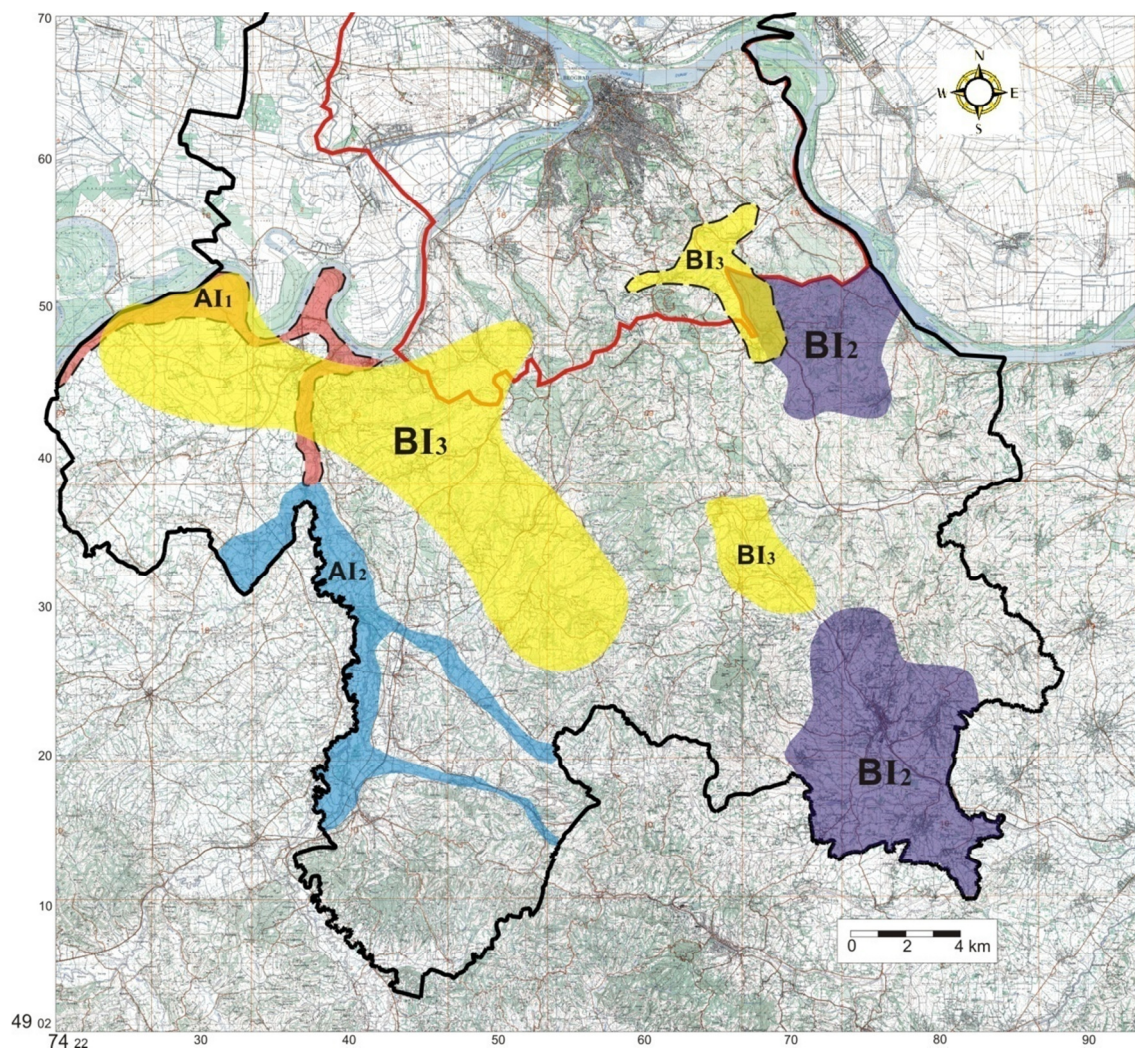
Na slici 279 prikazano je maksimalno rasprostranjenje hidrogeotermalnih sistema $HGTSQ_1$ i $HGTS T_1$ na širem području grada Beograda južno od Save i Dunava.



Slika 277. Maksimalno rasprostranjenje hidrogeotermalnog sistema HGTSQ₁ na široj teritoriji grada severno od Save i Dunava sa prikazom rasprostranjenja hidrogeotermalnih resursa-AI₁ i hidrogeotermalnih resursa AI₂



Slika 278. Maksimalno rasprostranjenje hidrogeotermalnog sistema HGTST₁ na široj teritoriji grada severno od Save i Dunava sa prikazom rasprostranjenja hidrogeotermalnih resursa BI₁



LEGENDA:

| | |
|------------------------------------|--|
| AI₁ | Hidrogeotermalni resursi u okviru peskova i šljunkova sa <i>Corbicula fluminalis</i> |
| AI₂ | Hidrogeotermalni resursi u okviru peskova kvartarne starosti |
| AI ₁ +AI ₂ → | HGTS QI |
| BI₂ | Hidrogeotermalni resursi u okviru peskova sarmatsko-panonske starosti |
| BI₃ | Hidrogeotermalni resursi u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti |
| BI ₂ +BI ₃ → | HGTS TI |

Slika 279. Maksimalno rasprostranjenje hidrogeotermalnih sistema HGTS_{Q_I} i HGTS_{T_I} na široj teritoriji grada južno od Save i Dunava

Kvantifikacija hidrogeotermalnih resursa na širem području grada Beograda podrazumeva ocenu raspoložive toplotne snage koja je akumulirana u podzemnim vodama određene temperature u okviru hidrogeotermalnih sistema $_{HGTS}Q_I$ i $_{HGTS}T_I$ severno od Save i Dunava, odnosno južno od Save i Dunava.

Šire područje grada Beograda–severno od Save i Dunava– $_{HGTS}Q_I$

HIDROGEOTERMALNI RESURSI AI_I

Hidrogeotermalni resursi AI_I –Pančevački rit

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|---|---|
| Maksimalna površina rasprostranjenja peskovito-šljunkovitih sedimenata sa <i>Corbicula fluminalis</i> na teritoriji Pančevačkog rita van granica GP-a | 270 km² |
| Prosečna debljina peskovito-šljunkovitih sedimenata na teritoriji Pančevačkog rita | 14 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 378 x 10⁷ m³ |
| Efektivna poroznost | 0.2* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 756 x 10⁶ m³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 13.5°C |

* procenjena vrednost efektivne poroznosti za šljunkovito-peskovite slojeve sa *Corbicula fluminalis* iznosi minimalno 20% (Milenic, 2003).

Hidrogeotermalni resursi AI_I –Savsko-kolubarska aluvijalna ravan

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|---|---|
| Maksimalna površina rasprostranjenja peskovito-šljunkovitih sedimenata sa <i>Corbicula fluminalis</i> na delu teritorije Savsko-kolubarske aluvijalne ravni | 50 km² |
| Prosečna debljina peskovito-šljunkovitih sedimenata na delu teritorije Savsko-kolubarske aluvijalne ravni | 7 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 350x 10⁶ m³ |
| Efektivna poroznost | 0.2* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 700 x 10⁵ m³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 12°C |

Hidrogeotermalni resursi AI₂–Zemunsko-Bežanijski lesni plato

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|---|--------------------------------------|
| Maksimalna površina rasprostranjenja peskovito-šljunkovitih sedimenata kvartara na Zemunsko-Bežanijskom lesnom platou van teritorije GP-a | 200 km ² |
| Prosečna debljina peskovito-šljunkovitih sedimenata na teritoriji Zemunsko-Bežanijskom lesnom platou | 13.5 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 270 x 10 ⁷ m ³ |
| Efektivna poroznost | 0.1* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 270 x 10 ⁶ m ³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 13.5°C |

*procenjena vrednost efektivne poroznosti za šljunkovito-peskovite slojeve iznosi minimalno 10%

Šire područje grada Beograda–severno od Save i Dunava– HGTST_I

HIDROGEOTERMALNI RESURSI BI₁

Hidrogeotermalni resursi BI₁–Zemunsko-bežanijski lesni plato

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|--|--------------------------------------|
| Maksimalna površina rasprostranjenja peskova pliocenske starosti na teritoriji Zemunsko-bežanijskog lesnog platoa van granica GP-a | ≈180km ² |
| Prosečna debljina peskova pliocenske starosti | 10 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 200 x 10 ⁷ m ³ |
| Efektivna poroznost | 0.1 |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 200 x 10 ⁶ m ³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 14°C |

*procenjena vrednost efektivne poroznosti za peskovite slojeve iznosi minimalno 10%

Šire područje grada Beograda–južno od Save i Dunava– HGTST₁

HIDROGEOTERMALNI RESURSI BI₂

Hidrogeotermalni resursi BI₂–Mladenovački podrejon

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|--|---|
| Maksimalna površina rasprostranjenja peskova sarmatsko-panonske starosti | ≈120km ² |
| Prosečna debljina peskova sarmatsko-panonske starosti | 30m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 360 x 10⁷ m³ |
| Efektivna poroznost | 0.1* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 360 x 10⁶ m³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 18°C |

**procenjena vrednost efektivne poroznosti za peskovite slojeve iznosi minimalno 10%*

HIDROGEOTERMALNI RESURSI BI₃

Hidrogeotermalni resursi BI₃–Gročanski podrejon

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|---|---|
| Maksimalna površina rasprostranjenja krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti | ≈ 30 km ² |
| Prosečna debljina krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti | 25 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 750 x 10⁶ m³ |
| Efektivna poroznost | 0.01* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 750 x 10⁴ m³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 22 °C |

**procenjena vrednost efektivne poroznosti za krečnjake iznosi minimalno 1%*

Hidrogeotermalni resursi BI₃–Mladenovački podrejon

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|---|--------------------------------------|
| Maksimalna površina rasprostranjenja krečnjaka sarmatske starosti | ≈ 30 km ² |
| Prosečna debljina krečnjaka sarmatske starosti | 30 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 900 x 10 ⁶ m ³ |
| Efektivna poroznost | 0.01* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 900 x 10 ⁴ m ³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | / °C |

*procenjena vrednost efektivne poroznosti za krečnjake iznosi minimalno 1%

Hidrogeotermalni resursi BI₃–Područje Sremčica-Barajevo

| ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN TOPLOTNE SNAGE | VREDNOST |
|---|--------------------------------------|
| Maksimalna površina rasprostranjenja krečnjaka sarmatske starosti | ≈ 180 km ² |
| Prosečna debljina krečnjaka sarmatske starosti | 45 m |
| Zapremina izdani (zapremina rezervoara) | 810 x 10 ⁷ m ³ |
| Efektivna poroznost | 0.01* |
| Zapremina akumuliranih podzemnih vodnih resursa | 810 x 10 ⁵ m ³ |
| Prosečna temperatura podzemnih voda | 20 °C |

*procenjena vrednost efektivne poroznosti za krečnjake iznosi minimalno 1%

Količina toplotne snage akumulirana u podzemnim vodama hidrogeotermalnih sistema HGTS_{Q_I} i HGTS_{T_I} koje se mogu dobiti korišćenjem toplotnih pumpi prikazane su u tabelama 156 i 157.

Tabela 156. Toplotna snaga hidrogeotermalnog sistema HGTS_{Q_I}

| HIDROGEOTERMALNI SISTEM HGTS_{Q_I} | | | | |
|---|------------|---------------------------------|--|--|
| ULAZNI PARAMETRI/RESURS | | | RASPOLOŽIVE KOLIČINE PODZEMNIH VODA Q (l/s) | SREDNJA VREDNOST TEMPERATURE PODZEMNIH VODA I OSTVARENI ΔT(°C) |
| | | | I | II |
| Hidrogeotermalni resursi AI₁ | 1. | Pančevački rit | 9.150 | 13.5/ 8.5 |
| Hidrogeotermalni resursi AI₂ | 1. | Zemunsko-Bežanijski lesni plato | 4.000 | 14.5/ 9.5 |
| $E = C_p \times Q \times \Delta T$ | | | | |
| Hidrogeotermalni resursi AI₁ | | | Hidrogeotermalni resursi AI₂ | |
| 1. | E ≈ 330 MW | | 1. | E ≈ 160 MW |
| $\sum E_{HGTSQI} \approx 490 \text{ MW}$ | | | | |

Tabela 157. Toplotna snaga hidrogeotermalnog sistema HGTS_{T_I}

| HIDROGEOTERMALNI SISTEM HGTS_{T_I} | | | | |
|---|------------|--|---|--|
| ULAZNI PARAMETRI/RESURS | | | RASPOLOŽIVE KOLIČINE PODZEMNIH VODA Q (l/s) | SREDNJA VREDNOST TEMPERATURE PODZEMNIH VODA I OSTVARENI ΔT(°C) |
| | | | I | II |
| Hidrogeotermalni resursi BI₁ | 1. | Zemunsko-Bežanijski lesni plato | 14.500 | 14.0/ 9.0 |
| Hidrogeotermalni resursi BI₂ | 1. | Mladenovački podrejon | 200 | 18.0/ 13.0 |
| Hidrogeotermalni resursi BI₃ | 1. | Područje Sremčica-Barajevo | 300 | 20.0/ 15.0 |
| | 2. | Gročanski podrejon | 150 | 22/ 17.0 |
| $E = C_p \times Q \times \Delta T$ | | | | |
| Hidrogeotermalni resursi BI₁ | | Hidrogeotermalni resursi BI₂ | | Hidrogeotermalni resursi BI₃ |
| 2. | E ≈ 550 MW | | 1. | E ≈ 10 MW |
| | | | 1. | E ≈ 18 MW |
| | | | 2. | E ≈ 11 MW |
| | | | $\sum E_{BI3} \approx 29 \text{ MW}$ | |
| $\sum E_{HGTS TI} \approx 590 \text{ MW}$ | | | | |

VIII. ZAKLJUČCI I PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA

31. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Republika Srbija je izrazito bogata hidrogeotermalnim resursima. Podzemne vode sa temperaturama preko 20°C (pa do 96°C, Vranjska Banja) relativno su dobro iskorišćene. Nasuprot njima, podzemne vode sa temperaturama do 20°C do sada uglavnom nisu bile predmet istraživanja sa bilo kog aspekta izuzev za potrebe vodosnabdevanja. Razvojem sistema toplotnih pumpi, mogućnosti višenamenskog korišćenja ovih voda značajno su uvećane.

Teritorija Beograda odlikuje se značajnim resursima podzemnih voda, pre svega u okviru aluvijalnih peskovito-šljunkovitih naslaga i neogenih tortonsko-sarmatskih krečnjačkih naslaga. Temperatura ovih voda ne prelazi 25°C. Njihovim zahvatanjem preko istražno-eksploatacionih bunara i potom prolaskom kroz toplotne pumpe i ekstrakcijom toplote stvara se odgovarajuća toplotna energija koju je potom moguće koristiti za odgovarajuće namene.

Opšte karakteristike područja grada Beograda

Površina teritorije grada Beograda iznosi oko 3.500 km². Teritorija grada administrativno je podeljena na 17 gradskih opština. Prema površini najveća je opština Palilula (oko 450 km²), a prema broju stanovnika opština Novi Beograd (oko 200.000 stanovnika). Najmanju površinu zauzima opština Vračar, dok najmanji broj stanovnika broji opština Sopot (oko 20.000 stanovnika).

Najviša kota terena na užem gradskom području je na Torlaku (303 m.n.v.), a najniža na Adi Huji (70 m.n.v). Na širem području grada najviša kota terena zabeležena je na Kosmaju (626 m.n.v). Teren severno od Save i Dunava pripada ravničarskom tipu, a od geomorfoloških oblika ističe se Zemunsko-bežanijski lesni plato. Južno od Save i Dunava teren je blago zatalasan do brdovit, i u reljefu se ističu Avala, Parcanski vis i Kosmaj.

Srednja godišnja visina padavina za područje grada Beograda iznosi oko 680 mm, a srednja godišnja temperatura vazduha oko 12 °C.

Geološka građa teritorije grada Beograda

Najstarije stene konstatovane na području grada Beograda pripadaju paleozojskoj starosti (kristalasti kompleks Vagana i Bukulje). Kvartrani sedimenti dominantno rasprostranjenje imaju severno od Save i Dunava, dok se na centralnom delu istražnog terena ističe šumadijska mezozojska greda. Istočno i zapadno od grede najveće površinsko rasprostranjenje imaju sedimenti panonske starosti. Sa hidrogeološkog i hidrogeotermalnog aspekta važno je rasprostranjenje krečnjaka miocenske starosti, zatim rasprostranjenje peskova miocenske starosti, rasprostranjenje peskova pliocenske i kvartarne starosti.

Na užem području grada krečnjaci tortonsko-sarmatske starosti konstatovani su u centralnim delovima beogradskog pobrđa, zatim u priobalnim delovima leve obale Save na području Novog Beograda. Na delovima beogradskog pobrđa konstatovani su krečanjci urgonske starosti u podini tortonskih, odnosno sarmatskih krečnjaka. Na širem području krečnjaci sarmatske starosti konstatovani su zapadno od šumadijske mezozojske grede, na potesu Sremčica-Barajevo-Guberevac. Krečnjaci tonu ka zapadu, konstatovani su u Vraniću i dalje na levoj obali Kolubare, na području Obrenovačke banje. Podinu sarmatskih krečanjaka čine peskovi tortonske starosti, koji su glavni nosioci termomineralnih voda na području Vranića i Obrenovačke banje.

Istočno od šumadijske mezozojske grede, zapravo na njenom obodu konstatovani su krečnjaci sarmatske starosti na delu Ralje, Popovića i Sopota. Krečnjaci isklinjavaju ka istoku, te se manje "oaze" pojavljuju u zoni Šepšina i Dubone. Bušenjem krečnjaci sarmatske starosti konstatovani su u dolini Zavojničke reke, u Vrčinu i Leštanima. Podina krečnjaka u dolini Zavojničke reke predstavljena je serpentinitima.

Rasprostranjenje peskova panonske starosti konstatovano je na jugoistočnom delu područja grada, šira okolina Mladenovca, zatim severno od reke Ralje, na okolini Vrčina, Zaklopače, Ritopeka, Leštana i Vinče.

Peskovi pliocenske starosti konstatovani su bušenjem severno od Save, na potezu od Batajnice, Zemuna, Surčina, Dobanovaca, i Progara. Na istom delu terena konstatovani su i peskovito-šljunkoviti sedimenti kvartarne starosti.

Severno od Dunava, na području Pančevačkog rita dominantno rasprostranjenje imaju peskovito-šljunkoviti sedimenti kvartarne starosti. Skoro na čitavoj površini rita konstatovani su slojevi sa *Corbicula fluminalis*. Pomenuti slojevi, na užem području grada, konstatovani su na Makiškom polju, Adi Ciganliji, Bežanijskom polju i levoj obali Save na potezu od Ostružnice do ušća.

Hidrogeološke karakteristike grada Beograda

Na teritoriji grada Beograda izvršena je nova hidrogeološka rejonizacija i izdvojeno je deset hidrogeoloških rejona:

1. Hidrogeološki rejon I–Pančevački rit

U okviru hidrogeološkog rejona I konstatovan je:

- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata pliocenske starosti
- karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti.

Prosečna debljina vodonosnih slojeva kvartarne starosti je oko 14 m, a prosečna izdašnost bunara u okviru kvartarne serije peskova je oko 11 l/s.

2. Hidrogeološki rejon II–Zemunsko-Bežanijski lesni plato

U okviru hidrogeološkog rejona II konstatovan je:

- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata pliocenske starosti
- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata tercijarne starosti

Prosečna debljina vodonosnih slojeva kvartrane starosti je oko 14 m, a prosečna izdašnost bunara u okviru kvartarne serije peskova je oko 8 l/s.

Prosečna debljina vodonosnih slojeva pliocenske starosti je oko 14 m, a prosečna izdašnost bunara u okviru pliocenske serije peskova je oko 11 l/s.

3. Hidrogeološki rejon III–Savska aluvijalna ravan

Hidrogeološki rejon III podeljen je na dva podrejona: Novobeogradski podrejon i Makiško-ostružnički podrejon.

Na delu Novobeogradskog podrejona konstatovan je:

- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Prosečna debljina vodonosnih slojeva kvartrane starosti je oko 14 m, a prosečna izdašnost bunara u okviru kvartarne serije peskova je oko 7 l/s.

Prosečna debljina krečnjaka na delu Novog Beograda iznosi oko 30 m, a prosečna izdašnost bunara u okviru krečnjaka miocenske starosti je oko 27 l/s.

4. Hidrogeološki rejon IV–Centralno gradsko područje

Hidrogeološki rejon IV podeljen je na dva podrejona: Beogradsko pobrđe i područje Slanici-Veliko Selo.

Na području Beogradskog pobrđa konstatovan je:

- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- karstni tip izdani u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti
- karstno-pukotinski tip izdani u okviru krečnjaka urgonske starosti
- uslovno “bezvodni” delovi terena i okviru glina panonske starosti

Prosečna debljina vodonosnih slojeva kvartrane starosti je oko 8 m, a prosečna izdašnost bunara u okviru kvartarne serije peskova je oko 3.5 l/s.

Prosečna debljina krečnjaka na delu Beogradskog pobrđa iznosi oko 35 m, a prosečna izdašnost bunara u okviru krečnjaka miocenske starosti je oko 6 l/s.

5. Hidrogeološki rejon V–Savsko-Kolubarska aluvijalna ravan

Hidrogeološki rejon V podeljen je na dva podrejona: Boljevačko-progarski podrejon i Obrenovački podrejon.

Na delu Obrenovačkog podrjona konstatovan je:

- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti
- karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Glavni nosioci termomineralnih voda na delu leve obale Kolubare su peskovi tortonske starosti. Izdašnost dva bunara u okviru pomenutih peskova se kreće od oko 2 l/s do 6 l/s.

6. Hidrogeološki rejon VI–Kolubarsko-tamnavska aluvijlna ravan

U okviru hidrogeološkog rejona VI konstatovan je:

- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata tercijarne starosti

Debljina vodonosnog sloja u aluvijonu Kolubare se kreće od 4 m do 12 m.

7. Hidrogeološki rejon VII-kristalasti kompleks Vagana i Bukulje

U okviru hidrogeološkog rejona VII konstatovan je:

- pukotinski tip izdani

Izdašnosti izvora u pukotinskom tipu izdani kreću se od 0.02 l/s do 1 l/s. Najizdašnija bušotina je u Čibutkovici sa 3.5 l/s.

8. Hidrogeološki rejon VIII-Šumadijska mezozojska greda

U okviru hidrogeološkog rejona VIII konstatovan je:

- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti
- pukotinski tip izdani u okviru serpentinita jurske starosti

Izdašnost izvora se kreće oko 0.2 l/s.

9. Hidrogeološki rejon IX–Područje Sremčica-Barajevo

U okviru hidrogeološkog rejona IX konstatovan je:

- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- karstni tip izdani u okviru sedimenata sarmatske starosti

Prosečna debljina krečnjaka iznosi oko 45 m, prosečna izdašnost bunara u okviru krečnjaka miocenske starosti je oko 7 l/s.

10. Hidrogeološki rejon X–Područje Mladenovac-Gorcka

Hidrogeološki rejon X podeljen je na dva podrejona: Mladenovački podrejon i Gročanski podrejon.

Na Mladenovačkom podrejonu konstatovan je:

- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti
- karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Prosečna debljina peskova panonske starosti iznosi oko 30 m, a prosečna izdašnost bunara u okviru peskova je oko 3 l/s.

Prosečna debljina krečnjaka iznosi oko 30 m, a prosečna izdašnost bunara u okviru krečnjaka miocenske starosti je oko 11 l/s.

Na području Gročanskog podrejona konstatovan je:

- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata kvartarne starosti
- zbijeni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti
- karstni tip izdani u okviru sedimenata miocenske starosti

Prosečna debljina peskova panonske starosti iznosi oko 24 m, prosečna izdašnost bunara u okviru peskova je oko 6 l/s.

Prosečna debljina krečnjaka iznosi oko 25 m, prosečna izdašnost bunara u okviru krečnjaka miocenske starosti je oko 10 l/s.

Hidrogeotermalni resursi teritorije grada Beograda

Na osnovu dobijenih rezultata istraživanja, na užoj teritoriji grada Beograda, definisana su dva hidrogeotermalna sistema sa odgovarajućim podgrupama–resursima:

- hidrogeotermalni sistem u okviru kvartarnih sedimenata sa oznakom $HGTSQ$
 - hidrogeotermalni resursi A_1 – u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata sa *Corbicula fluminalis*
 - hidrogeotermalni resursi A_2 – u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata kvartarne starosti

- hidrogeotermalni sistem u okviru prekvartarnih sedimenata sa oznakom $HGTS T$
 - hidrogeotermalni resursi B_1 – u okviru peskova pliocenske starosti
 - hidrogeotermalni resursi B_2 – u okviru peskova sarmatsko-panonske starosti
 - hidrogeotermalni resursi B_3 – u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti
 - hidrogeotermalni resursi B_4 – u okviru krečnjaka urgonske starosti

Izvedena je ocena maksimalnog prostornog rasprostranjenja sistema na užem i širem području grada. U okviru oba sistema izvršena je klasifikacija hidrogeotermalnih resursa.

U okviru sistema izvedena je:

- analiza temperaturnog režima podzemnih voda

- analiza raspoloživih količina podzemnih voda

- analiza hemijskog sastava podzemnih voda

- hidrogeotermalni potencijal

Hidrogeotermani potencijal sagledan je detaljno na:

1. na užem području grada (teritorija GP)
2. širem području grada (teritorija van GP)

1. Hidrogeotermalni potencijal užeg područja grada

Hidrogeotermalni sistem u okviru kvartarnih sedimenata–HGTSQ

Hidrogeotermalni sistem HGTSQ na užem području grada prostire se na površini oko 400 km² i obuhvata podzemne vodne resurse u okviru peskova i šljunkova sa *Corbicula fluminalis* (A₁) i podzemne vodne resurse u okviru peskova kvartarne starosti (A₂).

Rasprostranjenje resursa A₁ konstatovano je na:

- delu područja Pančevačkog rita, na površini od oko 130 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 180 x 10⁷ m³).
- području Makiškog polja, na površini od oko 25 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 420 x 10⁶ m³).
- području Bežanijskog polja, na površini od oko 35 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 520 x 10⁶ m³).
- području Ade Ciganlije, na površini od oko 3 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 75 x 10⁶ m³).
- na području Velikog Ratnog ostrva, na površini od oko 2 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 36 x 10⁶ m³).

Rasprostranjenje resursa A₂ konstatovano je na:

- području Novog Beograda, na površini od oko 20 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 28 x 10⁷ m³).
- području Zemunskog-lesnog platoa, na površini od oko 175 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 236 x 10⁷ m³).

Hidrogeotermalni potencijal sistema HGTSQ na užem području grada iskazan kroz toplotnu sugu prikazan je u tabeli 158.

Tabela 158. Hidrogeotermalni potencijal sistema HGTSQ na užem području grada

| HIDROGEOTERMALNI SISTEM HGTSQ | | | | | |
|--|------------|---|---|---|--|
| ULAZNI PARAMETRI/RESURS | | RASPOLOŽIVE KOLIČINE PODZEMNIH VODA Q (l/s) | | SREDNJA VREDNOST TEMPERATURE PODZEMNIH VODA I OSTVARENI $\Delta T(^{\circ}C)$ | |
| | | I | | II | |
| Hidrogeotermalni resursi A₁ | 1. | Pančevački rit | 4.450 | 13.5/ 8.5 | |
| | 2. | Makiško polje | 2.400 | 13.5/ 8.5 | |
| | 3. | Ada Ciganlija | 2.500 | 12.0/ 7.0 | |
| | 4. | Bežanijsko polje | 4.200 | 12.0/ 7.0 | |
| | 5. | Veliko ratno ostrvo | 225 | 11.0/ 6.0 | |
| Hidrogeotermalni resursi A₂ | 1. | Novi Beograd | 2.200 | 15.5/ 10.5 | |
| | 2. | Zemunsko-Bežanijski lesni plato | 3.500 | 14.5/ 9.5 | |
| $E = C_p \times Q \times \Delta T$ | | | | | |
| Hidrogeotermalni resursi A₁ | | | Hidrogeotermalni resursi A₂ | | |
| 1. | E ≈ 160 MW | | 1. | E ≈ 97 MW | |
| 2. | E ≈ 86 MW | | 2. | E ≈ 140 MW | |
| 3. | E ≈ 74 MW | | | | |
| 4. | E ≈ 124 MW | | | | |
| 5. | E ≈ 6 MW | | | | |
| $\sum E_{A1} \approx 450$ MW | | | $\sum E_{A2} \approx 240$ MW | | |
| $\sum E_{HGTSQ} \approx 690$ MW | | | | | |

Ograničenja u korišćenju hidrogeotermalnih resursa sistema HGTSQ koja se mogu javiti su:

- nepovoljan hemizam podzemnih voda:
 - A₁: povišene koncentracije elemenata Fe, Mn, Cl, SO₄, CO₂, O₂, H₂S i povišena mineralizacija
 - A₂: povišene koncentracije elemenata SO₄, CO₂, O₂, Mn, NO₃ i elektroprovodljivost
- ograničena raspoloživost slobodnih površina terena
- namena zemljišta (delovi beogradskog izvorišta)

Hidrogeotermalni sistem u okviru prekvartarnih sedimenata—HGTS_T

Hidrogeotermalni sistem HGTS_T na užem području grada prostire se na površini oko 500 km² i obuhvata podzemne vodne resurse u okviru peskova pliocenske starosti (B₁), u okviru peskova sarmatsko-panonske starosti (B₂), zatim u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti (B₃) i u okviru krečnjaka kredne starosti (B₄).

Rasprostranjenje resursa B₁ konstatovano je na:

- delu područja Zemunskog-lesnog platoa, na površini od oko 150 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 200 x 10⁷ m³).

Rasprostranjenje resursa B₂ konstatovano je na:

- području Gročanskog podrejon, na površini od oko 150 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 4 x 10⁹ m³).

Rasprostranjenje resursa B₃ konstatovano je na:

- delu područja Pančevačkog rita, na površini od oko 65 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 1600 x 10⁶ m³).
- delu Savske aluvijalne ravni (Novi Beograd), na površini od oko 10 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 3 x 10⁸ m³).
- centralnom gradskom području, na površini od oko 85 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 290 x 10⁷ m³).

Hidrogeotermalni potencijal sistema HGTS_T na užem području grada iskazan kroz toplotnu snagu prikazan je u tabeli 159.

Tabela 159. Hidrogeotermalni potencijal sistema HGTS T na užem području grada

| HIDROGEOTERMALNI SISTEM HGTS T | | | | |
|--|------------|---|--|--|
| ULAZNI PARAMETRI/RESURS | | | RASPOLOŽIVE KOLIČINE PODZEMNIH VODA Q (l/s) | SREDNJA VREDNOST TEMPERATURE PODZEMNIH VODA I OSTVARENI $\Delta T(^{\circ}C)$ |
| | | | I | II |
| Hidrogeotermalni resursi B₁ | 1. | Pančevački rit | | * |
| | 2. | Zemunsko-Bežanijski lesni plato | 11.500 | 14.0/ 9.0 |
| Hidrogeotermalni resursi B₂ | 1. | Gročanski podrejon | 375 | 20.0/ 15.0 |
| Hidrogeotermalni resursi B₃ | 1. | Pančevački rit | 100 | 22.0/ 17.0 |
| | 2. | Centralno beogradsko područje | 600 | 17.0/ 12.0 |
| | 3. | Savska aluvijalna ravan (Novi Beograd) | 200 | 16.5/ 11.5 |
| $E = C_p \times Q \times \Delta T$ | | | | |
| Hidrogeotermalni resursi B₁ | | Hidrogeotermalni resursi B₂ | | Hidrogeotermalni resursi B₃ |
| 2. | E ≈ 435 MW | 1. | E ≈ 24 MW | 1. E ≈ 7 MW |
| | | | | 2. E ≈ 30 MW |
| | | | | 3. E ≈ 10 MW |
| | | | | $\Sigma E_{B3} \approx 47$ MW |
| $\Sigma E_{HGTS T} \approx 506$ MW | | | | |

* Hidrogeotermalni resursi B₁ zbijenog tipa izdani u okviru peskova pliocenske starosti na teritoriji Pančevačkog rita nisu energetski valorizovani, obzirom na nedostatak ulaznih podataka.

Ograničenja u korišćenju hidrogeotermalnih resursa sistema HGTS T koja se mogu javiti su:

- nepovoljan hemizam podzemnih voda:
 - B₁: povišene koncentracije elemenata Cl, SO₄, NO₃, CO₂ i povišena elektroprovodljivost
 - B₂: povišene koncentracije elemenata Cl, Fe, NH₃, povišena elektroprovodljivost
 - B₃: povišene koncentracije elemenata Cl, SO₄, NO₃, Fe i povišena elektroprovodljivost
- ograničena raspoloživost slobodnih površina terena
- namena zemljišta

Hidrogeotermalni potencijal šireg područja grada

Hidrogeotermalni sistem u okviru kvartarnih sedimenata – $HGTSQ_I$

Hidrogeotermalni sistem $HGTSQ_I$ na širem području grada prostire na delu terena severno od Save i Dunava i obuhvata podzemne vodne resurse u okviru peskova i šljunkova sa *Corbicula fluminalis* (AI_1) i podzemne vodne resurse u okviru peskova kvartarne starosti (AI_2).

Rasprostranjenje resursa AI_1 konstatovano je na:

- delu područja Pančevačkog rita, na površini od oko 270 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 370 x 10⁷ m³)
- delu područja Savsko-kolubarske aluvijalne ravni, na površini od oko 50 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 350 x 10⁶ m³)

Rasprostranjenje resursa AI_2 konstatovano je na:

- području Zemuskog-lesnog platoa, na površini od oko 200 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 270 x 10⁷ m³).

Hidrogeotermalni potencijal sistema $HGTSQ_I$ na širem području grada iskazan kroz toplotnu sngu prikazan je u tabeli 160.

Tabela 160. Hidrogeotermalni potencijal sistema $HGTSQ_I$ na širem području grada

| HIDROGEOTERMALNI SISTEM $HGTSQ_I$ | | | | |
|---|------------|---------------------------------|---|---|
| ULAZNI PARAMETRI/RESURS | | | RASPOLOŽIVE KOLIČINE PODZEMNIH VODA Q (l/s) | SREDNJA VREDNOST TEMPERATURE PODZEMNIH VODA I OSTVARENI ΔT (°C) |
| | | | I | II |
| Hidrogeotermalni resursi AI_1 | 1. | Pančevački rit | 9.150 | 13.5/8.5 |
| Hidrogeotermalni resursi AI_2 | 1. | Zemunsko-Bežanijski lesni plato | 4.000 | 14.5/9.5 |
| $E = C_p \times Q \times \Delta T$ | | | | |
| Hidrogeotermalni resursi AI_1 | | | Hidrogeotermalni resursi AI_2 | |
| 1. | E ≈ 330 MW | | 1. | E ≈ 160 MW |
| $\Sigma E_{HGTSQ_I} \approx 490 \text{ MW}$ | | | | |

Hidrogeotermalni sistem u okviru prekvartarnih sedimenata – HGTS_{T1}

Hidrogeotermalni sistem HGTS_{T1} na širem području grada obuhvata podzemne vodne resurse u okviru peskova pliocenske starosti (BI₁), u okviru peskova sarmatsko-panonske starosti (BI₂), zatim u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti (BI₃).

Rasprostranjenje resursa BI₁ konstatovano je na:

- delu područja Zemunskog-lesnog platoa, na površini od oko 180 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 200 x 10⁷ m³)

Rasprostranjenje resursa BI₂ konstatovano je na:

- području Mladenovačkog podrejona, na površini od oko 120 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 360 x 10⁷ m³).

Rasprostranjenje resursa BI₃ konstatovano je na:

- delu Gročanskog podrejona, na površini od oko 30 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 750 x 10⁶ m³)
- području Sremčica-Barajevo, na površini od oko 180 km² (zapremina rezervoara iznosi oko 810 x 10⁷ m³).

Hidrogeotermalni potencijal sistema HGTS_{T1} na širem području grada iskazan kroz toplotnu sangu prikazan je u tabeli 161.

Tabela 161. Hidrogeotermalni potencijal sistema $HGTS T_1$ na širem području grada

| HIDROGEOTERMALNI SISTEM $HGTS T_1$ | | | | | |
|--|------------|--|--|---|-----------|
| ULAZNI PARAMETRI/RESURS | | | RASPOLOŽIVE KOLIČINE PODZEMNIH VODA Q (l/s) | SREDNJA VREDNOST TEMPERATURE PODZEMNIH VODA I OSTVARENI ΔT (°C) | |
| | | | I | II | |
| Hidrogeotermalni resursi BI₁ | 1. | Zemunsko-Bežanijski lesni plato | 14.500 | 14.0/ 9.0 | |
| Hidrogeotermalni resursi BI₂ | 1. | Mladenovački podrejon | 200 | 18.0/ 13.0 | |
| Hidrogeotermalni resursi BI₃ | 1. | Područje Sremčica-Barajevo | 300 | 20.0/ 15.0 | |
| | 2. | Gročanski podrejon | 150 | 22/ 17.0 | |
| $E = C_p \times Q \times \Delta T$ | | | | | |
| Hidrogeotermalni resursi BI₁ | | Hidrogeotermalni resursi BI₂ | | Hidrogeotermalni resursi BI₃ | |
| 2. | E ≈ 550 MW | 1. | E ≈ 10 MW | 1. | E ≈ 18 MW |
| | | | | 2. | E ≈ 11 MW |
| | | | | $\sum E_{B3} \approx 29 \text{ MW}$ | |
| $\sum E_{HGTS T_1} \approx 590 \text{ MW}$ | | | | | |

| Ukupni energetski hidrogeotermalni potencijal | |
|--|-----------------|
| užeg područja grada | 1.200 MW |
| šireg područja grada | 1.100 MW |

32. PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA

Imajući u vidu da je izvršena prva ocena hidrogeotermalne potencijalnosti teritorije grada Beograda, značaj korišćenja hidrogeotermalnih resursa i njihovu ulogu u povećanju samodovoljnosti u snabdevanju energijom grada Beograda na ekološki bezbedan način dalja istraživanja potrebno je usmeriti na:

- 1. istraživanje resursa**
- 2. zaštitu resursa**
- 3. povećanje učešća hidorgeotermalne energije u ukupnom energetsom bilansu grada Beograda**

1. Istraživanje resursa:

- izvođenje detaljnih hidrogeoloških i hidrogeotermalnih istraživanja na delovima terena koja su prema prvoj oceni označena kao potencijalna
- izvođenje seta istraživanja u cilju sagledavanja mogućnosti zahvatanja podzemnih voda temperature preko 50 °C
- izrada duboke geotermalne bušotine (2.000 m) na centralnim delovima gradskog područja
- izvođenje istraživanja u cilju povećanja trenutno raspoloživih hidrogeotermalnih resursa temperature preko 20°C kako na užem, tako i na širem području grada

2. Zaštita resursa:

- izrada katastra geotermalnih izvorišta
- formiranje geotermalne informacione baze podataka
- izvođenje detaljnih hidrogeoloških istraživanja u cilju optimizacije rada eksploatacionih i upojnih bunara
- donošenje seta zakona u oblasti eksploatacije podzemnih voda kao hidrogeotermalnih resursa, a sve u cilju održivog upravljanja resursima
- donošenje niza zakona u oblasti dispozicije energetski "iskorišćenih" podzemnih voda u cilju zaštite životne sredine

3. Povećanje učešća hidrogeotermalne energije u ukupnom energetsom bilansu grada Beograda:

- edukacija građanstva i podizanje svesti o značaju korišćenja obnovljivih izvora energije i zaštiti životne sredine
- revalorizacija gradskog građevinskog zemljišta
- unošenje podloga geotermalne potencijalnosti u urbanističke planove grada
- pretvaranje potencijalnih geotermalnih zona u isplative investicije

IX. LITERATURA

PUBLIKOVANA LITERATURA

1. Abesser, C., 2007: **Open loop ground source heat pumps and the groundwater systems: A literature review of current applications, regulations and problems**, British Geological Survey Open Report, OR/10/045, 31 pp.
2. Allen, A., Milenic D., Sikora, P., 2003: **Shallow gravel aquifers and the urban 'heat island' effect: a source of low enthalpy geothermal energy**, Geothermics, Volume 32, pp. 569-578
3. Anđelković, M., i dr., 1987: **Geologija šire okoline Beograda**, Zavod za regionalnu geologiju i paleontologiju, Beograd
4. Antics, M., Sanner B., 2007: **Status of Geothermal Energy Use and Resources in Europe**, Proceedings European Geothermal Congress, Unterhaching, Germany
5. Banks, D., 2009: **Thermogeological assessment of open-loop well-doublet schemes: a review and synthesis of analytical approaches**, Hydrogeology Journal 17, Springer-Verlag, pp. 1149-1155
6. Bertani, R., 2009: **Geothermal energy: An overview on resources and potential**, Geothermal energy in ECA region countries, GeoFund-IGA Geothermal workshop, Turkey
7. Boden, A., et al., 2010: **Global, regional and national fossil-fuel CO₂ emission**. Carbon dioxide information analysis centre, Oak Ridge National Laboratory, U.S.
8. Brown, D.W., et al., 2012: **Mining the Earth's Heat: Hot Dry Rock Geothermal Energy**, Springer, e-ISBN 978-3-540-68910-2
9. Brković, T., i dr., 1980: **Tumač za list Kragujevac (L34-138)**, Zavod za geološka, hidrogeološka i geofizička istraživanja "Geozavod", Beograd

10. Commission decision of 9 November 2007: **Establishing the ecological criteria for the award of the Community eco-label to electrically driven, gas driven or gas absorption heat pumps** (notified under document number C (2007) 5492) (Text with EEA relevance) (2007/742/EC), Official Journal of the European Union, L 301/14
11. Dimitrijević, N., 1975: **Gasovi u podzemnim vodama s posebnim osvrtom na njihovo prisustvo u mineralnim vodama Srbije**, Zbornik radova Rudarsko-geološkog fakulteta, posebna izdanja, sv. 3, Beograd
12. Dimitrijević, N., 1966: **Hemijski sastav podzemnih voda iz mezozojskih i tercijarnih sedimenata Beograda i okoline**, preštampano iz Geoloških analiza Balkanskog poluostrva, knjiga XXXII, Beograd
13. Dimitrijević, M., 1995: **Geologija Jugoslavije**, Geoinstitut, Beograd
14. Dimitrijević, B., 1931: **Avala**, Posebna izdanja SAN., knj. LXXXV, Beograd
15. Dragišić, V., 1997: **Opšta hidrogeologija**, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
16. Đinđić, M., i dr., 1974: **Prikaz primenjene metode i postignutih efekata regeneracije renu bunara na beogradskom izvoristu**, Zbornik radova, III Jugoslovenski simpozijum o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, Knjiga I Hidrogeologija, Opatija
17. Filipović, B., i dr., 2005: **Regionalna hidrogeologija**, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
18. Filipović, B., 2003: **Mineralne, termalne i termomineralne vode Srbije**, Monografija, Institut za hidrogeologiju Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd
19. Filipović, B., Stevanović, Z., 1987: **Novi prilozi poznavanju termomineralnih voda u Obrenovcu kod Beograda**, Zbornik referata IX Simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, Priština

20. Filipović, I., i dr., 1978: **Tumač za list Gornji Milanovac (L34-137)**, Zavod za geološka i geofizička istraživanja, Beograd
21. Filipović, I., i dr., 1976: **Tumač za list Obrenovac (L34-125)**, Zavod za geološka, hidrogeološka, geofizička i geotehnička istraživanja–Geozavod, Beograd, OOUR Geološki Institut, Beograd
22. Filipović, B., Mirković, M., 1972: **Mogućnosti korišćenja termomineralnih voda u naselju Braće Jerković u Beogradu**, Zapisnici Srpskog Geološkog društva, str. 41-44 i 174, Beograd
23. Fridleifsson, I., et al., 2008: **The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change**, IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources, Proceedings, Luebeck, Germany, pp. 59-80
24. Gburčik, V., i dr., 2002: **Ekološka valorizacija područja generalnog plana Beograda–Ekološki atlas Beograda**, Gradski zavod za zaštitu zdravlja Beograd
25. Goetzler, W., et al., 2009: **Ground-source heat pumps: Overview of market status, barriers to adoption, and options for overcoming barriers, Final report**, U.S Department of energy, energy efficiency and renewable energy, Geothermal technologies program
26. Grubić, A., 1997: **Svetolik Radovanović i njegovi pionirski radovi iz geologije i geotermije**, 100 godina hidrogeologije u Jugoslaviji, Rudarsko-geološki fakultet, Institut za hidrogeologiju, Univerzitet u Beogradu
27. Grupa autora, 2011: **Lokalni ekološki akcioni plan gradske opštine Palilula**, nacrt dokumenta, Beograd
28. Grupa autora, 2011: **Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada**, „Službeni glasnik RS“, br. 061/2011

29. Grupa autora, 2009: **Izmene i dopune generalnog plana Beograda 2021- Faza 2 (Izmena i dopuna GP2/2006)**, Urbanistički zavod Beograda, Beograd
30. Grupa autora, 2008: **Strategija razvoja energetike grada Beograda**, Energoprojekt-ENTEL, Beograd
31. Grupa autora, 1970: **Geološka karta SFRJ Jugoslavije, 1:500.000**, Savezni geološki zavod Beograda, Beograd
32. Hajdin, B., i dr., 2012: **Ocena perspektivnosti izvorišta "Vić bare" za vodosnabdevanje Obrenovca**, Zbornik radova XIX srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Zlatibor
33. Ivković, A., i dr., 1975: **Tumač za list Pančevo (L33-125)**, Zavod za geološka, i geofizička istraživanja, Beograd
34. **Izmene i dopune Generalnog plana Beograda 2021 - Faza 2 (Izmena i dopuna GP 2/2006)**, "Službeni list grada Beograda" br. 63/09
35. Janić, M., i dr., 2007: **Kartografsko modelovanje koncentracije gradskog i seoskog stanovništva Srbije**, Geographical institute "Jovan Cvijic", Collection of papers 57, 911:314.8(497.11)
36. Jevremović, M., Kuzmić, V., 1999: **Zakovitost u taloženju aluvijalno jezerskih i aluvijalno barskih naslaga od leve obale Save prema Batajnici**, Zbornik radova, XII Jugoslovenski simpozijum o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, Knjiga I Hidrogeologija, Novi Sad
37. Jones, G., Ligtenberg, H., 2008: **Geothermal energy in Europe**, Proceedings 3 rd International Professional Geology Conference, Flagstaff, Arizona
38. Kavanaugh, S., Rafferty, K., 1997: **Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings**, ASHARE Journal, Atlanta, GA

39. Knežević, S., Šumar, M., 1994: **Prilog poznavanju geologije grada Beograda**, Geološki anali Balkanskog poluostrva, 58, 2, str.73-81, Beograd
40. Knežević, S., Šumar, M., 1993: **Prilog poznavanju miocena grada Beograda na osnovu proučavanja istražnih bušotina**, Geološki anali Balkanskog poluostrva, 57, 2, str.49-64, Beograd
41. Komatina, M., 1976: **Hidrogeologija Šumadije**, Rasprave zavoda za geološka i geofizička istraživanja, Rasprava XVII, Beograd
42. Laskarev, V., i dr., 1931: **Geološka karta okoline Beograda, 1:25.000**, Geološki institut kralj. Jugoslavije, Beograd
43. Lazić, M., i dr., 2002: **Uslovi i mogućnosti zahvatanja većih količina podzemnih voda za vodosnabdevanje naselja na teritoriji opštine Grocka**, Zbornik referata XIII Simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geoleogiji sa međunarodnim učešćem, Herceg Novi
44. Lazić, M., i dr., 1996: **Regionalni hidrogeološki profil terena na pravcu Sopot–Barajevo–Obrenovac**, Zbornik referata XI jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geoleogiji, Budva
45. Milovanović, B., Ćirić B., 1968: **Geološka karta SR Srbije, 1:200.000**, Zavod za geološka i geofizička istraživanja, Beograd
46. Made, J Van Der., et al., 2007: **A mid-Miocene age for the Slanci Formation near Belgrade (Serbia), based on a record of the primitive antelope *Eotragus cf. clavatus* from Višnjica**, Geološki anali Balkanskog poluostrva, 68, pp. 53-59
47. Marković, B., i dr., 1985: **Tumač za list Beograd (L 34-113)**, RO Geološki Institut, Beograd

48. Marović, M., i dr., 2007: **Neoalpine Tectonics of Serbia**, Serbian Geological Society, Belgrade
49. Marović, M., 2011: **Geologija Jugoslavije**, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
50. Marsalek, J., et. al., 2008: **Urban Water Cycle Processes and Interactions**, Urban Water Series–UNESCO-IHP, Volume 2, ISSN 1749-0790
51. Martinovic, M., Milivojevic, M., 2010: **Serbia country update**, Proceedings World Geothermal Congress, Bali, Indonesia
52. Martinović, M., i dr., 2010: **Geotermalni atlas Vojvodine**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Geološki Institut Srbije, Beograd, NIS Naftna industrija Srbije, Novi Sad
53. Matić, I, i dr., 2012: **Očuvanje podzemnih vodnih resursa kod korišćenja subgeotermalne energije na Novom Beogradu**, Zbornik radova XIX srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Zlatibor
54. Milenić, D., i dr., 2011: **Istraživanje, korišćenje i razvoj geotermalnih energetske resursa u Republici Srbiji**, 40 godina Departmana za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu
55. Milenic, D., Vranjes, A., 2011: **Utilisation of hydrogeothermal energy by use of heat pumps in Serbia – current state and perspectives**, World Renewable Energy Congress, Linköping, Sweden, pp.1265-1273
56. Milenic, D., et al., 2010: **Criteria for use of groundwater as renewable energy source in geothermal heat pump systems for building heating/cooling purposes**, Energy and Buildings, Volume 42. Issue 5, pp. 649–657
57. Milenic, D., et. al., 2009: **Indicators of impact of heat island effect on ground water energetic potential on the territory of New Belgrade, Serbia**, Europe, Proceedings of the XXXVI IAH Congress, Toyama, Japan

58. Milenic, D., et al., 2005: **Application of hydrochemical genetic coefficients in groundwater origin determination (Visnjicka banja spa case study)**, Proceedings of 7th Hellenic Hydrogeological Conference on fissured rocks hydrology, 273-281, Hellenic Chapter of IAH, Athens, Greece
59. Milenic, D., Allen, A., 2003: **Low Enthalpy Geothermal Heat Resources from Groundwater in Fluvio-glacial Gravels of buried Valleys**, Journal of Applied Energy, Vol. 74, Issues 1-2, 9-19, Elsevier Science
60. Milivojević, M., 2012: **Geotermologija i geotermalna energija**, Departman za hidrogeologiju, Laboratorija za geotermologiju, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet
61. Milivojevic, M., i dr., 1992. **Yugoslavia In: Geothermal Atlas of Europe**, GeoForschungs Zentrum Potsdam, Publication No. 1, Potsdam, p. 102-105.
62. Milivojević, M., 1997: **Istorijat i budućnost razvoja geotermologije, istraživanja i korišćenja geotermalnih resursa u Srbiji**, 100 godina hidrogeologije u Jugoslaviji, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, str. 345-359
63. Milivojević, M., i dr., 1995: **Geotermalni resursi Srbije: potencijalnost, stanje istraživanja, korišćenja i mogući planovi za budućnost**—Vodni i mineralni resursi litosfere Srbije, 133-151, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
64. Milivojević, M., 1982: **Paleohidrogeotermalne pojave Avale**, Monografija, Rudarsko-geološki fakultet OOUR-Grupa za hidrogeologiju, Laboratorija za geotermalnu energiju
65. Milivojević, M., 1980: **Paleohidrogeotermalne pojave kao indikatori postojanja visokotemperaturnih ležišta geotermalne energije u okolini Avale**, Zbornik referatov 6. Jugoslovenskega simpozija o hidrogeologiji in inženirski geologiji, Portorož

66. Milojević, N., i dr., 1975: **Hidrogeologija teritorije grada Beograda**, Monografija, Beograd
67. Milojević, N., i dr., 1963: **Hidrogeološke prilike Avale**, Geološki anali Balkanskog poluostrva, 27, 167-192, Beograd
68. Milojević, N., i dr., 1971: **Hidrogeološka rejonizacija teritorije Beograda**, Zbornik radova RGF. sv. 13, Beograd
69. Milovanović, P., 2002: **Materijali i oprema za korišćenje geotermalne energije**, Monografija, Institut za hemiju tehnologiju i metalurgiju, Beograd
70. Mišić, M., Polić, R., 1982: **Rezultati izrade i testiranja bušenih bunara radi definisanja uslova odvodnjavanja na polju „E“ Kolubarskog ugljenog basena**, Zbornik referata VII jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geoleogiji, Novi Sad
71. Moshfegh, B., 2011: **Opening ceremony World renewable energy congress**, WREC-2011, Sweden
72. Musladin, O., Mićović, M., 1971: **Prikaz geoloških i hidrogeoloških prilika urbanizovanog područja grada na osnovu postojeće geotehničke dokumentacije u Beogradu**, Zbornik radova 1. Jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geoleogiji, Herceg Novi
73. Nenadić, D., Bogičević, K., 2010: **Geologija kvartara**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
74. Obradović, S., 1958: **Mikropaleontološki podaci kao prilog poznavanju starosti slojeva Straževice (okolina Beograda)**, Zbornik radova Geološkog instituta “Jovan Žujović”, knjiga 10, Beograd

75. Orio, C., et al., 2005: **A survey of standing column well installations in North America**, American Society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers, Volume III, Part 2
76. Pavlović, Z., 1980: **Tumač za list Smederevo (L34-126)**, Zavod za geološka, hidrogeološka i geofizička istraživanja "Geozavod", Beograd
77. Petković, K., i dr., 1977: **Geologija Srbije II-3, Stratigrafija (Kenozoik)**, Zavod za regionalnu geologiju i paleontologiju Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu
78. Petković, K., i dr., 1976: **Tektonika**, Zavod za regionalnu geologiju i paleontologiju Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu
79. Petković, K., i dr., 1975: **Geologija Srbije II-2, Stratigrafija (Mezozoik)**, Zavod za regionalnu geologiju i paleontologiju Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerzitet u Beogradu
80. Polomčić, D., 2001: **Hidrodinamička istraživanja, otvaranje i upravljanje izvorištima izdanskih voda u intergranularnoj poroznoj sredini**, Institut za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
81. Protić, D., 1995: **Mineralne i termalne vode Srbije**, Geoinstitut, knjiga 17
82. Rabrenović, D., i dr., 2003: **Istorijska geologija**, Institut za regionalnu geologiju i paleontologiju, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
83. Rabrenović, D., Jovanović, R., 1992: **Sedimentološke i biostratigrafske karakteristike klanzejskog potkata i albskog kata na Banovom brdu (Beograd)**, Geološki anali Balkanskog poluostrva, 56,2, sr.61-71, Beograd
84. Rafferty, K., 2000: **Design aspects of commercial open-loop heat pumps systems**, Geo-Heat Center, Klamath Falls, OR

85. Rafferty, K., 1998: **Heat exchangers**, GHC Bulletin, Oregon Institute of Technology
86. Rundic, Lj., et al., 2011: **Upper Miocene Pannonian sediments from Belgrade (Serbia): new evidence and paleoenvironmental considerations**, *Geologica Carpathica*, 62, 3, pp. 267-278
87. Rundić, Lj., i dr., 2009: **Geološki objekti i prirodni fenomeni kao integralni elementi geodiverziteta i životne sredine—analiza stanja i održivo korišćenje na prostoru grada Beograda**, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet
88. Santamouris, M., 2007: **Energija u zgradama i građanstvo**, Zbornik radova 38. Međunarodni kongres o grejanju, hlađenju i klimatizaciji, 13-26, Beograd
89. Simić, M., i dr., 1982: **O mogućnostima vodosnabdevanja Vrčina korišćenjem podzemnih voda iz naslaga neogene starosti**, Zbornik referata VII jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geolegiji, Novi Sad
90. Spajić, O., Džodžo Tomić, R., 1973: **Stratigrafska analiza miocenskih sedimenata iz hidrogeoloških istražnih bušotina okoline Beograda**, *Ibid.*, knj. XXXVIII
91. Spajić, O., 1961: **Prinove za poznavanje panonskih (donjekongerijskih) slojeva okoline Beograda (Zaklopača, Begaljica, Vrčin)**, *Geološki anali Balkanskog poluostrva*, XXVI, Beograd
92. Steen, V. H., 2011: **Energy: the EU and the World—WREC 2011**, Opening presentation, World Renewable Energy Congress, Linköping, Sweden
93. Stevanović, P., 1970: **Paleogeografsko-ekološke prinove iz tortona okoline Beograda**, *Glas SANU*, CCLXXVIII, knj. 33, Beograd
94. Technical Division Energy Conversion and Application, 2010: **Thermal use of the underground - Fundamentals, approvals, environmental aspects**, VDI—Society Energy and Environment

95. Unakašević, M., 1994: **Klima Beograda**, Monografija, Beograd
96. Vranješ, A., Dončev, B., 2012: **Uticaj efekta toplotnog ostrva na podzemne vode Novog Beograda**, Zbornik radova XIX srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Zlatibor
97. **Zakon o energetici**, "Službeni glasnik R. Srbije", br. 57/2011
98. Živković, J., i dr., 1980: **Hidrogeološki i hidrodinamički uslovi za kaptiranje izdanskih voda pomoću vertikalnih cevastih bunara na Velikom ratnom ostrvu kod Beograda**, Zbornik referatov 6. Jugoslovenskega simpozija o hidrogeologiji in inženirski geologiji, Portorož
99. Živković, J., 1976: **Formiranje hidrogeoloških kolektora u donjem toku Save, kao izvorišta za vodosnabdevanje Beograda**, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
100. Živković, J., 1974: **Hidrogeološki uslovi kaptiranja izdanske vode pomoću reni bunara na Bežanijskom polju kod Beograda**, Zbornik radova 3. jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geoleogiji, Opatija
101. Živković, J., 1972: **Hidrogeološke karakteristike terena Ade Ciganlije kod Beograda sa prikazom kaptiranja izdanske vode**, Zbornik radova 2. jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geoleogiji, Sarjevo
102. Živković, J., 1972: **Proračun učešća obalskog filtrata u vodi koja se kaptira pomoću reni bunara na Makišu kod Beograda**, Zbornik radova 2. jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geoleogiji, Sarjevo
103. Živković, J., 1969: **Hidrogeološke karakteristike makiške izdani kod Beograda sa prikazom kaptiranja izdanske vode pomoću reni bunara**, "Vesnik" inženjerska geologija i hidrogeologija, knjiga IX, serija V, tom IX, Beograd

FONDOVSKA LITERATURA

104. Abramović, A., 1998: **Hidrogeološke karakteristike šire okoline Kosmaja sa aspekta vodosnabdevanja lokalnog stanovništva**, Diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
105. Bogdanović, J., 2012: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-1 u Beogradu, Krunska 70**, Geo-Log, Beograd
106. Bogdanović, J., 2011: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-1 na lokalitetu Ugrinovačke ulice broj 92 u Zemunu**, Geo-Log, Beograd
107. Bogdanović, J., 2011: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-1 u Beogradu, Osmana Đikića 18**, Geo-Log, Beograd
108. Bogdanović, J., 2011: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine IB-1 na lokaciji Američke ambasade u Beogradu**, Geo-Log, Beograd
109. Bogdanović, J., 2011: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-1 na lokaciji Miljkovačke livade, Rakovica**, Geo-Log, Beograd
110. Bogdanović, J., 2011: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-1 u Slatini**, Geo-Log, Beograd
111. Bogdanović J., 2011: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-1 na lokalitetu Livadiće u Ritopeku**, Geo-Log, Beograd
112. Bogdanović, J., 2011: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine IBS-1 u Beogradu, Žanke Stokić-Senjak**, Geo-Log, Beograd
113. Bogdanović, J., 2011: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine IBB-12/11 na lokalitetu Bežanijske Kose na Novom Beogradu**, Beograd
114. Bogdanović, J., 2010: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-1 u Barajevu, Geo-Log**, Beograd

115. Bogdanović, J., 2010: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine BM-1 u Beogradu, Skender Begova 51**, Geo-Log, Beograd
116. Bogdanović, J., 2010: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine IEB-1 u Boleču**, Geo-Log, Beograd
117. Bogdanović, J., 2009: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-1 na Trešnji**, Geo-Log, Beograd
118. Bogdanović, J., 2008: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-1 na lokalitetu "Europolis" u Zemunu**, Geo-Log, Beograd
119. Bogdanović, J., 2008: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-8 na Adi Ciganliji**, Geo-Log, Beograd
120. Bogdanović, J., 2008: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine BI-1 na Makišu**, Geo-Log, Beograd
121. Bogdanović, J., 2008: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine IB-1 u Radmilovcu**, Geo-Log, Beograd
122. Bogdanović, J., 2008: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine IB-2 na lokciji Poljoprivrednog fakulteta u Radmilovcu**, Geo-Log, Beograd
123. Bogdanović, J., 2007: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine IBVML-1/07 u Velikom Mokrom Lugu, Beograd**, Geotec, Beograd
124. Bogdanović, J., 2007: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-1 u Rospici Čupriji**, Geotec, Beograd
125. Bogdanović, J., 2006: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-1 na lokalitetu Fabrike betona, Novi Beograd**, Geo-Log, Beograd

126. Bogdanović, J., 2006: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine EBD 2 na lokalitetu PKB Imlek, Padinska Skela**, Beograd
127. Čanić, V., 2009: **Izveštaj o izvedenim radovima na IEbbD-1 u Dobračinoj 8 (opština Stari grad)**, GECO inženjering d.o.o., Beograd
128. Despinić, M., 2001: **Hidrogeologija mineralnih voda "Skadarlije"**, diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
129. Dokmanović, P., 1997: **Hidrogeološke karakteristike tercijarnih basena u Srbiji južno od Save i Dunava**, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
130. Dragišić, V., 2004: **Elaborat o rezervama i kvalitetu prirodne mineralne vode iz bunara BKL-4/03 preduzeća "Damjanović" u Mladenovcu**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
131. Dragišić, V., i dr., 1997: **Elaborat o izvedenim istražnim radovima na regeneraciji bunara B-2 u krugu fabrike „Pepsi-Cola“ u Dobanovcima**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
132. Đokić, I., 2003: **Elaborat o rezervama prirodnih termomineralnih voda iz bunara IEbPN-1/01 „Nenadić Petrol“ u Surčinu**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
133. Filipović, B., i dr., 1998: **Zaštita izdani u okviru sarmatskih laporovitih krečnjaka na širem području opštine Barajevo**, Rudarsko-geološki fakultet, Institut za hidrogeologiju, Beograd
134. Filipović, B., Lazić, M., 1997: **Hidrogeološke karakteristike područja opštine Barajevo sa aspekta rešavanja problema vodosnabdevanja**, Rudarsko-geološki fakultet, Institut za hidrogeologiju, Beograd
135. Filipović, B., Stevanović, Z., 1986: **Hidrogeološka studija termomineralnih voda na području Obrenovca, II-a faza**, Fond str. dok. OOUR-a Grupe za hidrogeologiju, RGF Univerziteta u Beogradu, Beograd

136. Filipović, B., Lazić, M., 1983: **Prilog poznavanju hidrogeoloških karakteristika sarmatskih krečnjaka Barajeva i mogućnosti iskorišćavanja izdanskih voda, Rudarsko-geološki fakultet, OOUR Grupa za hidrogeologiju, Beograd**
137. Filipović, B., i dr., 1983: **Hidrogeološka studija područja S.O. Barajeva s aspekta mogućnosti vodosnabdevanja, Fond instituta za hidrogeologiju Rudarsko-geološki fakultet, Beograd**
138. Filipović, B., Dimitrijević, N., 1974: **Hidrohemijske karakteristike podzemnih voda karstne izdani u okviru sarmatskih krečnjaka u okolini Beograda, Rudarsko - geološki fakultet**
139. Grupa autora, 2011: **Izveštaj o poslovanju za I-XII 2011. godinu, JKP "Beogradske elektrane"**
140. Grupa autora, 2008: **Detaljna istraživanja terena za izradu geološko-tehničke dokumentacije za potrebe plana detaljne regulacije dela naselja Ovča, Knjiga 1. Inženjerskogeološke podloge, Geološki institut Srbije, Beograd**
141. Grupa autora, 2007: **Geološko-geotehnička dokumentacija za potrebe Plana detaljne regulacije kompleksa distributivnog centra "Nelt" u Dobanovcima opština Surčin, Geoalfa doo, Beograd**
142. Grupa autora., 2005: **Izveštaji o hidrogeološko-tehničkim karakteristikama istražno-eksploatacionih bunara IEBUS-2/04, IEBUS-3/04 i IEBUS-4/04, NIS Naftagas, Hidrosonda, Novi Sad**
143. Grupa autora, 1996: **Podaci za izradu godišnjeg izveštaja bilansa podzemnih voda, JKP "Sopot", Beograd**
144. Grupa autora, 1991: **Glavni projekat izgradnje, opremanje i povezivanje bunara B-1 i B-2 na oglednom polju „Banke biljnih gena“ u Zemunu, DP „Nafta-Gas“, Novi Sad**

145. Grupa autora, 1984: **Vodoprivredna osnova Pančevačkog rita, Knjiga 2-karakteristike prirodnih uslova**, Sveska 6-geologija i hidrogeologija, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd
146. Jeremić, A., 2007: **Hidrogeološke karakteristike Pančevačkog rita sa posebnim osvrtom na zagađivanje i zaštitu podzemnih voda**, Diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
147. Jović, P., 2005: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine Bk-2 na lokalitetu Radio far Autokomerc, Fujitec**, Beograd
148. Jović, P., 2005: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine Bkp-1 na lokalitetu Kvantaške pijace, Fujitec**, Beograd
149. Jović, P., 2004: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine IB-1 na farmi "Jugokoka" u Ripnju, Fujitec**, Beograd
150. Jović, P., 2004: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-1 na stadionu OFK, Fujitec**, Beograd
151. Knežević, M., 2011: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-1 u Kaluđerici, Geo-Log**, Beograd
152. Knežević, M., 2008: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine GEB-1 na Vidikovcu, Beograd, Geo-Log**, Beograd
153. Knežević, M., 2008: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine IB-2 na lokaciji TO "Dunav" na Dorćolu, Geo-Log**, Beograd
154. Knežević, M., 2004: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine PdUS-10 u Beogradu, Staro Sajmište, Geotec**, Beograd
155. Knežević, M., 2004: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine P-11 na Ušću, Fujitec**, Beograd

156. Knežević, M., 2004: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine PDUS-8 na Ušću**, Fujitec, Beograd
157. Knežević, M., 2004: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine P-13 na Ušću**, Fujitec, Beograd
158. Knežević, M., 2004: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine PdUS-12 na Ušću**, Fujitec, Beograd
159. Knežević, M., 2004: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine PdUS-15 na Ušću**, Fujitec, Beograd
160. Knežević, M., 2004: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine PdUS-13 na Ušću**, Fujitec, Beograd
161. Knežević, M., 2004: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine PdUS-16 na Ušću**, Fujitec, Beograd
162. Lazić, B., 2010: **Izveštaj o izradi istražno-eksploatacionog bunara B-4 u Batajnici**, HidroGeoCentar, Beograd
163. Lazić, B., 2010: **Izveštaj o izradi istražno-eksploatacionog bunara B-5 u Batajnici**, HidroGeoCentar, Beograd
164. Lazić, B., 2010: **Izveštaj o izradi istražno-eksploatacionog bunara BF-1 u Boleču za potrebe preduzeća „Ferbild“ D.O.O**, HidroGeoCentar, Beograd
165. Lazić, M., Đokić, V., 2003: **Izveštaj o izradi istražno-eksploatacionog bunara IB-1 u krugu preduzeća „IDEA“ u Beogradu**, Tehnički izveštaj, PP „Hidroplaning“, Beograd

166. Lazić, M., 2001: **Izveštaj o izradi istražno-eksploatacionog bunara IEED-1 u krugu fabrike boja i lakova "DUGA" u Beogradu**, Tehnički izveštaj, PP "Hidroplaning", Beograd
167. Maied, El A., 1992: **Hidrogeološke karakteristike područja između Barajeva i Sopota sa aspekta vodosnabdevanja**, Diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
168. Martinović, M., 2009: **Elaborat o rezervama podzemnih voda izvorišta "Holcim" u Krnjači**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
169. Martinović, M., 2006: **Elaborat o eksploatacionim rezervama geotermalne mineralne vode bušotine OB-2 kod hotela „Obrenovac“ u Obrenovcu**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
170. Milenić, D., 2011: **Projekat detaljnih hidrogeoloških i hidrogeotermalnih istraživanja za potrebe višenamenskog korišćenja podzemnih voda u budućem vrtiću na Bežanijskoj Kosi**, opština Novi Beograd, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
171. Milenić, D., i dr., 2011: **Istraživanje i primena obnovljivih subgeotermalnih podzemnih vodnih resursa u konceptu povećanja energetske efikasnosti u zgradarstvu**, Projekat tehnološkog razvoja Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj (TR 33053), Beograd
172. Milenić, D., 2011: **Elaborat o rezervama podzemnih voda sa izvorišta Građevinske direkcije Srbije u Bloku 29 na Novom Beogradu**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
173. Milenić, D., 2011: **Projekat detaljnih hidrogeoloških i hidrogeotermalnih istraživanja za potrebe višenamenskog korišćenja podzemnih voda u budućem vrtiću u Bloku 61 na Novom Beogradu**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

174. Milenić, D., i dr., 2010: **Elaborat o rezervama podzemnih voda iz istražno-eksploatacionih bunara Nelt-1, Nelt-2 i Nelt-3 u Dobanovcima**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
175. Milenić, D., 2010: **Elaborat o rezervama podzemnih voda iz istražno-eksploatacionog bunara IEBBE-1/08 u krugu Beogradskih elektrana na Novom Beogradu**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
176. Milenić, D., 2010: **Projekat detaljnih hidrogeoloških istraživanja za potrebe višenamenskog korišćenja podzemnih voda na Adi Huji u Beogradu**, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu
177. Milenić, D., 2009: **Elaborat o rezervama podzemnih voda iz istražno-eksploatacionog bunara IEB-1/08 u Bloku 11A na Novom Beogradu**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
178. Milenić, D., 2009: **Elaborat o rezervama podzemnih voda iz istražno-eksploatacionog bunara IEB-1/08 u Bloku 11A na Novom Beogradu**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
179. Milenić, D., i dr., 2009: **Prethodna studija opravdanosti supstitucije daljinskog sistema grejanja višenamenskim korišćenjem podzemnih voda za potrebe grejanja/hladenja nove upravne zgrade Beogradskih elektrana na Novom Beogradu**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
180. Milenić, D., i dr., 2008: **Projekat detaljnih hidrogeoloških istraživanja za potrebe višenamenskog korišćenja podzemnih voda na Toplani „Konjarnik“ u Beogradu**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
181. Milenić, D., 2007: **Izveštaj o izradi istražno – eksploatacionog bunara IEBA-1/07 na parceli Autokomerca na autoputu Beograd – Zagreb za potrebe višenamenskog korišćenja podzemnih voda**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

182. Milenić, D., 2007: **Projekat detaljnih hidrogeoloških istraživanja za potrebe višenamenskog korišćenja podzemnih voda na parceli 1551/1 (K.O. Stari Grad) u Beogradu**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
183. Milenić, D., 2007: **Projekat detaljnih hidrogeoloških istraživanja za potrebe višenamenskog korišćenja podzemnih voda u krugu banje „Selters“ u Mladenovcu**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
184. Milenić, D., 2007: **Elaborat o izvedenim hidrogeološkim istraživanjima na izradi istražno-eksploatacionog bunara IEBD-1/07 u krugu Toplane "Dunav" na Dorćolu (Beograd)**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
185. Milenić, D., 2006: **Elaborat o izvedenim hidrogeološkim istraživanjima na izradi istražno-eksploatacionog bunara IEBD-1/06 na farmi „Bd Agro“u Dobanovcima (SO Zemun)**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
186. Milenić, D., 2006: **Hidrogeološke karakteristike i mogućnosti korišćenja obnovljivih hidrogeotermalnih resursa na užoj teritoriji grada Beograda**, Studija, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu
187. Milenić, D., 2003: **Evaluation of Groundwater Resources of the Cork City and Harbour Area, Ph.D.Thesis**, National University of Ireland, University College Cork, Geology Department
188. Milivojević, M., 2004: **Elaborat o eksploatacionim rezervama izdanske vode izvorišta "Gaj" u Vrčinu**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
189. Milivojević, M., 2001: **Izveštaj o rezultatima istraživanja u Lamartinovoj ulici u Beogradu izvedenih u cilju klimatizacije stambene zgrade pomoću geotermalne toplotne pumpe**, Rudarsko-geološki fakultet, Institut za hidrogeologiju, Beograd
190. Milivojević, M., Martinović M., 1995: **Hidrogeološki i hidrogeotermalni resursi Srbije kao izvorišta toplotne energije**, Laboratorija za geotermalnu energiju, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

191. Milivojević, M., 1989: **Ocena geotermalnih resursa teritorije SR Srbije van teritorija SAP**, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
192. Ninković, S., 2012: **Hidrohemijske karakteristike mezozojskog kompleksa planine Avala**, diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
193. Perić, J., 1989: **Izveštaj o rezultatima izrade istražne geotermalne bušotine KB-2 u Koraćičkoj Banji kod Mladenovca**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
194. Petrović, D., 2003: **Izveštaj o izvedenim radovima na izradi istražno-eksploatacionog bunara B-1/2003 u krugu JUBMES banke na Novom Beogradu**, tehnički izveštaj, Preduzeće "Hidrogeologija" DOO, Beograd
195. Petrović, D., 2004: **Izveštaj o izvedenim radovima na izradi istražne bušotine i istražno-eksploatacionog bunara IEB-P/1 na stadionu FK "RAD" u Beogradu**, Tehnički izveštaj, Preduzeće "Hidrogeologija" DOO, Beograd
196. Petrović, S., 1995: **Hidrogeološke karakteristike mineralnih, termalnih i termomineralnih voda u okolini Beograda sa aspekta zaštite od zagađivanja**, Diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
197. Perović, J., 2010: **Hidrogeološke karakteristike severnog oboda Kosmaja sa aspekta višenamenskog korišćenja podzemnih voda**, Diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Departman za hidrogeologiju, Beograd
198. Pešić, S., 1997: **Hidrogeološke karakteristike šire okoline Mladenovca sa prikazom uslova vodosnabdevanja**, Diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
199. Simić, M., 2000: **Izveštaj o rezultatima izrade eksploatacionog bunara B-1/2000 pored stadiona Crvene Zvezde**, Geo-Ekspert, Beograd

200. Stevanović, Z., i dr., 2010: **Optimizacija energetskeg iskorišćavanja subgeotermalnih vodnih resursa**, Projekat tehnološkog razvoja Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj (TR 18008), Izveštaj o radu u periodu od 31.03.2010. do 31.12. 2010. (II godina istraživanja), Beograd
201. Stevanović, Z., i dr., 2009: **Optimizacija energetskeg iskorišćavanja subgeotermalnih vodnih resursa**, Projekat tehnološkog razvoja Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj (TR 18008), Izveštaj o radu u periodu od 01.04.2008. do 31.03.2009., Beograd
202. Stevanović Z., Milanović S., 2004: **Stručno mišljenje o hidrogeološkim uslovima u zoni Tašmajdanske pećine i mogućnostima sanacije priliva podzemnih voda**, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
203. Špadijer, S., 2004: **Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine OP1 u Bujanj potoku**, Geofizika-Ing, Beograd
204. Šestak, A., 2006: **Hidrogeološke karakteristike teritorije opštine Zemun**, diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
205. Teodorović, M., 2002: **Hidrogeološki uslovi potencijalnih lokacija za povećanje kapaciteta beogradskog izvorišta izgradnjom vertikalnih cevastih bunara**, diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
206. Vasić, Lj., 2007: **Ekogeološki uslovi čišćenja Čukaričkog rukavca na beogradsko izvorište**, Diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Departman za hidogeologiju, Beograd
207. Zuber, V., 2004: **Hidrogeološke karakteristike aluvijalnih sedimenata meandra reke Save na sektoru „Zidine“**, Diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Departman za hidogeologiju, Beograd

INTERNET LITERATURA

208. Dickson M., Fanelli M., 2004: **What is geothermal energy?** Internet adresa: <http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>, posećena 15.08.2012
209. **Energetski bilans Republike Srbije za 2008. godinu**, http://www.ssl-link.com/mre/cms/.../ENERGETSKI_BILANS_PLAN_ZA_2008.pdf
210. Euroserv'er, 2011: **Heat pump barometer**, www.euroserv-er.org/
211. **Key issues for renewable heat in Europe (K4RES-H)**, Project of the European geothermal energy council, 2005-2007 Internet adresa: <http://www.erec.org/projects/finalised-projects/k4-res-h.html>
212. **Program ostvarivanja strategije razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine za period od 2007. do 2012. godine**, <http://www.srbija.gov.rs>
213. **Regionalni Prostorni Plan Administrativnog Područja Beograda (RPP AP Beograda)**, <http://www.urbel.com>
214. www.artel.rs
215. <http://heatiland.lbl.gov/>
216. www.hidmet.gov.rs/
217. <http://geoheat.oit.edu/>
218. <http://geoliss.ekoplan.gov.rs>
219. <http://ec.europa.eu>
220. www.rehau.at/
221. www.stat.gov.rs/

- 222. www.sepa.gov.rs/
- 223. www.seea.sr.gov.rs
- 224. www.skgo.org
- 225. www.sm-inzenjering.rs
- 226. www.eea.europa.eu/
- 227. <http://geoheat.oit.edu/>

X. BIOGRAFIJA AUTORA

Ana Vranješ je rođena 18. maja 1982. godine u Zemunu. Od 1997. do 2001. godine pohađa Zemunsku gimnaziju. Godine 2001. upisuje Rudarsko-geološki fakultet i diplomira 21.02.2007. godine na Departmanu za hidrogeologiju sa prosečnom ocenom 8.6 (38 ispita), odnosno uskostručnim prosekom 9.0 (22 ispita).

Od 2005. do 2007. godine angažovana je kao student saradnik na Departmanu za hidrogeologiju Rudarsko-geološkog fakulteta, odnosno po diplomiranju biva angažovana kao stručni saradnik do upisa doktorskih studija. Doktorske studije upisuje 2007. godine na Rudarsko-geološkom fakultetu iz oblasti hidrogeologije (doktor nauka-geološko inženjerstvo) i postaje stipendista-doktorant Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije u periodu januar 2008.-februar 2011. godina. Od 2008. godine angažovana je u održavanju vežbi na Departmanu za hidrogeologiju iz predmeta Projektovanje u hidrogeologiji i iz predmeta Geotermologija, a od školske 2010/2011 godine učestvuje u održavanju vežbi iz predmeta Istraživanje i eksploatacija geotermalne energije i iz predmeta Geotermalni resursi i hidogeotermalni sistemi.

U cilju stručnog usavršavanja od 2007. godine doktorand Ana Vranješ učestvovala je na većem broju workshop radionica (UNDP Technical workshop, Galilee College workshop) i većem broju međunarodnih skupova (IAH, AWRA, WREC). U periodu 2007-2011. doktorand Ana Vranješ angažovana je na Projektu osnovnih istraživanja Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije: „Istraživanje, ocena i značaj podzemnih vodnih resursa u konceptu održivog razvoja“ (ON 146018) i u periodu 2010-2011 na projektu tehnološkog razvoja Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije: „Optimizacija energetskog iskorišćavanja subgeotermalnih vodnih resursa“ (TR 18008).

Doktorand Ana Vranješ je autor i koautor preko petnaest stručnih radova, od kojih je rad " Criteria for Use of groundwater as renewable energy source in geothermal heat pump systems for building heating/cooling purposes" 2010. godine objavljen u vrhunskom međunarodnom SCI časopisu "Energy and buildings".

Prilog 1.

Izjava o autorstvu

Potpisani-a **Ana Vranješ**

broj upisa **GS-3/2007**

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom

"Hidrogeotermalni resursi teritorije grada Beograda"

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da predložena disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio/la autorska prava i koristio/la intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis doktoranda

U Beogradu 03. 10. 2012.

Vranješ Ana

Prilog 2.

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora **Ana Vranješ**

Broj upisa **GS-3/2007**

Studijski program **Hidrogeologija**

Naslov rada "**Hidrogeotermalni resursi teritorije grada Beograda**"

Mentor **Dr Dejan Milenić, van. prof.**

Potpisani _____

izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao/la za objavljivanje na portalu Digitalnog repozitorijuma Univerziteta u Beogradu.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis doktoranda

U Beogradu 03. 10. 2012.

Vranješ Ana

Prilog 3.

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

"Hidrogeotermalni resursi teritorije grada Beograda"

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao/la sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo
2. Autorstvo - nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

Potpis doktoranda

U Beogradu 03. 10. 2012.

Вранан Јва