УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Јелена Л. Зарић

# ФОРМИРАЊЕ И ОДРЖИВО КОРИШЋЕЊЕ ИЗВОРИШТА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ФУНКЦИЈИ ГЕНЕЗЕ КВАРТАРНИХ СЕДИМЕНАТА ДОЊЕГ ТОКА РЕКЕ САВЕ

докторска дисертација

Београд, 2019

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Jelena L. Zarić

# FORMATION AND SUSTAINABLE EXPLOITATION OF GROUNDWATER SOURCES IN AS A FUNCTION OF THE GENESIS OF QUATERNAY AQUIFERS IN THE LOWER SAVA RIVER BASIN

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2019

**Ментори:**

**Др Душан Поломчић,** редовни професор
ужа научна област – хидрогеологија
Универзитет у Београду,
Рударско-геолошки факултет

**Др Милан Димкић,** научни саветник
Ужа научна област – инжењерство
заштите животне средине
Универзитет у Новом Саду,
Факултет техничких наука

**Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације:**

**Др Драженко Ненадић,** редовни професор
ужа научна област – историјска геологија
Универзитет у Београду,
Рударско-геолошки факултет

**Др Драгољуб Бајић,** доцент
Ужа научна област - хидрогеологија
Универзитет у Београду,
Рударско-геолошки факултет

**Др Зоран Никић,**
редовни професор
ужа научна област **–** водоснабдевање и
менаџмент подземних водних ресурса
Универзитет у Београду**,**
Шумарски факултет

Датум одбране**:** ___________________________

**ЗАХВАЛНОСТ**

Докторска дисертација „Формирање и одрживо коришћење изворишта подземних вода у функцији генезе квартарних седимената доњег тока реке Саве“ урађена је у оквиру пројекта ТР 37014 под називом **„Методологија оцене, пројектовања и одржавања изворишта у алувијалним срединама у зависности од аеробности“,** који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Највећу захвалност дугујем шефу пројекта и свом ментору проф. др Милану Димкићу, на поверењу које ми је указао и на вођењу кроз читав истраживачки рад на овој дисертацији. Свом ментору проф. др Душану Поломчићу дугујем велику захвалност на подршци у тешким и одлучујућим моментима, од којих је зависио исход мог читавог рада. Професорима Драженку Ненадићу и Слободану Кнежевићу дугујем посебну захвалност за свесрдну помоћ и смернице при изради и писању ове дисертације. Захваљујем се и професору Зорану Стевановићу и професору Слободану Вујасиновићу који су били уз мене од самог почетка. Професору Александру Грубићу захваљујем на мудрим речима и подршци у битним моментима, који су били пресудни за мој даљи рад.

Мом драгом колеги Давиду Митриновићу захваљујем на бескрајном стрпљењу и саборству, али и на чињеници да је рад и истраживање учинио лепшим. Захваљујем својим пријатељима што су били ту свих ових година и имали разумевања. Мом колеги и пријатељу др Драгољубу Бајићу захваљујем на позитивној енергији и свим тренуцима које смо поделили од првог дана факултета до данас.

Захваљујем се мојим родитељима на бескрајној подршци и свему што су учинили за мене, а на првом место на безграничној љубави. Свом Љубенку захваљујем на свој љубави, подршци и разумевању. Хвала вам од срца!

Ову дисертацију посвећујем својој баки.

*Бибцо, ово је за тебе, хвала што ме чуваш!*

Јелена Зарић

# ФОРМИРАЊЕ И ОДРЖИВО КОРИШЋЕЊЕ ИЗВОРИШТА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ФУНКЦИЈИ ГЕНЕЗЕ КВАРТАРНИХ СЕДИМЕНАТА ДОЊЕГ ТОКА РЕКЕ САВЕ

**Сажетак**

Смењивање хладних и топлих етапа током квартара, углавном је проучавано у теренима где су распрострањени глацијални седименти, у морским и језерским наслагама, као и у областима распростирања леса. Подаци који се односе на алувијалне седименте су врло оскудни. У овој дисертацији је на примеру алувијалних седимената београдског изворишта приказано како су се ове климатске промене одразиле на њихово стварање у долини реке Саве. У раду је приказана веза између моренског материјала високих планина Црне Горе, Босне и југозападне Србије, и квартарних алувијалних седимената у долини Саве.

Током 2016. и 2017. године спроведена су наменска истраживања на београдском изворишту, чији је циљ био да се прецизније дефинише геолошки стуб квартара, литолошке и хидрогеолошке карактеристике свих лито-фацијалних јединица, да се утврди њихова геолошка старост и услови генезе. Поред тога спроведене су две кампање *in situ* мерења на 4 изворишта у долини Саве. Све ово имало је за циљ да се створи јаснији увид у процесе који се одвијају у геолошкој средини издани услед експлоатације подземних вода и који доводе до старења бунара и опадања капацитета изворишта. Генеза и карактеристике плеистоценских алувијалних седимената детерминишу капацитет и услове експлоатације издани форминраних у овим седиментима, као и услове одрживог развоја и очувања изворишта подземних вода која каптирају алувијалне издани. У овој дисертацији дат је приказ и методологија истраживања полицикличних алувијалних седимената у долини Саве, са приказом њихових основних литолошких и хидрогеолошких карактеристика, као и проблематике која прати њихову експлоатацију.

**Кључне речи**: квартарни седименти, алувијална издан, Сава, Београдско извориште, генеза, клима квартара

**Научна област**: Геолошко инжењерство

**Ужа научна област**: Хидрогеологија

**УДК**: 556.34:551.79(043.3); 552.5:551.79(043.3)

FORMATION AND SUSTAINABLE EXPLOITATION OF GROUNDWATER SOURCES IN AS A FUNCTION OF THE GENESIS OF QUATERNAY AQUIFERS IN THE LOWER SAVA RIVER BASIN

**Abstract**

Alternating cold and warm stages in the Quaternary has largely been studied in areas that feature widespread glacial sediments, marine and lacustrine deposits, and loess. There is sparse information about the conditions that led to the formation of alluvial sediments and how their characteristics resulted from this process. This Dissertation describes the way in which climate change is reflected in the deposition of alluvial sediments in the Sava River Valley. The watercourses resulting from melting glaciers eroded and transported moraine material, incised channels, and created the paleo courses of today's big rivers. This is how the ancient course of the Sava River was formed (originating in the Julian Alps in Slovenia), as well as the courses of its large tributaries gravitating from the Dinaric Alps. Special-purpose investigations were undertaken at BGS in 2016 and 2017, followed by laboratory analyses. The objective was to define, as accurately as possible, the Quaternary geological profile of alluvial sediments, identify the lithological and hydrogeological parameters of all the facies, and determine their age and genesis. The ultimate goal of all these activities was to provide a clearer picture and insight into the processes that take place in the geologic setting, given the high rate of groundwater extraction that leads to well ageing and BGS capacity decline. The origin and properties of the Pleistocene alluvial sediments determine aquifer capacity and groundwater extraction conditions, as well as those that affect sustainable development and conservation of groundwater sources that tap alluvial aquifers. This Dissertation describes a method used for investigating polycyclic alluvial sediments in Sava River reparien area, presents their main lithological and hydrogeological characteristics, and discusses groundwater extraction issues.

**Keywords:** Quaternary sediments, alluvial aquifer, Sava river, Belgrade Groundwater Source, genesis, Quaternary climate

**Scientific field:** Geological engineering

**Scientific subfield:** Hydrogeology

**UDC:** 556.34:551.79(043.3); 552.5:551.79(043.3)

**САДРЖАЈ**


1. УВОД 1
2. ОБРАЗЛОЖЕЊЕ ТЕМЕ И СТРУКТУРА ДИСЕРТАЦИЈЕ 7
3. ИСТРАЖНО ПОДРУЧЈЕ И ОБИМ ИСТРАЖНИХ РАДОВА 10
4. ШИРЕ ИСТРАЖНО ПОДРУЧЈЕ 17
   4.1. Генеза јужног обода Панонског басена 19
   4.2. Тектоника јужног обода Панонског басена 25
5. ПРИМАРНИ ПРАВЦИ ПРИНОСА МАТЕРИЈАЛА У САВСКИ БАСЕН 34
   5.1. Ободни терени савског басена 35
      5.1.1. Лева обала Саве - утицај токова са Фрушке горе 35
      5.1.2. Полициклични седименти у сливу Колубаре 41
      5.1.3. Полициклични седименти Мачве 46
   5.2. Подручје динарских Алпа 49
6. ПРОМЕНЕ КЛИМЕ НА ГЛОБАЛНОМ НИВОУ ТОКОМ ПЛЕИСТОЦЕНА - ВЕЗА СА ГЛАЦИЈАЦИЈОМ У ДИНАРИДИМА И КВАРТАРНЕ ТВОРЕВИНЕ ЈУЖНОГ ОБОДА ПАНОНСКОГ БАСЕНА 56
   6.1. Клима у плеистоцену 56
      6.1.1. Фактори смене топлих и хладних фаза током плеистоцена 57
   6.2. Методе датирања квартарних седимената 61
   6.3. Нова глобална хроностратиграфска подела и номенклатура 69
7. КВАРТАРНЕ ТВОРЕВИНЕ И ЛЕДНИЧКЕ ПОЈАВЕ У СЛИВУ САВЕ 75
   7.1. Историјат и резултати неких ранијих испитивања ледника 77
      7.1.1. Датирање морена на планинама Црне Горе 84
      7.1.2. Корелација резултата глацијације на динаридима, (датирања моренског материјала) са палеонтолошким и литолошким налазима на београдском извориштту 89
   7.2. Лесне творевине јужног обода Панонског басена 93
      7.2.1. Датирање и геохемијске анализе лесно-палеоземљишних секвенци (ЛПС) у Србији 96
8. ПРИМЕЊЕНА ИСТРАЖИВАЊА И ИСТРАЖНИ РАДОВИ НА ЛОКАЦИЈАМА ЧЕТИРИ ИЗВОРИШТА 100
   8.1. Методологија истраживања 100

8.1.1. Литературни преглед и интерпретација прикупљене документације и података о истражном подручју 100

8.1.2. Истражно бушење и картирање језгра 101

8.1.3. Узорковање за гранулометријске анализе 102

8.1.4. Узорковање за минералошке, геохемијске и седиментолошко-петролошке анализе 103

8.1.5. Узорковање за датирање седимента 104

8.1.6. Палеонтолошко картирање и узорковање 105

8.1.7. Седиментолошко-петролошко картирање 106

8.1.8. Минералошке и геохемијске анализе 106

8.1.9. Палеонтолошке лабораторијске анализе и кабинетски рад 108

8.1.10. Седиментолошко-петролошке лабораторијске анализе 108

8.1.11. Уградња пијезометарске конструкције и разрада пијезометра 110

8.1.12. Узорковање подземних вода за физичко-хемијске и микробиолошке анализе 111

8.2. Приказ резултата примењених истраживања - Одабрана изворишта на току Саве за мониторинг параметара квалитета подземних вода 113

8.2.1. Извориште „Сава 1“ (Јарак) код Руме 113

8.2.2. Изворишта „Мартинци“ и “Старо извориште” код Сремске Митровице 145

9. БЕОГРАДСКО ИЗВОРИШТЕ ПОДЗЕМНИХ ВОДА 173

9.1. Претходна истраживања 173

9.2. Геолошка грађа терена 180

9.3. Геотектонски услови 195

9.4. Хидрогеолошке карактеристике 198

10. БУНАРИ БЕОГРАДСКОГ ИЗВОРИШТА 204

10.1. Процеси инкрустације гвожђем у алувијалним изданима 207

10.2. Показатељи и последице колмирања бунарског филтра 211

10.3. Избор бунара за санацију и препоруке за пројектовање изворишта – бунара 215

10.4. Старење бунара и ефекти регенерације на београдском изворишту 218

10.4.1. Локални губици на дреновима–дефиниција, одређивање и веза са протоком, редокс потенцијалом,

концентрацијом раствореног двовалентног гвожђа и бројем бактерија 219
10.4.2. Регенерација дренова и квантификација ефеката регенерације 222
10.4.3. Утискивање дренова и квантификација ефеката 225
11. ИСТРАЖНО БУШЕЊЕ И ЛАБОРАТОРИЈСКЕ АНАЛИЗЕ НА БЕОГРАДСКОМ ИЗВОРИШТУ - НОВА ИСТРАЖИВАЊ 229
11.1. Пијезометарско – структурна бушотина Rb-6/p-5d 231
11.2. Пијезометарско – структурна бушотина Rb-36/p-4d 239
12. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖНИХ РАДОВА НА ДВЕ ДУБОКЕ БУШОТИНЕ 247
12.1. Стратиграфски приказ слојева на локацијама две дубоке бушотине 247
12.2. Резултати гранулометријских анализа 258
12.2.1. Избор методе бушења 263
12.3. Порекло и дистрибуција Fe у алувијалним седиментима 266
12.3.1. Порекло гвожђа 266
12.3.2. Дистрибуција гвожђа по слојевима 269
12.4. Резултати минералошких и петролошких анализа 273
12.4.1. Истраживања тешких минерала на локацијама (Rb-1m/p-3d, Rb-36/p-4d, Rb-44/p-4d, Rb-6/p-3d) 277
12.4.2. Минерални састав 283
12.5. Утврђивање старости алувијалних седимената на београдском изворишту (резултати датирања) 287
12.5.1. Датирање помоћу оптички стимулисане луминисценције 289
12.5.2. Палеомагнетне методе (палеостратиграфска анализа) 293
13. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА 302
13.1. Клима и тектоника као главни фактори седиментаије на простору ободног дела Панонске низије 302
13.2. Тектоника и локални услови седиментације током квартара 305
13.3. Корелација резултата гранулометријске анализе, оптички стимулисане луминисценције (OSL) и палеомагнетних анализа (PM) узорака из бушотине Rb-6/p-5d и Rb-1m/p-3d са истраживањима распростирања ледника у деловима слива реке

Саве и Јадранског слива 311

13.4. Дефинисање експлоатационог капацитета бунара у складу са одрживом експлоатацијиом подземних вода алувијалне издани и очувањем подземног водног ресурса 320

14. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА 343

ЛИТЕРАТУРА 357

ПРИЛОГ 1

ПРИЛОГ 2

БИОГРАФИЈА АУТОРА

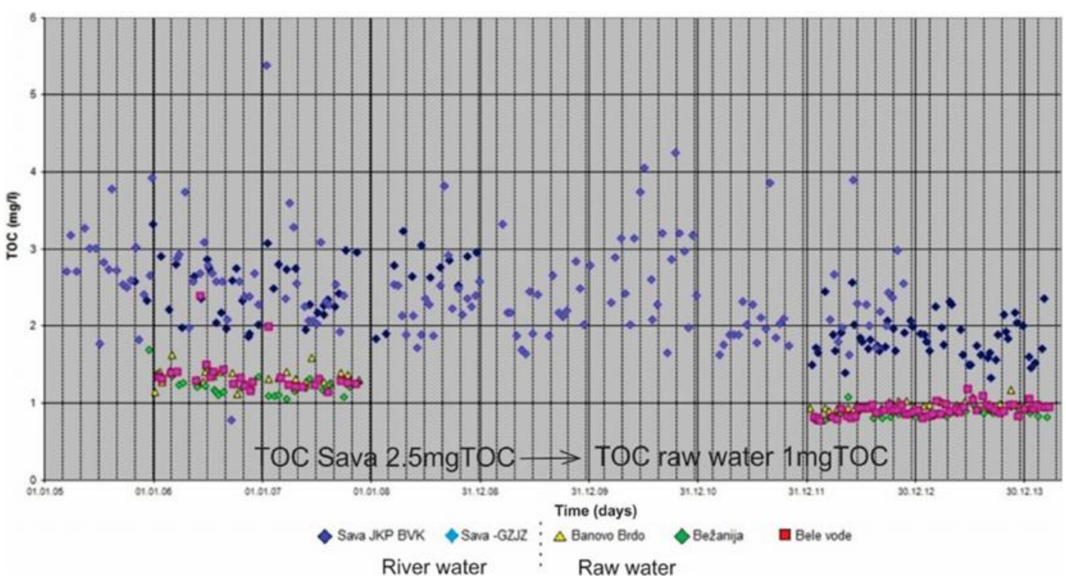
ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКОГ РАДА

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

## 1. **УВОД**

У Републици Србији 70% пијаће воде се црпи из подземних водних ресурса, од којих 70% чине подземне воде алувијалних издани. Природни пречишћавајући потенцијал алувијалних издани и дуго време задржавања воде у седименту на путу од реке до тачака црпења су значајне предности водоснабдевања из оваквих извора. Током филтрације од водотока и од залеђа ка водозахватним објектима долази до деградације и сорпције растворене органске материје која може да садржи многа штетна једињења. Овом приликом долази до везивања за чврсте честице и деградације органске материје, сорпције јона тешких метала, редукције нитрата и других процеса који се дешавају при филтрацији подземних вода кроз порозну средину интергрануларних издани (слика 1).




**Слика 1.** Ефекат самопречишћавања подземних вода током филтрације кроз интергрануларну средину – Разлика у садржају укупног органског угљеника (TOC) у речној води Саве и у сировој подземној води на постројењима за третман подземних вода, ЈКП БВК (Димкић, 2019)

Ефекти у великој мери зависе од гранулометријског и минералошког састава, оксидо-редукционих услова средине, времена филтрације и дужине путање пропагације подземне воде кроз порозну средину. Оксидо-редукциони процеси су кључни у процесима деградације органске материје, растварања минерала, као и таложења неких минерала гвожђа и мангана, као што је случај у прифилтарској зони бунара, на филтру и на самим бунарским инсталацијама, услед чега долази до колмирања и губитка капацитета бунара.

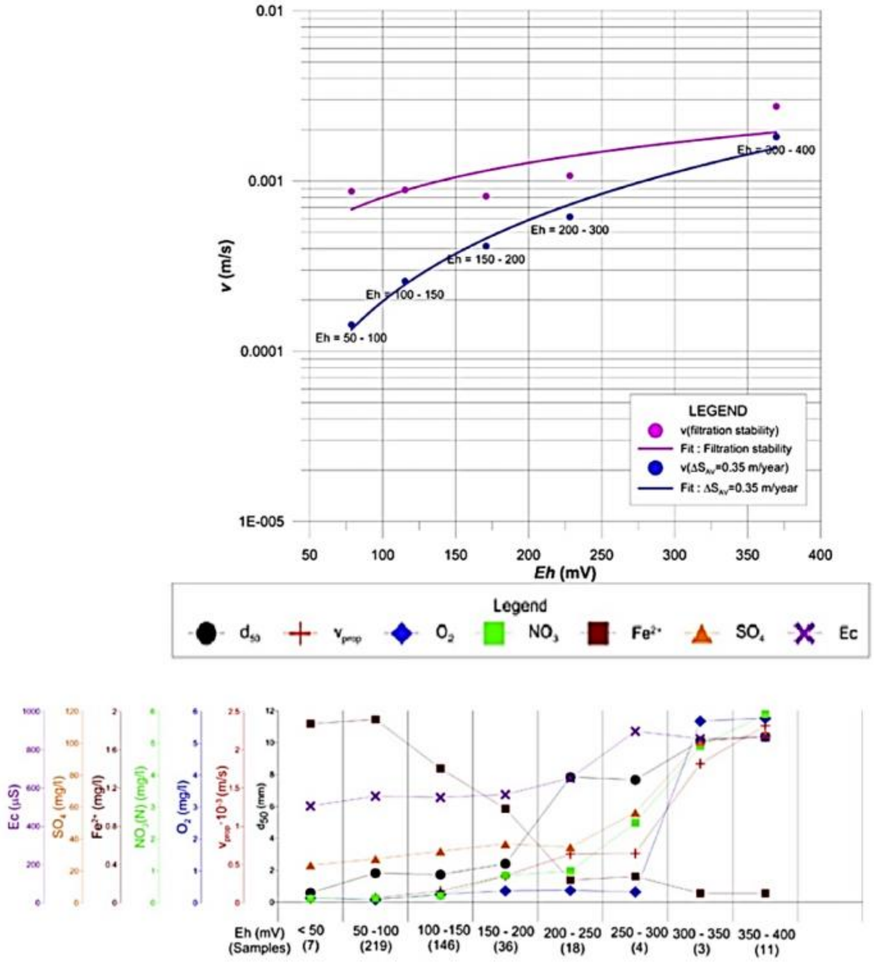
Велика насеља се налазе на рекама и њиховим ушћима и леже на алувијалним изданима, што је истовремено велика економска предност због лаке доступности извора водоснабдевања и велики проблем због веома тешког усклађивања потребе за урбаним развојем (који иде паралелно са повећањем ризика од загађења) и потребе за заштитом алувијалних водних ресурса. Велики део пољопривредне активности се такође одвија у долинама река што доводи до појаве повишених концентрација нитрата у неким случајевима када капацитет за њихово одстрањивање није довољно велики, тј. када је средина аеробна. Одређена предност подземних вода, нарочито у односу на акумулације, је велико смањење испаравања, па и његов престанак, са повећањем дубине залегања нивоа подземних вода испод приближно два до три метра. Обзиром на ово, исправно третирање ресурса подземних вода је и један од важних фактора ублажавања ефеката глобалног загревања и адаптибилности на климатске промене. Подземне воде алувијалних издани, представљају базни ресурс речних токова, основу за одржање вегетације, разних типова природних станишта, заштићених области и др.

Концентрација раствореног кисеоника у подземној води постојећих великих изворишта, као што је београдско или потенцијалних регионалних изворишта на Сави и Дунаву је, услед тога што се поменута изворишта налазе на доњем делу тока ових река, углавном врло ниска. Велика снага речних токова у горњим деловима тока условила је исталожавање крупнијег материјала и формирање доминантно аеробних алувијалних изворишта. Мања енергија тока и дужи транспорт условили су да се у доњим деловима тока таложи ситнозрнији материјал, што доводи до образовања доминантно анаеробних изворишта. Поред тога, ситнозрни глиновити и прашинасти седименти који као повлатни слој прекривају водоносне песковите и шљунковите седименте, а чине и прослојке у њима, имају заштитну улогу у смислу хемијског и микробиолошког загађења, али условљавају и ниске концентрације раствореног кисеоника. Овакви услови подстичу и процесе деградације неких загађивача, са најочигледнијим примером природног уклањања нитрата из подземних вода. Негативни ефекти оваквих услова су биохемијски процеси које врше популације микроорганизама који се концентришу у околини и на самим дреновима бунара са хоризонталним дреновима и филтарским колонама цевастих бунара, нарочито они микроорганизми који оксидишу двовалентно гвожђе и манган, и редукују сулфате, при чему настали минерални продукти доводе до колмирања бунара. Ови процеси су нарочито интензивни у близини филтарске колоне због тога што у тој зони долази до мешања вода са различитим редокс потенцијалима и различитим концентрацијама гвожђа, мангана и кисеоника. Осим продуката ових процеса, и настала биомаса и њени екскрети доприносе запушавању дренова и филтарских колона и паду издашности ових објеката. Услед поменутих процеса, издашност београдског изворишта је од 1990. године до данас опадала средњим темпом од око 80 l/s годишње, а материјална штета настала као последица ових процеса на београдском изворишту подземних вода је вишемилионска.

Током рада на проблематици колмирања бунара и опадања њихове издашности (Димкић и др. 2007; 2010; 2011а; 2011б; 2011ц; 2012; 2013; 2014; Пушић и др. 2012а; 2012б; 2017), формулисане су препоруке за критичне улазне брзине у бунар на основу функција концентрације двовалентног гвожђа и оксидо-редукционог (редокс) потенцијала, који омогућава да се одреди експлоатациони капацитет бунара у зависности од тих параметара, тако да пад издашности, тј. раст локалних губитака, буду прихватљиви са економске тачке гледишта (слика 2).

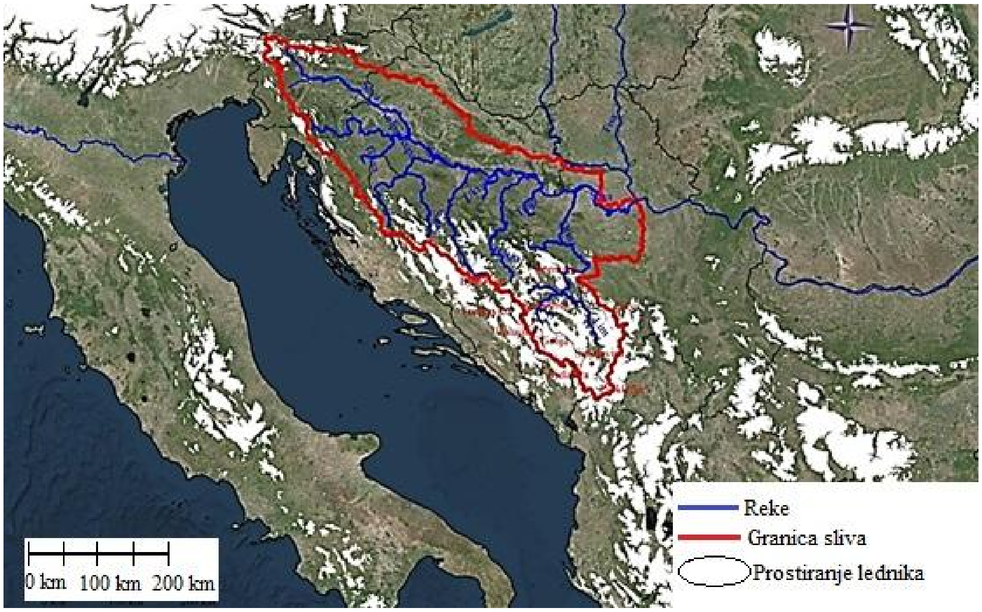
Због свега наведеног од великог је значаја предузети мере за унапређење теоријског и практичног знања о генези флувијалних и алувијалних издани у којима су формирана алувијална изворишта. Генеза и услови формирања алувијалних седимената утичу на оксичност подземних вода и на поменуте биохемијске процесе који се одвијају на водопријемним деловима објеката на извориштима. Нова сазнања о генези и процесима у изданима, а нарочито о њиховој повезаности представљају основ за практичне, непосредне мере за унапређење тренутног стања алувијалних изворишта.

Генеза флувијалних и алувијалних наслага у којима су формиране алувијалне издани повезана је са сменама ледених периода–глацијала и топлих–интерглацијала. Топљење на почетку интерглацијала великих глечера формираних у Динаридима и Алпима (Слика 3) је током кратког (на геолошкој временској скали) временског периода који се мерио стотинама година ослобађало огромне количине воде при чему су се остваривали протицаји вишеструко већи од садашњег тока Дунава у Ђердапској клисури.




**Слика 2.** Улазне брзине у бунар као функција оксидо-редукционог потенцијала подземне воде при којима се успоставља контролисани локални хидраулички годишњи губитак од 35 cm и средње вредности одабраних параметара, са свих испитиваних објеката на подручју београдског изворишта, према зонама оксидо-редукционог потенцијала (Димкић, 2014)

То је узроковало одношење моренског материјала који је настајао глацијалном ерозијом током десетина хиљада година спорог кретања ледника и годишњих цикличних померања, као и изузетно интензивну ерозију у планинским и брдским подручјима испод ледника. У нижим пределима је долазило до великих поплава и таложења огромне количине материјала. Депресије настале пост-неогеним тектонским спуштањем Панонског басена током плиоцена и плеистоцена попуњаване су приносом материјала, а од интензитета топљења је зависила крупноћа нанетог материјала и његова сортираност. Што су брзине течења површинских вода биле веће, то су била већа најкрупнија зрна еродованог материјала који је стигао до низијске акумулационе зоне.




**Слика 3.** Простирање ледника на Балкану и Апенинском полуострву под претпоставком да је доња граница ледника била на 1.000 m н.м.

Крупноћа материјала пресудно утиче на његову специфичну површину, тј. површину коју има јединица запремине или масе материјала. Хемијски и биохемијски процеси на површини честица у аквиферу одвијају се одређеном брзином по јединици површине, која зависи од температуре, састава подземне воде и садржаја минерала и органске материје у материјалу аквифера. Што је специфична површина већа, то је већа контактна површина подземне воде и материјала аквифера по јединици масе или запремине, па је захваљујући томе, већа и брзина хемијских и биохемијских процеса по јединици масе или запремине материјала. На ситним честицама минерала гвожђа и мангана, и органске материје, дешава се највећи део процеса који доводе до губитка кисеоника, нитрата и сулфата у води и преласка јона двовалентног гвожђа и мангана у воду. Због најмањих хидрауличких отпора у најкрупнијим седиментима, подземна вода се креће кроз њих, док не буде приморана да прође кроз ситнозрни материјал, као што је случај кад се слабије пропусни међуслој налази изнад дренова бунара, или кад је речно дно колмирано. Због свега наведеног је важно посебно обратити пажњу на ситнозрни материјал у водоносним шљунковито-песковитим слојевима, и у ситнозрним међуслојевима широког распрострањења (слика 4).

Једна од главних карактеристика квартарне периоде јесу цикличне климатске промене током којих је долазило до смењивања хладних и топлих етапа. У свету су до сада ове промене углавном проучаване у теренима где су распрострањени глацијални седименти, затим у морским и језерским наслагама, као и у областима распрострањења леса. Подаци који се односе на алувијалне седименте су веома оскудни, нарочито са наших простора, тако да је овом приликом на примеру алувијалних седимената београдског изворишта приказано како су се поменуте климатске промене одразиле на њихово стварање у долини реке Саве.


**Слика 4.** Хидрогеолошки кулисни блок дијаграм дела београдског изворишта – водоносни слојеви су приказани нијансама плаве, а слабо водопропусни слојеви нијансама смеђе (Димкић, 2012)

Генеза флувијалних, језерских и барских седимената током плеистоцена и холоцена одредила је како су формирани и који је минералошки и литолошки састав слојева. Реконструкција процеса генезе омогућава да се боље интерпретирају истражни хидрогеолошки и геофизички радови и предвиди где су слојеви најпогоднији за дугорочно, најекономичнију експлоатацију подземних вода. Минералошке, петролошке и гранулометријске анализе омогућавају увид у услове средине под којима се одвијају процеси у издани, као резултат интеракције подземних вода и водоносне средине. Ови процеси пресудно утичу на састав вода.

Са друге стране минералошки, петролошки и гранулометријски склоп седимената указује на правце приноса материјала, на основу чега је могуће реконструисати механизам њихове ерозије, транспорта и генезе у одређеним фазама геолошког развоја.

## 2. ОБРАЗЛОЖЕЊЕ ТЕМЕ И СТРУКТУРА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Процеси који се одвијају у алувијалној издани изворишта у доњем току реке Саве, као и њихове карактеристике (слојевитост тј. цикличност, гранулометријски и минералошко-петролошки састав слојева), последица су услова формирања током плеистоцена и то превасходно климатских промена, тачније смене више глацијалних и интерглацијалних периода. Са аспекта одржавања изворишта, генеза алувијалних седимената има велики значај за разумевање појава и процеса који доводе до старења бунара и опадања капацитета. Ови процеси су у функцији више фактора који су директно последица услова формирања и седиментације савског алувиона. Процеси у оквиру алувијалних издани, њихове карактеристике, хидродинамички модели бунара и изворишта у сливу Саве, предмет су дугогодишњег истраживања у оквиру више пројеката и студија[1], истраживања у оквиру ове дисертације спроведена су у оквиру наставка рада на овим истраживањима. Значај ових истраживања огледа се у одрживом развоју алувијалних изворишта и очувању издани, као и у оптимизацији трошкова одржавања и експлоатације подземних вода. О значају ових истраживања најбоље говори податак да у водоснабдевању Србије подземне воде учествују са око 70%. На основу Водопривредне основе Србије, на територији Срема, Мачве, Саве и Тамнаве, издашност изворишта подземних вода у оквиру алувијалних седимената износи 6,97 $m^3$/s од укупно 7,84 $m^3$/s. Укупан процењени потенцијал за ову област, без вештачког прихрањивања износи 22,75 $m^3$/s, од чега 21,11 $m^3$/s подземне воде алувијалних издани.

Поред наведене практичне примене резултата, ова дисертација даје фундаметални допринос детерминисању и рашчлањавању слојева на београдском изворишту.

[1] Пројекат MPNTR, Дефинисање утицаја степена аеробности на заштиту и коришћење издани у интергрануларним порозним срединама у Србији (2008-2011), руководилац проф. др Милан Димкић.

Иако су алувијалне наслаге београдског изворишта проучаване од стране разних истраживача (Ласкарев, 1938; Стевановић, 1977; Живковић, 1976; Ракић, 1977; Кнежевић и др., 1998; Јевремовић и Кузмић, 1999; Ненадић, 2003; Ненадић и др., 2009, 2010, 2011, 2013, 2016) није уочена веза између великих климатских промена, тачније стварања акумулационих наноса глацијалних процеса у високим планинским системима и формирања алувијалних формација београдског изворишта. Тек новијим истраживањима (Димкић, 2017) констатовано је да је кластичан материјал који је радом ледника некада отргнут од матичних стена, а потом наталожен у моренама и другим глацијалним акумулацијама, представљао исходишни материјал који је флувијалним процесима током геолошког времена наталожен у седименте алувијалних формација у долини реке Саве (Кнежевић, 2018).

Новим истраживањима спроведеним на дубоким бушотинама на београдском изворишту, отишло се корак даље, успостављена је корелација и веза са алувијалним квартарним творевинама и моренама високих планина Динарских Алпа и извршена анализа старости слојева применом савремених метода датирања седимената. Коришћено је више метода за датирање, као и расположиве стандардне анализе (гранулометријске, минералошко-петролошке, палеонтолошке и др.) како би што боље били издвојени и дефинисани циклуси квартарне седиментације и дефинисан геолошки профил квартарних седимената на београдском изворишту са геолошким и хидрогеолошким карактеристикама појединих слојева и формација.

Дисертација обрађује 5 делова који су повезани у јединствену целину:

- Генеза и геологија јужног обода Панонског басена у доњем току реке Саве – као шире истражно подручје;
- Промене климе на глобалном нивоу током плеистоцена, веза са глацијацијом у динаридима и седиментацијом алувијалних седимената у долини Саве;
- Одржавање изворишта подземних вода у алувијалним срединама у зависности од степена аеробности (карактеристике изворишта дуж Саве, специфичности београдског изворишта у погледу карактеристика седимената и процеса старења бунара, приказ спроведених истраживања и истражних радова);

- Приказ резултата истраживања и истражних радова на две дубоке бушотине на беорадском изворишту (корелација резултата датирања глацијалних облика са резултатима датирања полицикличних алувијалних седимената, интерпретација и дискусија гранулометријских, минералошких, палеонтолошких и других анализа спроведених током истражних радова на београдском изворишту);
- Синтеза и дискусија резултата, закључци и примена нових сазнања.

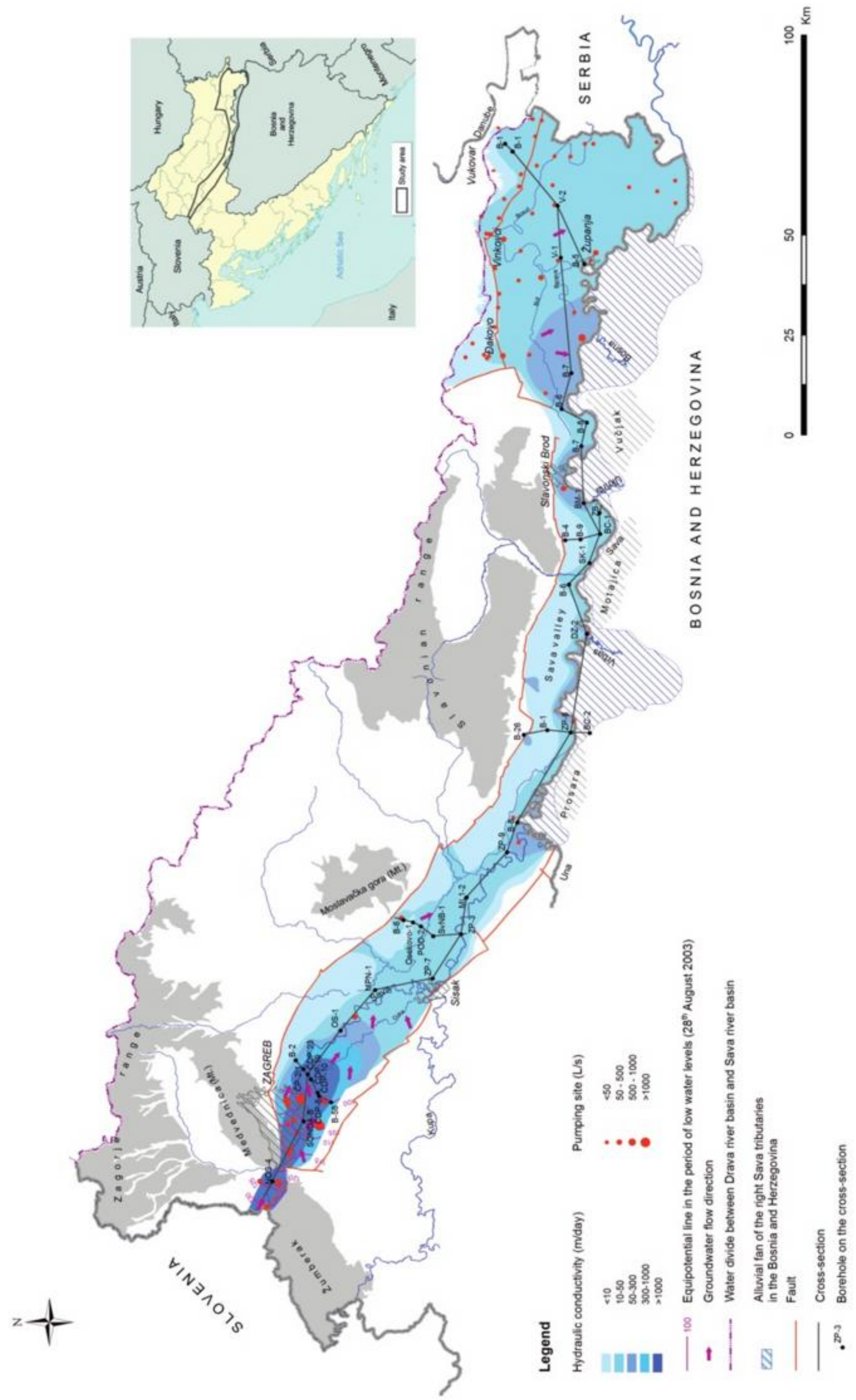
Примена резултата ове Дисертације огледа се у одрживом развоју изворишта у алувијону Саве и могућности оптимизације њихове експлоатације и одрживог коришћења подземних водних ресурса. Са аспекта очувања подземних водних ресурса Србије и развоја постојећих и нових изворишта, неопходно је правилно управљање овим ресурсима и контролисан и плански приступ при њиховој даљој експлоатацији. Једино тако, могу се сачувати капацитет и квалитет овог битног ресуса. Пре примене било каквих препорука и стандарда прописаних државним законима и од стране Европске уније, неопходно је обухватити и сагледати досадашња сазнања о њиховој генези, карактеристикама и процесима који прате њихову експлоатацију.

## 3. ИСТРАЖНО ПОДРУЧЈЕ И ОБИМ ИСТРАЖНИХ РАДОВА

Терени где су формиране алувијалне издани у долини реке Саве, иако ван домашаја плеистоценских ледника, представљали су депозиционе средине материјала насталих ерозијом морена и глацијалних облика који су настајали у хладним фазама под утицајем ледника, а транспортовани палеотоковима пра-Саве и њених притока у топлим фазама када је долазило до отапања ледника.

Подаци са изворишта у узводном делу тока Саве указују на другачије карактеристике средине у односу на део тока кроз Србију, па чак и велике разлике у погледу узводних изворишта и Београдског изворишта које се налази на самом ушћу реке Саве у Дунав. Овде је пресудну улогу имао транспорт еродованог материјала и таложење ситнијих седимената ближе ушћу. То је превасходно условило значајно капацитет изворишта у горњим зонама тока и слабије филтрационе карактеристике алувијалне издани, идући низводно дуж тока Саве (слика 5). Ове карактеристике средине, одражавају се на карактеристике и резерве издани, али и на процесе који касније прате експлоатацију подземних вода у оваквој средини. Процеси који доводе до старења водозахватних објеката условљени су параметрима као што су оксичност, садржај Fe, биохемијски параметри, гранулометријски и минералошки састав издани и њене филтрационе карактеристике.

У широј зони Загреба, просечни коефицијен филтрације подземних вода у алувијалној издани Саве достиже скоро $4x10^{-2}$ m/s, источно од Загреба опада на просечних $2x10^{-2}$ m/s, док у зони геолошке формације Сисачки праг, песак постаје доминантна компонента гранулометријског састава седимената издани, коефицијент филтрације износи испод $6x10^{-4}$ m/s. У овом делу тока појављују се и слабопропусни прослојци у оквиру изданске зоне (Бркић, 2017).




**Слика 5.** Водопропусност алувијалних седимената дуж тока Саве, правци кретања подземних вода и количине воде које се експлоатишу (Бркић, 2017)

Дуж тока реке Саве, аеробност на извориштима драстично опада (слика 6). Кроз Словенију и Хрватску алувијална издан има веома оксичан до умерено оксичан карактер (аеробни услови). Даљим током Саве оксичност опада, да би београдско извориште попримило аноксичан карактер, са доминантно испод 0,2 mg/l. Овакви услови на изворишту узрокују интензивирање биохемијских процеса, што поред хидрауличких отпора и филтрационих карактеристика саме средине, додатно ограничава експлоатациони капацитет локације.


**Слика 6.** Шематски приказ промене оксичности подземних вода дуж тока реке Саве

Шире истражно подручје обухвата јужни обод Панонског басена на територији Србије. На овом терену налазе се и три анализирана изворишта, као и београдско извориште на ком су спроведени истражни радови током 2016. и 2017. године. Истражно подручје сагледано је регионално, док су приликом приказа резултата мониторинга и истражних радова за свако извориште приказани локални хидрографски, геолошке и хидрогеолошке услови.

На овом терену ток реке Саве формиран је у квартару, а флувијалном ерозијом и седиментацијом таложени су алувијални седименти у оквиру којих су формиране алувијалне издани као битни и витални ресурси подземних вода. У оквиру њих оформљена су изворишта подземних вода на којима се врши експолатација за водоснабдевање становништва. Сва четири анализирана изворишта у овој Дисертацији каптирају плеистоценске алувијалне седименте реке Саве.

Плеистоценски алувијалних седименти имају значајно распрострањење на територији Србије, нарочито у југоисточном делу Панонског басена, у сливовима Саве и Дунава. На скоро читавом истражном подручју, преко плеистоценских седимената леже холоценски флувијални седименти Саве. Испод плеистоценских седимената налазе се пре-квартарне творевине или најстарије квартарне формације које су веома различите по свом саставу и дебљини. Различитости у погледу дебљине и литолошког састава ових седимената, последица су тектонике, тачније спуштања ширег подручја Панонског басена, и издизања формација са којих је вршена ерозија и принос материјала у Панонски басен и речне долине, што је локално створило услове за интензивну и брзу седиментацију у његовим ободним деловима. При изради ове Дисертације анализирана су три алувијална изворишта Саве, на узводном делу тока кроз Србију (Мартинци, Старо извориште и Јарак) и београдско извориште као највеће и најнизводније извориште на Сави (слика 7). На београдском изворишту извршен је и одређени обим истражних радова у циљу што боље анализе услова седиментације и карактеристика алувијалних седимената. Ови резултати основ су разумевања процеса који прате експлоатацију подземних вода алувијалних издани и доводе до проблема опадања капацитета изворишта.


**Слика 7.** Положај анализираних алувијалних изворишта Саве и просторни положај зона београдског изворишта

Извориште Вић баре које се налази у меандру реке Саве, у зони београдског изворишта, није узето у детаљну анализу због својих специфичности. Бунари овог изворишта каптирају холоценске седименте који леже директно преко подине миоценске старости. Из овог разлога извориште није узето у детаљно разматрање при анализи резултата иако је и на њему вршено узорковање подземних вода за хемијске анализе, као и *in situ* мерења.

У циљу анализе услова експлоатације и одржавање изворишта подземних вода на алувијалним извориштима дуж Саве:

- Извршена је обрада до сада прикупљених података о минералогији, петрологији и лито-фацијалним карактеристикама алувијалних седимената на београдском изворишту и извориштима дуж Саве;
- Спроведен је мониторинг одабраних параметара квалитета подземних вода на неколико изворишта;
- Спроведени су истражни радови на локацијама неколико бунара са хоризонталним дреновима на београдском изворишту.

Прикупљени су подаци о хидрогеолошким карактеристикама постојећих изворишта, водозахватним објектима, режиму експлоатације, физичко-хемијском и микробиолошком квалитету вода. Прикупљени су и расположиви подаци о геологији и тектонском склопу јужног обода Панонског басена у долини Саве, у циљу реконструкције услова седиментације и карактеристика полицикличних алувијалних седимената у којима су формирана изворишта за водоснабдевање. За сва анализирана изворишта дат је геолошки и стратиграфски приказ геолошких и литолошких јединица, због интерпретације генезе и корелације са резултатима изведених истражних радова на београдском изворишту.

Изабране су локације за праћење параметара оксичности подземних вода (растворени кисеоник, растворено двовалентно гвожђе, стандардни електродни потенцијал, pH вредност, концентрација нитрата, амонијум јона, сулфата, сулфида, микробиолошке активности) на извориштима Мартинци и Старо извориште код Сремске Митровице и Јарак код Руме. Извршено је узорковање подземних и површинских вода и *in situ* мерења редокс потенцијала, концентрације раствореног кисеоника, pH и специфичне електричне проводљивости, са физичко-хемијским и микробиолошким (BART тестови) лабораторијским анализама на београдском изворишту.

У току 2016. године избушено је 5 пијезометара на локацијама постојећих Renney бунара Rb-1m, Rb-6, Rb-44, Rb-47 и Rb-53 на београдском изворишту. У току 2017. године избушено је укупно 35 пијезометара на локацијама постојећих бунара са хоризонталним дреновима Rb-1m, Rb-6, Rb-44 и Rb-36 на београдском изворишту и у њиховом залеђу. Овом приликом израђене су и две дубоке бушотине на локацијама бунара Rb-6 (Макишко поље) и Rb-36 (Савски насип – Доње поље, са новобеоградске стране), при чему је бушотина на локацији бунара Rb-6 израђена до подине алувијалних и барско-терестричних седимената (слика 8).

Избушено је 60 m' ротационом методом без исплаке, сржном цеви целом дубином кроз консолидовани материјал и кроз растресите седименте помоћу бушаће гарнитуре која омогућава да се једноструком сржном цеви извуче комплетно језгро из разнородних материјала који се смењују, без губитка ситне фракције који се дешава када се, на пример, користи вентил-кашика у растреситим песковито-шљунковитим седиментима. Ово омогућава да се и када је седимент крупнозрн добије довољно ситнозрног материјала за минералошке анализе приликом којих из ових фракција које имају велику специфичну површину и чине их углавном мономинерална зрнца, треба издвојити, идентификовати и одредити масени удео рудних минерала гвожђа и мангана и силикатних минерала који их садрже у већој мери.

Узети су узорци за геохемијске, минералошке, петролошке, седиментолошке анализе и датирање седимената на београдском изворишту. Извршене су минералошке и геохемијске анализе које су обухватиле одређивање елементарног састава целокупног узорка рентдгенском флуоресценцијом, сепарацију тешких минерала помоћу тешке течности и одређивање њиховог масеног удела у фракцији одабраној за минералошка испитивања, магнетну сепарацију тешких минерала и одређивање њиховог масеног удела у тешкој фракцији, одређивање минералошког састава свих магнетних фракција у оквиру тешке фракције и одређивање петрографског и минералошког састава лаке фракције испитивањем оптичким микроскопским методама, скенирајућом електронском микроскопијом – енерго-дисперзионом спектроскопијом, рендгенском дифракцијом праха и калциметријом. Извршена је детаљна обрада резултата лабораторијских минералошких и геохемијских анализа.

Идентификовани су сви пронађени фосили при чему су индекс фосили искоришћени да би се стратиграфски рашчланили седименти и у складу са тим одредио план узорковања за друге анализе.

Узорци за гранулометријске, минералошке, петролошке, седиментолошке анализе и датирање седимената на београдском изворишту, претходно узети током бушења на пијезометарској бушотини Rb-6/p-5d, су гранулометријски анализирани –

укупно 40, од чега је за 4 узорка процедура подразумевала просејавање велике количине материјала и чување свих издвојених фракција због наведених минералошких, петролошких и седиментолошких анализа. Додатни узорци за гранулометријске анализе узети током бушења на пијезометарској бушотини Rb-6/p-5d, су гранулометријски анализирани у другој лабораторији – укупно 44.

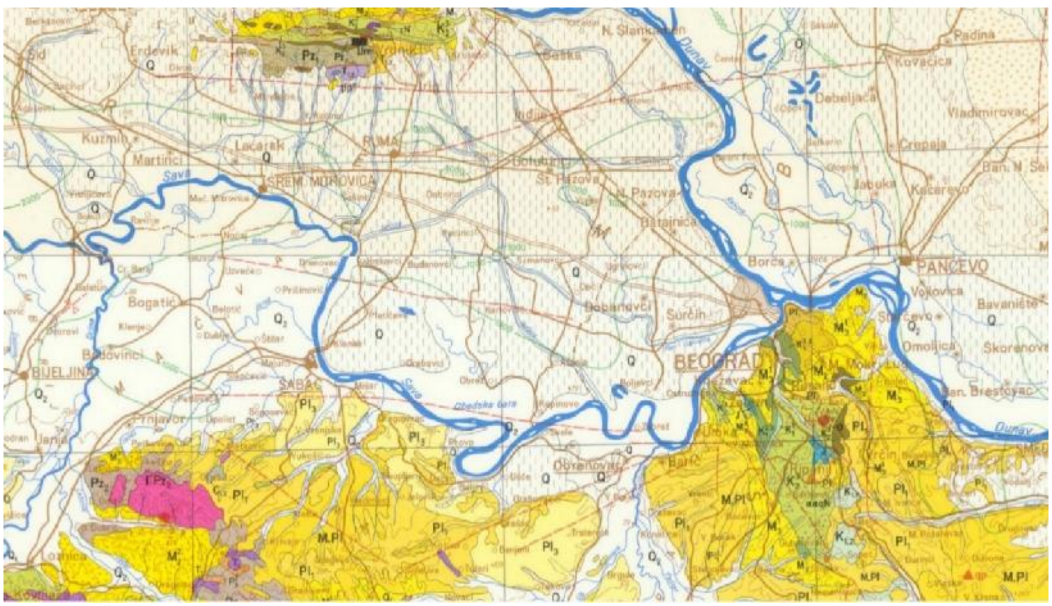
**Слика 8.** Плитки, средњи и дубоки пијезометар на локацији бунара Rb-44, бушење машинском гарнитуром са континуалним језгровањем са утискивањем обложне колоне дуж целе дубине бушења, комбинованим методама, 2016. година (доле лево), бушење ротационом методом уз употребу сржне цеви целом дубином бушења, 2017. година (десно)

Извршено је узорковање подземних вода из пијезометара у зони дренова Renney бунара Rb-1m, Rb-6, Rb-36 и Rb-44, са филтарским колонама на различитим дубинама, тј. у седиментима различите старости (из горњег и доњег водоносног слоја) и спроведене физичко-хемијске и микробиолошке анализе.

Поред прикупљања података о постојећим извориштима, дигитализације постојећих и израде нових карата и профила, кабинетски радови подразумевали су сакупљање и обраду података из доступних научних радова о променама температура и простирања ледника на глобалном нивоу, нивоа мора, променама нагиба земљине осе и ексцентрицитета њене орбите, као и постојећих података о палеоклими Балкана и ледницима на подручју Динарида и Алпа, а све у циљу успостављања везе са крупноћом и цикличношћу алувијалних седимената Саве.

## 4. ШИРЕ ИСТРАЖНО ПОДРУЧЈЕ

Шире подручје истраживања које обухвата јужни обод Панонског басена дуж тока Саве на територији Србије, прво је сагледано регионално како би у контексту шире слике истражног подручја, доследно били интерпретирани локални геолошки и хидрогеолошки услови на самим извориштима. Из тог разлога на овом месту дат је приказ знатно шире области од простирања извориших зона, чиме су обухваћена и подручја из којих је вршен принос материјала у Савски басен и омогућено таложење алувијалних седимената у оквиру којих су формирана проучавана изворишта. У оквиру посебног поглавља биће приказане геолошке и хидрогеолошке карактеристике сваког извориште, са приказом резултата истраживања и истражних радова спроведених за потребе ове Дисертације.




**Слика 9.** Ток реке Саве на територији Србије, геолошке формације јужног обода Панонског басена

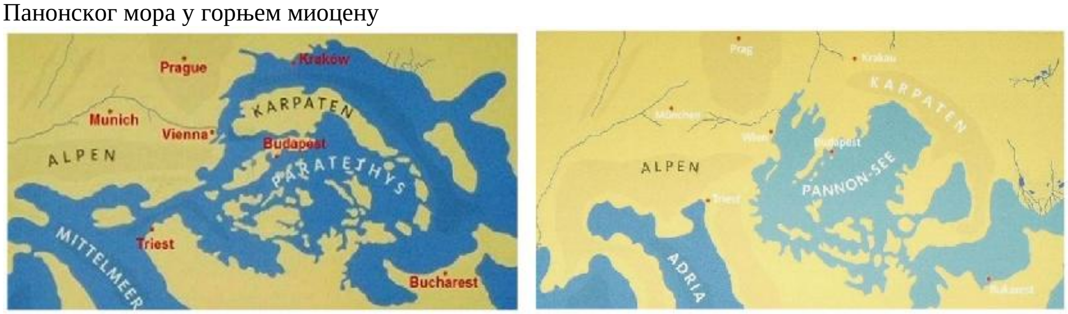
Принос материјала Савски басен вршен је токовима река или денудацијом са хипсометријски виших околних терена и притокама из удаљених области (слика 9). Генерално посматрано, истражно подруче пада у правцу севера и северозапада, залежући ка унутрашњости Панонског басена. На левој обали нема великих притока. На овој обали истиче се хорст Фрушке горе са ког се спушта више мањих токова, који су током читавог квартара вршили принос материјала из ове области у савски басен. На десној обали највећа притока, која је највише утицала на пробијање и формирање савременог тока Саве на територији Србије и формирање алувијалних седимената Мачве, је река Дрина. Ток Саве кроз Србију генерално је предиспониран раседним структурама. Током квартара ток Саве помера се ка северу, потиснут током Дрине. Од данашњег ушћа до Јарка ток Саве се пружа паралелно са хорстом Фрушке горе. Река је на овом потезу меандрирала током холоцена остављајући за собом мртваје и барске терене, док су плеистоценске терминације узроковале значајне порасте протицаја у рекама, што је довело до усецања њихових корита у старије седименте и формирање више нивоа речних тераса. Са друге стране лес таложен у хладним етапама, еродован је и редепонован у зависности од померања речних токова. Код Јарка, ток Саве се нагло мења и скреће ка југу. Код Кленка, ток скреће ка истоку меандрирајући на широком подручју све до ушћа Колубаре. Простор јужно од Саве, а источно од линије Шабац-Коцељева и западно од Колубаре, а на југу до реке Тамнаве назива се Посаво-Тамнава. Колубара као друга велика притока вршила је принос материјала из области Посаво-Тамнаве. Услед меандрирања тока током читавог квартара на овом простору јавља се пет нивоа речних тераса, које су раније интерпретиране као језерске и речно-језерске терасе. Ток Саве у зони Београда наилази на препреку у виду кредног гребена, узводно на десној обали градећи терен такозваног Малог Макиша. Низводно од кредног гребена и ушћа Остружничке реке на десној обали Саве простире се Макишко поље које спада у зону Београдског изворишта. У централном делу Макиша из залеђа ка Сави тече Железничка река која је данас каналисана и спороведена испод површине земље, али је њен утицај био значајан са аспекта приноса материјала у зону Макишког поља. Топчидерска река улива се у Саву у зони врха Аде Циганлије, где престаје зона београдског изворишта на десној обали. На левој обали Саве постоји више мелиоративних дренажних канала којима се површинске воде спроводе до реке одводњавајући подручје леве обале Саве.

Десна обала Саве од ушћа Топчидерске реке није од интереса са аспекта водоснабдевања и не спада у зону београдског изворишта. Због сложености тектонске грађе десне обале Саве на територији Београда и због њеног утицаја на формирање и карактеристике седимената леве обале, тектоника ободног дела Панонског басена и београдског рта биће обрађени додатно у поглављу где су приказани резултати истражних радова на београдском изворишту. У зони Савског амфитеатра од токова који гравитирају из правца београдског рта ка Сави спадају Мокролушки поток и још неколико мањих (као што су Врачарски поток и Славујев поток).

### 4.1. Генеза јужног обода Панонског басена

Крајем горњокредне периоде терен шире зоне истражног подручја био је копно све до миоцена, када се формирало море – Паратетис. У овој фази долази поново до седиментације и стварања миоценских наслага. У ужој зони истражног терена (анализираних изворишта) неогени седименти углавном леже **трансгресивно и дискордантно** преко кредних стенских маса, што указује на осцилације мора и померање обалских линија на овом простору. Од геолошких формација на истражном подручју најстарији миоценски седименти су седименти бадена (период од пре 17-13 милиона година). У овом периоду на истражном подручју таложе се млађе спрудне фације као што су лајтовачки кречњаци и карбонатни лајтовачки пешчари, представници медитеранског стадијума, најстаријег стадијума Панонског мора на тлу Србије, периода  док је Медитеран још био у контакту са Паратетисом (слика 10, лево).

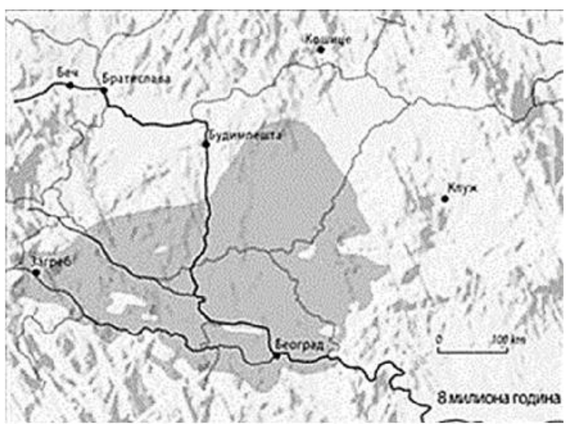
**Слика 10.** Веза Панонског мора са Медитераном у бадену (17-13 мил. година), простирање Панонског мора у горњем миоцену




Млађи средњи миоцен представљен је сарматским катом. Седименти сарматског ката на проучаваном подручју развијени су у више фација и то: у фацији глина, фацији лапораца и кречњака и фацији песковитих кречњака. Сарматски кречњаци су обично беле боје, често изграђени од пужева рода *Cerithium* (церитске лумакеле) и друге фауне. Најчешће се смењују са лапорцима, лапоровитим кречњацима, сивим глинцима и прослојцима пешчара.

Светско море Тетис, које је током мезозоика раздвајало два континента Лауразију и Гондвану, услед интензивне тектонске активности распало се на два дела. Из ранијег Тетиса ствараjу се две морске области: Паратетис и Медитеран.

Унутар седиметацицоне зоне Средишњег Паратетиса, услед запуњавања и тектонских покрета, почетком горњег миоцена (панонског ката), формирало се Панонско језеро пре око 11,6 мил. год. (Рундић и др., 2011). Језеро није имало јединствен овални облик, већ је више личило на басенски комплекс језера. Свој максимум распростирања језеро достиже пре 9,5 милиона година (слика 11). Седименти панона и понта представљени су песковитим глинама, глинама, лапоровитим глинама и лапорцима у којима се налази бројна фауна мекушаца. Првенствено због запуњавања седиментима из правца северозапада, североистока и запада дошло је до регресије обале Панонског језера после понта, почетком плиоцена (Стевановић, 1959, 1977). Због интензивног приноса материјала и тектонске активности током миоцена слојеви панона и понта имају значајну дебљину на територији Панонског басена (преко 1000 m дебљине).

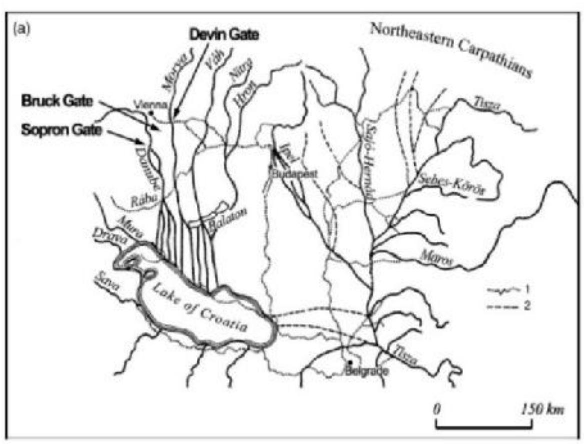



**Слика 11.** Палеогеографска еволуција Панонског језера (Magyar et al., 1999)

Почетком плиоцена (око 4,5 мил. год. према Magyar et al., 1999; Popov et al., 2006) у најдубљим деловима Панонске седиментационе области формирало се слатководно Палудинско језеро. Палудинско језеро (или језеро Славонија) је при највећем развићу у плиоцену, обухватало већи део простора Славоније и Војводине, а име је добило по старом називу слатководног пужа рода Paludina (садашњи назив је Viviparus).


**Слика 12.** Простирање Палудинског језера у плиоцену, током свог максимума (преузето из Мандић, 2015, према Neubauer et al. 2015)

Палудинско језеро као реликт Панонског језера егзистирало је на простору нешто северније од ушћа Саве у Дунав и самог тока Саве почетком плиоцена (слика 12), да би се до краја плиоцена повукло и егсистирало само на подручју данашње Хрватске (слика 13). Пра-токови Саве, Дунава и Тисе уливали су се у ово језеро, формирајући у његовом ободу наносе еродваног и речним током транспортованог материјала (песка и шљунка).




**Слика 13.** Реликт Палудинског језера на крају плиоцена (преузето, Lóczy, 2008) са палеотоковима који су се уливали у језеро све до почетка плеистоцена

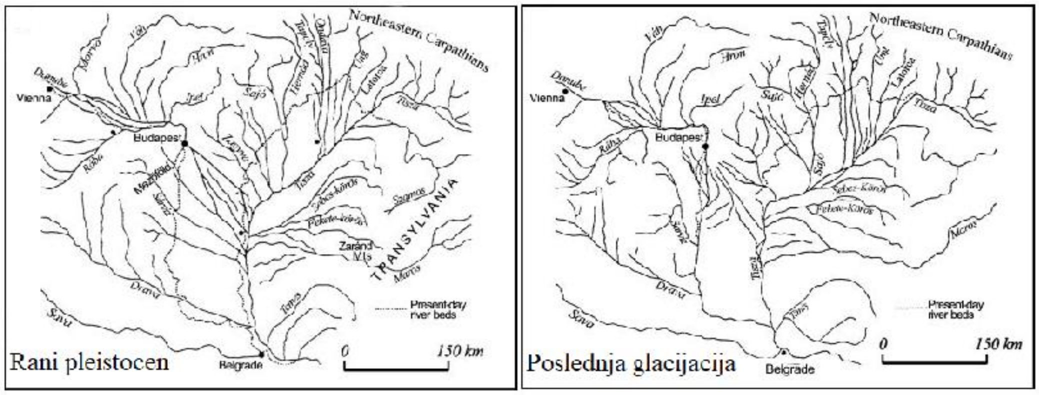
Слојеви настали седиментацијом у палудинском језеру називају се палудински слојеви и регистровани су на подручју Панонског басена, али не и на терену београдског изворишта. Регистровани су у подини леса или на рецентно издигнутим терасама по ободу Фрушке горе. Ови седименти чине горње, водоносне хоризонте, артеске издани у оквиру такозваног основног водоносног комплекса Војводине. На старом изворишту (Сремска Митровица) бунар Б-3 поред слојева алувијалне издани каптира и ове хоризонте. Нестанак Палудинског језера везује се за доњи плеистоцен (слика 13).

Након нестанка Палудинског језера створили су се услови за формирање иницијалног рељефа Панонске низије и динамичније развиће пра-токова (табела 1).

**Табела 1.** Хронологија Панонске седиментације области Србије (Ћалић, 2012)

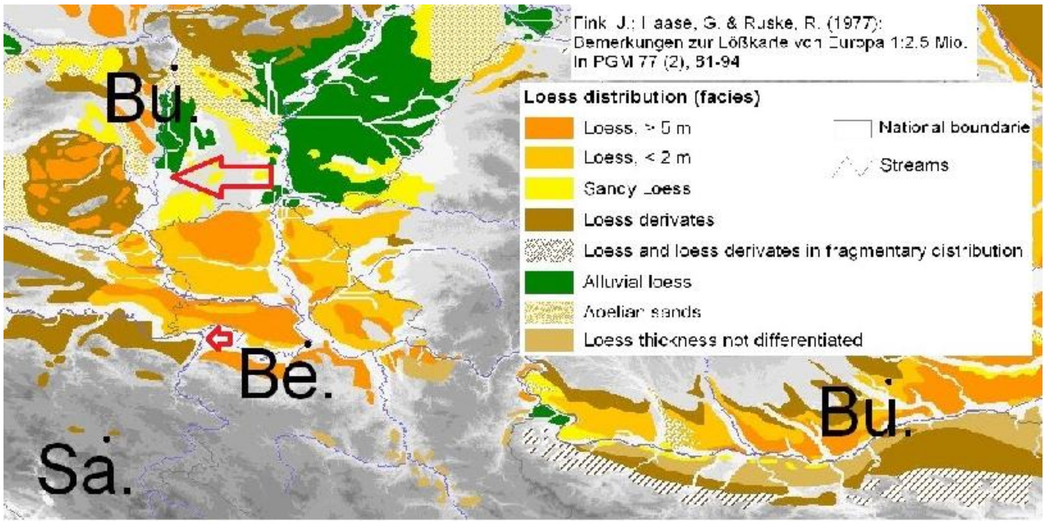
| **палеогеографска област** | **тип средине** | **преовлађујући седименти** | **стратиграфија** | **Старост (Ma)** |
|---|---|---|---|---|
| Панонска низија | копнена | еолски и речни седименти | Квартар (без најстаријег дела доњег квартара) | ~ 2.0 до данас |
| Палудинско језеро | језерско (слатководна) – копнена | језерски седименти (палудински слојеви) | средњи плиоцен до дела доњег квартара | ~4.5 до ~ 2.0 |
| Панонско језеро | језерско (каспибракична) – копнена | језерски седименти | горњи миоцен (укључујући и понт) | ~11.6 до ~ 4.5 |
| Паратетис *„Панонско море"* | морска и морско–бракична | морски седименти | средњи миоцен (баден и сармат) | ~16.3 до ~11.6 |
| Паратетис | копнено-језерска (и морска) | континентално – језерски седименти | Доњи миоцен | ~ 23 до ~16.3 |

Развићем речних система пра-токова, претеча Дунава, Тисе, Тамиша и Саве, стварају се дебеле наслаге флувијалних седимената (слика 14). У почетку су то били слабији токови, који су градили системе меандрирајућих уплетених река. Вероватно је тек у средњем плеистоцену, након прве интензивне глацијације која је обухватила и пределе унутрашњих Динарида Босне и Црне Горе, отапањем ледника током седме, најстарије терминације (пре око 621 000 година) дошло до пробијања корита великих река и њиховог усецања у старије седименте. Тамо где су токови наилазили на препреке у виду чврстих стена и изданака матичних стена, токови су меандрирали. Тектонски покрети представљају други фактор померања речних токова током плеистоцена. Ток реке Дрине мигрирао је од Шапца до данашњег ушћа у Саву, о чему нам сведоче дебеле наслаге плеистоценских полицикличних седимената на читавом подручју Мачве, док су у меандру Саве код Обреновца, преко миоценских подинских глина директно таложени алувијални седименти холоценске старости. Холоценску издан каптира извориште Вић баре, које због специфичности проблематике експлоатације подземних вода холоценских слојева, није узето у детаљније разматрање у оквиру ове дисертације.




**Слика 14.** Хидрографска мрежа у плеистоцену, положај палеотокова почетком плеистоцена и у току последње глацијације (Lóczy, 2008)

Упоредо са развићем речних токова и седиментације у најнижим теренима, на другим местима до изражаја долази еолска седиментација (слика 15), под утицајем доминантних северозападних и југоисточних ветрова, која запуњава и нека мочварна подручја и меандре, док су пра-токови великих река циклично таложили алувијалне седименте формирајући такозване полицикличне слојеве у којима су данас формирана изворишта подземних вода. Један од кључник фактора при формирању ових слојева биле су климатске промене током плеистоцена, које су условиле наизменично таложење шљунковито-песковитих слојева, који су еродовани и транспортовани бујичним токовима отопљених ледника и депоновани у долинама пра-токова великих река, и глиновито-прашинастих слојева, који су таложени током хладних фаза. Током хладних и сувих фаза, велике количине воде биле су заробљене у ледницима, долазило је до смањења капацитета речних токова, а из пространих алувијалних равни издуваван је финозрни материјал и таложен на местима где је снага ветра слабила или при наиласку на некакву препреку. У том смислу хорст Фрушке горе и побрђе београдског рта, представљали су препреку ветровима који су носили и навејавали ситнозрни материјал на подручју данашњих лесних платоа.




**Слика 15.** Мапа дистрибуције леса на територији Европе - сегмент карте (Fink, 1977), црвеним стрелицама су обележена померања токова Дрине на територији Мачве и Дунава током плеистоцена

Променљиве климатске карактеристике у комбинацији са повременим тектонским кретањима, током старијег плеистоцена, довеле су до формирања више различитих типова седимената на територији Панонског басена. На овом простору иако нема типичних ледничких облика као што су морене, различитост у погледу фација седиментних наслага указује на велика температурна колебања и климатске промене током плеистоцена.

Језеро се сукцесивно повлачило, запуњавало и обрастало вегетацијом током плиоцена и почетком плеистоцена, да би у плеистоцену било потпуно запуњено навејавањем леса (Мандић, 2015). У плиоцену палео-токови река уливали су се у Палудинско језеро, док у плеистоцену формирају своје пра-токове на простору некадашњег језера. Није искључено да је овај терен још увек био местимично забарен или покривен остацима језера, али је почела и речна седиментација у овим потенцијално мочварним или ујезерениим теренима. Синхроно се таложи и лес издувавањем финог материјала из алувијалних равни и басена пресушеног језера током хладних и сувих фаза глацијала. Пра-токови река вероватно су меандрирали на потезу Мачве и на потезу између Фрушке горе и Београдског побрђа, све до прве терминације пре 620 000 година. Услед интезивног отапања токови постају јачи, а седиментација ношеног материјала интензивнија. Поред тога тектонска активност која је непосредно претходила глацијацијама (Цвијић, 1917) предиспонирала је путеве усецања речних токова, што је врло уочљиво како на регионалном тако и на локалном плану. Данашњи изглед лесних платоа и њихових одсека такође је последица тектонске активности и ерозије речник токова.

### 4.2. Тектоника јужног обода Панонског басена

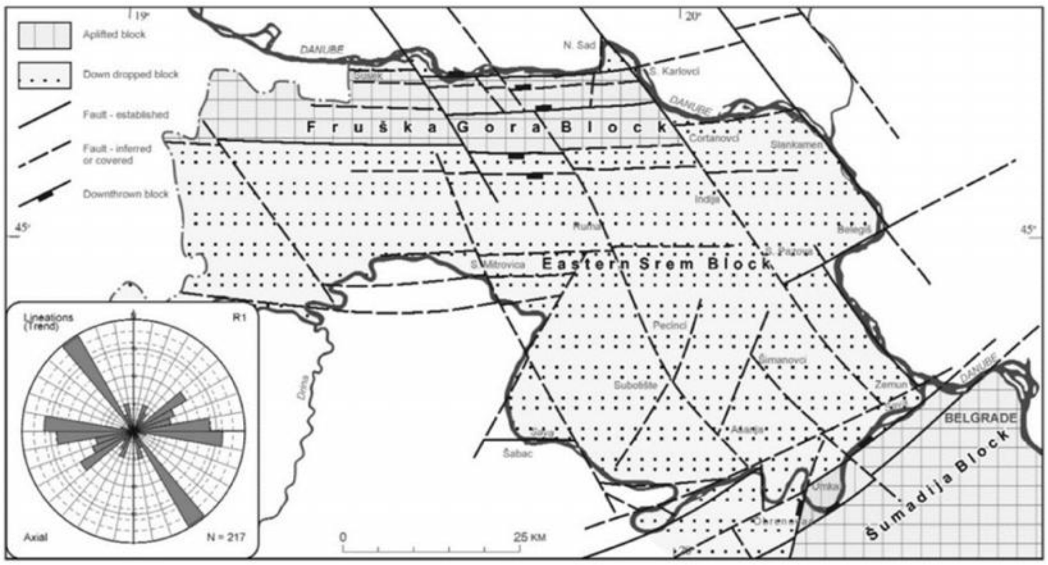
Депозициона еволуција јужног обода Панонског басена, током неогена и квартара била је контролисана тектонским процесима. Миоценску екстензиону субсиденцију, прати плиоценско-квартарна инверзија басена. Касно-неогена и рецентна тектонска мобилност контролисана је компресионим стресом, генерисаним север-североисточном пропагацијом адријске микроплоче. Рецентни структурни план читавог Панонског басена и његовог ширег окружења, укључујући и јужни обод, реактивиран је у домену компресионог напонског поља, оријентисаном по правцу североисток–југозапад. Најмлађе тектонске деформације карактерише позитивна и негативна вертикална мобилност значајних унутарбасенских сегмената као и периферије басена, што је резултирало финалном инверзијом басена. Ефекти басенске инверзије препознају се у генетским карактеристикама квартарних седимената, као и у геоморфолошким карактеристикама рељефа (Тољић и др., 2014).

Јужна периферија ужег истражног подручја (београдског изворишта) показује сложену тектонску природу прелазног подручја између Панонског басена и његовог издигнутог јужног обода. Као доминантна структура се препознаје ***Калемегдански расед***, синдепозиционо активни расед, по коме је субсиденција северозападног домена била активна и током квартара, на шта упућује значајна дебљина најмлађих квартарних седимената.

Фрушка гора представља хорст чија тектогенеза је отпочела још у доњем миоцену, генерално уобличен током старијег квартара, перманентно модификован до у рецентно време. За примарно морфоструктурно обликовање овог масива значајна су миоценска обликовања која се могу препознати у гравитационим смицањима дуж раседа пружања И–З. Током плиоцена и старијег квартара део ових раседа је реверсно реактивиран, чиме је додатно истакнута антиформна, позитивна структурна грађа Фрушке горе, што је било праћено рапидном ерозијом издигнутих делова и исто тако рапидном акумулацијом у околним спуштеним доменима. По геолошким творевинама које су откривене на површини хорста, можемо закључити да је интензивнијом ерозијом била захваћена јужна падина хорста.

После интензивнијег издизања Фрушке горе, праћеног субсеквентним тоњењем јужног предгорја, долази до формирања релативно плитког басена са аксијалним деловима оријентисаним сагласно оријентацији тектонски активних структура пружања И–З (слика 16). Такође, може се сматрати да су ови покрети каузално били повезани са климатским променама на граници плиоцена и плеистоцена, те да тада настали пролувијални седименти имају регионално распрострањење и представљају репер за извлачење доње границе квартара на овом делу терена (Тољић и др., 2014).

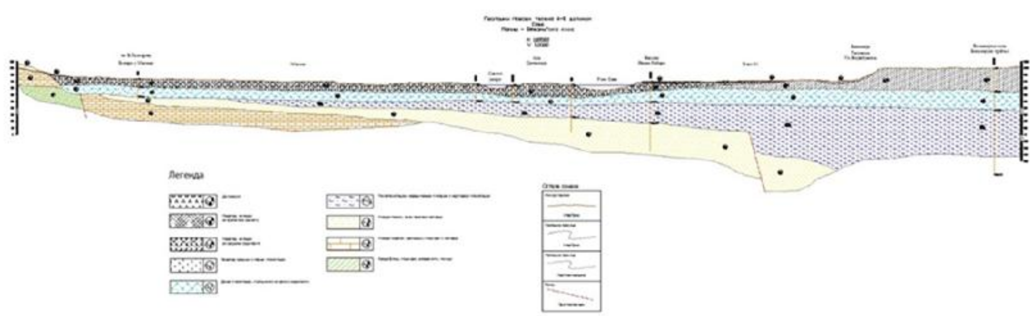
Интрапланински позиционирана долина реке Саве током квартара тоне, док се хорст Фрушке горе и најсевернији делови Шумадије издижу. Као последица оваквог тренда кретања, у оквиру младог рова формирана је широка долина реке, чија се еволуција може везати за тектонски контролисану спору, али континуирану субсиденцију. У току старијег и средњег плеистоцена тектонски ров Саве налазио се у константном спуштању, што се и одразило на повећану дебљину наслага и њихов полициклични карактер. При томе су посебно од значаја била гравитациона кретања по Калемегданском раседу, која су контролисала развој асиметричног Савског рова. Оса депресије је временом мигрирала, од северозапада ка југоистоку, што је било праћено и миграцијом речног корита реке Саве.




**Слика 16.** Мапа рецентног кретања (издизања/спуштања) терена, на територији источног Срема (Тољић и др., 2014)

Током квартара у српском делу Панонског басена, а у знатно мањој мери на његовом ободу, наталожена је релативно дебела сукцесија генетски различитих типова наслага. Посебан значај при том су имале прелесне наслаге, чија дебљина и велико распрострањење упућује да су се на ширем подручју јужног дела Панонског басена током плеистоцена одвијала интензивна спуштања. На то нарочито указују седименти речно-језерског (или барског) карактера чија дебљина местимично прелази и преко 200 m. Насупрот наслагама формираним у спуштеним областима, делувијално–пролувијални седименти („сремска серија“, „кличевачка серија“, итд.) који су формирани на падинама Фрушке горе и на ободном појасу Панонског басена, посебно у источном делу према Карпатима (Ракић, 1977; 1973), указују на превојна подручја према издигнутим структурама.

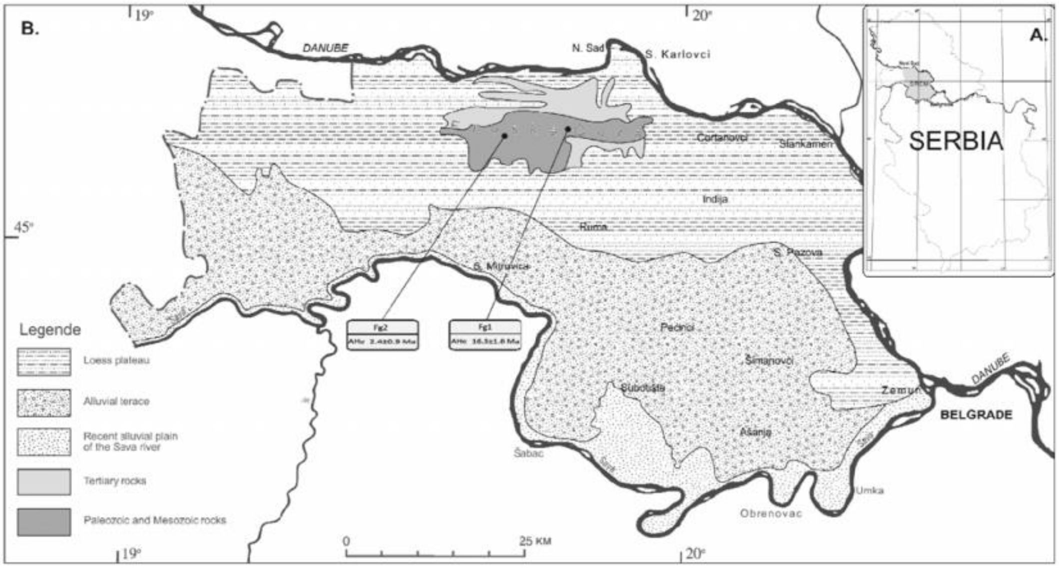
На основу дебљине квартарних, посебно прелесних плеистоценских наслага, може се претпоставити да је на крајњем ЈИ делу Срема (данашњем простору Новог Београда и Земуна) долазило до диференцијације рељефа под утицајем вертикалних тектонских покрета током старијег плеистоцена (Кнежевић и др., 1998; Ненадић, 1997, 2003; Ненадић и др., 2009, 2010, 2011). При томе су спуштени делови затрпавани брзом акумулацијом падинских наслага у повремено акватичним (забареним) срединама, еродованих са околних издигнутих структура (београдског рта). Ови делови терена су дуж каскадних система раседа спуштани наниже, о чему нарочито сведочи повећана дебљина старијих плеистоценских наслага (слика 17). Творевине плио-плеистоцена (барско-језерске наслаге) су констатоване дубинским бушењем на подручју Земуна и Новог Београда, где им је одређена горња граница на око 30,0 m н.м., а доња на 60,0 m н.м., док поједине бушотине и преко те дубине нису стигле до његове подине, па је за претпоставити да се доња граница ових наслага местимично спушта доста ниже од горе наведене.



**Слика 17.** Геолошки профил Чукаричка падина – Бежанијска коса, приказ повећане дебљине подинских плио-плеистоценских седимената, чија дебљина опада идући од Бежаније ка Макишу и у потпуности исклињава до Чукаричке падине (профил је дат и као графички прилог 2)

Подаци добијени применом (U-Th)/He термохронолошке методе[2] представљају директан доказ континуираног издизања метаморфног језгра Фрушке горе током плиоцена и квартара (слика 18), што представља последицу компресије која диктира рецентни тектонски режим читавог региона (Маровић и др., 2002, 2007). Квартарна тектонска активност у јужним деловима Панонског басена прати напонско поље успостављено крајем миоцена. Различит карактер и интензитет вертикалне мобилности литосфере у јужним деловима Панонског басена су током квартара били контролни фактори генезе и дебљине депонованих седимената. Важан контролни фактор квартарног депозициног простора на овом подручју су раседи на јужним падинама Фрушке горе (Врднички расед) и југоисточно од реке Саве (сложени Калемегдански расед).

[2] (U-Th)/He термохронолошке методе, представља технику која се често употребљава за дефинисање времена одвијања вертикалних тектонских покрета у најплићим нивоима земљине коре. Ово је омогућено тиме што је температура затварања (U-Th)/He система у апатитима ~75 °C (Wolf et al., 1996), што би одговарало хлађењу стена при њиховом вертикалном кретању кроз приповршинске нивое земљине коре (~1–2 km).




**Слика 18.** А, географски положај истражног подручја; В, Упрошћена геолошка карта са простирањем геолошких формација које се налазе на површини терена и локалитетима на којим је вршено датирање (U-Th)/He методом, на основу ког је утврђено време неотектонске активности хорста Фрушке горе (Тољић и др., 2014)

Ток Саве потиснут је широком плавном површи Дрине ка северу, ка Сремској Митровици. Дрина није само плавила подручје Мачве, већ је током плеистоцена и померала свој ток од Шапца до данашњег ушћа у Саву. Ван зоне овог утицаја ток Саве нагло скреће ка Шапцу. Положаји тектонских структура поклапају се како са савременим током Саве, тако и са померањем њеног тока у прошлости, ако узмемо у обзир напуштене меандре и мртваје као што је на овом потезу Засавица. Од Шапца ток Саве повремено меандрира на свом правцу ка Београду, углавном пратећи велики Калемегдански расед. Речна долина врло је несиметрична у погледу развоја речних тераса и лесних формација, које су боље развијене на левој обали Саве. Посебно је изражено перманентно тоњење речне долине у делу ушћа, што се манифстује повећаном дебљином квартарних седимената и израженом цикличношћу седиментације.

Јужно од ушћа Саве у Дунав, на територији Београда налази се Калемегдански рт, профил морског неогеног спруда. То је део најсевернијег огранка шумадијског побрђа, такозваног "београдског рта", који се завршава стрмим одсецима на обалама Саве и Дунава. На овом локалитету откривени су седименти миоцена - баденског ката, који формирају једну антиформу насталу повијањем слојева под утицајем радијалне тектонике. У језгру калемегданске антиформе јављају се старији баденски седименти песковито-пешчарског типа. Преко њих леже млађе спрудне творевине баденског ката, познате као лајтовачки кречњаци и карбонатни лајтовачки пешчари. Профил испод Споменика победнику чине лајтовачки карбонатни пешчари. Профил представља јединствени остатак медитеранског стадијума, најстаријег стадијума у историји Панонског мора на тлу Србије.

На основу нових података о неогеној геодинамици, кроз 3-D визуализацију терена дуж обале реке Саве на територији града Београда (Ganić et al., 2011) добијени су подаци о положају (дубини и простирању) и дебљини стратиграфских јединица неогене и квартарне старости, као и подаци о неотектонској активности издвојених стратиграфских сегмената. Главни тектонски догађај на овом терену је раздвајање великог блока на ободу Панонске низије који се десио током више фаза током неогена и квартара. Недалеко од ушћа Саве у Дунав регистрована је велика амплитуда вертикалног кретања, дислоцирање горњо-кредних, флишних формација и до 85 m. Узводно, у зони Аде Циганлије, утврђено је вертикално издизање блока Чукаричке обале Саве у односу на блок врха Аде Циганлије од 45 m. Истовремено, са супротне - Ново Београдске стране, према врху Аде Циганлије уочено је кретање, чија амплитуда, сматра се, износи преко 50 m, иако није са сигурношћу утврђена. Млађи тектонски покрети на прелазу горњег плиоцена и плеистоцена, резултовали су извесним променама басенских палео-структура и реактивирањем постојећих раседних структура обода Панонског басена. Ова тектоника предиспонирала је формирање прадолине реке Саве, док је у каснијим фазама тектонско спуштање омогућено таложењем полицикличних седимената. Најмлађи алувијални седименти београдског изворишта таложени су у условима релативог тектонског мировања.

Флувијалне[3] наслаге плеистоцена представљају продукт тектонског спуштања басена и климатских промена у плеистоцену. Представљају алувијалне[4] творевине повећане дебљине које се одликују цикличном сменом седимената корита, поводња

[3] **Флувијални** процеси односе се на ерозију и акумилацију речним и другим (мањим) површинским токовима. У колико је ток настао отапањем ледника користи се израз флувиоглацијални процеси.

[4] **Алувијални** процеси (од Латинске речи *alluere*- спирати) односе се на растресит, неконсолидовани материјал, еродован, транспортован и обликован, а затим редепонован радом воде у некој форми али не у маринским условима. Алувијум је сачињен од разнородног материјала, од најфинијјих честица глина и прашине до зрна песковите и шљунковите фракције.

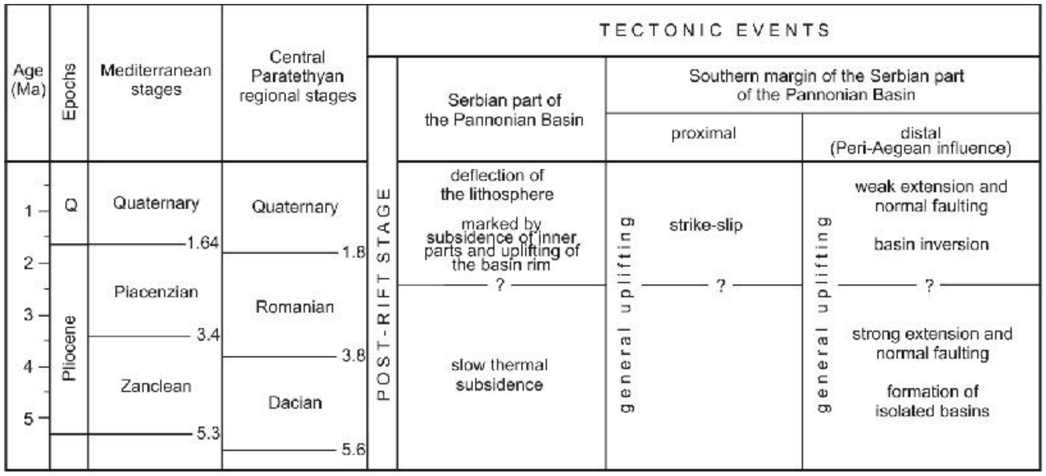
и старача изражених у више седиментационих циклуса. Ове наслаге познате су под називом „речни полициклични седименти“ и распрострањене су на подручју српског дела Панонског басена. Ови слојеви леже преко творевина плио-плеистоцена (у старијој литератури - старији еоплеистоцен[5]) или трансгресивно преко миоценских творевина (панонске или понтске старости).

**Језерско-барско-терестични седименти плио-плеистоцена** представљају најстарије квартарне седименте. До сада им није прецизно дефинисана статиграфска припадност али је на основу суперпозиције ова формација издвојена као плио-плеистоцен, с обзиром да лежи преко слојева горњег миоцена, а у подини плеистоценских речних полицикличних слојева.

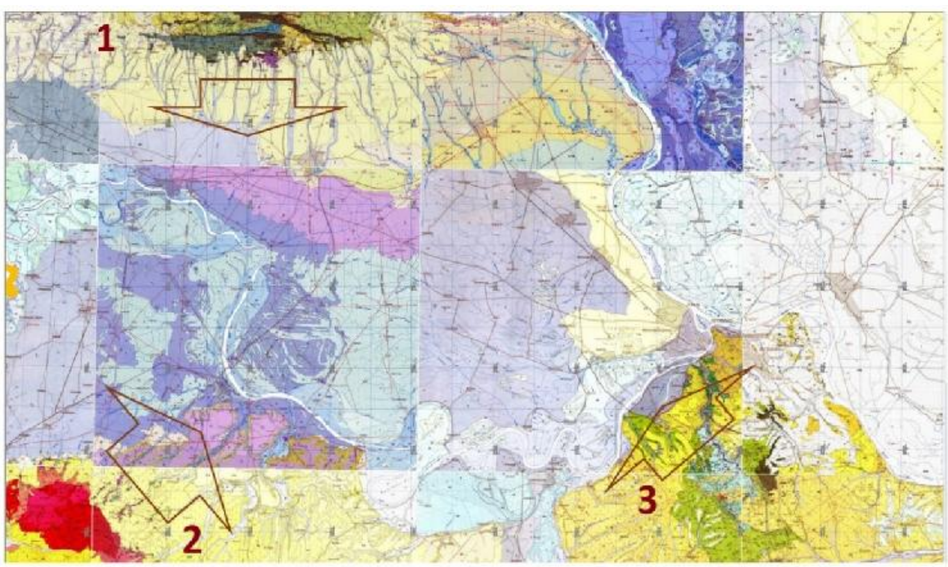
Ови најстарији квартарни седименти таложени су у заосталим барама и тресетиштима заосталих језера. Литолошке карактеристике и одсуство фосила у овим слојевима последица је брзе и интензивне седиментације услед тектонске активности (Ненадић, 2003). Снажни епирогени покрети условили су ерозију и интензивну акумулацију еродованог материјала током рецесије заосталих плиоценских језера. Ова издизања почињу још крајем миоцена, а свој максимум достижу током старијег плеистоцена. У заосталим барама и мочварама, остацима палудинског језера на територији Панонског басена, а нарочито у ободним деловима, долази до интензивне седиментације и запуњавања (Cloetingh, 2005; Ракић, 2002).

**Табела 2.** Главни тектонски догађаји јужног обода Панонског басена на територији Србије, током плиоцена и квартара (Маровић, 2002)

[5] Приликом формирања стратиграфске шеме квартара на подручју Србије, 70-их година прошлог века „позајмљени” је термин еоплеистоцен за означавање најстарије секвенце квартара. По својој изворној дефиницији „термин“ еоплеистоцен је предложен за доњи део квартарне периоде, који се налази између доњег дела горњег плиоцена и плеистоцена у ужем смислу, који почиње минделском глацијацијом (Gaudenyi i Jovanović, 2012).




Велике количине теригеног материјала еродоване су са локалних хорстовских структура, као што су Фрушка гора на северо-западу и београдског побрђа на југо-истоку и таложене у басенским структурама између њих (слика 19).



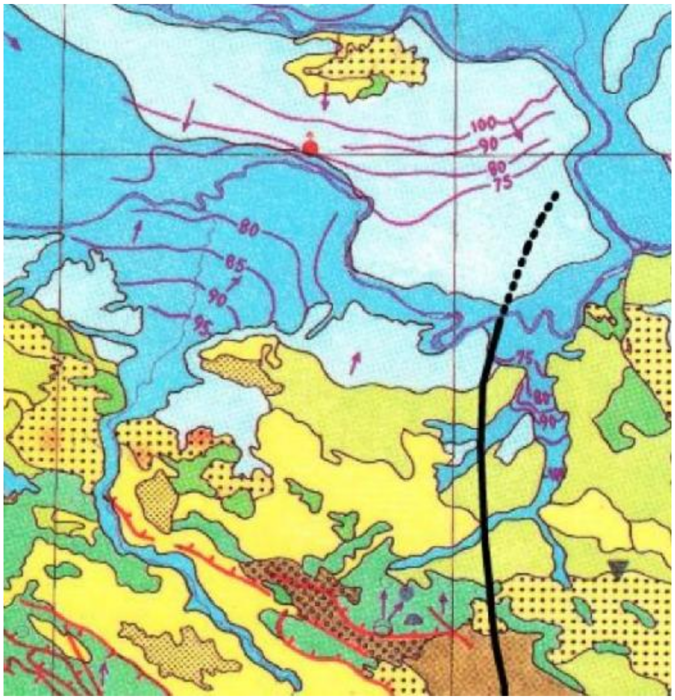

**Слика 19.** Правци приноса материјала у Савски басен, области и формације које су се издизале и са којих је вршена ерозија (1) Хорст Фрушке горе, (2) Цер и (3) Београдско побрђе, на подлози ОГК 1:100 000

Материјал еродован са хорстовских структура београдског побрђа, првенствено потиче од слабовезаних неогених наслага панонске и понтске старости. Депонован је у северном делу терена на простору данапњег Новог Београда, Земуна и Бежаније, где достиже значајну дебљину (Кнежевић и др., 1998; Nenadić, 2003). Сличан тип седимената јавља се на обронцима Фрушке горе, у атару села Чортановци.

Уопштено гледано београдки рт и хорст Фрушке горе су се издизали, док је Панонски басен тонуо, што је условило ерозију издигнутих делова терена и таложење у њиховом подножју. Преко ових седимената у плеистоцену су исталожени алувијални седименти, који су формирани у више циклуса, као последица вишеструке смене хладних и топлих климатских етапа.

# 5. ПРИМАРНИ ПРАВЦИ ПРИНОСА МАТЕРИЈАЛА У САВСКИ БАСЕН

Материјал од ког су формирани полициклични речни седименти допреман је у савски басен различитим агенсима, али примарно речном ерозијом и транспортом. На хидрогеолошкој карти на слици 20. приказане су изохипсе терена и стрелицама су представљени правци приноса материјала, као и алувијалне долине главних притока којима је принос материјала вршен у савски басен.



У ободним деловима материјал је долазио мањим и већим притокама и депонован где је слабила снага ових токова, стога се разликују и бочне фације речних тераса Саве и речних тераса њених притока које су услед мање снаге тока транспортовале и депоновале ситнозрнији материјал.

**Слика 20.** Шематизована хидрогеолошка карта, са приказом изохипси терена у оквиру зоне простирања интергрануларне издани.

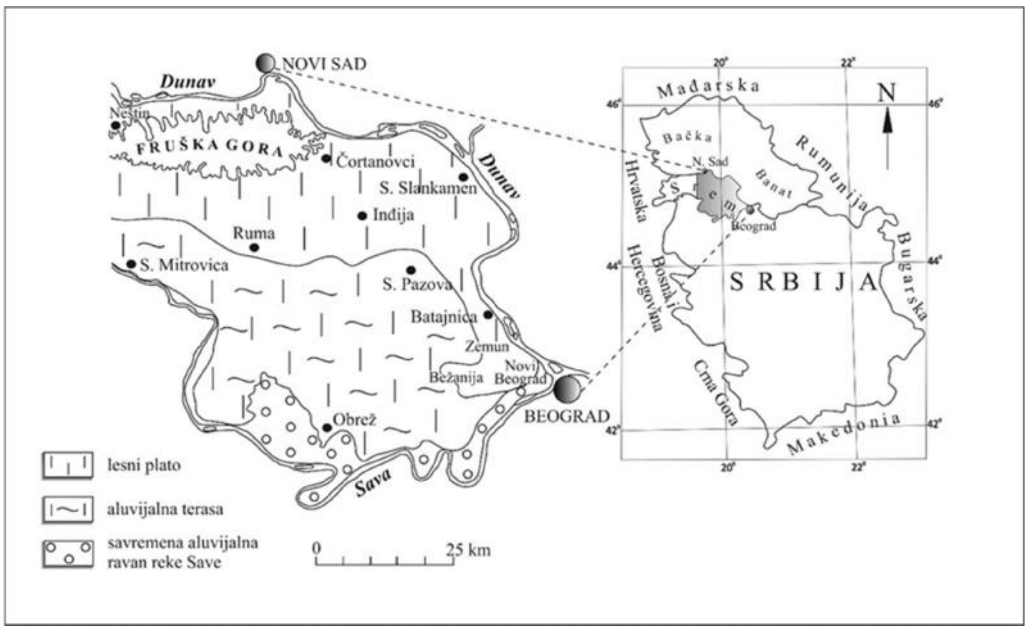
Једини изузетак на подручју тока Саве кроз Србију је река Дрина. Дрина је снагом свог тока допремала знатно крупнозрнији материјал од онога који је носила и депоновала река Сава у свом доњем току кроз Србију. Утицај Дрине имао је велики значај у приносу врло крупног материјала у савски басен. Материјал потиче из предела Динарских Алпа и горњих токова Дрине, Пиве и Таре, где је интензивна ерозија била последица формирања и кретања ледника, а формирање снажних бујичних речних токова, последица њиховог отапања.

## 5.1. Ободни терени савског басена

### 5.1.1. Лева обала Саве - утицај токова са Фрушке горе

У геоморфолошком погледу највећи део подручја леве обале Саве кроз Србију представља равничарски терен, који у свом северозападном делу прелази у брежуљкасте пределе југоисточних падина Фрушке горе (слика 21).

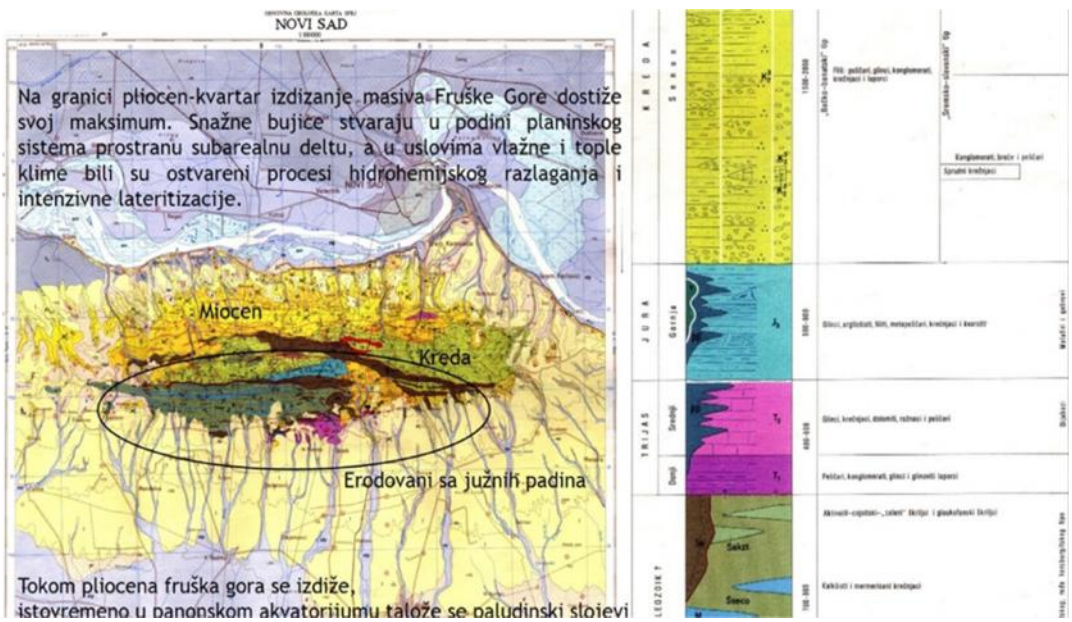
За разлику од десне обале Саве која је представљена контактом Панонске низије и планиских терена (Цер, Ваљевске планине, Београдски рт), лева обала Саве представља терен који залеже и хипсометријски пада у правцу централног дела Панонског басена. На овом терену једино се хорст Фрушке горе издиже као реликт некадашњег острва Панонског мора.




**Слика 21.** Географски положај и геолошка грађа источног Срема, подручје леве обале доњег тока реке Саве кроз Србију (из Ненадић и др., 2010)

Фрушка гора формирана је од краја терцијара, све до касног квартара. Раседне структуре јужне и северне стране ове планине, формирале су заједно са интензивним ерозионим процесима асиметричан хорст, окружен квартарним седиментима. На северној падини на површини су откривене неогене творевине, док је услед интензивнијег раседања и ерозије јужна страна представљена метаморфним комплексом тријаске и палеозојске старости (слика 22).

На ободима Фрушке горе на крајњим периферним деловима планине у регионима где их прекривају квартарни седименти, леже седименти понта. Највећи део понтских творевина лежи дубоко спуштен и прекривен квартарним седиментима на територији Срема. Плиоценски седименти представљени су тзв. палудинским слојевима, слатководног језера, на простору где се језеро простирало и врло су битни са аспекта хроностратиграфске шеме седимената у Савском басену (поглавље 6.3).




**Слика 22.** Геолошке формације хорста Фрушке горе (сегмент ОГК 1:100 000, лист Нови Сад), јужни обронци са израженијом ерозијом и развићем мноштва водених токова

Максимално издизање хорста Фрушке горе десило се крајем плиоцена и почетком плеистоцена. Као последица ових епирогених покрета долази до делувијално-пролувијалних процеса, где плеистоценским плавинским системима бујичних токова у подножју Фрушке горе бива формирана сложена конусна формација у виду подгорне делте. Седименти сложеног конуса, формирани су током доњег плеистоцена и леже дискордантно преко старијих формација и стена, док се у њиховој повлати налазе лесоидни депонати и речне терасе. У условима влажне и топлије климе током старијег плеистоцена били су остварени услови за одвијање процеса хидрохемијског разлагања и интензивне латеритизације, у оквиру седимената предгорног конуса (Ненадић и др., 2010).

Водени токови који су гравитирали са Фрушке горе ка Савском басену, депоновали су крупнозрни материјал непосредно уз обод основног горја, након чега су се реке некоординирано разливале на низ рукаваца на приближно равном терену, таложећи даље од обода све ситнозрнији материјал.

У хладним периодима, суве и хладније климе, количина воде у фрушкогорским токовима била је знатно смањена, када су велике количине колувијалног материјала биле гравитационо транспортоване у речне долине. Наиласком топлих фаза и појавом бујичних токова ови седименти бивају редепоновани и ношени даље у предгорје планинског масива. У периодима топлије и влажније климе, када је водостај у рекама достизао знатно већи ниво, снажни водотоци пробијали су се даље од обода, пресецали већ формиране наслаге и стварали делте равничарског типа, алувијалне равнице или чак системе мањих басена.

Увећан садржај магнетита од минерала тешке фракције у овим седиментима указује на процес преталожавања, јер овај минерал сингенетски обично настаје у муљевима, у приобалским деловима, уз дефицит кисеоника или у удубљењима старих пинеплезираних површина алтерисаних серпентинита (Ненадић у др., 2010). С обзиром на велики проценат серпентинита и продуката њихове коре распадања у шљунковима може се указати на његово секундарно порекло. Појава хематита, такође јако распрострањеног у старим корама распадања као аутигеног минерала, указује на услове жарке и суве климе која је владала пре доњег плеистоцена.

Стране фрушкогорског хорста на јужној страни чини висока сремска лесна зараван. Велики број фрушкогорских токова, мале дужине и велике падове речних долина, условили су специфичну седиментацију (слика 23).

Речна тераса је просечне релативне висине од 5-8 m, може се пратити од Бежаније и Сурчина испод лесног одсека, па даље на запад према Бољевцима. Она са севера и североистока ограничава алувијалну раван Саве простирући се даље према Бечмену, Ашањи и Огару, где се постепено губи у пространој сремској заравни. Многобројне увале у овим терасним седиментима, које се запажају нарочито североисточно од Бољеваца и Јакова, представљају остатке старих корита Саве. Положај речних тераса и лесних заравни, врло је битан са аспекта услова седиментације и генезе полицикличних седимената, јер су ове творевине таложене у квартару у зависности од климатских и тектонских прилика и једино свеобухватном анализом квартарних творевина одређене области, стичемо комплетан увид у стратиграфске односе појединих јединица.

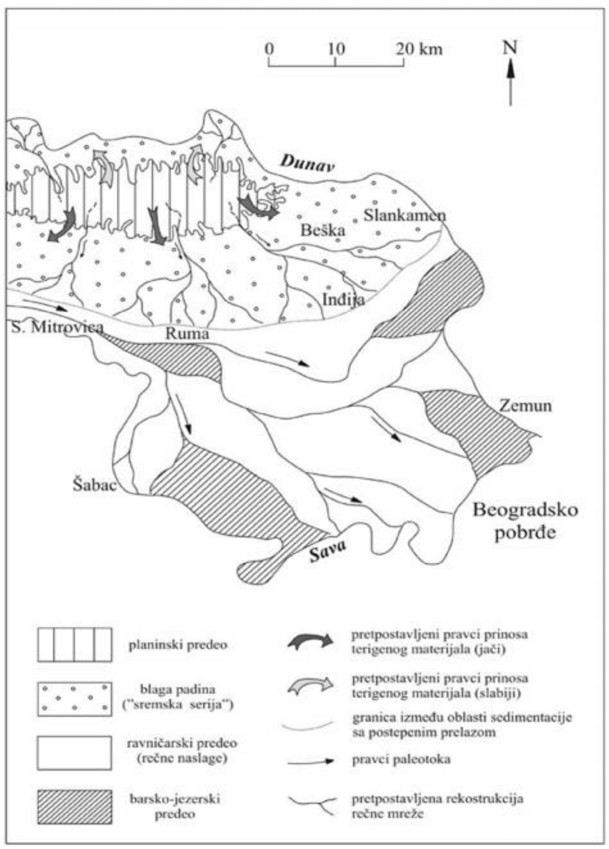
Смена климатских прилика, сложен рељеф и повремени тектонски покрети условили су таложење фацијално различитих седимената, који при томе често бочно прстасто залазе једни у друге, што у већини случајева отежава јасно дефинисање граница између различитих литогенетских типова. (Ненадић и др, 2016.).

У оквиру прелесних плеистоценских творевина на подручју источног Срема издвајају се:

- пролувијално-делувијалне творевине (“сремска серија”) доњег и средњег плеистоцена, везане за падине Фрушке горе, затим
- полигенетски-барско-терестрични седименти плио-плеистоцена и
- речни полициклични седименти плеистоцена везаних за речно-долинске системе реке Саве.

Према новијим истраживањима (Кнежевић и др., 1998; Ненадић и др., 2010) откривено је присуство веома распрострањених и дебелих наслага плиоцена и старијег плеистоцена (млађих од панонско-понтских наслага, а старијих од “макишких” плеистоценских слојева). Ови седименти регистровани су и у ужој зони београдског изворишта и на теренима Мачве и Посаво-Тамнаве. На свим наведеним теренима леже у подини полицикличног речног пакета ("макишких слојева" или “слојева са *Corbicula fluminalis*” по Ласкареву, 1938 и Стевановићу, 1977). У себи садрже оолите лимонита, гетита и магнетита. Литолошке карактеристике указују да су ове творевине настале као сложен продукт различитих процеса: елувијалних, делувијалних, повремено пролувијалних и барско-језерске акумулације. Повлату овог генетски хетерогеног пакета чине кластичне творевине полицикличних речних седимената плеистоцена, док су у подини јужно од Фрушке горе, као и у пределу северне Мачве плиоценски, језерски, палудински слојеви.

У подножју Фрушке горе старији нивои квартарних творевина представљени су пролувијално-делувијалним наслагама, генетски везаним за падине фрушкогорског масива. Створене су истовремено са иницијалном речном фазом у ободним деловима речног басена, на падинама подложним спирању. Овакав тип наслага познат је у литератури као "сремска серија" на падинама Фрушке горе (Ракић, 1973). Мисли се на субаералне делте и сложене плавинске конусе са пролувијалним творевинама ближе планинским деловима (подручје утицаја бујица) и у периферним деловима лепеза, и ублаженим странама развођа са делувијалним наслагама. Оваква палеоморфолошка јединица узрочно је везана за интензивне епирогене покрете на граници између плиоцена и плеистоцена.




**Слика 23.** Палеогеографска скица источног Срема за време старијег плеистоцена (Ненадић и др., 2010.)

Стратиграфска позиција ових наслага је таква да се налазе између пакета лесних седимената у повлати и плиоценских палудинских творевина у њиховој подини. Литолошки су представљени хетерогеним шљунковима, супесковима и суглинама, веома лоше сортираности, са бројним сочивима неправилног облика, хаотичном и укрштеном стратификацијом, углавном без слојевитости и интензивне црвене боје, на основу које се лако одвајају од подинских плиоценских зелених глина или белих кварцних пескова, и жућкастог повлатног лесног наноса (слика 24). Шљунковито-алевритски песак из доњег дела серије одликује се великом количином металичних минерала. Алеврит-пескови садрже око 32,3% хематитско-лимонитских зрна, са преовлађујућим присуством граната.

**Слика 24.** Сремска серија на лежиштима кречњака Бели камен (доле лево) и “Мутаљ” (десно), детаљ; (доле) Сремска серија лежи дискордантно преко баденских кречњака на некадашњем лежишту кречњака ПК “Бели Камен“ код Бешенова (виде се уклопци крупних стенских заобљених комада у Сремској серији) (фото 1, 3 и 4 - Ненадић, 2016; фото 2 – Зарић, 2016).

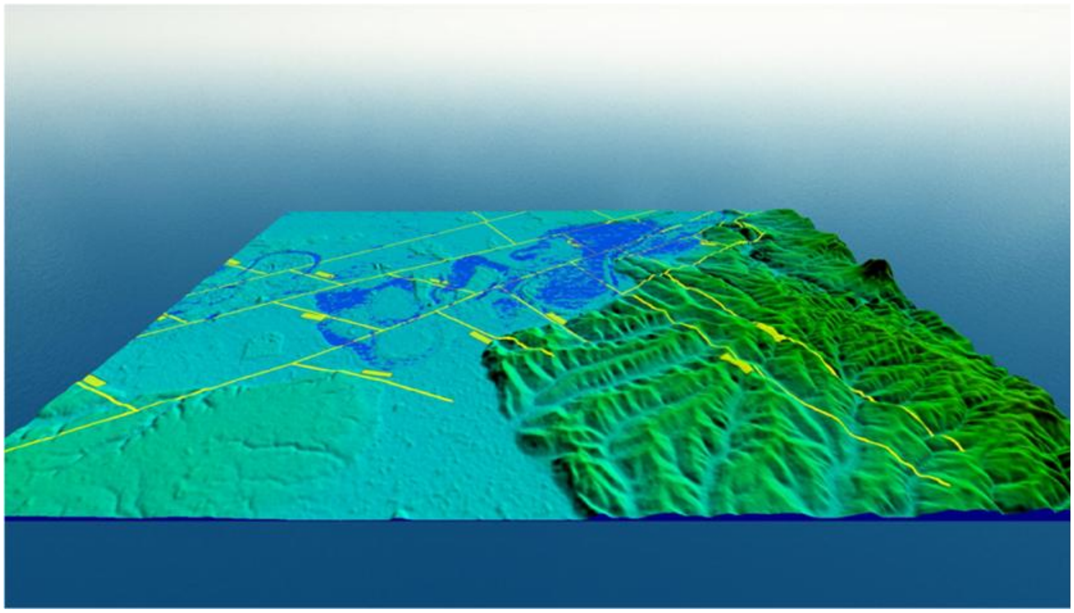
Југозападно од Чортановаца, наслаге “сремске серије” имају дебљину од око 23 m, док југоисточно на потезу према Инђији дебљина ових седимената износи око 35,9 m. Серија почиње сивим карбонатним глинама са прослојцима прашинастих пескова који прелазе у рђасте средње до крупнозрне пескове, који се даље смењују са глинама. Завршни чланови овог пакета представљени су жућкастим ситнозрним песковима у смени са средњозрним, крупнозрним и шљунковитим песковима. Седименти су лоше сортирани, са садржајем калцијум карбоната који има јако променљиве вредности (од 0,4 - 32,0%). Слаба заобљеност зрна песка и шљунка указује на кратак транспорт материјала који је таложен у барској средини са неравномерним приливом крупнијег материјала. У лакој фракцији најзаступљенија су алтерисана зрна са средњим садржајем од 49,4%. Минерални састав тешке фракције показује висок садржај хематитско-лимонитских зрна (просечно 55,4%), металичних минерала (27,5%), затим епидота (18,5%), амфибола (11,4%) и граната (15,0%). Серија се завршава шареним барским глинама преко којих су наталожени рђасти барски алеврити и лесоидни алеврити укупне дебљине око 8,8 m.

#### 5.1.2. Полициклични седименти у сливу Колубаре

Слив Колубаре на северу је ограничен током реке Саве, на истоку планинским венцем Космај-Букуља-Рудник, на југу планинским венцем Столови-Маљен-Повлен и на западу масивима планина Цер и Јагодња. У геоморфолошком погледу, целокупно сливно подручје Колубаре припада крајњим јужним деловима простране Панонске низије, делу Савске потолине и северним обронцима шумадијског побрђа.

Комплетно сливно подручје оивичавају планински масиви (слика 25). На истоку Авала, Космај, Букуља и Рудник са просечним надморским висинама од око 500 m н.м. Јужни део терена оивичен је изразитим планинским венцем кога чине Сувобор (866 m н.м.), Миличин врх (661 m н.м), Камаљ (915 m н.м), Велики Маљен (970 m н.м), Краљев сто (1104 m н.м), Голубовац (1056 m н.м), Дреновички кик (946 m н.м), Повлен (1347 m н.м) и Медведник (1244 m н.м). Западну границу подручја чине источни обронци Церског побрђа са просечним надморским висинама од око 600 m н.м.

Генерално централни део колубарског басена је релативно заравњен са околним благо заталасаним брдовитим подручјем. Пад обалских појасева у смеру тока је благ од 84 до 73,4 m н.м на дужини тока од око 16 km. Овде је ток реке Колубаре усекао своје корито меандрирајући у својој долини, ка којој гравитирају долински системи њених главних притока: са леве стране Тамнаве са Убом и Кладницом, а са десне стране то су Љиг, Пештан и Турија са Бељаница.



**Слика 25.** Рељеф и тектонске структуре на подручју слива Колубаре (3D визуализација терена, у програму - Global Mapper, Зарић, 2019.)

Данашњи изглед рељефа пре свега је у функцији геолошког сатава најмлађих неогених и квартарних наслага. Интензивније разуђен рељеф се налази у периферним зонама слива кога изграђују палеозојски и мезозојски стенски комплекси (горњи део слива). Утицај тектонских структура карактеристичан је са геоморфолошког аспекта пре свега на формирање траса речних мрежа, које према својој форми припадају генерално тзв. композитном типу (карактеристичном за горњи део слива Тамнаве) или су асиметрично развијене (посебно у ЈИ деловима Колубаре и Пештана). У вишим деловима изражена је тзв. селективна флувијална ерозија и денудација у функцији отпорности стенског комплекса у подлози.

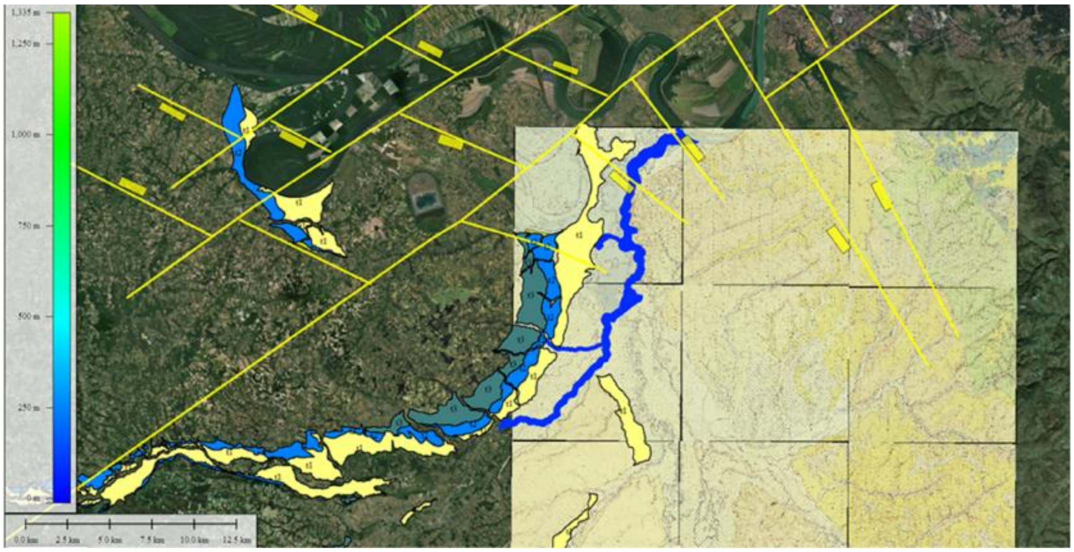
Формирање рецентних облика рељефа почело је током средњег плеистоцена, када долази до формирања корита Дунава и Саве. Промене климе у глацијалним периодима условиле су наизменично смењивање еолских акумулација и флувијалних процеса.

За доњи плеистоцен везује се постојање широких меандрирајућих токова уплетених река које су некада гравитирале ка реликту Панонског језера. Панонско језеро у понту, постаје бочато, а у плиоцену слатководно Палудинско језеро. Повлачењем језера са ових простора речни токови разливају се и меандрирају по широком простору обода Панонског басена. Ободни терени се издижу, а у контактној зони се врши ерозија панонских и понтских лапораца и старијих творевина, које се депонују у спуштеним блоковима Панонске низије. Седименти старијег плеистоцена из тог разлога имају широко распрострањење у плану и зато су често тумачени као језерски и речно језерски седименти.

У средњем плеистоцену долази до првог великог заглечеравања, које је праћено брзим отапањем ледника у интерглацијалном периоду и стварања бујичних токова. Пра-токови Колубаре и Тамнаве, пробијају и дубе своја корита усецајући их у наталожене седименте старијег плеистоцена. Сваким следећим отапањем (и јачом глацијацијом) токови продубљују своја корита формирајући на тај начин неколико нивоа речних тераса плеистоценске старости. Према алпској подели из тог разлога (Стејић, 1977; 1998) терасу од 80-100 m н.м. сврстава у гинц, терасу 40-60 m н.м. у миндел, терасу 25-35 m н.м. у рис и тераси 7-12 m н.м. у вирм. Тераса 3-5 m н.м. припада холоцену.

Приликом издвајања речних тераса врло је битно раздвојити терасе тока Саве и њених притока (слика 26). Тектонска активност у квартару одвијала се реактивацијом миоценских раседа. Тектонско издизање ободних делова и тоњење Савског басена и доњих токова њених притока одразило се у повећаној дебљини квартарних седимената. Тектонска активност одвијала се по предиспонираним правцима старијих раседних структура.

Различити динамички стадијуми главних речних долина на уздужним профилима, такође упућују на карактер тектонских процеса у квартару. У горњим токовима Тамнаве и Колубаре, формирају се узане долине, сталним усецањем речног тока у делове терена који се издиже (инстративна фаза). У средњим деловима речног тока јављају се нешто шире речне долина, које настају бочном ерозијом и акумулацијом у једном нивоу у условима релативне статичности терена (перстративни тип), док се доњи токови поменутих река, а нарочито долина Саве, налазе у перманентном спуштању које се манифестује како морфологијом долина, тако и начином седиментације (констративни тип). Сталним спуштањем дна акумулативне равни седиментација у долини Саве и у доњим токовима њених притока се одвија у виду циклуса код којих се наизменично смењују седименти корита и поводња. Моноциклични карактер седимената палеотокова притока Саве указује на то да су се њихове долине налазиле у перстративној фази.

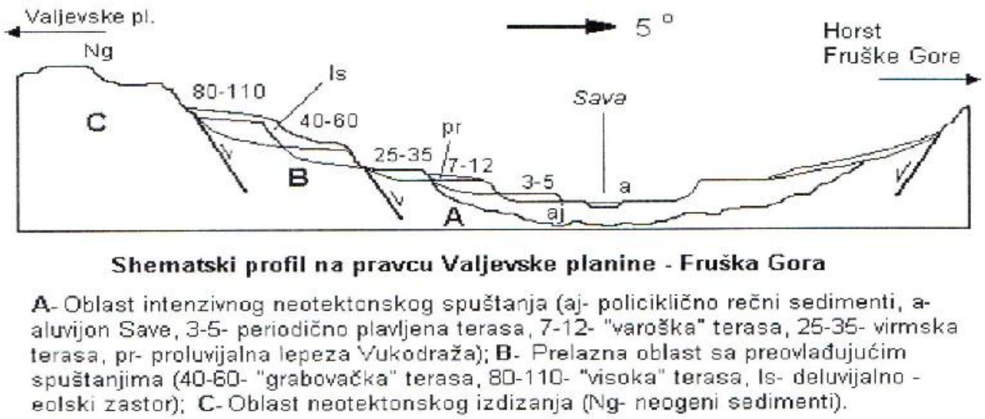


**Слика 26.** Речне терасе издвојене на основу ОГК 1:25 000 и раседне структуре са карте нео-алпске тектонике, брањено подручје насипа представљено је плавом површином (Зарић 2019, непубликовано)

Поред морфологије речних токова, неотектонска активност утицала је и на начин седиментације, минералошки и гранулометријски склоп седимената. Позиција и област денудације у односу на област акумулације седимената условили су да је материјал који се таложи у зони утицаја Саве крупнији и разноврснијег састава, у односу на материјал од ког су изграђени квартарни седименти у долини њених притока.

Услед интензивног и честог меандрирања рецентног тока Саве, данас су на терену присутни бројни напуштени меандри у свим фазама развића (од активних, преко повремено плављених, до потпуно сувих). Исти случај полифазности меандара запажа се и у долини Колубаре. Седименти холоцена представљени су фацијом седимената корита (пескови и шљунковити пескови) и фацијом седимената поводња (прашинсто глиновити седименти). У односу на седименте плеистоцена карактерише их материјал значајно ситније гранулације и лошије сортираности.

Садашњи микрооблици рељефа доњег тока Колубаре и дуж Посавине генетски су везани за настанак неогених и посебно холоценских творевина. Колубара и њене притоке вршиле су принос материјала из ободног дела колубарског басена. На овај начин из хипсометријски виших ободних делова терена, вршена је ерозија и транспорт материјала у савски басен (слика 27).




**Слика 27.** Раседне структуре и речне терасе области Посаво –Тамнаве (Стејић, 1998)

Због велике површине распрострањења речни полициклични седименти имају изглед језерских наслага и тако су и описиване у литератури од стране многих аутора (Цвијић, 1926; Рајчевић 1983). Међутим литостратиграфске карактеристике и садржај фосилне фауне, упућује на закључак да је акваторијум у коме су наталожени имао динамику речне средине. Овај приступ среће се у радовима неких аутора (Ракић, 1977; Стејић 1998; Кнежевић и др., 1998). Према карактеру седимената може се рећи да се долина Саве (област Посаво-Тамнаве до ушћа у Дунав), од почетка таложења полициклично-речних седимената налазила у констративној фази речне акумулације.

Речни-полициклични седименти у области Посаво-Тамнаве дебљине 20-40 m, изграђени су из два дела, старијег (смена шљункова и пескова) и млађег (глиновито-алевритични седименти са прослојцима алевритичних пескова) у неколико циклуса (Стејић, 1997).

Упркос ранијим схватањима (Цвијић, 1926) о језерском пореклу седимената, Ласкарев (1938) и Милојевић (1951) сматрају да су ово речни седименти, таложени у више циклуса, и да су усечени у седименте старог језерског дна. Међутим, присуство епигенетских долина на већим апсолутним висинама од неогене подине, упућује на каснију ерозију мекших стена по ободу басена, управо речним агенсом. Седименти су у тектонски спуштеним басенима таложени под утицајем преовлађујућег речног, али и под утицајем пролувијалног, делувијалног и еолског агенса.

### 5.1.3. Полициклични седименти Мачве

Динамичка еволуција реке Дрине и реке Саве, са притокама, дала је савременом рељефу основне морфолошке и хидрогеолошке карактеристике са пространим терасним равнима на простору Мачве. Река Дрина током геолошке прошлости, мењала је ток (корито) у низијском региону Мачве, почев од источног дела града Шапца, па на запад, до садашњег тока.

Првобитно тумачење подразумевало је да је снажни ток Дрине, померио ток реке Саве на север, са лучним распоном од 30 km. (Цвијић, 1926). Касније је прихваћена теорија да је река Дрина формирала пространу терасну раван при ушћу у постојеће језеро, где је одлагала у великим количинама ношени материјал, а да су на месту одлагања, стваране наслаге песковито-шљунковитог материјала лепезастог типа, са распоном лука од 30 km и дебљине седимената од 5 до 25 m.

Новијим истраживањима утврђено је да су то речни полициклични седименти, који због велике површине распрострањења имају изглед језерских наслага и тако су и описиване у литератури од стране многих аутора (Цвијић, 1926; Рајчевић, 1983).

Палудинско језеро егзистирало је почетком плиоцена на самом северу Мачве. У њега су се уливали пра-токови свих река на овом простору укључујући пра-ток Саве и Дрине. Том приликом је дошло до продубљивања басена и формирања слатководног језера за време горњег плиоцена. У најдубљим деловима сложеног тектонског рова дошло је до таложења палудинских слојева. Депоновањем флувијалних творевина у постојеће језеро, током плиоцена, долази до запуњавања језера и постепеног повлачења ка истоку и југоистоку.

Повлачењем палудинског језера у плеистоцену на простор Славоније, заостала језера и баре вероватно су наставили да егзистирају само у најнижим деловима терена на територији Србије. У плиоцену и старијем плеистоцену на овом терену формирају се први пратокови Саве и Дрине, који су до прве терминације у средњем плеистоцену, највероватније били представљени речном мрежом меандрирајућих, уплетених река које су почеле да пробијају и формирају своја корита тек после првог великог отапања. У ободним деловима Поцерине издигнути делови терена, или пак заостали услед спуштања Панонског басена, остали су у виду две такозване језерске терасе, док су речни токови (Думаче и Добраве) крајем плеистоцена усекли своје токове формирајући између њих речне терасе. Такозване језерске терасе настале су полигенетски са једне стране речном ерозијом у старијем плеистоцену и тектонском активношћу која је у ободном делу Поцерине вероватно праћена делувијалним процесима којима је приношен крупнији грубокластични материјал.

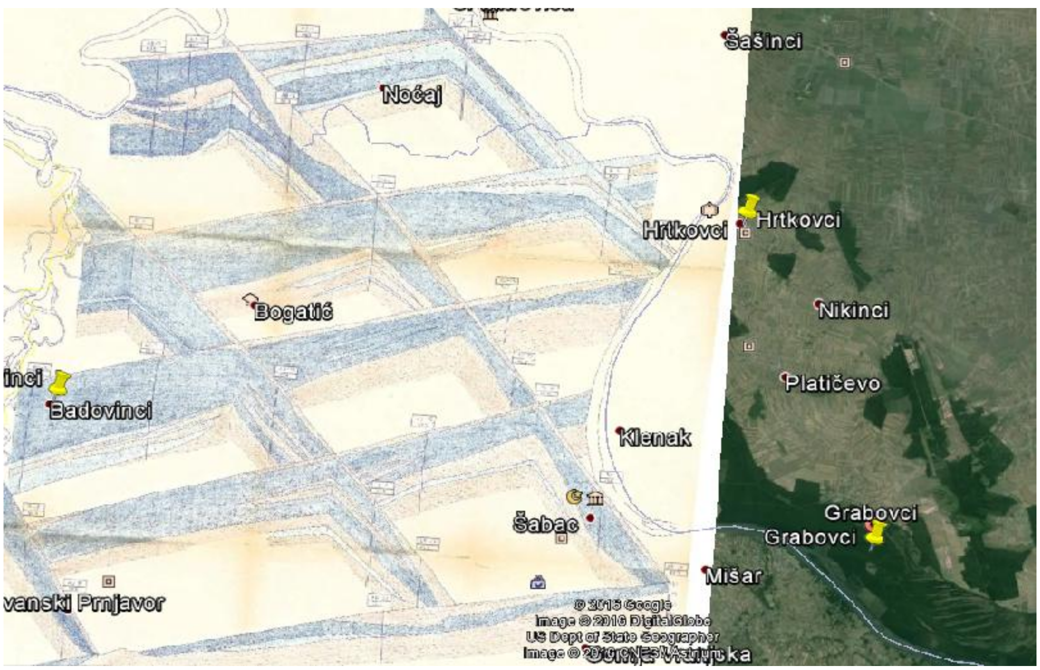
Квартарне творевине прекривају преко 80% површине терена Мачве. Ове сложене полигенетске творевине до сада су дефинисане као језерске, језерско-речне, језерско-лесоидне, речне и лесоидно-барске творевине.

За тзв. „језерске творевине“ се сматра да представљају продукт речне седиментације и тектонске активности ободног дела Панонског басена крајем плиоцена и током старијег плеистоцена. Леже трансгресивно преко горњопонтских седимената и палудинских творевина са променљивом дебљином од 50 до 100 m. Преко ових седимената леже флувијалне творевине средњоплеистоценске старости, таложене када је Дрина услед првог великог отапања на подручју Динарида, пробила свој палеоток источно од Шапца (Думаче). Ток Дрине се померао у правцу запада преко Мачве и југозападног обода Срема до данашњег тока. Седименти старијег плеистоцена изграђени су од песка, алеврит-песка, шљунка, алеврит-глина и местимично глина. Присуство калцијум карбоната запажа се у виду конкреција и учествује у грађи алеврит-песка и алеврит-глина са променљивом заступљеношћу од 0,42 до 19,30%. У завршном делу седиментационог циклуса у зони палеотока Дрине, седименти прелазе у творевине средњег плеистоцена са присуством врсте *Corbicula fluminalis*. Северно и источно ван зоне палеотока Дрине, постепено прелазе у језерско-лесоидне наслаге.

Старија тераса, на надморској висини од 110 до 175 m, је изграђена у нижем делу од заглињених пескова и шљунка рђасте боје, затим од песковитих глина са сочивима и прослојцима песка и шљунка. Завршни део терасе изграђен је од алевритских глина са гвожђевитим примесама и суглинама са карбонатним конкрецијама. Местимично се запажа коса слојевитост са слабосортираним материјалом. Дебљина терасе износи од 5-15 m.

Млађа тераса лежи преко нивелисаних горњопонтиских седимената на надморској висини од 85 до 110 m. Старост терасним творевинама је одређена на основу положаја творевина са *Corbicula fluminalis* у повлати млађе терасе.

Према Рајчевићу (1983) творевине са *Corbicula fluminalis* и другом пратећом фауном, констатовани су у региону Мачве и југозападном и јужном делу Срема. Према овом аутору овај тип седимената настао је одлагањем ношеног материјала палеотоком Дрине у постојеће језеро. Палудинско језеро повукло се током старијег плиоцена, али је могуће да су у заосталим депресијама преостали реликти језера, притом је читав терен био плављен палеотоковима уплетених река које су се до тада уливале у постојеће језеро.




**Слика 28.** Блок дијаграм подручја Мачве и Лозничког поља (према М. Лазић, непознати извор) преклопљен са сателитским снимком терена (тамно плавом представљена шљунковито-песковита фаза полицикличних седимената)

Ове творевине су изграђене од алевритских пескова и алевритских глина сиве и модроплавичасте боје, затим од хоризоната песка и шљунка, где учешће шљунка процентуално се повећава при завршном циклусу седиментације. Дебљина ових наслага износи од 20-50 m (Рајчевић, 1983). Дебљина шљунковитих наслага опада идући од Дрине ка старом ушћу код Шапца. На блок дијаграму преклопљеном са сателитским снимком терена види се дебљина шљунковитих слојева на територији Мачве где целокупан пакет квартарних наслага достиже и 80-100 m дебљине (слика 28). Овај крупни материјал, који је Дрина таложила на читавом простору Мачве, потиче из предела Динарских Алпа, Босне и Црне Горе и продукт је климатских промена, тачније смене хладних и топлих фаза током плеистоцена.

У подини плеистоценских слојева са *Corbicula fluminalis* на неким деловима терена налазе се полигенетске наслаге. На основу методе суперпозиције (творевина плиоцена у подини и доњег плеистоцена у повлати) може се претпоставити да су таложене на граници плиоцена и плеистоцена. Постоји могућност да у теренима где имају екстремно велику дебљину старији хоризонти полигенетских барско-терестичних творевина представљају бочне фације језерских палудинских слојева.

### 5.2. Подручје динарских Алпа

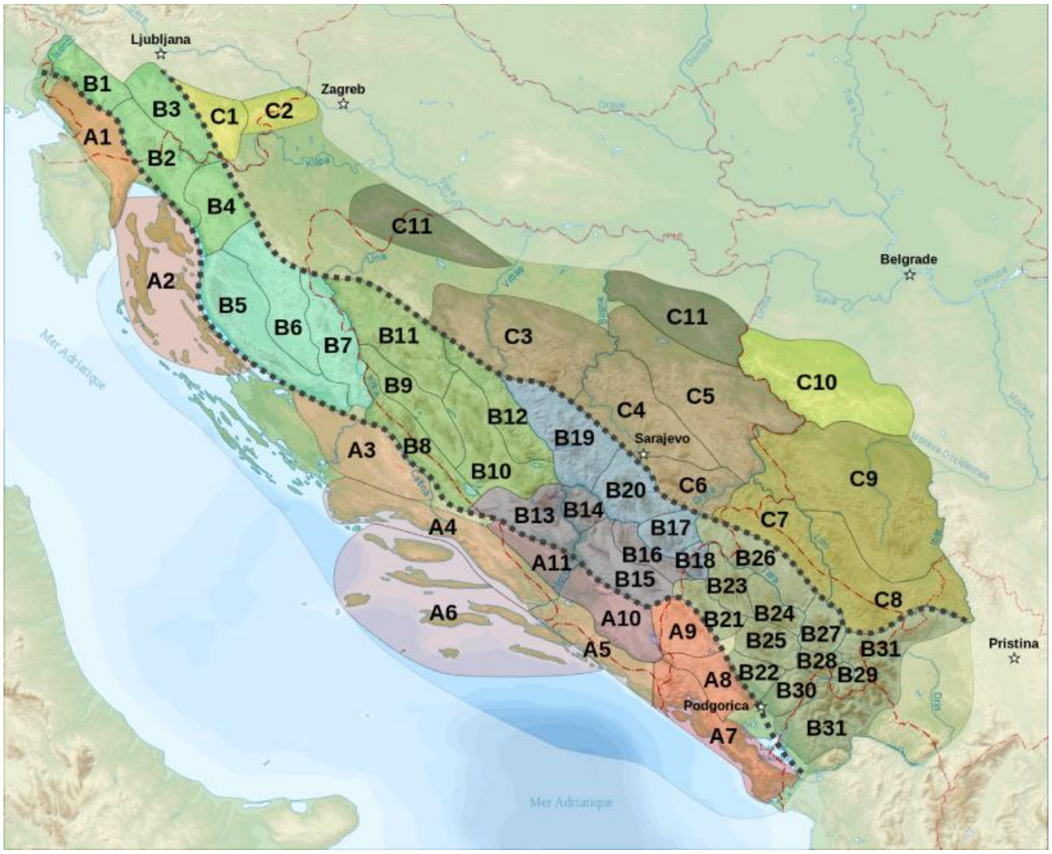
При ерозији и транспорту материјала, у савски басен, врло је значајна улога њених великих притока. Десне притоке су развијеније и подразумевају слив Купе, Уне, Врбаса, Босне и Дрине (слика 29). Ове реке формирају се на подручју Динарских Алпа гравитирајући ка Сави. Од великог су значаја за принос материјала у Савски басен, јер дренирају подручје Динарских Алпа (слика 30), што је врло битно са аспекта формирања квартарних полицикличних седимената, алувијалних издани, које се данас експлоатишу за водоснабдевање.

Карст Динарских Алпа представља најкарактеристичнији пример кречњачких планина у Европи. Динарске реке усецале су своја корита правећи мноштво кањона, карактеристичних за карстне терене Динарских Алпа. Квартарне глацијације нису имале велики директан утицај на Балканско полуострво. Глацијацијом су били захваћени само највиши врхови планина као што су Дурмитор, Орјен и Прењ, код којих се морене и трагови глацијације данас спуштају и до 600 m н.м. Планински венац Проклетија, који се протеже дуж северне границе Албаније, правцем исток-запад (супротно пружању целокупног Динарског система), био је изложен најинтензивнијој глацијицији током плеистоцена. Ледници Проклетија нису гравитирали ка сливу Саве.


**Слика 29.** Речни басени на територији Западног Балкана, слив Саве са подсливовима представљен светло плавом бојом (Bosnia and Herzegovina - IWRM Study and Plan, 2016)

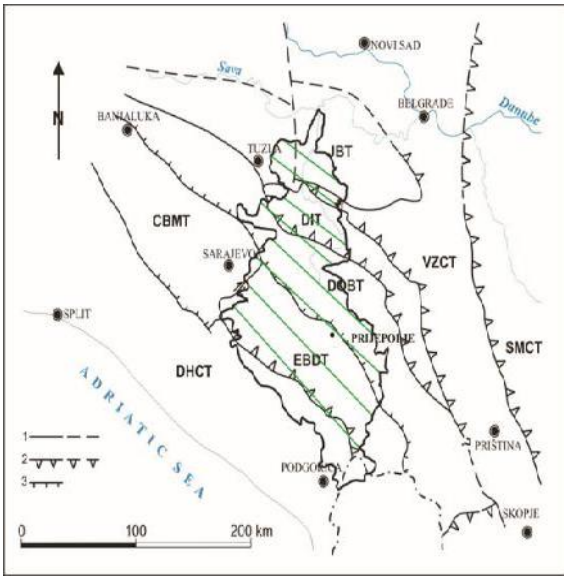
Са геолошког становишта, терени Динарских Алпа интересантни су и у погледу водоснабдевања. Карстификовани и порозни или израседани кречњаци богати су подземним водама. Карстни тип издани заступљен је и дуж токова Пиве и Таре, где ове две реке формирају ток Дрине. Све до узводно од Вишеграда, Дрина тече кроз карстне и условно безводне терене, док су у доњем току, услед интензивног меандрирања формиране алувијалне издани.

Ерозија у карстним теренима је тешка и спора, а карстни облици који је прате су стрми и назубљени, као и стрме и готово вертикалне обале и кањони речних токова. Са геоморфолошког аспекта горњи ток реке Дрине карактерише брдовит и планински рељеф, са стрмом и дубоко усеченом речном долином. Средњи ток Дрине карактеришу широке речне долине, са снажним планинским токовима њених притока које долазе из планинских обода басена. Из тог разлога у горњем и средњем току нема меандрирања речног тока. За доњи ток Дрине карактеристично је интензивно меандрирање, у опсегу од око 1 до 3 km. Низводно од Бијељине током поплавних таласа читаво подручје меандрирајућих токова је под водом, плавећи и поједина сеоска насеља.




**Слика 30.** Геоморфолошка поделе Динарских Алпа: А- Југозападни појас или Приморски Динарски Алпи, В - средишњи појас, појас високих динарских Алпа, С - североисточни појас Динарских Алпа (https://www.dinarskogorje.com)

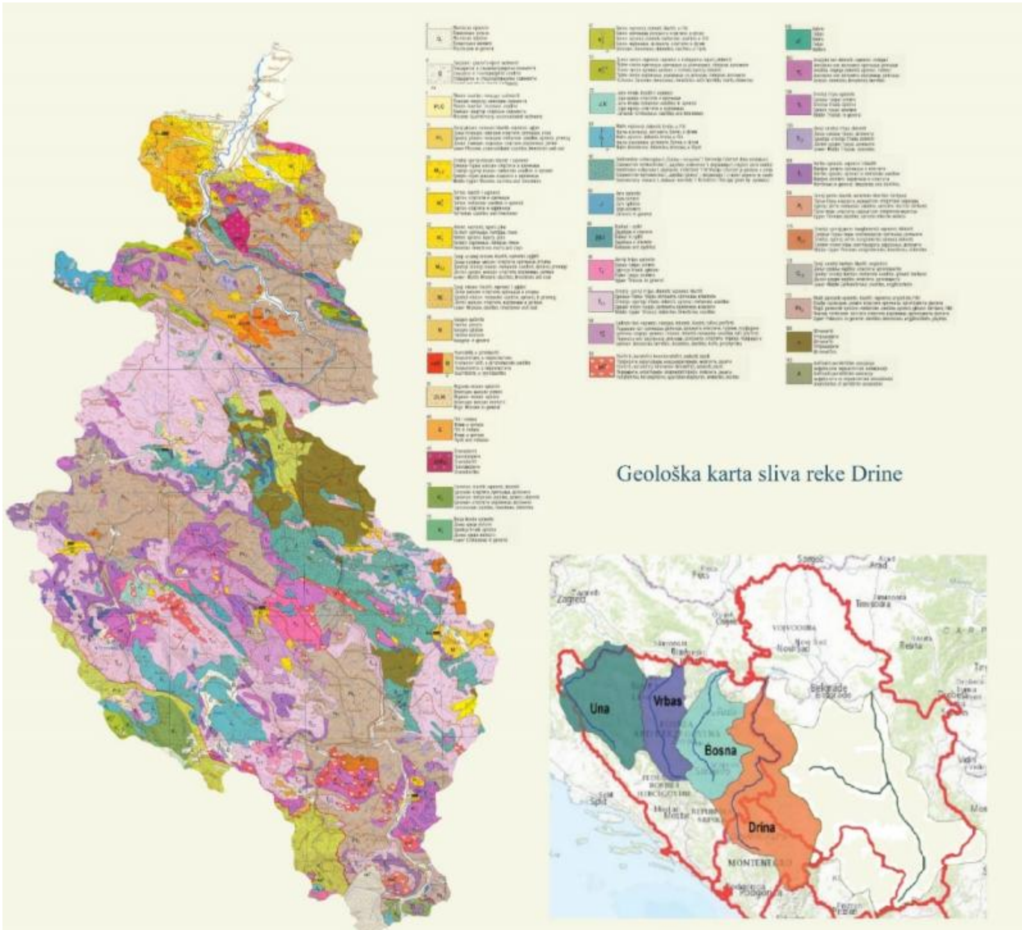
Река Дрина са својим притокама на територији Босне и Херцеговине пресеца више геотектонских јединица – блокова, терена (слика 31). У горњем току се улива у Саву и у том делу припада Јадарском геотектонском блоку, терену (JBT). Углавном је покривена седиментима неогена и квартара. Малим делом пресеца појас Вардарске зоне (VZWB), односно тзв. „Зворнички шав“ (Димитријевић, 1995, 2001), који по мишљењу Schmid et al. (2008) маркира тектонску границу између Дринско-ивањичких и Јадарско-копаоничких навлака. Затим Дрина тече кроз геотектонску јединицу Дринско-ивањичког елемента (DIE), кроз Динарски офиолитски појас (DOB - Dinaridic Ophiolite Belt), кроз Источно-босанско-дурмиторски блок (EBDT) и малим делом кроз Далматинско-херцеговачко композитни терен (DGVT).




**Слика 31.** Геотектонска шема положаја централног дела Балканског полуострва између Мезијске платформе и Јадранског мора. (Карамата, 2000) ***Легенда:*** (DGVT) Далматинско-херцеговачко композитни терен; (CMBT) Централно-босански планински блок/терен; (EBDT) Источно босанско-дурмиторска јединица; (DOBT) офиолитски појас Динарских планина; (DIT) Дринско-ивањички елемент/терен; (JBT) Јадарски блок/терен; (VZWB) западни појас Вардарске зоне; (SMVT) Српско-македонски композитни терен; 1. Расед, регистрован и покривен; 2. Реверсни расед; 3. Тектонизована граница.

Геолошке карактеристике терена су осматране на геолошкој карти СФРЈ 1:500 000 и на листовима Бијељина, Зворник, Љубовија и Вишеград, Основне геолошке карте 1:100 000 (слика 32).

На територији Србије Дрина се улива у Саву, при чему од хидроцентрале Зворник до ушћа (око 80 km) интензивно меандрира. Са босанске стране налази се Семберија, док се на територији Србије дуж десне обале простире Мачва. Ово су претежно равничарски терени, прекривени дебелим плеистоценским наслагама шљунка и песка, песковитим глинама и глиновитим лапорцима и најмлађим квартарним творевинама, холоценским песковима и шљунковима. Према југу ток пролази кроз кластичне и карбонатне формације девона и карбона (дебљине преко 1000 m), кластите средњег перма, битуменске шкриљце горњег перма, седименте доњег и средњег тријаса (глинце, пешчаре и кречњаке), андензите средњег тријаса, горњотријаске кречњаке и врло ретко кречњаке старије горње креде.




**Слика 32.** Геолошке формације на подручју слива реке Дрине (ОГК СФРЈ 1:500 000, 1970), шема сливних површи великих притока у склопу савског басена

Неогени седименти у којима су своје токове усекле притоке Дрине, представљени су морском и језерском фацијом. За дрински басен врло је битан и источни део Борања представљен гранодиоритским порфиритима и пегматитима, ефузивним магматским стенама (дацито-андензитима, кварц-латитом и другим пирокластитима). У зони Зворничког шава, Дрина пресеца офиолитски меланж јурске старости, са инкорпорираним фрагментима и блоковима доње креде. Од Зворника свој ток наставља кроз палеозојске стене Дринско-ивањичког елемента, изграђеног од кластичних серија представљених сменом, у различитом степену, метаморфисаних пешчара и алевролита, са прослојцима конгломерата. Поред палеозојских кластита, притоке Дрине мањим делом својих токова пролазе и кроз тријаске творевине.

Кроз Босну и Херцеговину, Дрина са својим притокама пресеца исте геотектонске јединице – терене, блокове, као и на свом току кроз Србију. У горњем току протиче кроз Јадарски блок, затим кратко кроз западни појас вардарске зоне – Зворнички шав. Затим тече кроз палеозојске и тријаске терене, дринско-ивањичког блока, седименте и магматите Динарског офиолитског појаса и млађе палеозојске стене источно босанске-дурмиторске јединице.

Дрински басен на територији Црне Горе подразумева две геотектонске јединице: источно босанско-дурмиторски блок и далматинско-херцеговачки композитни терен, генерално Динарског правца оријентације (СЗ-ЈИ). На северу се граничи са Динарским офиолитским појасом, а на југозападу се у виду навлаке простире преко Далматинско-херцеговачког блока. Дрински басен укључује територије планина Волујак, Пивске планине, Дурмитор, Љубишња, Ковач, Сињајевина, Лиса, Бјеласица, Комови, Виситор, Мокра, Хајла и Жљеб. Источно-босанско-дурмиторски блок, који се највећим делом налази на територији Црне Горе, сачињен је од кластичних седимената палеозојске старости, затим од кластита, карбонатних и силицијских седимената и вулканогених стена тријаске старости, као и од стена јурске, кредне, неогене и квартарне старости.


Дрински слив обухвата и дренира највећу површину у склопу савског басена (слика 33). Са хидролошког аспекта, десне притоке Дрине су значајно развијеније од притока леве обале и дренирају већу планинску област централних Динарских Алпа, вршећи интензивну ерозију и принос материјала у басен Дрине. Ово је од изутетног значаја и због приноса материјала у Савски басен.

**Слика 33.** Слив реке Дрине са хидрографском мрежом највећих притока

Имајући у виду да је Дрина највећа и најснажнија притока Саве на доњем току кроз Србију, јасно је да је њен утицај био значајан при формирању алувијалних издани. Познато је да је већина кластичног материјала транспортована у регион источне Посавине рекама и потоцима са босанских планина (Мутић, 1993). То потврђује и минеролошки састав речних седимената, који потиче из зона серпентина у Босни (Мутић, 1993). Главни правац транспорта од југа ка северу је у корелацији са редукцијом димензија тих крупнозрнастих кластита и смањењу величине њихових зрна (Урумовић, 1978).

Утицај на терену Мачве огледа се у депоновању дебелих наслага шљунка и песка које достижу и преко 100 m дебљине. Са друге стране врло је извесно да је речним токовима ношени материјал доспевао све до ушћа Саве у Дунав и до Београдског изворишта. Ово се посебно односи на периоде интензивних интерглацијалних отапања, када су формирани бујични токови били вишеструко веће снаге и протока од токова данашњих река на овом терену. Потврда ове хипотезе може бити изведена на основу анализе петролошког и минералошког састава алувијалних седимената Саве на извориштима и геологије ширег сливног подручја.

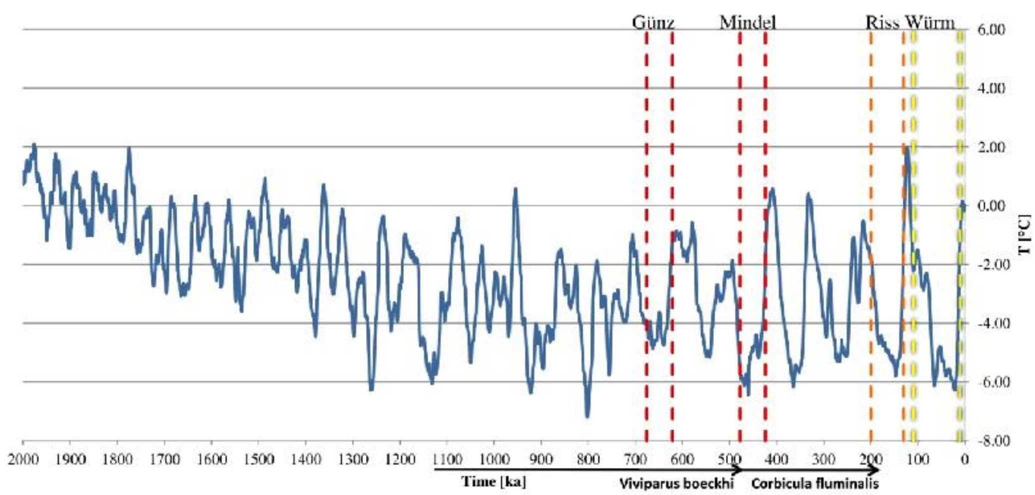
# 6. ПРОМЕНЕ КЛИМЕ НА ГЛОБАЛНОМ НИВОУ ТОКОМ ПЛЕИСТОЦЕНА - ВЕЗА СА ГЛАЦИЈАЦИЈОМ У ДИНАРИДИМА И КВАРТАРНЕ ТВОРЕВИНЕ ЈУЖНОГ ОБОДА ПАНОНСКОГ БАСЕНА

## 6.1. Клима у плеистоцену

Земља је у просеку током већег дела свог постојања била топлија него данас, и без површина покривених сталним леденим покривачем. Хуронско ледено доба се десило између 2 700 милиона година и 2 300 милиона година у прошлости – у Протерозоику. Најекстремније ледено доба се десило пре 850 до 630 милиона година (Криогенско доба). Могуће је да је током Криогенског периода светски океан био залеђен. Умереније Андско-сахарско ледено доба је трајало од пре 460 до 430 милиона година (ордовицијум, силур). Пре 350 до 260 милиона година током карбона и перма поларне капе су се периодично шириле (Кару ледено доба).

Садашње велико ледено доба је започело пре 40 милиона година са растом леденог покривача на Антарктику. Појачало се током касног плиоцена, пре око 3 милиона година када су се ледени покривачи раширили на северној хемисфери. Ледено доба се затим наставило током плеистоцена. Од тада су се дешавали циклуси ширења леденог покривача, тј. глацијација, окарактерисани са периодама реда величине 40 000 (до пре отприлике 1 050 000 година) и 100 000 година надаље.

Мања ледена доба тј. глацијални периоди, сувљи и хладнији од периода између њих (интерглацијала), са нижом надморском висином на којој се јављају планински глечери, већом дебљином глечера, и већим распрострањењем поларних капа, су подељена и именована према географским областима где су откривана и временима када су се збивала. Унутар глацијала могу постојати стадијали, тј. хладни подглацијали раздвојени топлијим интерстадијалима. У класичној алпској стратиграфској подели, глацијали су називани по рекама које извиру на Алпима. Морфостратиграфским методама, тј. издвајањем из рељефа морена, шљунчаних тераса формираних од материјала спраног из зоне глечера, долина продубљених радом глечера, стријација на стенама и др., дефинисана су у почетку четири глацијала – Günz, Mindel, Riss i Würm, којима одговарају периоди 676 000 до 621 000, 476 000 до 424 000, 200 000 до 130 000 и 115 000 до 11 700 година пре нове ере, респективно. Ови периоди су општеприхваћени за Riss и Würm, јер се сви показатељи промена климе слажу са овом поделом, док за Günz и Mindel постоји више гледишта, због мање сигурног апсолутног датирања морфолошких структура, и знатно већег броја циклуса од два, на основу показатеља промене климе пре Riss-а (слика 34). Узастопне глацијације теже да пониште доказе из претходних периода што отежава раздвајање и датирање глацијала и интерглацијала, тим више што су старији, а посебно ако је неки од наредних глацијала узроковао веће ширење леденог покривача.




**Слика 34.** Промена глобалне средње површинске температуре током последњих 2 000 000 година, у односу на њену средњу вредност у последњих 5 000 година, и класични глацијални периоди алпске стратиграфије квартара (према Laskar 2004)

### 6.1.1. Фактори смене топлих и хладних фаза током плеистоцена

Померање континената, вулканска активност и велике промене рељефа и величине и положаја океана су били главни фактори који су узроковали почетак и крај ледених доба. Најмлађи период тренутног леденог доба – епоха плеистоцена, није био обележен вулканском и тектонском активношћу таквог интензитета који би омогућио да то буду главни фактори у променама климе.

Према тренутно широко прихваћеној „космичкој“ теорији, промене у осунчавању услед промена у нагибу и оријентацији Земљине осе и облику њене орбите су главни узрочници цикличне промене климе и смењивања глацијала и интерглацијала током Плеистоцена и Холоцена. Осунчавање је дефинисано као енергија зрачења са Сунца која пада на одређену хоризонталну површину на Земљи у јединици времена. Осунчавање зависи од:

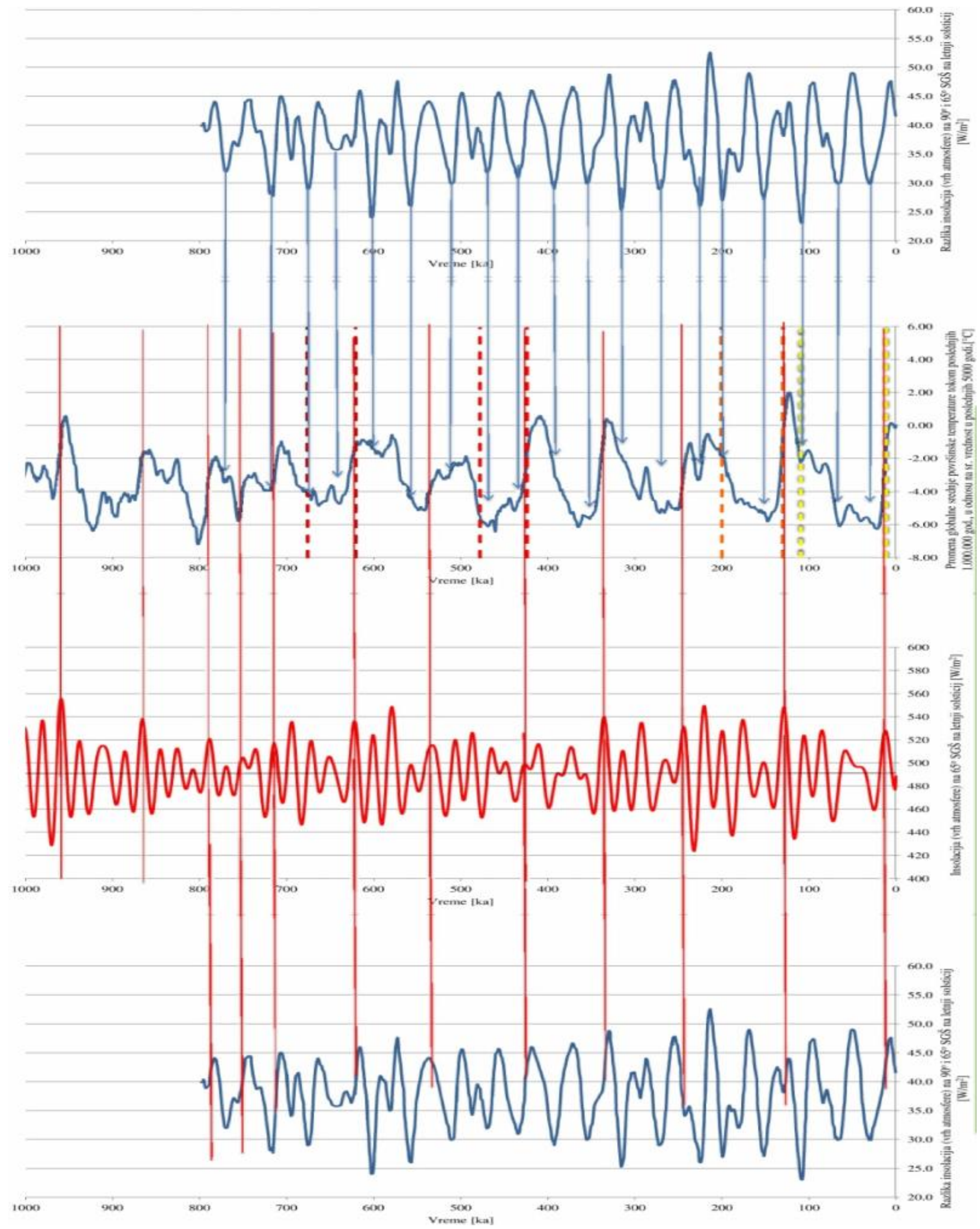
- соларне константе, као флукс долазне енергије кроз управну на зрачење јединичну површину на врху атмосфере, чија је садашња вредност 1368 $W/m^2$
- раздаљине до Сунца
- промена на Сунцу (пеге)
- висине Сунца (угла) над хоризонтом
- процента упадног зрачења које се врати са врха атмосфере назад у свемир
- процента апсорбованог зрачења у атмосфери
- процента одбијеног зрачења са површине Земље (албедо).

Осунчавање се, као и соларна константа, најчешће изражава у ватима по квадратном метру. На средњим географским ширинама просечна летња вредност осунчавања је 340 $W/m^2$, док када је облачно, износи само 120 $W/m^2$. Промене осунчавања су главни астрономски фактор климатких промена. На географским ширинама већим од 65$^o$ повећање нагиба Земљине осе у односу на раван у којој се налази њена орбита (еклиптику) изнад одређене вредности, уз услов да је Земља приближно најближа Сунцу у тренутку кад је летњи солстициј на северној полулопти, узрокује да се зимски снегови преко лета потпуно истопе због веће дозрачене енергије, уз део леда и снега раније акумулираног, а исто тако да у незнатно хладнијим зимама буде мање падавина. Кумулативни ефекат је да се граница сталних снегова на планинама полако диже и поларне капе скупљају чиме се смањује албедо (рефлективност) Земљине површине што доводи до повећања укупне годишње дозрачене енергије Сунца, па се временом снег и лед повлаче из практично целог данашњег умереног климатског појаса. Појава је усложњена истовременом прецесијом Земљине осе, тј. променом њене оријентације, и мењањем облика орбите, на тај начин што је при истом нагибу осе удаљеност од Сунца различита, као и облик орбите (слика 35).

Летња осунчаност на 65$^o$ северне географске ширине је највећа кад је нагиб осе највећи и удаљеност од Сунца најмања, док је при том зимска осунчаност најмања, што највероватније узрокује мање падавина током зиме. Због ове комплексне интеракције различитих циклуса и других фактора, периодичност појаве ледених доба није тако једноставно одређена. Примећује се да се глацијали и стадијали окончавају наглим повећањем температуре на светском нивоу које коинцидира са максимумом инсолације на 65$^{o}$ северне географске ширине, али скоро увек под условом да је разлика у инсолацији између Северног пола (90$^{o}$ северне географске ширине) и 65$^{o}$ северне географске ширине блиска максимуму. Највероватније је да већа разлика у инсолацији интензивира кретање топлих ваздушних маса са нижих географских ширина према половима. Генерално се може рећи да стадијал траје док је разлика у инсолацији између Северног пола и 65$^{o}$ северне географске ширине блиска минимуму и док се максимум инсолације не поклапа са максимумом разлике у инсолацији између Северног пола и 65$^{o}$ северне географске ширине.

Фактори који утичу на климу на Земљи, и могу појачати или ослабити ефекте астрономских фактора, су промене концентрације гасова стаклене баште, албеда Земљине површине, интензитета испаравања, путања и протока океанских струја, биљног покривача, ветрова.

Удео гасова стаклене баште у атмосфери, у првом реду угљендиоксида, расте са повлачењем ледених покривача и повишењем температуре, и пада са надолажењем леда и снижењем температуре. Угљен-диоксид је директно повезан са леденим добима. Раст и пад концентрације угљендиоксида у атмосфери се одлично подудара са растом и падом просечне температуре кроз епохе ледених доба. Као гас стаклене баште, доводи до повишавања температуре, при чему се смањује капацитет океана да апсорбују угљендиоксид што доводи до пораста његовог удела у атмосфери.




**Слика 35.** Утицај астрономских фактора на промене глобалне површинске температуре у последњих 1 000 000 година, Слике 1 и 4 - Разлика инсолација (врх атмосфере) на 90 и 65° СГШ на летњи солстициј [W/m$^2$], слика 2 - Промена глобалне средње површинске температуре током последњих 1 000 000 година, у односу на њену средњу вредност у последњих 5000 година [$^o$C], слика 3 - Инсолација (врх атмосфере) на 65$^o$ СГШ на летњи солстициј [W/m$^2$] (према Laskar, 2004)

Снег и лед повећавају албедо Земље, због чега Земља одбија више, а апсорбује мање енергије Сунчевог зрачења. Однос албеда океана и леда је 20% према 80%. Смањење површине шуме такође повећава албедо.

Степен испаравања је већи над океаном без леденог покривача. Одавде се могу формирати падавине које ће проузроковати појаву снега и леда над поларним областима.

Океанске струје мењају ток за време леденог доба и енергија се транспортује на неку другу географску ширину или сасвим другу област на планети.

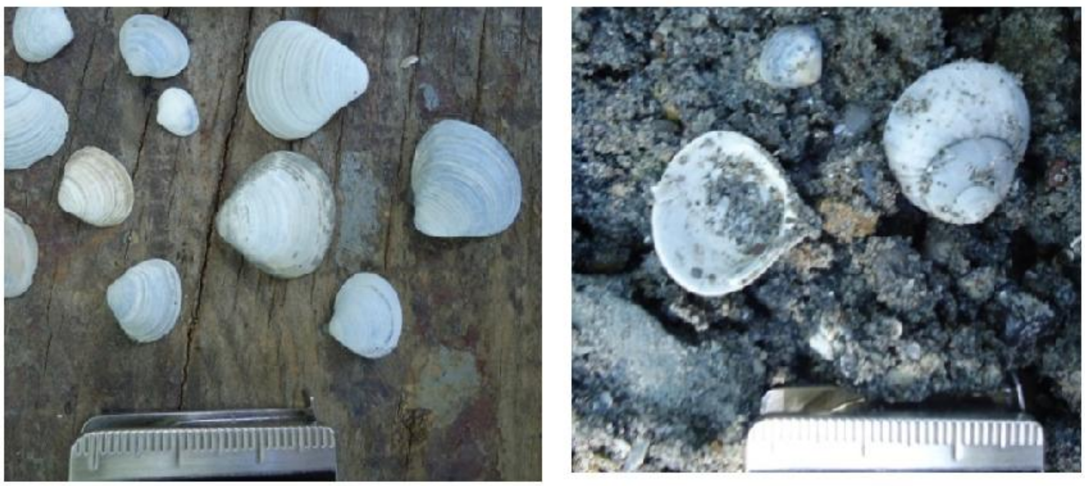
За време глацијације, изнад великих, ледом прекривених континенталних простора формира се дуготрајно поље високог атмосферског притиска, антициклона, а путање влажних океанских ваздушних маса потиснуте су према југу. То је условило, у подручјима која нису била под директним утицајем северних ледених покривача, изразито влажна раздобља – плувијале.

## 6.2. Методе датирања квартарних седимената

**Палеонтолошке методе**

Палеонтолошки остаци - љуштуре мекушаца се идентификују и ако постоји довољно материјала из бушотина или отворених профила квантификује се њихово присуство, и одређује след појаве по дубини, уз паралелну идентификацију фосилних остатака фауне кичмењака, анализу палеоботаничких налаза, праћење сукцесије литолошких јединица, морфолошке облике, узимајући у обзир и тектонске активности, да би се дефинисао стратиграфски и климатски модел квартара. Осим датирања, фосилни остаци флоре и фауне указују и на климатске услове у прошлости на подручју на којем су нађени. Током истраживања слатководне фауне мекушаца из епоха плиоцена и квартара у Европи установљено је да су неке врсте изумрле на великим подручјима током плеистоцена па могу послужити да се одреди минимална старост слоја у коме су пронађени фосилни остаци ових врста, под условом да нису редепоновани, и то их одређује као биостратиграфске индекс фосиле. Током изражених стадијала и глацијала врсте које припадају умереном појасу се повлаче ка екватору и враћају након терминације стадијала и глацијала. Понеке врсте на неком широком простору нестају током стадијала или глацијала и више се не враћају, као што је био случај са врстом слатководних пужева *Viviparus boeckhi* након минделског глацијала, или шкољке *Corbicula fluminalis*, која је нестала на овом подручју након риског глацијала (према алпској геохронолошкој подели). Јувенилна форма *Corbicula fluminalis* регистрована је поново у токовима Саве, Дунава и Велике Мораве пре неколико деценија и до данас је веома распрострањена и честа у речним водама.

О стратиграфској позицили и одређивању геолошке старости слојева на основу присуства љуштура врсте *Corbicula fluminalis* и *Viviparus boeckhi* у својим радовима, говорили су многи аутори (слика 36).



*Corbicula fluminalis* *Viviparus boeckhi* (десно)

**Слика 36.** Индексни фосили у Панонском басену (фото – Драган Миловановић Кене)

О старости ових слојева било је више ставова током времена, развојем нових сазнања и у зависности од тумачења различитих аутора. У свом раду *The stratigraphy of the Serbian Pleistocene Corbicula beds*, Gaudenyi (2014a), даје ретроспективу свих досадашњих тумачења и позиције ових слојева у геолошком стубу на територији Србије. Поред реперног хоризонта средњег плеистоцена са *Corbicula fluminalis*, описани су и слојеви са *Viviparus boechki*, које већина аутора сврстава у старији плеистоцен.

Према наводима ранијих аутора, старији хоризонти полицикличних седимената сачињени су од флувијалних седимената формираних крајем плеистоцена (Ласкарев, 1938, Стевановић, 1977). Исти аутори наводе и дискордантни положај холоценских алувијалних седимената који леже директно преко старијих полицикличних седимената. Алувијални седименти рецентног тока Саве сачињени су од материјала који је настао као продукт последње глацијације, као и дела преталожених старијих плеистоценских седимената. Ови најмлађи слојеви су генерално холоценске старости, док за полициклични циклус плеистоценских седимената, мишљења варирају. Према Ласкареву (1938) и Стевановићу (1977), они су настали током миндел-риског интерглацијала, у средњем плеистоцену. Ракић (1977) наводи да је њихова старост већа и сврстава их у гинц-минделски интерглацијал. Кнежевић и др. (1998) ове слојеве сврстава у старији еоплеистоцен[6], док Ненадић и др. (2016) сврставају ове слојеве у доњи-средњи плеистоцен.

Приликом анализе навода старијих аутора треба узети у обзир спуштање границе квартара и држати се нове номенклатуре (детаљније у поглављу 6.3).

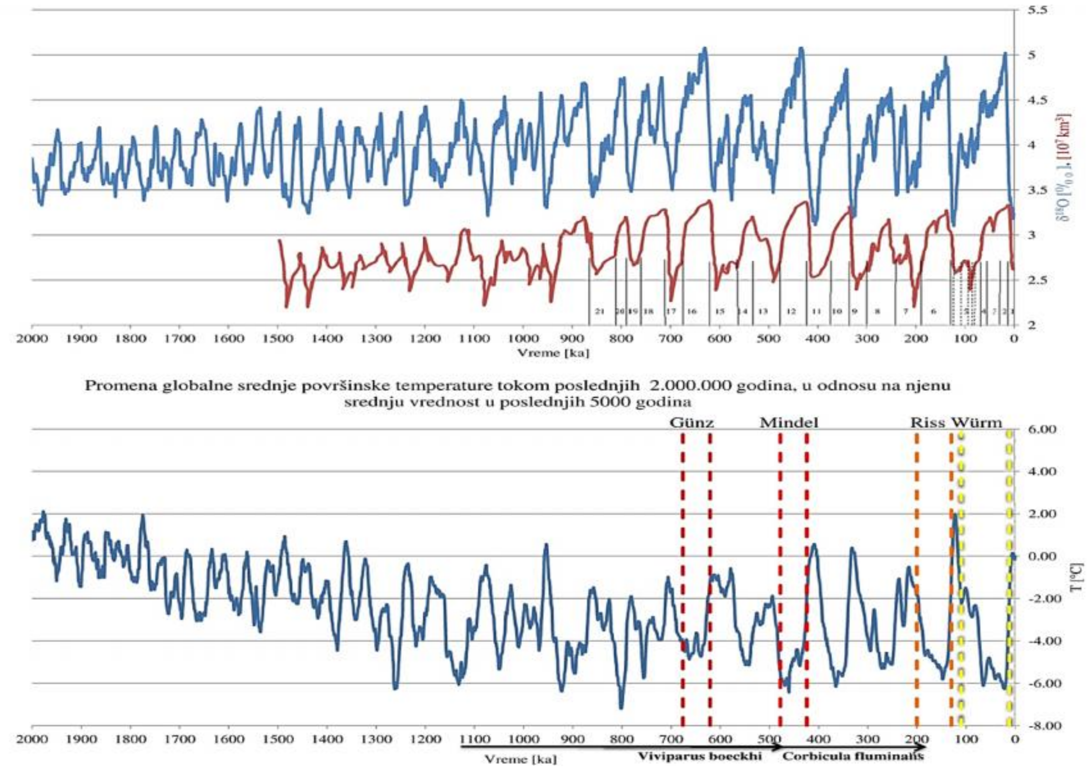
**Изотопске методе (стабилни изотопи) - однос изотопа кисеоника**

Атом кисеоника има “лак” и два “тешка” изотопа. “Лаки” кисеоник-16, има 8 протона и 8 неутрона, и далеко је најзаступљенији изотоп, док “тешког” кисеоника-18, стабилног као и кисеоник-16, са 8 протона и 10 неутрона има много мање. Квантитативни однос између њих у води на глобалном нивоу мења се у зависности од климе. Разлике у овом односу у маринским седиментима, леденим језгрима, или фосилима у односу на конвенцијом одређени стандард (океанска вода између 200 и 500 m дубине), указују на климатске промене у прошлости. Испаравање повећава удео кисеоника-18 јер молекули воде са кисеоником-16 лакше прелазе у гасовиту фазу. Кондензација утиче на просторне промене односа изотопа кисеоника у води, јер се брже кондензују молекули воде са кисеоником-18, па је њиме богатија киша на нижим географским ширинама, док је снег у поларним областима сиромашнији овим изотопом него вода која је првобитно испарила (Riebeek, 2005.)

Током глацијала, вода сиромашнија кисеоником-18 се перманентно у виду леда и снега задржава у поларним леденим плочама, глечерима и пермафросту, па вода у океану постаје све богатија овим изотопом (Jouzel, 1994). На основу поређења са садашњим стањем и стандардом, може се одредити и запремина леда која одговара неком односу изотопа кисеоника у океанској води, која је директно повезана са глобалном температуром мора, копна и атмосфере. Године 1999. показано је да

[6] Термин је преузет из руске литературе, није више у употреби (Gaudenyi et al., 2014b).

варијација изотопског састава кисеоника у седиментима на дну океана заиста следи Миланковићева предвиђања смењивања циклуса.



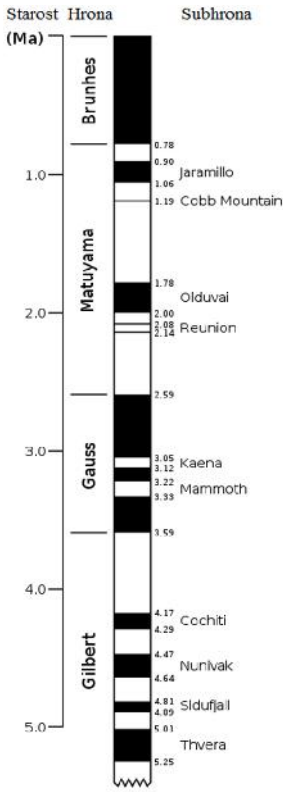

**Слика 37.** Промена садржаја стабилног изотопа кисеоника $^{18}O$, у односу на његову стандардну вредност, у љуштурама морских организама током последњих 2 000 000 година, глобална запремина леда у последњих 1 500 000 година, средња годишња глобална температура и последњих 21 MIS (испрекидане линије раздвајају под стадијуме MIS 5) (према Laskar, 2004)

На основу промена у односу између изотопа кисеоника у морској води, плеистоцен је подељен на маринске изотопске стадијуме (MIS), обележене бројевима од 1 до 103, где 1 одговара Холоцену, а 103 почетку плеистоцена. Непарни бројеви означавају стадијуме са сниженим односом изотопа у односу на стандард (топлија клима), а парни са повишеним (хладнија клима) – Слика 37.

**Изотопске методе (радиоактивни изотопи) – U/ Th датирање, луминисценција услед распада $^{238}U$, $^{235}U$, $^{232}Th$ и $^{40}K$**

*U/Th серија* – природни изотопи уранијума и торијума $^{238}U$, $^{235}U$ и $^{232}Th$ (тј. изотопи који имају довољно велико време полураспада да не нестану из природног окружења) су почетни делови ланаца радиоактивног распада који се завршавају стабилним изотопима олова $^{206}$Pb, $^{207}$Pb и $^{208}$Pb. Због тога што је торијум практично нерастворан у води, за разлику од уранијума, приликом преципитације калцијум карбоната из воде (абиотички или биотички) у његов састав улази само уранијум, па теоретски сав торијум који се региструје у карбонатима потиче од распада уранијума који се копреципитирао са калцијум карбонатом. $^{232}$Th који се налази у глиновитим и прашинастим честицама које су приликом дијагенезе, нпр. шљунка у конгломерат, инкорпориране у карбонатну испуну, може да утичу на резултате испитивања, па се често однос $^{238}$U/$^{232}$Th у блиским прашинастим и глиновитим седиментима одређује пре анализе да би се могле унети корекције у прорачун којим се одређује старост калцијум карбоната серијом чији је почетни члан $^{238}$U. Следећа два члана у овом низу су $^{234}$U и $^{230}$Th, чија су времена полураспада 245.000 и 76.000 година. Распадом $^{238}$U се ствара све више продуката, до тренутка кад интензитет њиховог распада достигне интензитет њиховог стварања распадом претходног члана низа. Еквилибријум се успоставља приближно након шест времена полураспада. Због тога се као горња граница старости која се може одредити помоћу $^{230}$Th може узети време од око 500.000 година.

*Луминисценција услед распада $^{238}$U, $^{235}$U, $^{232}$Th и $^{40}$K* – зрачење које настаје услед радиоактивног распада поменутих изотопа доводи до избацивања електрона из орбита атома у минералима као што су кварц и ортоклас, при чему се они задржавају у метастабилном стању у деловима кристалне решетке. За сваки одређени садржај ових радиоактивних елемената у односу на неки од ових минерала постоји одређено време након кога се ти електрони више не могу акумулирати, тј. одређена доза зрачења (која је једнака продукту тог времена и интензитета зрачења, које је функција садржаја радиоактивних елемената). Топлота или светлост могу довести до избацивања поменутих електрона из метастабилног стања при чему долази до емитовања фотона – стимулисане луминисценције. Побуђивањем кварца и ортокласа видљивом светлошћу (плавом или зеленом за оптички стимулисану луминисценцију – OSL; инфрацрвеном за инфрацрвеном светлошћу стимулисану луминисценцију – ICSL) или топлотом (топлотом стимулисана луминисценција TSL) остварује се луминисценција, и укупна тако израчена енергија одговара примљеној дози. Време које је било потребно да се та енергија акумулира се израчунава из садржаја радиоактивних елемената помоћу ког се рачунски добија интензитет зрачења, или из директно измереног интензитета зрачења. Приликом транспорта водом, ветром или дејством гравитације, седимент се излаже сунчевом зрачењу приликом чега долази до луминисценције и ресетовања минерала. За кварц је довољно око два минута за потпуно ресетовање, док је за ортоклас потребно неколико сати. Непотпуно ресетовање даје превелике старости.

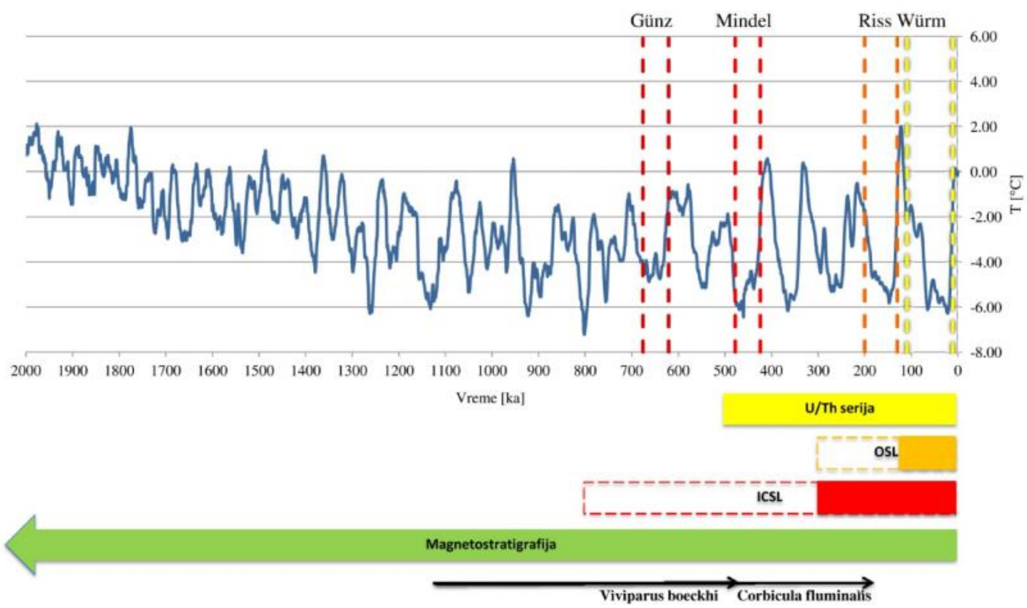



Дужина пенетрације алфа, бета и гама зрачења у седименту је приближно 10 до 20 μm, 2 mm, и 30 cm, респективно, па према томе минералне нехомогености могу да утичу на тачност одређивања интензитета радијације ако се налазе унутар радијуса од 30 цм од тачке узорковања. Ситнозрне минералне честице (4-11 μm) се обично користе за анализу због тога што су целом запремином изложене свим формама радијације. Друга често коришћена је величине 100 до 150 μm, при чему се спољна зона изложена утицају алфа зрачења, дебљине око 20 μm, одстрањује растварањем у флуороводоничној киселини. Највећи део дозрачене дозе за крупније зрно кварца је од спољашњег бета и гама зрачења, док ортокласа прима значајну унутрашњу дозу од радиоактивног изотопа калијума $^{40}$K. Израчунати интензитет зрачења када се ради о спољашњем зрачењу се коригује за износ апсорпције у води ако је седимент био водозасићен све време од депоновања, а ако није, треба проценити колики део тог периода је био водозасићен. OSL-ом одређена старост кварца може ићи до 100.000 – 350.000 година, док ICSL-ом одређена старост ортокласа може ићи и до 800.000 година (слика 39). Велике старости могу бити одређене у случају да је радиоактивно зрачење малог интензитета.

**Палеомагнетне методе - магнетизација седимената**

Депозициона реманентна магнетизација је појава да се магнетични минерали који се таложе као ситне честице (глина и прашина) у мирној средини оријентишу према тренутном магнетном пољу. Мерењем одређеног смера магнетног поља према којем су минерали оријентисани може се одредити старост седимента (Слика 38). У комбинацији са одређивањем односа између изотопа кисеоника у морској води одређивањем односа у калцијум карбонату из љуштура морских организама депонованих на морском дну у ситнозрним, споро таложеним седиментима ова метода је дала старост сваког од маринских изотопских стадијума. Као нормалан смер магнетног поља узима се садашњи смер.

**Слика 38.** Сукцесија геомагнетног поларитета током последњих 5.250.000 година




**Слика 39.** Промена глобалне средње површинске температуре током последњих 2.000.000 година, у односу на њену средњу вредност у последњих 5000 година, и домашај приказаних метода датирања

## Амино ацидно рецемизациона (ААР) геохронологија

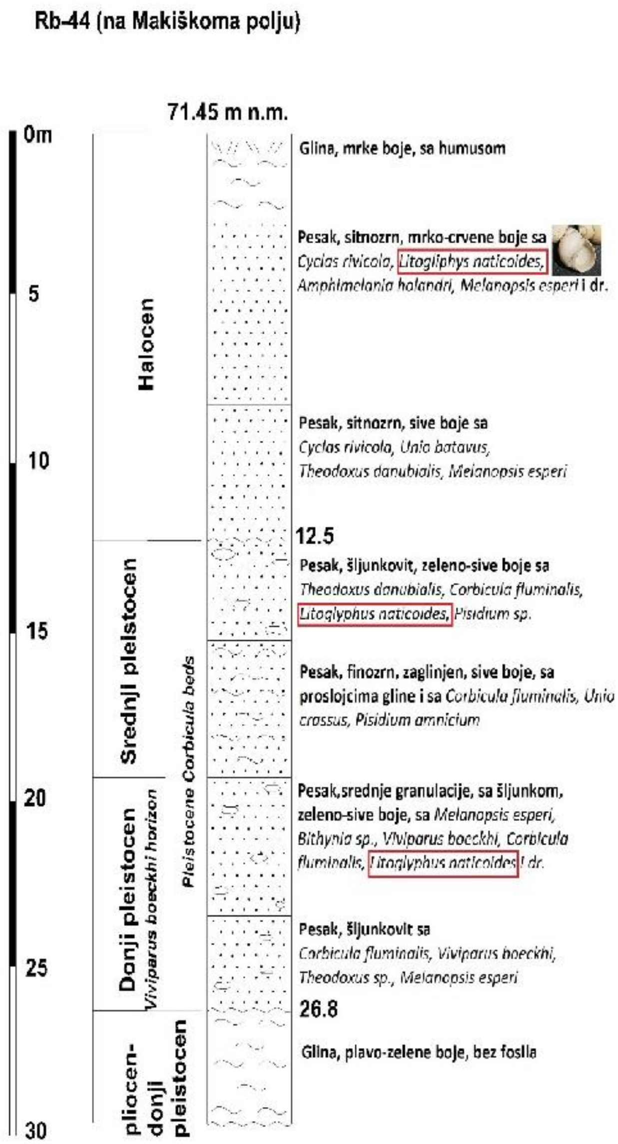
Ова метода подразумева датирање помоћу аминокиселина у фосилним остатцима. Аминокиселине у живим организмима су готово искључиво Л – оријентације, након смрти и распада органске материје почињу да се појављују и аминокиселине Д – оријентације и њихов удео расте све док се не изједначи са уделом аминокиселина Л – оријентације, када се достиже стационарно стање.

Брзина овог процеса који се назива рацемизација је различита за различите врсте организама. Најпрецизније датирање се може остварити у случају да врста којој припада фосил још постоји на истом простору и да се током бушења наиђе на тај фосил у холоценским и плеистоценским седиментима.

Тада се фосил из холоцена може датирати методом $C^{14}$ и измерити однос тј до ког је стадијума дошао процес рацемизације и на тај начин одредити кинетика процеса рацемизације за ту врсту на датом терену. Та кинетика се онда примењује на датирање фосила из плеистоцена на основу измереног односа између Л и Д аминокиселине и одређене кинетике тог процеса.

Приликом картирања језгра на београдском изворишту регистрован је фосил *Lithoglyphus naticoides*, који је пронађен у слојевима холоценске и плеистоценске старости (слика 40). Датирање седимената на основу аминокиселина у фосилним остацима организма *Lithoglyphus naticoides* у оквиру досадашњих истраживања није вршено, али је разматрано као могућност при даљим анализама.

Амино ацидно рецемизациона геохронологија има успешну примену на фосилне гастоподне шкољке из разних делова света (Oches and McCoy, 2001). Ова метода посебно се добро показала приликом датирања и корелације лесних седимената широм Европе. Интензивно је примењивана и приликом корелације лесних секвенци у Војводини (Марковић ет ал. 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2011), што је омогућило значајно бољу стратификацију ових слојева.

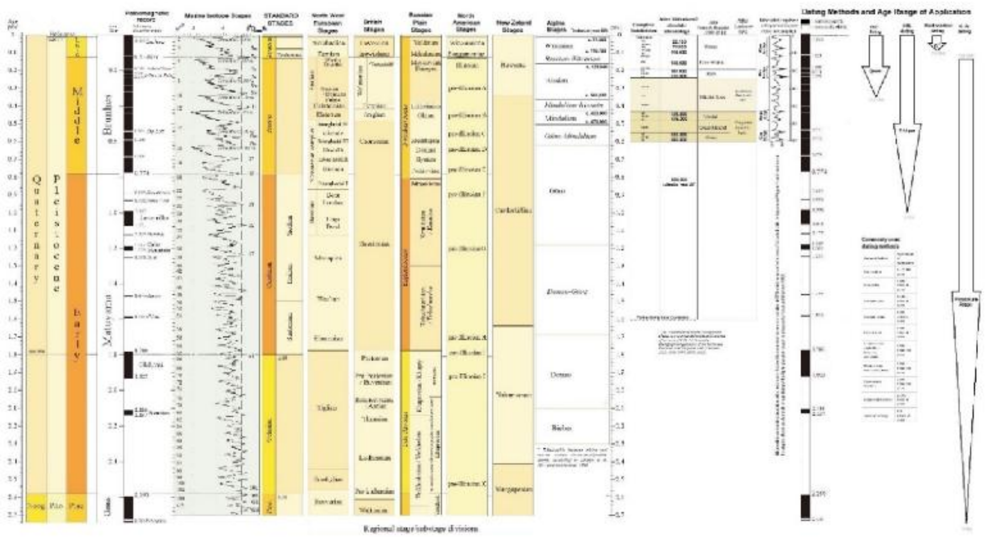



**Слика 40.** Карактеристични стуб квартара на локацији Rb-44, на београдском изворишту (реинтерпретиран, према В. Ласкареву)

### 6.3. Нова глобална хроностратиграфска подела и номенклатура

Термини квартар и плеистоцен користе се преко 150 година у међународној номенклатури (Bourdier, 1957; Schneer, 1969). Током прошлости њиховог положаја на геолошкој временској скали више пута је мењан (Gaudenyi, 2012). Јуна 2009. Међународна унија геолошких наука (International Union of Geological Sciences, IUGS) формално је ратификовала позиције квартара и плеистоцена и поставила доњу границу на 2,588 милиона година (http://www.stratigraphy.org/upload/IUGS Ratification_Q & Pleistocene.pdf; Gibbard *et al.*, 2009).

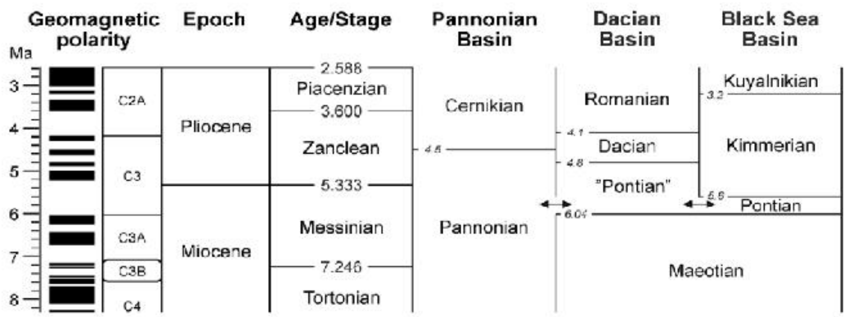
Још од 1948. године постоји тежња да се званична граница плеистоцена поклопи са првим доказима о појави хладних фаза (глацијала). На бази овог става граница је постављена на 1,8 милиона година. Каснијим истраживањима утврђено је да су се значајна захлађења дешавала много раније, пре око 2,55 милиона година (Cita, 2008; 2010), као и још старије хладне фазе током плиоцена.



**Слика 41.** Глобална хроностратиграфска скала за последњих 2,7 милиона година (према Cohen K.M. & Gibbard, P. 2011), корелисана са упрошћеном Миланковићевом кривом (увећани сегмент на слици 57.) и методе примењиве при датирању квартарних седимената (увећани сегмент на слици 127., поглавље 12.5.)

Тежња да се граница плиоцен/квартар спусти и поклопи са периодом првог великог захлађења постоји још од када је граница постављена на 1,8 милиона година (Pillans and Naish, 2004; Gibbard et al., 2005; Bowen & Gibbard, 2007; Cita & Pillans, 2010), као и да се на тај начин поклопи са почетком Matujame, палеомагнетне епохе за коју је карактеристичан реверсни поларитет (e.g. Partridge, 1997; Suc et al., 1997).

Изотопске анализе дубокоморских седимената океанске коре указују на појаву 52 хладна-глацијална периода, између којих су се јављале фазе топлије климе, које се називају интерглацијалима, у последњих 2,6 милиона година. За разлику од дубокоморских седимената, континентални докази о седиментацији током ових периода врло су непотпуни (услед хијатуса у таложењу или накнадне ерозије) и регионално врло различити. Из тог разлога копнени седименти морају се корелисати са океанским доказима о смени топлих и хладних фаза у циљу глобалне корелације копнених седимената. Граница неоген/квартар одговара почетку морског изотопског стадијума (Marine Isotope Stage - MIS), 103 датираном на 2,588 милиона година.

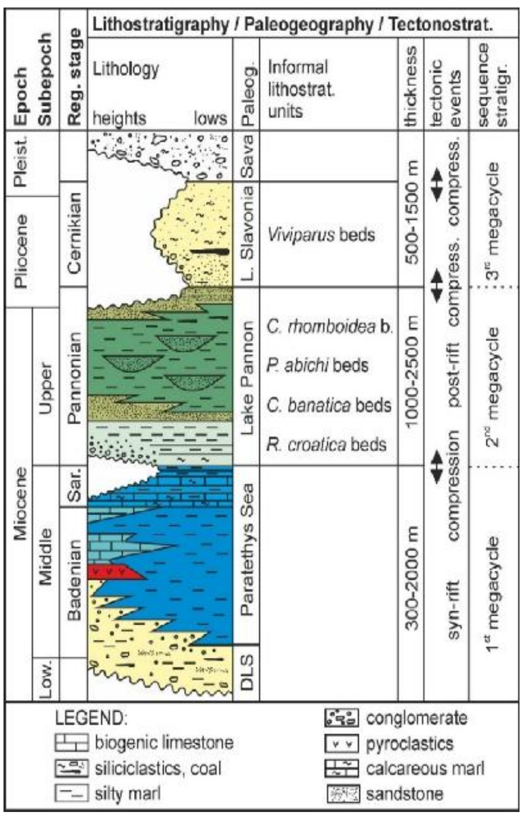



**Слика 42.** Хроностратиграфска корелациона шема касног неогена - стандардна хроностратиграфска подела (Hilgen, 2012), регионалне фазе подручја Паратетиса (Neubauer, 2015), *Cernikian* је назив за нову фазу уведену за Панонски басен (Мандић, 2015)

Корелисање хроностратиграфске поделе за различите копнене области дате су у оквиру Глобалне хроностратиграфске скале, и то за Британију, Нови Зеланд, Јужну Америку, Русију и југозападну Европу (слика 41). Ове регионалне поделе засноване су на реконструкцији различитих дисконтинуалних седимената (језерских, плиткоморских или копнених) и дате су упоредно са MIS скалом и скалом палеомагнетних епоха (са оријентацијом магнетног поља). Утврђене границе на скали представљене су пуном линијом, док су поједине фазе представљене без повучене међусобне границе. Потенцијални геолошки догађаји или појаве, могли би бити откривени при наредним истраживањима, па би ове границе могле бити утврђене у будућности.

Овде треба напоменути да је током времена долазило и до извесних промена у самој номенклатури геолошких јединица и на регионалном нивоу. Тако се тортонски кат миоцена, сада назива баден. Назив тортон води порекло од италијанске речи и назива покрајине у Италији и овај назив је и даље у употреби за подручје Медитерана. Баденски кат добио је назив по граду и бањи у југозападној Немачкој (Баден-Баден) и користи се за седиментациону област централног Паратетиса, означава старији средњи миоцен. Понтски кат који је данас млађи горњи миоцен, некада је представљао плиоцен. Ово је врло битно из разлога што су у старијој литератури, па чак и у тумачу ОГК, геолошке јединице дефинисане и описане под старом поделом, што приликом интерпретације може направити проблем.

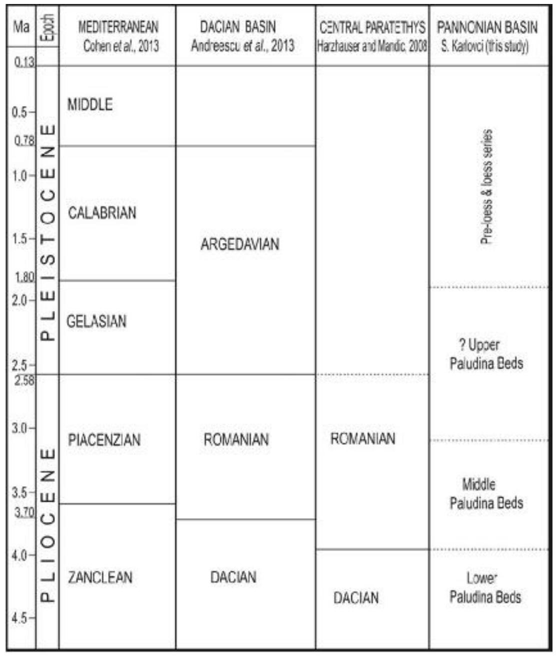
Хрватски научници увели су још ужу поделу за седиментациону област слива Саве. Они у потпуности избацују употребу понтског ката и уводе нови кат под називом – Cernikian (слика 42 и 43). У смислу регионалне стратиграфске номенклатуре, комплетан други велики седиментациони циклус Савског рова одговара панонској фази (Слика 43). Његова доња граница одговара формирању језера Панон, што се подудара са великим изумирањем сарматских морских врста, познато као сарматско-панонско изумирање (Harhauser, 2007). Његова горња граница је дефинисана формирањем језера  Славоније (Палудинског језера).



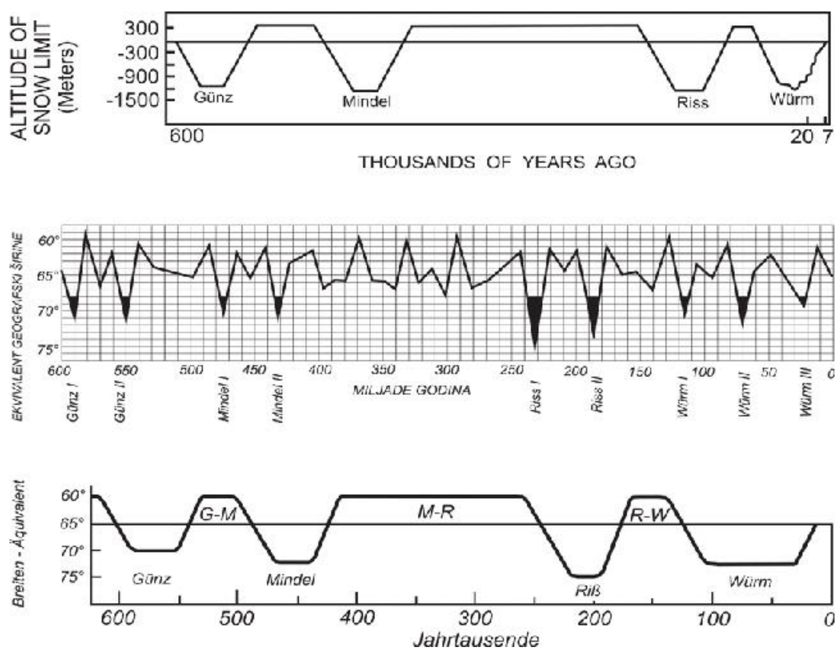

**Слика 43.** Ревидована регионална стратиграфска шема за подручје слива Саве (Мандић, 2015, модификовано према Сафтић, 2003).

Према оваквој подели панон обухвата и слојеве Панонског језера и понтске слојеве слаткастог језера, док би нови кат обухватао палудинске слојеве слатког језера, који су на територији Славоније таложени током читавог плиоцена. Називају се *Viviparus beds* због рода вивипарида, слатководних пужева, чије је развиће и еволуција детаљно праћено и изучено на простору палудинског језера.

У нашој литератури у употреби је термин слојеви са *Viviparus boeckhy*, којим су представљени старији речни полициклични слојеви који представљају најстарију речну фазу. Слојеви слатководног палудинског језера регистровани су на територији Србије на северном ободу Фрушке Горе на локацији Сремских Карловаца (лежиште опекарске глине). Овом приликом издвојени су доње, средње и горње палудински слојеви (слика 44).



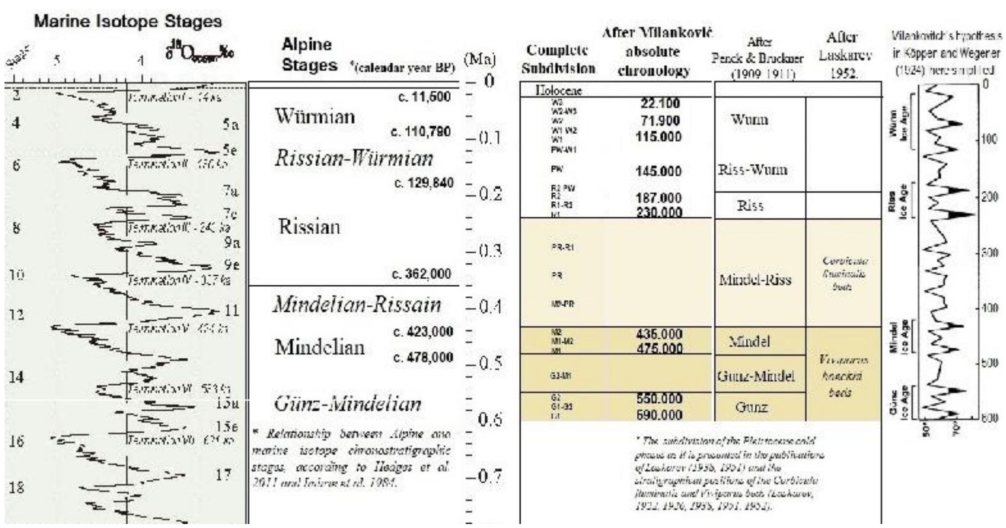

**Слика 44**. Хроностратиграфска и биостратиграфска корелација плиоцена и плеистоцена у медитеранском региону, дакијском басену, Централном Паратетису и на подручјуу Панонског басена на локалитету Сремски Карловци (Рундић и др., 2016).




**Слика 45.** Прва слика: Пенк, Брукнерова крива која приказује климу током плеистоцена (Penck and Brückner, 1909). Слика у средини: Миланковићева крива осунчаности за 65° јужне географске ширине (Köppen, 1924), Доња слика: Део квартарних глацијација и интерглацијалних периода (Penck and Brückner, 1909)

Употреба термина којима се означавају хладне и топле фазе, такође се поставља као питање. Употреба термина глацијал и интерглацијал је веома раширена, међутим они су неадекватни за области које нису биле захваћене глацијацијом. Природа ових јединица указује на њихову регионалну употребу (Suggate, 1974; Suggate & West, 1969; West, 1977). Стога се препоручује употреба термина хладни (cold stage) и топли, односно умерени стадијум (wapм stage/temperate stage).

Таква је и Пенк-Брикнерова стратиграфска шема плеистоцена на простору Алпа (слика 45). Она је деценијама представљала основни хроностратиграфски модел за скоро читав континент, а заснивала се на проучавању моренског материјала у долинама северне подгорине Алпа. Према томе термини бибер, дунав, гинц, миндел, рис и вирм могу се користити искључиво за описивање и корелацију тераса или морена на простору Алпа (Kukla, 1977). Пенк-Брикнерове хроностратиграфске јединице, могу се корелисати са морским изотопским стадијумима (MIS), према савременој климатостратиграфској подели (слика 46), али их не би требало користити у својству геохронолошких или хроностратиграфских катова.




**Слика 46.** Морски изотопски стадијуми (MIS), дефинисани на основу опажених варијација изотопа кисеоника у дубокоморским седиментима, корелација са алпском поделом (према Hughes 2011), Модел плеистоцена према Ласкареву са позицијом хоризоната са индекс фосилима и Миланковићева хипотеза[7] (у Köppen and Wegener, 1924, према Penck and Brűckner 1909), поједностављена.

[7] Миланковић је користио орбиталне калкулације астронома Стоквела (Stockwell) да реконструише летњу радијацију на 65ºN, коју је представио у смислу латитудиналних помака (географске ширине).

## 7. КВАРТАРНЕ ТВОРЕВИНЕ И ЛЕДНИЧКЕ ПОЈАВЕ У СЛИВУ САВЕ

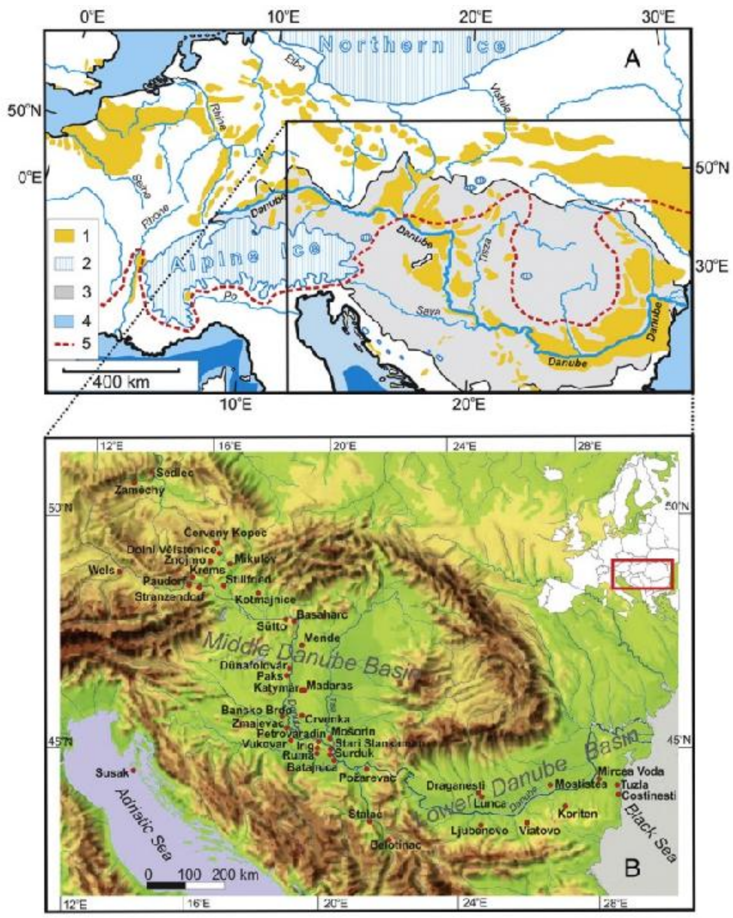
Главни и глобални узрок глацијације у плеистоцену била је клима ове епохе. Са друге стране на локално простирање ледника на простору Динарида, Црне Горе и Босне, поред климе, значајно је утицала и тектоника.

Према истраживањима која је вршио 1906. године, Цвијић је забележио следеће: “Изгледа да многе балканске планине не би прешле границу вечитог снега, да није било тектонских покрета непосредно пред глацијалном епохом. За време ових младих издизања неке од планина прешле су снежну границу не само својим највишим врховима, него понекад и знатним делом својих масива.” У пределу Метохијске котлине забележио је спуштање од 700-800 m плиоценске старости, а потом је дно Метохије изнова просечено младим пост-плиоценим раседима. Динарски систем био је изложен интензивнијој глацијацији него родопски масив и ово је најзначајнија глацијација на Балканском полуострву, нарочито у делу између Неретве и Дрима, скоро свака планина која је достигла висину од 1300 m показује трагове глацијације. Планине исте висине имале су утолико више ледника уколико су биле ближе Јадранском мору (због веће количине атмосферског талога). Трагови великих ледника констатовани су на приморским планинама Оријену, Ловћену и Кунори, али су најзначајнији ледници на Полуострву констатовани у највишим динарским венцима, који се пружају од Сарајева до Пећи, као што су Проклетије, Комови и Дурмитор, чији највиши врхови прелазе 2500 m; затим Маглич, Волујак, Височица, Трескавица, Чврсница, Бјелашница а које прелазе 2000 m висине (Цвијић, 1900; 1903; 1917).

Кулминација изразитог климатског тренда аридизације и захлађења, која се одвијала током плеистоцена у југоисточном делу Панонског басена, објашњена је и потврђена на основу изучавања лесних творевина (Марковић, 2004).

Генеза геолошких творевина и промене палеоеколошког окружења током последњих 2,6 милиона година, указују на постојање и смену 5 најзначајнијих палеогеографских етапа - језерске (старији плеистоцен), језерско-речне (доњи плеистоцен), језерско-барске (средњи плеистоцен), старије речне (горњи плеистоцен) и млађе речне (холоцен) (Лукић, 2015).

Оваква сукцесија догађаја и генезе добро кореспондира и са подацима добијеним на основу анализе полицикличних алувијалних седимената на овом терену. За потпуно разумевање услова генезе у овом поглављу дати су резултати изучавања ледничких појава на простору слива Саве и ширег подручја Динарских Алпа.




**Слика 47.** А) Дистрибуција лесних седимената на територији Европе, са реконструкцијом простирања ледника и морских нивоа током последње глацијације и зоном пермафроста (модификовано према, Moine et al. (2002), Rousseau et al. (2001), Марковић и др. (2007), Vandenberghe (2004); 1) лес, 2) простирање ледника, 3) слив Дунава, 4) ниво мора, 5) граница зоне пермафроста, јужно од Алпа; Б) топографска карта са локацијама главних лесних површи, средње плеистоценске старости у сливу Дунава (Марковић и др, 2015)

У случају централног Балкана медитерански климатски утицај знатно дуже се задржао него што је то утврђено код ЛПС у Војводини (слика 47). Код лесних творевина у сливу Мораве, постепено смањење учешћа фракције глине и црвена боја палеоземљишта S3 (MIS 9) и S2 (MIS 7) јасно указују на смањење медитеранског климатског утицаја код лесног ПЦС (Obreht et al., 2016). Овај тренд није уочљив код профила Батајница, Рума, Стари Сланкамен и Мошорин (Marković et al., 2012, 2015), јер престанак доминације медитеранског палеоклиматског утицаја у Војводини престаје још пре око 520 хиљада година. Према томе, медитерански климатски утицај на простору Војводине је престао знатно раније. Buggle et al. (2013) су предложили да је разлог слабљења медитеранског, а јачање континенталног климатског утицаја на истраживаном подручју одговорно рецентно издизање Алпа, Динарида и Карпата.

### 7.1. Историјат и резултати неких ранијих испитивања ледника

Резултате истраживања старог глацијалног рељефа Балканског полуострва Цвијић је објавио у неколико својих радова. Први рад је објавио 1900. године, под насловом „Ледено доба на Балканском полуострву“. У њему је Цвијић изнео резултате својих дотадашњих истраживања старог глацијалног рељефа на планинама родопског система (Рила, Перистер, Шар планина) и динарског система (Трескавица, Прењ, Чврсница, Волујак, Маглич, Биоч и Дурмитор). Цвијић је написао овај рад да би истакао свој приоритет у откривању старог глацијалног рељефа Балканског полуострва. Наиме, после епохалног открића да на планини Рили и на планинама Босне, Херцеговине и Црне Горе постоје трагови старог глацијалног рељефа, откривени захваљујући Цвијићевим пионирским истраживањима од 1896. до 1899. године, бројни страни научници су похрлили да истражују стари глацијални рељеф на високим планинама Балканског полуострва (табела 3), ослањајући се на Цвијићева открића. (Др Драгутин Петровић, непознат извор текста).

**Табла 3.** Историјат и обим истраживања глацијалних појава на Балкану (Hughes, 2016)

| Location | Earliest known publication on glaciation | Some of the first publications related to the dating of glaciation | Dating methods applied (see text for sources) | Current state of research using the hierarchy of Hughes *et al.* (2006*a*) |
|---|---|---|---|---|
| P Slovenia | Brückner (1890) | Bavec *et al.* (2004) | OSL | Mapping/advanced |
| Croatia | Penck (1900) | Marjanac *et al.* (2001), Marjanac (2012) | $^{14}C$, uranium series | Advanced |
| S Bosnia | Cvijić (1899, 1900, 1917) | – | | Mapping |
| P Montenegro | Cvijić (1899, 1900, 1917) | Hughes *et al.* (2010) | Uranium series | Advanced |
| Albania | Almagià (1918) | – | | Pioneer/mapping |
| P Mainland Greece | Cvijić (1900, 1917) | Woodward *et al.* (2004) | Uranium series, | Advanced |

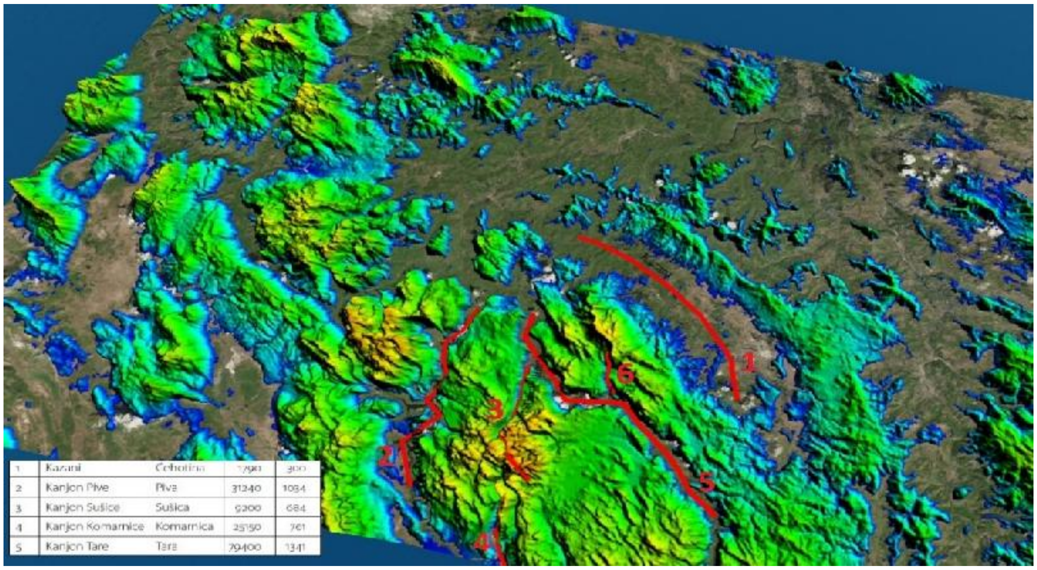
$^{14}C$, radiocarbon dating; OSL, optically stimulated luminescence; TL, thermoluminescence.

**Табела 4.** Велики кањони у Црној гори (Ђуровић 2007)

| Nº | Name of the canyon | River | Length (m) | Depth (m) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Kazani | Cehotina | 1790 | 300 |
| 2 | Kanjon Pive | Piva | 31240 | 1034 |
| 3 | Kanjon Sušice | Sušica | 9200 | 684 |
| 4 | Kanjon Komarnice | Komarnica | 25150 | 761 |
| 5 | Kanjon Tare | Tara | 79400 | 1341 |
| 6 | Kanjon Drage | Draga | 5905 | 855 |
| 7 | Kanjon Lima | Lim | 3005 | 517 |
| 8 | Đalovića klisura | Bistrica | 8520 | 627 |
| 9 | Kanjon Pridvarice | Pridvarica | 3710 | 300 |
| 10 | Kanjon Bukovice | Bukovica | 3050 | 535 |
| 11 | Kanjon Mrtvice | Mrtvica | 6667 | 1247 |
| 12 | Kanjon Morače | Morača | 31676 | 1168 |
| 13 | Kanjon Trebješnice | Trebješnica | 2580 | 320 |
| 14 | Kanjon Kruševačkog potoka | Kruševački potok | 4400 | 1008 |
| 15 | Kanjon Male Rijeke | Mala Rijeka | 11391 | 814 |
| 16 | Žljeb | Žljeb | 1680 | 310 |
| 17 | Kanjon Radmanske rijeke | Radmanska rijeka | 1480 | 200 |
| 18 | Kanjon Ibra | Ibar | 7100 | 151 |
| 19 | Kanjon Škurde | Škurda | 840 | 907 |
| 20 | Kanjon Cijevne | Cijevna | 12400 | 903 |
| 21 | Brcki kanjin | Brcka rijeka | 1450 | 516 |
| 22 | Kanjon Rikavac | Rikavac | 370 | 130 |
| 23 | Kanjon Vruće rijeke | Vruća rijeka | 3260 | 970 |
| 24 | Kanjon Starobarske rijeke | Starobarska rijeka | 1530 | 344 |
| 25 | Kanjon Grlje | Grlja | 420 | 120 |

Према Цвијићу на Проклетијама и Дурмитору били су развијени највећи ледници на Балканском полуострву током плеистоцена.

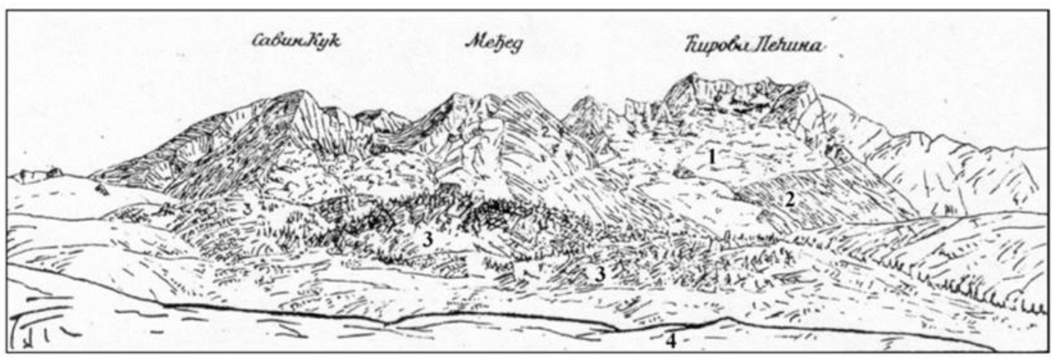
Према овом аутору, североисточни део Црне Горе представљао је област најинтензивније глацијације на Балканском полуострву, која је обухватала површину од око 3000 km² поштедевши само неке изоловане висове. Она је ограничена уским кањонским долинама Мораче и Таре и Никшићким пољем. То је површ са средњом висином од 1400 до 1600 m која се карактерише крашким удубљењима без иједне нормалне долине. Са ове површи уздизали су се планински масиви, који су били центри старих глацијација. Најистакнутији су: Дурмитор, који прелази висину од 2500 m, Сињајевина, Журим и Морачко градиште који се уздижу до 2300 m. На њима су се развила два главна ледничка типа: крашки и пијемонтски ледници. Једни су се кретали низом крашких увала, који се пружају обично од северо-запада ка југо-истоку, динарским правцем. Испунивши једну од ових увала они су прелазили пречагу која ју је одвајала од друге и силазила у ову и тако настављали своје кретање. За време повлачења нестајале су прво партије ледника које су покривале пречаге између увала и ледници су се разбијали на читаву серију увалских ледника, од којих су најудаљенији од центра глацијације образовали масе „мртвог“ леда. Код пијемонтских ледника спуштале су се ледничке струје са површи и сливале у један пространи ледени покривач. Они су испуњавали сва крашка удубљења на површини и покривали пречаге, изузимајући највише брегове који су се дизали изнад ледничке површине као нунатци. Жљебовима и јаругама спуштали су се ови језици према напред поменутим кањонским долинама (слика 48, табела 4).




**Слика 48.** Положај великих кањона (Ђуровић, 2007) на слици су приказани кањон Таре (5) и кањон Пиве (2) на месту где се сустичу и где настаје Дрина. На мапи је истакнут рељеф изнад 1000 m n.m. како би се истакле области одакле је материјал током хладних фаза гравитирао из правца Дурмитора и бујичним токовима пра-тока Дрине односхен у периодима отапања ледника

Силазећи низ стрме стране ових долина, ледници су дубили кратке глацијалне валове који се утискују између површи и кањонских долина. Ови висећи валови прекривени су моренама. Ипак чеоних морена нема. Достигавши токове река, врло брзих и богатих водом, леднички језици, заједно са моренама, били су односхени и уништавани. Али су моренски блокови и шљунак у знатној мери допринели формирању алувијалних седимената и шљунковитих тераса, у басенима и проширењима долина, где се успоравају речни токови. Најзначајнији је био пиједмонтски ледник Језара на истоку од Дурмитора (слика 49). За успостављање хронологије глацијација на Дурмитору, интересантно је размотрити положај граница равнотежне висине простирања ледника[8] у току различитих глацијалних фаза.

[8] Положај граница равнотежне висине простирања ледника (Equilibrium line altitude - ELA on glaciers) представља просечну надморску висину зоне у којој су отапање и акумулација у равнотежи на годишњем нивоу. Ова граница је врло ретко униформна (на истој надморској висини) на целој површини простирања ледника, услед локалних топографских и климатских варијација које утичу на отапање и таложење леда.




**Слика 49.** – Дурмитор у подножју врха Пруташ, горе (www.dinarskogorje.com), Дурмитор са Межде северно од Жабљака, доле (Цвијић 1900) 1. велики фирнски басен, 2. стрмо издигнута преглацијална површ у којој су усечени велики фирнски басени и циркови, 3. бедеми морена првог стадијума млађе глацијације, 4. морене вирмске глацијације.

Према Ђуровићу (2009) током најстарије глацијалне фазе граница ледника на Дурмитору кретала се од 1600 m n.m. у јужном делу Дурмитора и око Црног језера, на источном делу Дурмитора спуштала се до 1400 m n.m. и на северу око Комарнице, док је на јужном делу око кањона Сушице била на око 1500 m n.m. Просечна висина простирања ледника најстарије глацијалне фазе на Дурмитору била је на 1540 m n.m., према Ђуровићу.

**Табела 5.** Глацијалне фазе на Дурмитору (Ђуровић, 2009)

| Најстарија глацијална фаза | Млађа глацијална фаза | Фаза глацијације у цирковима | Остаци глацијације |
|---|---|---|---|
| 67 $km^2$ | 44 $km^2$ | 3,9 $km^2$ | 0,05 $km^2$ |
| 54% укупне површине | 36% укупне површине | 3,2% укупне површине | 0,04% површ. |

Током млађе глацијалне фазе просечна граница надморске висне простирања ледника била је на око 1880 m n.m., а кретала се од 1700 m n.m. до 2000 m n.m.. За фазу глацијације у цирковима просечна граница простирања ледника била је на

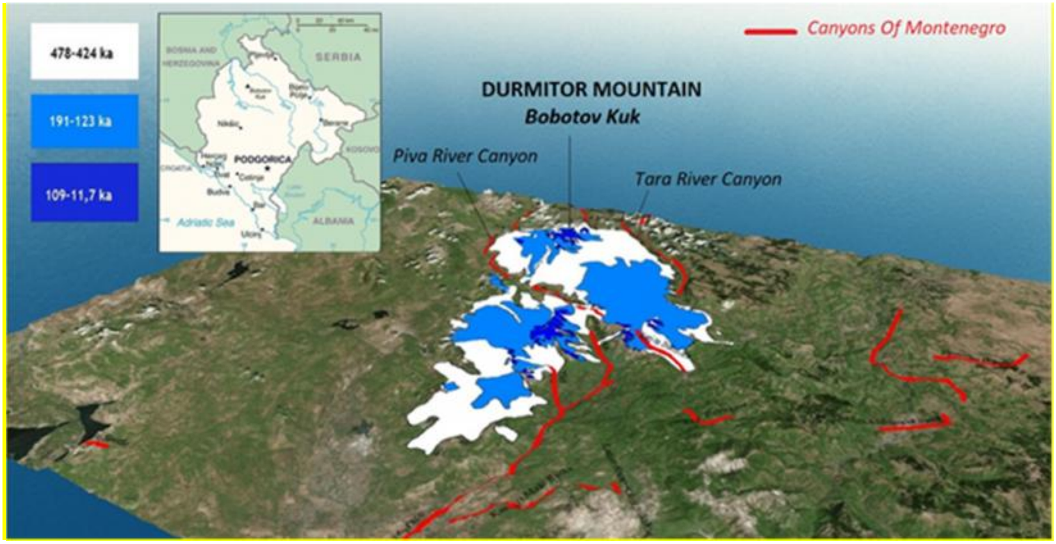
2020 m n.m., а кретала се од 1950 m n.m. на јужним деловима Дурмитора, 2010 m n.m. на источном делу (Дебели намет, Савин кук, Корито), до 2080 m n.m. на северу (Сурутка, Вјетрена брда, Мали ломни до, Велики ломни до, Зелени вир).

Током најхладније фазе под ледницима се налазило око 54% укупне површине Дурмитора, док је током слабије фазе заглечеравања било око 36% (табела 5). Фаза глацијације у цирковима наступила је после две велике хладне фазе. Током ове фазе ледници су се задржали на дну циркова формираних током претходних хладних фаза, продужетци ових ледника пружали су се на појединим деловима зависно од локалних услова. Реликти ове фазе глацијације очувани су и до данас у виду једног јединог преосталог ледника – Дебели намет.

Насупрот Ђуровићу, на основу новијих истраживања морена и глацијалних облика на високим планинама Балканског полуострва, Hughes, Woodward и Adamson (Hughes, 2004; 2007; 2008; Hughes et al., 2006; 2010; 2011; 2012; 2016 и Adamson et al. 2015) сматрају да су много веће површине високих планина биле под ледницима (слика 50), а границе спуштања ледника биле значајно ниже у односу на резултате публиковане у радовима Предрага Ђуровића. Током петогодишњег истраживања глацијалних облика (2005 - 2010) на Балканском полуострву ови британски истраживачи потврдили су многе тврдње из радова њихових претходника у погледу идентификованих граница простирања ледника у плеистоцену. Овде подразумевамо наводе из радова Цвијића (1914, 1917) и Liedtke (1962).


**Слика 50.** Области простирања ледника током плеистоценских глацијација, на планинама Грчке, Балкана, Италије и Корзике (Hughes, 2006)

Са друге стране аутори који у својим радовима наводе знатно мања подручја простирања ледника на Дурмитору (као што су Маровић и Марковић, 1972; Менковић и др., 2004; Ђуровић, 2009) и у другим деловима Црне Горе (Миливојевић и др., 2008) углавном су истраживали глацијалне форме рељефа у унутрашњости планинских масива, које су боље очуване и уочљивије. Докази о интензивнијем заглечеравању и спуштању граница ледника до нижих надморских висина потврђени су на планинама у приморском појасу Црне Горе (Орјену и Ловћену), а резултати ових истраживања су публиковани у радовима Hughes et al., (2010) и Stepišnik & Žebre, (2011). Ови ледници иако су гравитирали ка Јадранском мору интересантни су јер носе доказе о много већим површинама планинских масива захваћеним ледницима и ледничком ерозијом.




**Слика 51.** Положај великих кањона у Динаридима и Проклетијама, области Црне Горе (према – Ђуровић, 2007), Простирање ледника последње три глацијалне фазе (према - Hughes, Woodward) дигитализовано и геореференцирана шема простирања граница ледника (Zarić et al., accepted for publication in Stratigraphy and Geological Correlation in issue 3, 2020)

Са једне стране Ђуровић истиче да површине под ледом и дебљина леденог покривача нису сразмерни интензитету ледничке ерозије и глацијалним облицима који о њима сведоче, како их представљају Hughes et al. (2011). Ови аутори са друге стране наводе бројне доказе интензивније глацијације, наводећи врхове на Дурмитору и Проклетијама на којима се валови ледника спуштају испод границе од 1000 m n.m., као што су Боричје (Дурмитор), Комарница (Дурмитор), Липово (Сињајевина), Мораково (Прекорница/Маганик), Плав-Гусиње (Проклетије).

Глацијални облици рељефа Црне Горе сврставају се међу најимпресивније ледничке творевине у Европи. Унутрашњост планинских масива вишеструко је преобликована под утицајем ледника и ледничке ерозије у плеистоцену. Облици глацијалне ерозије најуочљивији су и најочуванији управо у унутрашњости планинских масива где су у више циклуса ледници обликовали рељеф, у ободним деловима даље од центара заглечеравања и ледничка ерозија је била слабија а облици ледничке ерозије који су очувани нису толико импозантни и уочљиви. Ово би могло да објасни због чега Миливојевић и Ђуровић описују само ледничке појаве и процесе у зони изнад 1750 m н. м.

Доказ својих истраживања Hughes и сарадници проналазе у резултатима преко 30 серија уранијум-торијум анализа на основу којих је по први пут у овој области вршено датирање и одређивање геолошке старости морена и моренског материјала еродованог и наталоженог у пољима у подножју планина које су биле под ледницима. На овај начин утврђено је постојање морена и моренског материјала из најмање три хладне фазе глацијала (слика 51).

Најхладније фазе и периоди заглечеравања десили су се током старијег и средњег плеистоцена, међутим Дебели намет, Мали ледник на Дурмитору задржао се до данас. То указује колико положај и микро услови утичу на опстанак и одржање ледника. Доказе о више фаза глацијације током плеистоцена документовали су и публиковали кроз своја истраживања и радове научници као што су Цвијић (1914, 1917) и Liedtke (1962). Новим истраживањима Hughes и други истраживачи и научници (2005 – 2010), поткрепили су ова сазнања и унапредили их резултатима савремених метода, које су коришћене при истраживању и датирању геолошке старости ледничких облика рељефа на Динаридима.

### 7.1.1. Датирање морена на планинама Црне Горе

Према новијим истраживањима британских аутора велико подручје Црне Горе било је под ледницима током плеистоцена. Ови истраживачи базирали су своја истраживања на издвајању глацијалних творевина (више генерација морена) према њиховој морфостратиграфији и резултатима датирања цемента морена на основу U/Th методе. Према њиховим сазнањима најинтензивнија глацијација десила се током глацијалне фазе MIS 12. У овом периоду ледничке капе спуштале су се са планинских врхова, градећи јединствени леднички покривач на подручју централног планинског масива Црне Горе, покривајући површину од око 1500 $km^2$. Током касније глацијалне фазе у средњем плеистоцену (MIS 6) под ледницима се налазило око 720 $km^2$ на подручју Црне Горе. На подручју Црне Горе пронађени су докази о постојању још једне глацијалне фазе која се одиграла између MIS 12 и MIS 6, а након MIS 7. С обзиром да је интензитет глацијације у овој фази био сличан фази MIS 6, леднички облици ове фазе су замаскирани каснијом фазом. Последња глацијална фаза на подручју централног црногорског масива била представљена цирковима и долинским ледницима, који су прекривали површину од 49 $km^2$ (Hughes, 2011).

Најдетаљније датирање глацијалних облика Динарских Алпа спроведено је у Црној Гори. Hughes et al. (2011) извештавају о резултатима датирања глацијалних облика на неколико централних црногорских планина и планини Орјен, користећи хипсометријску, литолошку и педолошку класификацију и геохронолошку методу датирања калцитног цемента уранијумском методом. Adamson et al. (2015) дају нове резултате датирања глацијалног испраног материјала у карстним пољима у подножју планине Орјен.

Планина Орјен припада јадранском сливу, али су се, због географске близине, климатске прилике и промене у погледу ширења и дебљине ледника током одређених глацијалних фаза, одвијале у истим временским раздобљима и једнаким интензитетом, као и на Дурмитору и другим планинама централног црногорског масива. Исто важи и за читаве Динарске Алпе.

Током истраживања на планинама Дурмитор, Сињајевина, Маганик, Прекорница, Морачким планинама, Војник и Орјен, добијени су резултати апсолутног даторања који су приказани у табели 6.

**Табела 6.** Резултати апсолутног датирања и идентификације стратиграфских јединица централних црногорских планина и планине Орјен (из Hughes, 2011)

| Члан | Старост (1000 год) | PDI | Период морена | Тип ледника |
|---|---|---|---|---|
| 6 Debeli namet Member (Durmitor + Central Montenegro) | | | AD 1850 to present | Modern glacier |
| 5 Gornji do Member (Orjen) | 9,6 ± 0,8<br>8,0 ± 0,2 | | Younger Dryas | Cirque glaciers |
| 4 Karlica Member (Durmitor + Central Montenegro) | 10,9 ± 0,3<br>10,5 ± 0,3<br>9,8 ± 0,3<br>9,1 ± 0,3<br>7,9 ± 0,3<br>2,2 ± 0,09 | 14,3 | Younger Dryas | Valley and cirque glaciers |
| 4 Reovci Member (Orjen) | 17,3 ± 0,6<br>13,9 ± 0,4<br>12,5 ± 0,4 | | MIS 2 | Valley and cirque glaciers |
| 4 Međed Member (Durmitor + Central Montenegro) | 13,4 ± 0,4 | 16,8 | MIS 2 | Valley glaciers |
| 3 Crkvice Member (Orjen) | 124,6 ± 5,7<br>124,5 ± 3,5<br>124,0 ± 3,4<br>102,4 ± 3,1 | | MIS 6 | Ice caps and valley glaciers |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2 Žabljak Member (Durmitor + Central Montenegro) | 120,2 ± 6,4<br>105,4 ± 5,2<br>104,1 ± 2,9<br>88,1 ± 3,4 | 31,5 | MIS 6 | Ice caps and valley glaciers |
| 2 Žabljak Member (Durmitor + Central Montenegro, absent from Orjen) | 231,9 ± 17,5<br>162,7 ± 7,9<br>58,8 ± 2,0 | 32,7 | MIS 8 or 10 | Ice caps and valley glaciers |
| 1 Knežlaz Member (Orjen) | >350<br>>350<br>309,3 ± 42,4 | | MIS 12 | Ice caps |
| 1 Ninkovići Member (Durmitor + Central Montenegro) | >350<br>>350<br>396,6 ± 87,2<br>40,7 ± 1,2<br>38,8 ± 1,3 | 43,1 | MIS 12 | Ice caps |

У коначној реконструкцији простирања леденог покрова који је формирао глацијалне облике на централним црногорским планинама, као и старост ових максимума, узети су апсолутни резултати датирања као индикација минималне старости калцитног цемента морена, гдје су узајамна хипсометријска позиције морена и степен формирања слоја тла (квантификован помоћу индекса развоја тла PDI) били кључни за процену релативне старосне, временске и просторне корелације геохронолошки датираних и недатираних морана (Hughes, 2011).

Издвојено је пет глацијалних јединица. Резултати реконструкције приказани су у табели 7 и на слици 48. Ако је за неколико узорака најнижих морана са развијеним слојем тла, утврђена већа апсолутна старост, узорци који су показали мању апсолутну старост су искључени из даље анализе (занемарени су), као у случају јединице Нинковићи на планини Дурмитор (Табела 7).

**Табела 7.** Резултати датирања глацијалних максимума на централним црногорским планинама (према Hughes, 2011)

| Unit | Старост [1000 год] | MIS фаза |
|---|---|---|
| Ninkovići Member ice masses | 470-420 | MIS 12 |
| ? | 374-243 | MIS 10 or MIS 8 |
| Žabljak Member ice masses | 190-130 | MIS 6 |
| Međed Member ice masses | 110-11,7 | MIS 5d-2 |
| Karlica Member, Debeli namet Member ice masses | 12,9-present | Younger Dryas, late Holocene, respectively |

Постоје јаке индиције да су након најјаче глацијалне фазе MIS 12 и пре MIS 6, која је по интензитету била слична постојали глечери током фазе MIS 8 (и врло могуће током MIS 10), тако да је непозната, регистрована јединица унесена у табелу 7. На једном месту на Дурмитору, старост узорка је била 231,9 ± 17,5 хиљада година, док је старост два узорка глацијалног материјала из Орјена, депонованих у карстним пољима у подножју, била 248,6 ± 16,7 и 213,5 ± 11,3. хиљада година (Adamson et al., 2015). Највеће интензитет глацијације са најопсежнијим леденим покривачем у фази MIS 12 уклонио је или пореметио трагове претходних слабијих глацијација, због чега је било тешко прецизније одредити њихово ширење, па и потврдити њихово постојање.

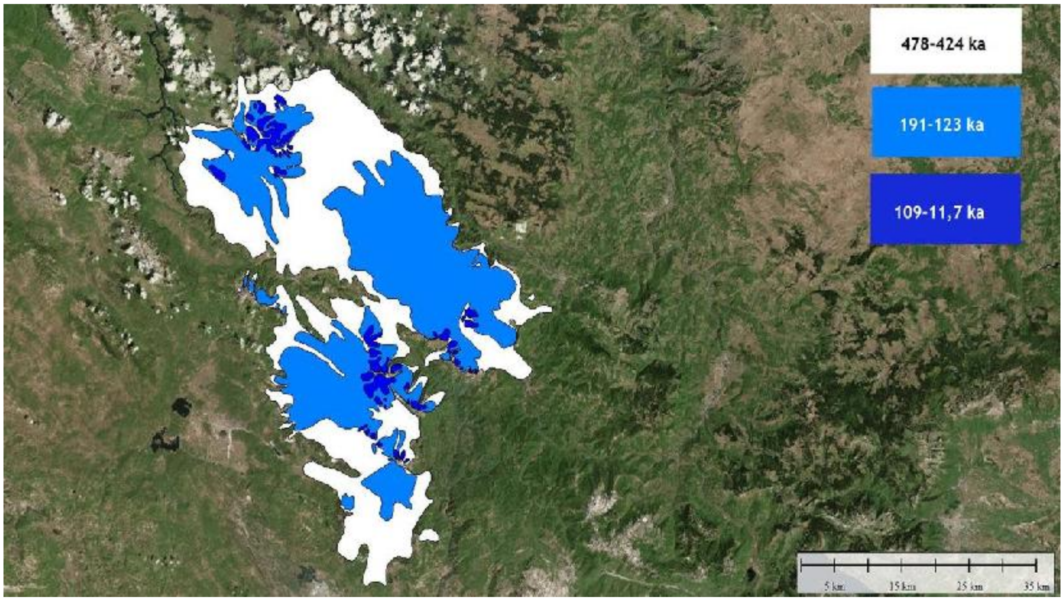
***Глацијалне студије ледника у Црној Гори - датирање – датирање испраног материјала карстних поља***

Карбонатни цемент, формиран унутар испраног глацијалног материјала у карстним пољима у подножју планине Орјен, чија је старост одређена на основу методе уранијумских серија, могао је да се формира много касније од таложења седимената, у време повољних хидролошких и климатских услова. Из тог разлога, као и у случају глечерских форми на централним црногорским планинама и Орјену, резултати датирања цемента узети су као показатељ минималне старости. И у овом случају, PDI вредности земљишта које покрива поља су корелисане са старошћу основних седимената, а највећа старост за одређени распон PDI узимана је као релевантна. Резултати датирања који указују на много мању старост цемента од оног који одговарао резултату стварања земљишног слоја (PDI), сматрали су се неважећим. Ако је PDI показао старост млађу од оне која је одређена на узоркованом цементу са одређене дубине испод површине тла, претпостављено је да је материјал између дубине узорка и површине тла касније депонован, што је у складу са резултатима датирања на Унијерини (Табела 8).

Старост еродованог моренског материјала крашких поља у подножју планине Орјен је приказан у табели 8 (према – Adamson, 2015).

**Табела 8.** Апсолутна старост и PDI анализе

| Карстно поље | PDI [m] | Висина профила [m] | Датиран на [1000 год] |
|---|---|---|---|
| Dvrsno | 11,80; 7,35 | 10 | – |
| Grahovo | 9,91 | 3 | >350 |
| Pirina Poljana | 9,12 | 4 | 213,5 ± 11,3; 77,2 ± 2,0 |
| Kruševice | 13,75 | 9 | – |
| Vrbanje | 4,88 | 7 | 126,6 ± 4,5 |
| Unijerina | 1,43 | 11 | >350; 248,6 ± 16,7; 80,3 ± 5,9;16 ,6 ± 0,4 |
| Crkvice | 3,92 | 2 | 144,2 ± 5,1; 18,5 ± 0,4 |




**Слика 52.** Старост и простирање различитих глечерских максимума на централним црногорским планинама (Зарић, према – Hughes, 2011)

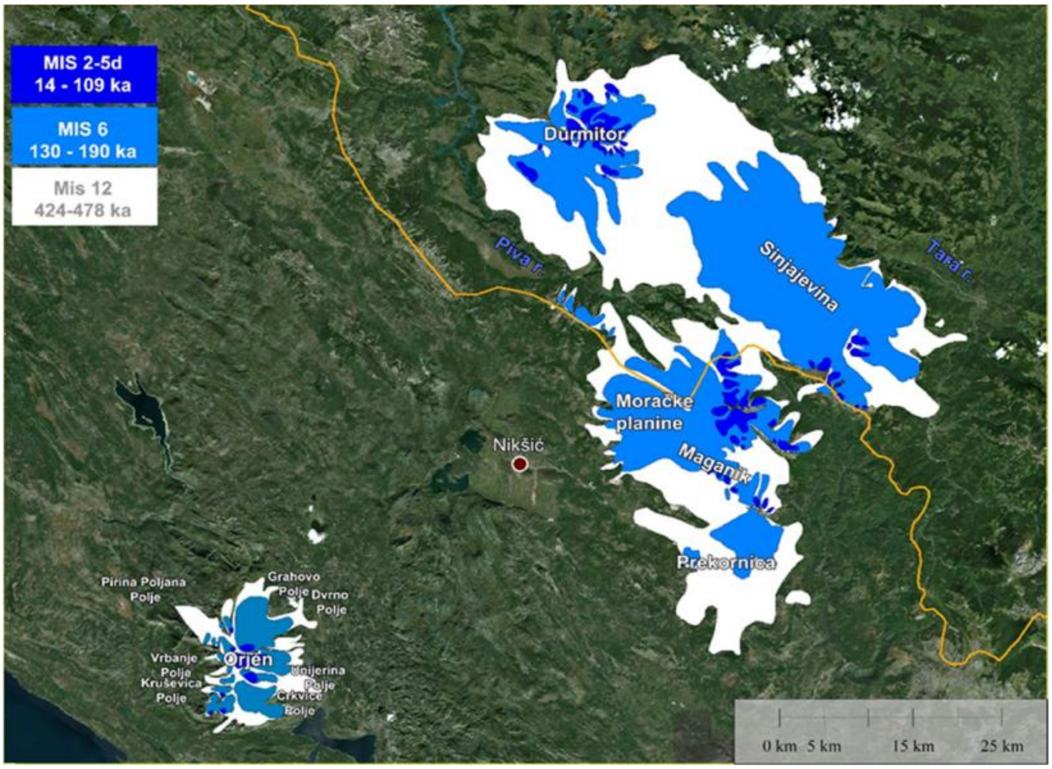
**Слика 53.** 3D визуализација простирања ледника на планинама Орјен и Дурмитор (Зарић, према – Hughes, 2011 и Adamson, 2015)

### 7.1.2. Корелација резултата глацијације на динаридима, (датирања моренског материјала) са палеонтолошким и литолошким налазима на београдском изворишту

Под претпоставком да су Динарски Алпи и ободни Динарски ланци који припадају сливу реке Саве главни ерозивни појас и извор материјала од којих су формирани холоценски и плеистоценски алувијални седименти у сливу Саве и на београдском изворишту, и да је овај шљунковити и песковити материјал транспортован рекама чији су токови били много снажнији од садашњих токова Саве и Дунава, у условима брзог топљења глечера и ледених капа на почетку интерглацијалних и интерстадијалних периода, старости морена које су остале након неколико глацијалних циклуса у Динарским Алпима и ободним Динарским масивима требало би да одговарају циклусима топлим фазама алувијалне седиментације којима су претходиле хладне фазе глацијације у Динаридима.

Под истом претпоставком, старост испраног моренског материјала у карстним пољима у подножју планина које су биле под ледницима, требало би да одговара интерглацијалним фазама у којима су таложени и полициклични речни седименти у сливу Саве.

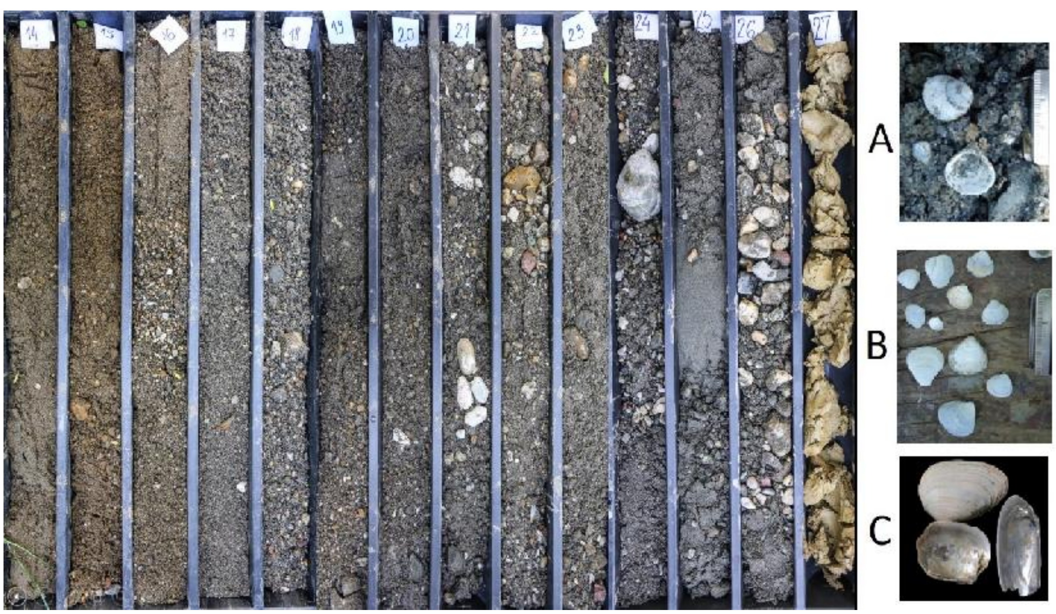
На простору Балканског полуострва остаци глечера у виду морена, циркова, ератичких блокова су регистровани широм Динарида (нпр. Дурмитор, Орјен, Проклетије), Пиндских планина, на Рили, Пирину, планинама на Пелопонезу итд. Најнижа до сада потврђена граница простирања глечера се налази на око 500 m надморске висине на Орјену, при чему је средња надморска висина границе најекстензивније глацијације на 1 250 m, док се на Дурмитору спушта до око 900 m, при чему је средња надморска висина границе најекстензивније глацијације 1 600 m. Према резултатима истраживања у последњих 20 година, коришћењем U/Th метода датирања карбонатног везива материјала морена и спраног глечерског материјала у карстним пољима испод глечера, установљено је да се најекстензивнија глацијација дешавала у периоду од пре 478 000 до 424 000 година, (према Алпској стратиграфији у Mindelu), да је следећи период глацијације био пре 190 000 и 130 000 година (Riss) и последњи у периоду пре 115 000 и 11 500 година (Würm). На основу неких резултата датирања морена на Дурмитору и спраног материјала у подножју Орјена могуће је да је нађен траг глацијације од пре 300 000 и 243 000 година (према неким корелацијама MIS скале и Алпске, спада у Riss). Старост свих морена из којих нису узимани узорци за датирање је одређена поређењем хипсометријских положаја и развијености педолошког слоја који се формирао на њима. Распрострањење ледника у различитим периодима глацијације приказано је на слици 54.




**Слика 54.** Распрострањење ледника у последњих пола милиона година на Дурмитору током три, до сада издвојена, периода глацијације (Митриновић и др., 2019)

На основу сазнања о кретању средње годишње глобалне температуре површине Земље и запремине глобалног леда (слика из поглавља 6.1.) зна се да је било приближно подједнако хладних периода и раније, нарочито MIS 16 (према Алпској геохронологији – Günz). Могуће је да су остаци тих глацијација нестали, а постоји могућност и да U/Th методом добијене старости веће од 350.000 година на неколико узорака са Дурмитора и Орјена, можда указују и на далеко већу старост од процењених 350 000 година.

Најдубљи слој флувијалног порекла на подручју београдског изворишта, са најкрупнијим наносом, садржи индекс фосил *Viviparus boeckhi* (слика 55), који се често у великом броју појављује у овим слојевима (ово је према истраживањима мађарских палеонтолога и геолога одлика горњег дела ових слојева на подручју Панонског басена). Налази у Војводини и Мађарској, а посебно на рубу Панонског басена, указују према интерпретацији већег броја истраживача. да су слојеви са Viviparus boeckhi, наталожени током Günz-Mindel интерглацијала (пре 621 000 до 478 000 година). Ова врста слатководног пужа је изумрла према поменутом гледишту након овог периода, тако да према оваквом тумачењу палеонтолошких налаза, најкрупнији седимент флувијалног порекла на дну водоносног слоја на београдском изворишту није могао бити нанет током периода када су се отапали глечери највећег распрострањења у Динаридима (према резултатима претходно приказаних истраживања). Према Владимиру Ласкареву, познатом српском геологу који је први публиковао резултате истраживања флувијалних полицикличних седимената долине Саве код Београда, врста Viviparus boeckhi се јавља до Mindela 2, који би могао бити тумачен као MIS 10 (табела 28), па би седименти наталожени током MIS 11 када су се отапали глечери настали током MIS 12 (када је била најекстензивнија глацијација у Динаридима) могли садржати и Viviparus boeckhi.




**Слика 55.** Сегмент језгра бушотине са десне обале реке Саве, плеистоценски полициклични седименти (19 – 21 m шљунковити песак, богат фауном – *Corbicula fluminalis, Unio crassum, Viviparus boeckhi* и др., 25 – 26 m крупнозрни шљунак, са доминантним учешћем зрна кварца, 26 – 27 m жута лапоровита подинска глина); десно су издвојени и приказани поједини фосили из бушотине: A – *Viviparus boeckhi* и *Corbicula fluminalis*, B – *Corbicula fluminalis* и C – *Unio crassum* (Зарић, 2019).

У погледу услова седиментације седимената старијег квартара, на основу података добијених хидрогеолошким истраживањима у току 1975. године, Јордан Живковић истиче да је таложење ових наслага вршено у слатководној средини, у мирним и текућим водама и мочварама са обимним простирањем. Аутор истиче и то да присуство облика хладних вода, као што су *Candona neglecta* и *Eucypris pigra* (који су овом приликом регистровани у плеистоценским седиментима), указује да је клима у време таложења ових седимената била хладнија од данашње.

Друга значајна индексна врста за плеистоцен – *Corbicula fluminalis*, нестала је с овог простора у време Riss-kog глацијала, што највероватније значи пре око 190 000 година. Седимент из последњег непотпуног циклуса седиментације испод холоценског наноса садржи љуштуре ове шкољке, што значи да је нанет пре Riss-Würm интерглацијала, што би значило да не потиче из времена отапања глечера из другог (по распрострањењу ледника) глацијалног периода у Динаридима. Могуће је да потиче из интерглацијала који је започео пре 243 000 година и који је можда оставио трага на Дурмитору и Орјену. Комбиновањем палеонтолошких налаза на београдском изворишту (према Ласкареву са датирањем Mindel-a 2 као MIS 10) са резултатима истраживања на Дурмитору и Орјену, може се спекулисати да најдубљи слој са најкрупнијим наносом потиче из периода од пре око 370.000 година, седиментациони циклус изнад њега из периода пре око 240.000. Након тога следи холоценски циклус, док циклус старости око 120.000, који према бројним подацима постоји северно од београдског изворишта у дубљим деловима Панонског басена, није присутан на изворишту.

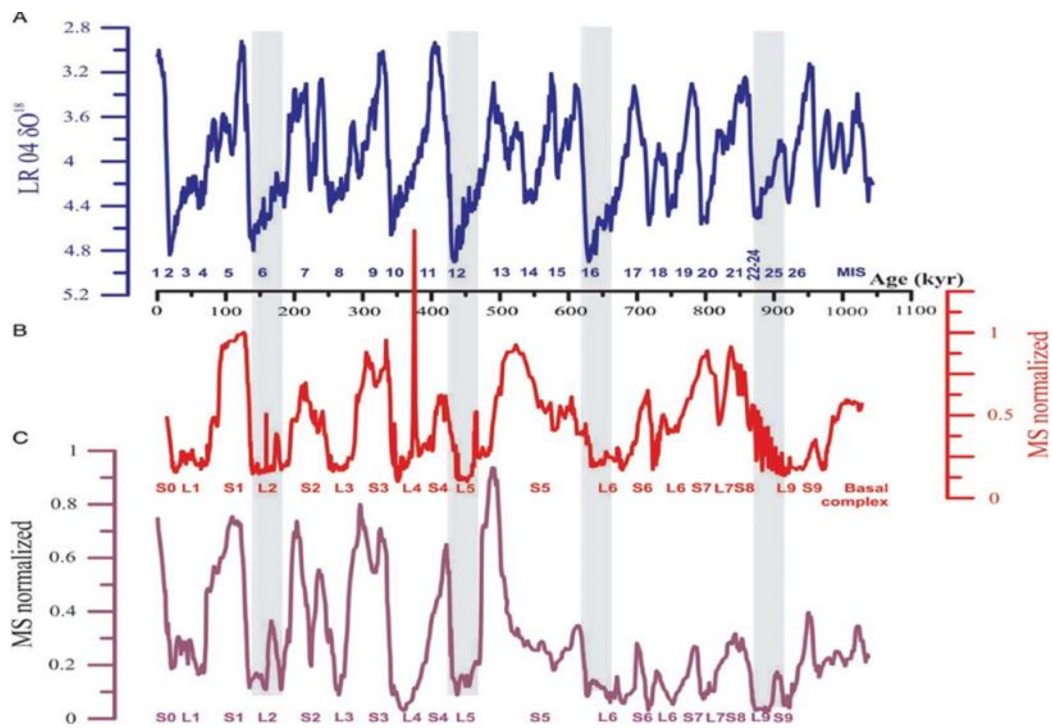
Поред стратиграфске и палеонтолошке анализе током радова на београдском изворишту који су приказани у 5. поглављу, узети су узорци за датирање методама стимулисане луминисценције из свих седиментационих циклуса из бушотина у зони дренова бунара Rb-1m, Rb-6, Rb-36 и Rb-44, и из слојева са глиновито-прашинастим седиментима унутар полицикличних седимената и из њихове подине из бушотина у зони дренова бунара Rb-6 и Rb-36, за датирање методама магнетостратиграфије. На основу ових анализа по први пут одређена је апсолутна старост ових седимената (резултати ових анализа дати су у поглављу 12.5).

## 7.2.Лесне творевине јужног обода Панонског басена

Током глацијалних фаза, ветром нанесене честице силиката величине од око пар десетина микрона формирале су седиментни слој од 1 m / 10.000 година. Када наступи интерглацијално доба започиње процес стварања тла - педогенеза. У тлу се распадом стена производе честице оксида гвожђа величине око неколико десетина нанометара. Стварање леса је прилично уједначен процес који пружа стабилну позадину за датирање, а потом мерење магнетне сусцептибилности, која се појачава по интензитету за два реда величине током интерглацијалних периода. Две трећине реманентног магнетизма је садржано у магнетиту који је ниско оксидован у глинама богатим гвожђем и силикатима богатим гвожђем и магнезијумом.

Хроностратиграфским истраживањима леса у Војводини, утврђено је да су лесни хоризонти стварани током глацијалних фаза, док је палеоземљиште формирано током топлих фаза плеистоцена (Marković, 2000). На основу тога формиране су и именоване јединице које прате стратиграфске јединице кинеског леса (слика 56, табела 9).

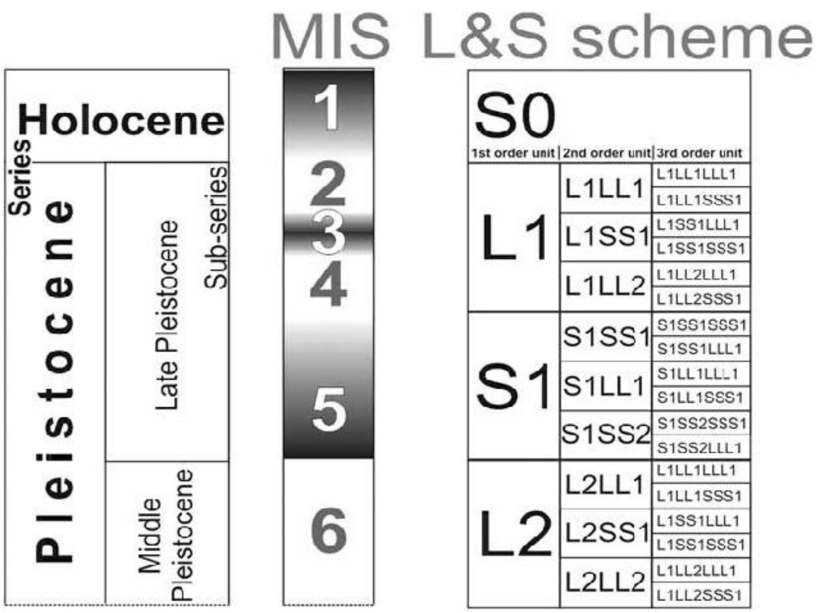
Финозрни материјал издуваван је са простора некадашњег Панонског језера и из алувијалних равни великих река када су њихови токови били редуковани услед глацијација и задржавања великих количина воде у ледницима. Из тог разлога лесни материјал у погледу минералошког и петролошког састава носи податак о изворном подручју приноса материјала, одакле су најфиније честице ветром редепоноване.




**Слика 56.** Директна корелација са дубокоморским седиментима (Lisiecki and Raymo, 2005) i (A) лесом у Србији (Marković et al., 2015) (B) кинеским лесом (Sun et al., 2006) (C) магнетном сусцептибилношћу (MS) и MIS фазама (Marine Oxygen Isotope Stage).

Након одређених геохемијских анализа Бугл (Buggle et al., 2008) констатују да еродовани материјал од којих су формиране лесне секвенце на простору Војводине, потиче са Карпатских планина, дрениран реком Тисом и мањим притокама Дунава, као и са аустријских Алпа, дрениран реком Дравом. Ова веза указује на генетску повезаност еолских и алувијалних процеса који су били условљени сменама топлих и хладних климатских периода током плеистоцена.

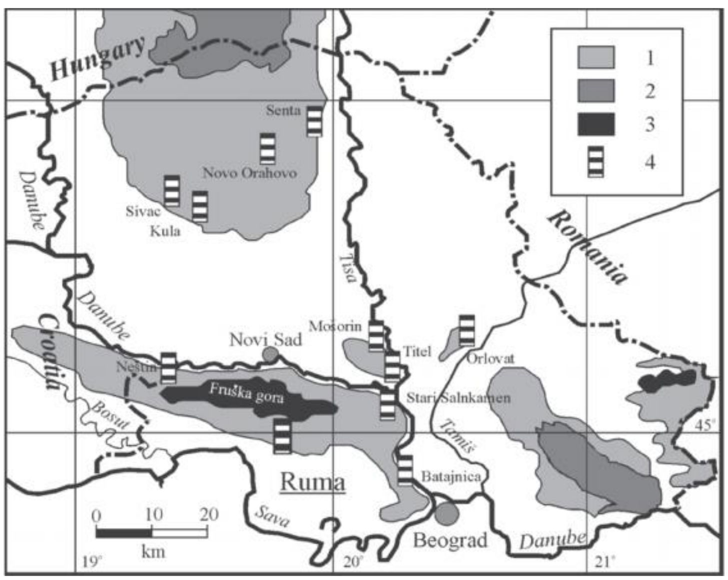
**Табела 9.** Корелација класичне хроностратиграфске поделе плеистоцена (Gibbard and Cohen, 2008), MIS фаза (Marine Oxygen Isotope Stages; e.g., Lisiecki and Raymo, 2005), и L&S (Loess and Soil) номенклатура стратификације леса и палеоземљишта (Kukla, 1989).




Поред генетске повезаности еолских и алувијалних седимената са аспекта геохемијског и минералошког склопа, врло је битан њихов међусобни положај, тачније суперпозиција. Ови седименти таложени су током квартара, али наизменично. За топле фазе карактеристични су већи речни протицаји са доминантном речном ерозијом и акумулацијом, док је за хладне и суве периоде карактеристична еолска седиментација. Током плиоцена клима је била топла, велика језера су нестала, оставивши за собом понегде замочварене и забарене терене, токови река који су се до тада уливали у Панонско језеро, слободно меандрирају и теку по Панонској равници, таложећи на великој површини седименте који из тог разлога више личе на језерске, него на речне. Из сувог дна некадашњег језера и пресушених речних долина, ветар издувава материјал и таложи га где му ослаби снага или наиласком на препреке у виду хорстовских структура (обод Фрушке горе, обод београдског рта). У зависности од терена и услова у којима се седиментација еолског материјала вршила стваран је барски, копнени лес и лесоидни седименти. Речна седиментација у почетку је била речно-језерска, или речно-барска, а сами речни токови били су широки, некоординисани и слаби токови уплетених меандрирајућих река све до средњег плеистоцена. Интензивније заглечеравање праћено је и великим отапањем које је у периодима интерглацијала довело до формирања снажних речних токова који су усецали своја корита у старије седименте и поткопавали и редепоновали лес, па и читаве лесне одсеке.

### 7.2.1. Датирање и геохемијске анализе лесно-палеоземљишних секвенци (ЛПС) у Србији

Лесни профил у Старом Сланкамену, представља прву лесну формацију у Србији која је истражена са више метода за утврђивање геолошке старости слојева. Осим последње секвенце средњег плеистоцена, она представља једну од најкомплетнијих копнених палеоклиматских секвенци у Европи. Палеомагнетна мерења локалитета Стари Сланкамен дају податке који датирају до границе бринес-матујама (у најнижем делу лесне секвенце V-L9).




**Слика 57.** Лесни платои на територији Панонског басена у оквиру Србије 1: лесни плато; 2: пешчара; 3: планина или хорстовска структура; 4: најмаркантнији лесни локалитети (Marković, 2004)

| Marković et al. (2011) | |
|---|---|
| Paleosol | MIS |
| V-S1 | 5 |
| V-S3 | 9 |
| V-S4 | 11 |
| V-S5 | 13–15 |
| V-S6 | 17 |
| V-L7S1 | 18.3 |
| V-S7 | 19 |
| V-S8 | 21 |
| V-S9 | 25 |
| basal complex | 29–? |

**Табела 10.** Хроностратиграфски модел лесних-палеоземљишних секвенци на локалитету Стари Сланкамен (Марковић, 2011).

Детаљна анализа магнетног сусцептибилитета (MS) по слојевима, на лесном профилу Стари Сланкамен, дала је и нови увид и доказе о клими и педогенетским процесима који су обележили најкаснији период доњег плеистоцена и већи део средњег и млађег плеистоцена. Корелацијом са другим лесним профилима у сливу Дунава, утврђено је одсуство слоја палеоземљишта V-S2 (табела 10). Осим овог ерозионог дисконтинуитета, подаци о глацијалним и топлим фазама које носи лесни плато Старог Сланкамена се врло добро корелише са глобалном скалом климатских промена средњег плеистоцена и са палеогенезом квартарних творевина.

Оно што се не поклапа са светским и европским подацима о клими је интензиван пораст аридификација климе, на шта нам указују подаци анализа и мерења магнетног сусцептибилитета лесних и палеоземљишних сегмената на локалитету Стари Сланкамен. Ови резултати указују на топлије интерглацијале током старијег средњег плеистоцена и потенцијално влажнију климу током MIS 11 (Candy et al., 2006; Preece et al., 2007).

У случају централног Балкана медитерански климатски утицај знатно дуже се задржао него што је то утврђено код ЛПС у Војводини (слика 57). Постепено смањење учешћа фракције глине и црвена боја палеоземљишта S3 (MIS 9) и S2 (MIS 7) јасно указују на смањење медитеранског климатског утицаја (Obreht et al., 2016). Овај тренд није уочљив код профила Батајница, Рума, Стари Сланкамен и Мошорин (Марковић, 2012, 2015), јер престанак доминације медитеранског палеоклиматског утицаја у Војводини престаје још пре око 520 000 година. Према томе, медитерански климатски утицај на простору Војводине је престао знатно раније. Buggle et al. (2013) су предложили да је разлог слабљења медитеранског, а јачање континенталног климатског утицаја на истраживаном подручју одговорно рецентно издизање Алпа, Динарида и Карпата. Међутим, за суштинско разумевање овог палеоклиматског тренда потребна су обимна истраживања како би разумели његове непосредне узроке и механизам (Лукић, 2015). На основу досадашњих истраживања извесно је да је степен медитеранског климатског утицаја карактеристичан за средње плеистоцене ЛПС, а да у горњим, млађим плеистоценим ЛПС преовладавају услови континенталне климе у региону централног Балкана.

Палеопедолошким истраживањима леса и палеоземљишта на локацији Руме додатно појашњава слику о процесима и условима формирања палеоземљишних слојева током друге половине средњег и млађег плеистоцена. Овим истраживањима потврђена је претходна интерпретација палеоклиматских промена у региону Панонског басена и Карпата. Издвојено је 5 хоризоната фосилних слојева земљишта на којима се уочава прелаз од влажне ка релативно сувој клими током последњих 350 000 година.

Формирање земљишта у лесним седиментима настаје помоћу следећих процеса: хемијског деловања (формирање оксида или хидроксида услед ослобађања Fe и Al), излучивање растворљивих материјала, акумулација растворљивих соли у хоризонтима близу површине услед евапорације у аридним срединама, разлагање органских материјала, поремећаји настали услед биолошке активности, елувијација глине и каснија илувијација подземних хоризоната као и претварање минерала гвожђа у једињења гвожђа, у влажним условима (Birkeland, 1984).

Палеоземљиште S3 (еквивалент MIS 9) је најснажније развијено палеоземљиште на лесном ПЦС за истражени период времена. Високе вредности учешћа глине и изразито црвени ветрични педолошки хоризонт указују на влажну климу са изразито топлим и сушним летом. Овај закључак је потврђен установљеним формирањем хематита у овом педокомплексу, што указује на јак утицај медитеранске климе.

Стратиграфска јединица која одговара MIS 6 глацијалном периоду сачувана је у Сталаћу у виду лесног хоризонта L2, на основу обиља песка у овој јединици подразумева јаку динамику ветра и очигледно најтеже услове генералне животне средине током протеклих ~350.000 година. Овде треба напоменути да су утицаји риске глацијације у Алпима, били врло снажно испољени. Геохемијски параметри сугеришу да је лес L2 на локалитету Сталаћ, углавном формиран честицама из долине Јужне Мораве (Лукић, 2015). Ово указује на веома суве климатске услове над целим Балканом. Протицаји у сливу Западне Мораве били су јако редуковани. Могући разлог за то је формирање ледника у највишим деловима слива Западне Мораве у којима је могла да буде заробљена релативно велика количина воде.

Са стратиграфског аспекта позиција хоризоната леса и алувијалних седимената плеистоцена веома је интересантна. ЛПС на простору југоисточне Бачке као и сам Тителски лесни плато формирани су током квартара за време глобалних палеоклиматских и палеоеколошких промена у средњем и горњем плеистоцену. Тителски брег се издиже око 50 m изнад алувијалних равни Дунава и Тисе, има елиптичан облик са дужом осом правца северозапад-југоисток. Фацијално и генетски је идентичан са Сремском лесном заравни. Нижи слојеви лесног пакета (IV и V) Тителског платоа леже преко барских еквивалената средњег плеистоцена, што је потврђено присуством шкољки *Corbicula fluminalis* (Марковић, 2000), док виши лесни хоризонти (I, II и III) садрже искључиво копнену макро фауну.

Једни аутори су сматрали да је Дунав одвојио Тителски брег од Сремског лесног платоа просецањем врата свог меандра (Wolf, 1879; Halavats, 1897; Горјановић-Крамбергер, 1921; Цвијић, 1926; Кошћал, 2008), док су други аутори заузели став да је тителски брег одувек био изолован, са сличном морфогенезом као Сремски лесни плато (Милојевић, 1948; Марковић-Марјановић, 1950; Букуров, 1982). Резултати датирања ОСЛ методом на кварцу показали су генерални тренд раста старости седимената са дубином, као и то да нема очигледних скокова у старости што би значило да нема хијатуса у таложењу седимената на овој локацији (Перић, 2017). На основу закључака које аутори наводе, могло би се рећи да резултати датирања подржавају другу наведену теорију. Међутим, с обзиром да резултати датирања показују равномеран пораст старости седимената само у интервалу од 440 до 35800 година, а да су код старијих седимената примећене извесне осцилације у резултатима датиране старости па чак и опадање, могуће је да није у питању примењивост методе (као наводи аутор), већ да је редепоновање узрок ових осцилација. С тим у вези, може се поставити питање да ли је дошло до извесног преталожавања леса пре око 35 800 година, после чега је настављена континуална седиментација најмлађих лесних секвенци.

# 8. ПРИМЕЊЕНА ИСТРАЖИВАЊА И ИСТРАЖНИ РАДОВИ НА ЛОКАЦИЈАМА ЧЕТИРИ ИЗВОРИШТА

## 8.1. Методологија истраживања

За сва четири изворишта прикупљене су и обрађене расположиве подлоге и документација о терену, раду и ефектима рада изворишта. На три изворишта у горњем току вршена су „in situ“ мерења и узорковања подземних вода, док су на београдском изворишту спровођени и истражни радови и израда батерија пијезометара, а накнадно и лабораторијске анализе узорака тла и подземних вода.

### 8.1.1. Литературни преглед и интерпретација прикупљене документације и података о истражном подручју

У припремној фази израде дисертације, пре него што се приступило изради детаљног плана истраживања и истражних радова, прикупљена је сва располжива литература и фондовска документација која се може сврстати у неколико тематских области.

- Литература о квартару и клими квартарне периоде, посебно литературни извори који се баве хладним фазама глацијала током плеистоцена, методама реконструкције промена климе (апсолутно датирање седимената) и новом глобалном хроностратиграфском поделом квартара (детаљније у поглављу 6).
- Глацијација у Алпима и Динаридима, од пионирских радова Ј. Цвијића (1899, 1903, 1914, 1917) и Liedtke (1962), преко публикација Marović and Marković (1972), Menković et al. (2004) до најновијих истраживања морена на Дурмитору Hudges и Woodward (2001. до 2016.), Đurović (2007, 2009), Milivojević et al. (2008) и Stepišnik i Žebre (2011), до првих резултата датирања моренског материјала и испраног материјала карстних поља у подножју планина Hughes et al. (2010), (детаљније у поглављу 7).
- Квартарне творевине јужног обода Панонског басена, са акцентом на полицикличне алувијалне седименте Саве на београдском изворишту. Генеза, карактеристике и процеси који прате експлоатацију подземних вода ових издани (детаљније кроз поглавља 8, 9 и 10).
- Поред тога, сакупљена је и фондовска документација:

- водовода Руме, Сремске Митровице, Обреновца и Београдског водовода,
- студије, пројекти и елаборати Института за водопривреду Јарослав Черни.
- фондовска документација Департмана за хидрогеологију, Рударско-геолошког факултета,
- резултати хидрогеолошких истраживања за потребе београдског водовода која су вршена у периоду од 1970-1975.

#### 8.1.2. Истражно бушење и картирање језгра

Бушење је извођено машинском гарнитуром, континуалним језгровањем са утискивањем обложне колоне дуж целе дубине бушења, комбинованим методама у зависности од материјала који се буши. Ударном методом – вентил кашиком - „бућком“ кроз растресите материјале и ротационом методом уз употребу сржне цеви кроз консолидоване материјале (алеврите и глине) на локацијама Rb-1m, Rb-6, Rb-44, Rb-47 и Rb-53 (у току 2016. године) и Rb-1m и Rb-6 (у току 2017. године), и ротационом методом уз употребу сржне цеви целом дубином бушења на Rb-36 и Rb-44 (у току 2017. године). Приликом израде две дубоке бушотине Rb-6/p-5d и Rb-36/p-4d, 2017. године бушење је вршено ротационом методом уз употребу сржне цеви целом дубином бушења (Слика 58).

Прелиминарна дубина истражних бушотина за дубоке пијезометре износи 30 m. У случају пијезометара средње дубине она је процењена на 15–20 m. За формирање плитких осматрачких објеката предвиђено је извођење истражних бушотина дубине 10–15 m. Бушотине за дубоке пијезометре требало је израдити до дубине уласка од око 0,50 m у подину водоносног слоја, а плитке и пијезометре средње дубине најдубље до 0,50 m изнад глиновитог или прашинастог прослојка, ако је присутан.

Бушење кроз делимично везане седименте повлате, међуслоја и подине је извођено језгреном („сржном“) цеви са Ø113 mm, Ø128 mm или Ø 143 mm. У растреситим, песковито–шљунковитим седиментима водоносне средине, бушење је извођено вентил кашиком („бућком“) са Ø98 mm или Ø113 mm. Током изношења набушеног материјала вршено је паралелно зацевљење заштитном колоном пречника Ø113 mm, Ø128 mm или Ø143 mm.

Одлагање узорака вршено је у посебно припремљене сандуке са издвојеним сегментима од 1 m. Одлагано је и чувано само језгро дубоких бушотина. Након израде бушотине и фотографисања језгра дубоких истражних бушотина, приступано је картирању набушених седимената. Поред литолошког састава, регистрована су и запажања о боји седимента, присуству фосилних остатака флоре и фауне, глинених ламина, циклуса седиментације и ерозије и др.

На најмање 15 узорака из сваке од дубоких бушотина извршене су гранулометријске анализе.

Поред гранулометријских анализа, на репрезентативним узорцима у зони Renney бунара извршене су следеће анализе:

- минералошке анализе: карактеризација минерала на припремљеним узорцима пречника зрна од 0,1 до 0,16 mm, карактеризација минерала глина, одређивање минерала гвожђа,
- геохемијске анализе,
- палеонтолошке анализе,
- седиментолошко-петролошке анализе песковитих и шљунковитих седимената (укупно 30 анализа).

#### 8.1.3. Узорковање за гранулометријске анализе

Анализе гранулометријског састава седимената обухватиле су испитивање сувим и мокрим поступком. Вршене су на узорцима растреситог материјала водоносне средине, као и на узорцима слабије пропусних, делимично везаних седимената међуслојева. Узимано је најмање по 15 узорака за сваку од дубоких бушотина. Узорци набушеног материјала су узимани при свакој значајнијој литолошкој промени. Интервали узорковања наведени у наставку извештаја се односе на дубину узимања самог узорка. Адекватну масу узорка за успешну анализу механичког састава уобичајено има узорак дужине 0,2 m из сандука за језгра, осим ако је у питању крупан шљунак када је потребно и до 0,5 m, па су у складу са тим одређене и дужине интервала. Узорци су паковани у пластичне кесе средње величине са зип затварачем, које су означаване именом бунара и бушотине, ознаком намене, интервалом узимања узорка и датумом, маркером на текстилном фластеру или налепници, залепљеним на кесу.

### 8.1.4. Узорковање за минералошке, геохемијске и седиментолошко-петролошке анализе

На по једној дубокој бушотини у зони дренова сва четири Renney бунара, које су одабране за минералошке, геохемијске и седиментолошко-петролошке анализе, узимана су по два узорка шљунковитог или песковитог материјала из различитих седиментационих циклуса, и један узорак из глиновито-прашинастог међуслоја (ако је био присутан).

Места узорковања су била изнад и испод слабо пропусног до непропусног међуслоја који често раздваја слојеве са *Corbicula fluminalis* (и без *Viviparus boeckhi*) и слојеве са *Viviparus boeckhi* (индексни фосили), и из самог међуслоја. Искуствено, овај међуслој се налази на дубинама од 15-20 m.

Ако је бушење извођено вентил кашиком, доњи, старији узорак (испод међуслоја), је узоркован након утискивања обложне колоне до нивоа дренова током бушења. Горњи, млађи узорак (изнад међуслоја) је узоркован након утискивања обложне колоне до пар метара изнад очекиване дубине повлате међуслоја. Набушени материјал у дужини од око 0,5 m испод дубине, је пражњен у кофу запремине веће од 10 l, чиме је добијан узорак материјала издани (масе приближно 20 kg) у коме су сачуване најситније фракције. Када би се суспендоване честице у води изнад површине седимента у кофи исталожиле, извршено је декантовање.

Кад је бушење кроз песковито-шљунковите седименте извођено сржном цеви, узорци за минералошке, геохемијске и седиментолошко-петролошке анализе су узимани из сандука у које је одлагано језгро приликом бушења. Узорци су узимани чистом челичном кашиком. Узорак међуслоја је узиман сржном цеви.

Узорци су након сушења на собној температури просејавани на следеће фракције: изнад 30 mm, 20-30 mm, 10-20 mm, 5-10 mm, 2,5-5 mm, 2-2,5 mm, 1,25-2 mm, 1-1,25 mm, 0,63-1 mm, 0,315-0,63 mm, 0,25-0,315 mm, 0,16-0,25 mm, 0,1-0,16 mm, 0,063-0,1 mm и испод 0,063 mm. Глиновита фракција је, након просејавања сувим и мокрим поступком, одвајана од прашинасте седиментацијом тако што је глиновита фракција у суспензији, након одређеног периода седиментације суспендоване прашинасте и глиновите фракције, одливана декантовањем.

Један део фракције од 0,1 до 0,16 mm и мање од 0,063 mm (најмање 50 g), је издвајан за минералошке и геохемијске анализе, други део је издвајан за седиментолошко-петролошке анализе, док је један део од свих других фракција, све већи што је фракција крупнија и број зрна мањи, такође издвајан за седиментолошко-петролошке анализе. Додатни услови чувања узорака у случају минералошких, геохемијских и седиментолошко-петролошких анализа, у смислу температурних услова и времена чувања, нису били неопходни.

#### 8.1.5. Узорковање за датирање седимента

Узорковање за датирање стимулисаном луминисценцијом је спроведено тако што је седимент са одређене дубине која представља неки циклус седиментације директно из језгрене цеви сипан у кратку PVC непровидну цев са чврсто затвореним једним крајем, а одмах након тога је стављан чеп на отворени крај цеви и добро причвршћен, а затим је затворена цев са узорком замотавана у рефлектујућу заштитну фолију како би осигурали да узорак неће бити осветљен чак ни минималном количином светлости.

Узорци за магнетостратиграфско датирање су узимани помоћу језгрене цеви, при чему се водило рачуна да језгро целом дужином од око 1,5 m не буде прекинуто. На њему је одмах након истискивања из сржне цеви усецан жљеб са стрелицом означеним смером на доле. За узорковање су одабирани најситнозрнији и најпластичнији делови језгра, који су умотавани у више слојева целофана између којих је стављан и лист папира са означеним смером на доле, ознаком бушотине, датумом и дубинским интервалом. Остатак језгра преношен је и одлаган у сандук за језгро. Узорци су одмах након тога однети на Институт “Јарослав Черни” где су ускладиштени у фрижидеру на температури од 5°C до слања на анализу у Геофизички институт Мађарске.

**Слика 58.** Узорковање језгра за оптички стимулисану луминисценцију (фото Ј. Зарић, 2017.)

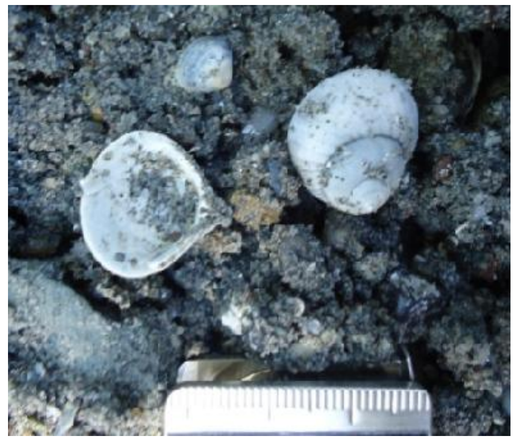
### 8.1.6. Палеонтолошко картирање и узорковање

Циљ палеонтолошког картирања бушотина и узимања проба за палеонтолошке анализе је рашчлањавање плеистоценских и холоценских седимената, реконструкција климатских услова и карактеристика седиментационе средине у којој су живели организми који су сачувани у виду фосила, и одређивање којој геолошкој формацији припада подина квартарних наслага.

Током бушења и првог картирања бушотине, бележене су појаве карактеристичних, посебно индексних фосила као што су *Corbicula fluminalis* и *Viviparus boeckhi*, њихова бројност и физичко стање. Из набушеног материјала који није сложен у сандук, такође су издвајани фосили и скупљани у мале пластичне кесе са зип затварачем. Кесе су означаване именом бунара и бушотине, интервалом узимања узорка и датумом, маркером на текстилном фластеру залепљеном на кесу. На слици 59 су приказани карактеристични индекс фосили.

Током специјалистичког палеонтолошког картирања дубоких бушотина проверавани су резултати овог прелиминарног картирања и узорковања. Приликом картирања стуба бушотине фотографисани су у крупном плану, уз ознаку дубине, карактеристични фосили. Узорци су узимани чистом челичном кашиком и паковани у пластичне кесе, додатни услови чувања узорака у случају стратиграфско-палеонтолошких анализа, у смислу температурних услова и времена чувања, нису били неопходни.

*Corbicula fluminalis*



*Viviparus boeckhi*

**Слика 59.** Индексни макро-фосили карактеристични за београдско извориште

### 8.1.7. Седиментолошко-петролошко картирање

Приликом картирања обраћана је пажња на циклусе седиментације који се обично препознају по наглом повећању крупноће зрна у бази како се иде на горе (ерозија седимената из претходног циклуса и таложење крупнозрног седимента у време највеће снаге тока) и смањењу величине зрна како се иде ка врху циклуса, или по појави глиновито-прашинастих међуслојева. Бележене су занимљиве петролошке појаве као што су на пример већи комади калкрита и других консолидованих стена. Користећи HCl (25 %) проверавано је да ли је везиво у конгломератима и пешчарима карбонатно, као и да ли је подина састављена од глине или лапорца.

### 8.1.8. Минералошке и геохемијске анализе

Анализа минералошког састава почиње од гранулометријског сортирања узорка. Крупнија зрна, шљунак и крупни песак, су често састављена од више минерала, што отежава одређивање минерала. Ситан песак, прашина и глина у шљунковитом узорку чине од 50 % (ако нема прашине), до више од 90 % укупне површине честица у случају да прашинасте и глиновите фракције има 2 до 3 %, при чему њихова заједничка маса у узорку узетом према описаној процедури износи 400 до 600 g, док би је у ситнозрном узорку било и знатно више. Зрна у овом опсегу величине су углавном монокристална (око 80% њих).

Из овог дела узорка, из фракције испод 0,063 mm, и из фракције од 0,1 до 0,16 mm је прво издвајан мањи део за геохемијске анализе, које обухватају „силикатну анализу“ (која се не ради на традиционалан начин већ рендгенском флуоресценцијом) којом се одређује удео Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P, Mn, Cr и S, и одређивање 31 микроелемента - Rb, Cs, Sr, Ba, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W, Co, Ni, Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, Sb, Bi, As, Ga, Tl, Sn, Se. Из остатка фракције испод 0,063 mm се може седиментационом процедуром издвојити глиновита фракција, која онда иде на поступак специјације глина, а из прашинасте фракције се издвајају тешка (до 5 %, тј. 20 до 30 g) и лака минерална фракција третманом тешком течношћу. У случају да у узорку има испод 1% прашине, или да не постоје техничке могућности да се изведе сепарација тешких минерала бромоформом на прашини (која захтева претходно раздвајање глине од прашине и центрифугирање великог броја епрувета са суспензијом прашине у бромоформу и компликованију процедуру раздвајања фракција након завршетка центрифугирања него након окончања седиментације у сепарационом левку), може се користити и фракција од 0,1 до 0,16 mm. Овакво решење има и предности, као што су те да се на тешкој фракцији из овог опсега величине зрна може извршити и магнетна сепарација, и да се могу применити оптичке методе препознавања минерала (обични бинокуларни, поларизациони петрографски, и рудни микроскоп). Због горе наведеног је фракција од 0,1 до 0,16 mm изабрана за анализу. На тешкој фракцији је извршена магнетна сепарација ручним магнетом и електромагнетним сепаратором са регулацијом јачине магнетног поља преко јачине струје на следеће фракције: 1) магнетични минерали, издвојени са ручним магнетом; 2) магнетични минерали издвојени на 0,25A; 3) магнетични минерали издвојени на 0,5A; 4) магнетични минерали издвојени на 1,0A; 5) магнетични минерали издвојени на 2,0A и 6) минерали који су немагнетични на 2,0A. Овако припремљена тешка минерална фракција анализирана је бинокуларним и петрографским микроскопом са поларизованом светлошћу. Удео металичних минерала у укупној маси неке магнетичне фракције у тешкој фракцији се добија комбиновањем резултата микроскопског испитивања провидних минерала поларизационим микроскопом и рудних, непровидних минерала рудним микроскопом.

У тешкој фракцији се на основу ранијих анализа очекивало присуство граната ($(Ca, Mg, Fe, Mn)^{2+}{}_3(Al, Fe, Cr)^{3+}{}_2(SiO_4)_3$ 4300 kg/m$^3$), епидота ($Ca_2Fe^{3+}Al_2(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$ 3300 kg/m$^3$), минерала из групе пироксена као што су аугит ($(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al)_2O_6$ 3400 kg/m$^3$), енстатит ($Mg_2Si_2O_6$ 3200-3900 kg/m$^3$) и хиперстен ($(Mg,Fe)SiO_3$ 3200-3900 kg/m$^3$), карбоната као што су доломит ($CaMg(CO_3)_2$) који није остао у лакој фракцији и сидерит ($FeCO_3$ 3960 kg/m$^3$), металичних минерала као што су магнетит ($Fe_3O_4$), гетит ($FeOOH$), хематит ($Fe_2O_3$), пирит ($FeS_2$), греигит ($Fe_3S_4$), родохрозит ($MnCO_3$), пиролузит ($MnO_2$), затим ставролита ($Fe_2^{2+}Al_9Si_4O_{23}(OH)$ 3690 kg/m$^3$) минерала из групе турмалина ($(Na,Ca)(Mg,Li,Al,Fe^{2+})_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$ 2900-3100 kg/m$^3$), минерала из групе хорнбленде ($Ca_2(Mg,Fe^{2+},Mn,Al,Fe^{3+})_5Si_6(Al, Fe^{3+},Si)_2O_{22}(OH)_2$ 2900-3400 kg/m$^3$), рутила ($TiO_2$ 4230 kg/m$^3$). Металични минерали (дисулфиди, сулфиди, оксихидроксиди, оксиди, и карбонати гвожђа, мангана и других метала) чине, према резултатима ранијих истраживања, 10 до 20 % тешке фракције.

#### 8.1.9. Палеонтолошке лабораторијске анализе и кабинетски рад

Лабораторијско-кабинетска палеонтолошка истраживања чине препарисање фосила (испирање или растварање седимента да би се издвојили фосили), њихова идентификација и евентуална одредба минималне старости. Израђен је стратиграфски стуб бушотине и дата графичка интерпретација о стратиграфско-палеонтолошким проучавањима.

#### 8.1.10. Седиментолошко-петролошке лабораторијске анализе

На по једној дубокој бушотини у зони дренова Renney бунара, које су одабране за минералошке, геохемијске и седиментолошко-петролошке анализе, узимана су по два узорка шљунковитог или песковитог материјала из различитих седиментационих циклуса. Након гранулометријског раздвајања целокупне масе узорака по фракцијама (фракције: изнад 30 mm, 20-30 mm, 10-20 mm, 5-10 mm, 2,5-5 mm, 2-2,5 mm, 1,25-2 mm, 1-1,25 mm, 0,63-1 mm, 0,315-0,63 mm, 0,25-0,315 mm, 0,16-0,25 mm, 0,1-0,16 mm, 0,063-0,1 mm и испод 0,063 mm) део сваке фракција издвојен је за седиментолошко-петролошке анализе. Што је фракција крупнија, у толико је издвајано више материјала за анализе.

Уз одређивање зона одакле је материјал издани доношен током формирања алувиона, главни циљ седиментолошко-петролошких анализа је одређивање степена стабилности фрагмената стена. Она је одређена физичком и хемијском отпорношћу у процесу површинског распадања. Као стабилни састојци узимају се кварцити, опал, пешчари, рожнаци, конгломерати. Као нестабилни састојци узимају се вулканити, серпентинити, одломци фосила, карбонати и највећи део неогених фрагмената.

Код пешчара потребно је да се уз петролошки састав зрна утврди и састав цементног везива. Посебна пажња треба да се посвети нестабилним састојцима у оба састојка пешчара. Нестабилни састојци у пешчарима су фелдспати (плагиокалси и алкални фелдспати) који се временом распадају дајући минерале глина, серицит, калцит. Део одломака стена у пешчару је такође нестабилан. То се, пре свега, односи на одломке вулканита и карбонатних стена. Цементација карбонатима такође доприноси нестабилности пешчара. Евентуално присуство сулфида, сулфата и фосфата додатно доприноси нестабилности пешчара.

У оквиру силицијских седиментних стена треба испитати и рожнаце и радиоларите. Рожнаци се сматрају хемијским (не органским), а радиоларити су органогени седименти. Основни петрогени састојак ових стена је калцедон – радијално зракаста форма кварца.

Карбонатне стене спадају у физички и хемијски нестабилне састојке. Њихово веће или велико присуство сврстава кластите у „незреле“ седименте. Могу бити веома честе у шљунковитој фракцији. Поред основног садржаја пажња треба да се посвети евентуалном присуству глауконита (аутигени седиментни минерал са високим садржајем Fe и K). Овај минерал се лако распада предајући систему гвожђе и калијум. Такође треба усмерити пажњу на ургонске кречњаке (креда).

Базити - под базитима су обухваћене базичне магматске стене – габрови, диорити, дијабази, спилити, порфирити и базалти. Главни петрогени минерали који граде ове стене су фелдспати, плагиокласи, амфиболи (хорнбленда), пироксени, оливин. Сви ови минерали су генерално средње или ниске стабилности и лако се у површинским условима у интеракцији са водом распадају.

Вулканити - макроскопском опсервацијом се не могу прецизно издвојити врсте. Може се за њих радити микроскопија на петрографским препаратима да би се утврдиле тачније врсте.

Извршена су следећа лабораторијска испитивања:

- Одређивање састава шљунковите фракције (изнад 30 mm, 20-30 mm, 10-20 mm, 5-10 mm, 2,5-5 mm и 2-2,5 mm) - врши се макроскопски или коришћењем биноокуларне лупе, поступком издвајања петролошки јасно дефинисаних састојака – 2 узорка по бунару;
- Одређивање минералошко-петрографског састава песковите фракције (1,25-2 mm, 1-1,25 mm, 0,63-1 mm, 0,315-0,63 mm, 0,25-0,315 mm, 0,16-0,25 mm, 0,1-0,16 mm, 0,063-0,1 mm) - врши се коришћењем биноокуларне лупе, поступком издвајања петролошки јасно дефинисаних састојака ради квалитативног и квантитативног одређивања састава – 2 узорка по бунару;
- Одређивање садржаја $CaCO_3$ калциметром на фракцији 0,125-0,25 mm – 2 узорка по бунару.

#### 8.1.11. Уградња пијезометарске конструкције и разрада пијезометра

У сваку избушену бушотину уграђена је пијезометарска конструкција. Типска пијезометарска конструкција дубоког пијезометра је следећих карактеристика:

- ТАЛОЖНИК: пуна PVC цев, Ø 75 mm, укупне дужине L = 1 m, уграђен у интервалу од -25,00 m до -24,00 m.
- ФИЛТЕР: отвори на филтеру (перфорације) имају кружни облик пречника Ø 8−10 mm, формирају се у наизменичном распореду; преко перфорираног дела у интервалу од -24,00 m до -23,00 m, спирално се намотава пластични канап дебљине Ø2,5 mm, са ходом од 5 cm; преко канапа је постављено пластично сито, светлог отвора димензија 0,5x0,5 mm, са преклопом на шаву до 2 cm; сито је фиксирано за перфорирани, филтерски део PVC цеви поновним намотавањем пластичног канапа дебљине Ø2,5 mm са ходом од 5 cm, у супротном смеру од намотаја канапа постављеног испод сита; филтерски део је уграђиван на дубини дренова сваког од одабраних бунара, према расположивим подацима о коти утиснутих дренова, присутној вертикалној

девијацији дренова, броју и стању дренова у случају да су активне две лепезе и др.

- НАДФИЛТЕРСКА ЦЕВ: PVC цев, Ø 75 mm, дужине L = 23,80 m, уграђена у интервалу од -23,00 m до +0,80 m.

Описана пијезометарска конструкција варира у складу са ситуацијом на терену – резултатима бушења.

Након спуштања конструкције у бушотину, вршено је запуњавање материјалом издани извлачењем обложне колоне до повлатних прашинастих и глиновитих седимената, док је интервал коме припада повлата запуњаван глиновитим материјалом до површине терена.

Након уградње засипа и завршетка израде бушотина, вршено је и испирање пијезометара методом „air lift-a“. Испирање сваког пијезометра је трајало до потпуног избистрења воде, или 3 сата.

Пијезометри су опремани и обезбеђивани адекватним бетонским блоком и пијезометарском капом. Бетонски блокови имају димензије 0,50 m x 0,50 m и уграђени су у интервалу од -0,50 m до +0,20 m бушења. У средини бетонског блока налази се заштитна PVC цев Ø 300 mm, дужине 1,20 m, уграђена у интервалу од -0,50 m до +0,70 m бушења. Простор између заштитне PVC цеви и надфилтерске PVC цеви је испуњаван бетоном. На бетонском блоку утискивана је ознака пијезометра. На овако израђене пијезометре уграђене су заштитне пијезометарске капе са кључем.

#### 8.1.12. Узорковање подземних вода за физичко-хемијске и микробиолошке анализе

Извршено је узорковање подземних вода из пијезометара (са *in situ* мерењима концентрације раствореног кисеоника, редокс потенцијала, специфичне електричне проводљивости, вредности pH и температуре) за потребе израде физичко-хемијских и микробиолошких анализа („А“ обим физичко-хемијских анализа и микробиолошке BART - Biological Activity Reaction Test, анализе гвожђевитих бактерија IRB- BART, сулфато редукујућих бактерија SRB- BART, слуз продукујућих бактерија SLYM-BART, денитрификационих бактерија DEN-BART и хетеротрофних аеробних бактерија HAB- BART).

Узорковање је извршено пумпом (систем црева је претходно испран жавеловом водом) у одговарајућу амбалажу за узорке за физичко-хемијске анализе и у стерилне Винклерове боце за микробиолошке анализе. Пијезометри су претходно били испрани са три измене воде. Стандарди који су коришћени приликом узорковања:

- LAB JČ QM 01 "Пословник о квалитету Лабораторије";
- Правилник о начину узимања узорака и методама за лабораторијску анализу воде за пиће ("Сл.лист СФРЈ" бр.33/87 и 13/91);
- Упутство за узорковање LAB JČ UP 5.7-001;
- Квалитет воде – Узимање узорака – Део 1: Смернице за израду програма узимања узорака и поступке узимања узорака (SRPS EN ISO 5667-1:2008);
- Квалитет воде – Узимање узорака – Део 11: Смернице за узимање узорака подземних вода (JUS ISO 5667-11:2005);
- Квалитет воде – Узимање узорака за микробиолошке анализе (SRPS EN ISO 19458:2009).

Циљ ових испитивања је био да се утврди стање физичко-хемијског и микробиолошког квалитета подземних вода са нагласком на главне редокс хемијске врсте и ширу еколошку групу бактерија које, према досадашњим сазнањима, имају важну улогу у процесима старења и корозије дренова и трансформације органских материја и редокс сензитивних врста.

При узорковању подземних вода важно је да се што већи број одређивања одмах изврши на лицу места, ако је то изводљиво (приликом узорковања сондама је измерена концентрација раствореног кисеоника, редокс потенцијал, специфична електропроводљивост и pH), или што је могуће пре након прикупљања узорака. Посуде са узорцима су испоручене у лабораторију као веома добро затворене, заштићене од утицаја светлости и превисоке топлоте. Узорци који нису могли да буду анализирани истог дана су стабилизовани и чувани заштићени. За чување у току кратког периода тј. до 24 h примењено је хлађење на 4°C.

Одмах по доласку у лабораторију узорци за микробиолошке анализе су аплицирани у стерилни полиетиленски BART систем епрувета. Физичко-хемијске и микробиолошке анализе и мерења спроведени су у лабораторији Института за водопривреду „Јарослав Черни“.

Резултати BART анализа обрађени су у софтверу (BART-SOFT B.6) који је дизајниран за ову врсту тестирања, а који на основу типа и времена појављивања реакција у појединачним биодетекторима, даје процену ризика од корозије и зачепљавања на сваком појединачном бунару. Скала величине ризика од корозије и зачепљавања је дата као бројчана вредност у интервалу од 1 (минималан ризик) до 9 (максималан ризик) а поступак процене ових вредности дат је у опису методе. Током лаг периода (10-15 дана) ток анализа је сликан дневно и архивиран као фотодокументација. Током тестирања праћена су упутсва према Biological Activity Reaction Test, BART, User Manual, DBI Edition 2004, и SRB I IRB-BART™ – Quality Control, 2004. и Microbiology of well biofouling, R. Cullimore (1999).

## 8.2. Приказ резултата примењених истраживања - Одабрана изворишта на току Саве за мониторинг параметара квалитета подземних вода

### 8.2.1. Извориште „Сава 1“ (Јарак) код Руме

Извориште ”Сава 1” налази се у атару села Јарак (општина Рума), са леве стране магистралног пута Рума – Шабац, на око 1km од Јарка. Формирање изворишта започето је 1984 године, а до данас је изведено девет експлоатационих бунара. Просечно се из овог изворишта захвата око 150 l/s маломинерализованих подземних вода, које се цевоводом усмеравају у фабрику воде ”Фишеров Салаш”, одакле се после одговарајућег третмана дистрибуирају потрошачима. Експлоатациони бунари каптирају подземне воде алувијалне издани дубине до око 50 m.

***Геоморфолошке, хидрографске и хидролошке одлике терена – изворишта Јарак***

Генерално, шире подручје истраживања припада Срему, односно јужним деловима пространe Панонске низије, која је у олигомиоцену спуштена између Алпа, Карпата, Родопских и Динарских планина дуж врло дубоких раседних структура. Испитивано подручје има карактер равнице која на крајњем северу преко ниских брежуљака прелази у хорст Фрушке горе. Надморска висина ширег подручја истраживања креће се од 80 до 110 m. На основу висинских разлика које постоје између појединих предела, на основу геолошког састава и облика подручја истраживања, могу се издвојити следеће морфолошке целине: лесне заравни, лесне терасе, алувијалне равни и депресије.

Лесни појас око Фрушке горе није свуда исте ширине. На јужној страни он обухвата простор све до реке Саве. Идући на југ од Фрушке горе, надморска висина ове заравни благо опада, ова зараван је "избушена" вртачама и доловима. Лесне терасе су настале радом река и потока, који су проширујући своје долине, еродовали веће делове лесне заравни и створили широке долине које су касније засипане новим флувијалним материјалом и у којима су реке поново усекле своја корита и изградиле алувијалне равни.

Првобитне долинске равни са лесним и флувијалним материјалом остале су са обе стране као лесне терасе познате у нашој литератури као нижи лесни плато. У Срему се ове терасе настављају на фрушкогорску лесну зараван и земунски лесни плато и простиру до алувијалне равни Саве. Важно је напоменути да у југоисточном Срему у забареном земљишту има острва лесног састава, која су вероватно еквивалент лесној тераси.

Са Фрушке горе се у благом паду спуштају потоци, који када се спусте на лесне заравни и терасе попримају изглед лесних долова и на лесној тераси долази до њиховог забаривања. То доприноси повећању нивоа воде, који је иначе у кишним периодима изузетно висок, што доноси одређене потешкоће обрадивим површинама.

Сава, као типична равничарска река има широку долину. Ток реке Саве је кривудав, меандерског типа због чега на местима некадашњег корита остају многобројне мртваје. У јужном делу Срема река Сава формира терасну раван ширине 20 km, која се великим делом простире кроз посматрано истражно подручје. Пад корита Саве, од ушћа реке Дрине до ушћа реке Колубаре, износи око 4,7 cm/km, што указује на њен изразити равничарски карактер.

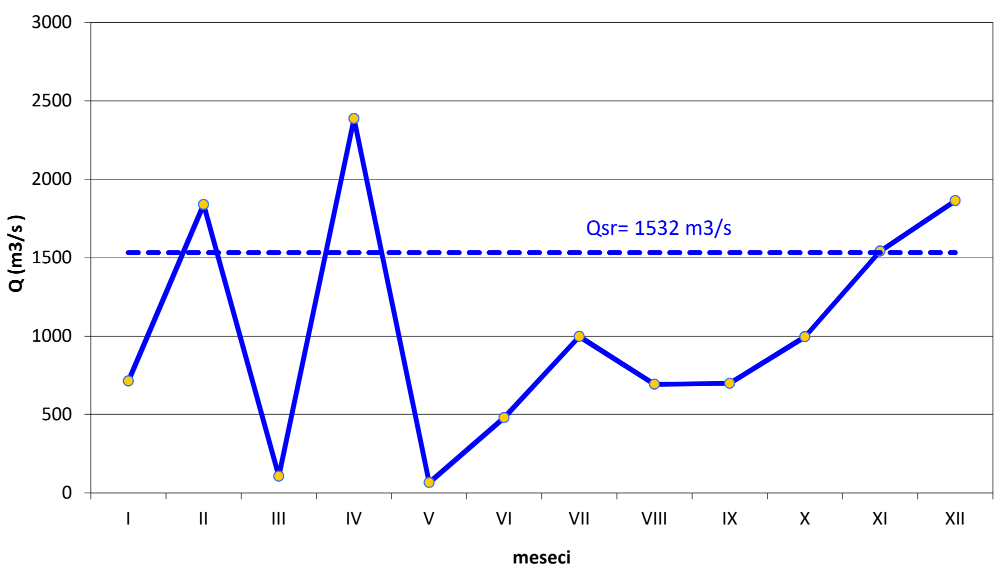
Река Сава представља најзначајнију хидролошку појаву посматраног подручја. Њен ток има директног утицаја на дренирање и плављење алувијалних равни, на потхрањивање мањих токова и издани који се у време максималног водостаја налазе испод нивоа реке.

Такође је изражена добра хидрауличка веза између нивоа воде површинских токова и нивоа воде подземних вода. Овде су приказани неки од података протицаја реке Саве.

**Табела 11.** Просечни месечни и средњи вишегодишњи протицаји у $m^3/s$ Саве на водомерној станици Сремска Митровица за период 1946-1991. година (РХМЗ, Београд)

| месец | **I** | **II** | **III** | **IV** | **V** | **VI** | **VII** | **VIII** | **IX** | **X** | **XI** | **XII** | **SRED.** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Q**($m^3/s$) | 714 | 1839 | 107 | 2387 | 65 | 479 | 998 | 693 | 699 | 995 | 1541 | 1863 | 1532 |

Низводно од Сремске Раче, водостај има два максимума и два минимума. Примарни максимум траје у периоду март-април мај, а секундарни од друге половине новембра до друге половине децембра. Примарни минимум почиње половином јула и траје током августа и септембра, а секундарни током половине јануара и фебруара. Средњи годишњи протицај реке Саве је Q = 1561 $m^3/s$.




**Слика 60.** Дијаграм средњих месечних протицаји у $m^3/s$ Саве на водомерној станици Сремска Митровица за период 1946-1991. година (РХМЗ, Београд)

***Геологија и стратиграфија квартарних наслага– изворишта Јарак***

**Миоцен**

Седименти панона и понта имају широко распрострањење на подручју истраживања, гледано по дубини истражног терена, бушењем су констатовани, често, на малим дубинама. Ове творевине на подручју истраживања имају континуално распрострањење и представљају подину водоносних хоризоната.

**Понт**

Седименти понта немају велико пространство на истражном терену. Њихов доњи део се налази дубоко спуштен у погребеним областима, што је утврђено на основу резултата израде дубоких бушотина, док се горњи понт појављује и на површини терена. Понтске творевине су представљене алевритима, песковима, песковито-глиновитим алевритима, алевритским глинама, шљунковитим глиновито-алевритским песковима и др.

**Плиоцен**

Седименти плиоцена на овом простору подразумевају таложење у рецентном слатководном језеру које је остало као реликт валиког Панонског језера.

**Палудински слојеви**

Средњи и горњи седименти плиоцена, на истражном терену, су представљени слатководним “палудинским слојевима”. Откривени су у бушотинама артеских водоносних хоризоната као и у бушотинама изведеним за потребе нафтно-геолошких истраживања, на подручју Руме, Вогња, Платичева. Генерално гледано, палудински слојеви истражног подручја су представљени шљунковима, алевритским песковима, песковито-глиновитим алевритима, алевритским глинама и глинама са прослојцима лигнита. Са аспекта генезе и услова седиментације пра-токови Саве, Дунава и Тисе уливали су се у слатководно језеро вршећи принос материјала у његовим ободним деловима све до краја плиоцена.

**Квартар**

На основу палеонтолошких података и суперпозиционих односа у квартару су издвојена два одељка: нижи, који припада плеистоцену и виши који је стваран током холоцена.

Полигенетске квартарне наслаге захватају целу површину истражног терена, и представљају творевине од највећег значаја за водоснабдевање на истражном терену. Представљене су делувијално-пролувијалним, алувијалним и лесним седиментима.

У квартару Срема може се уочити неколико фаза развића:

1. старија копнена фаза у ужем смислу ("сремска серија"), у којој су постале иницијалне форме савремених делувијалних падина;
2. речно-језерска и барска фаза (*Corbicula fluminalis*), са којима се завршава еволуција плиоценских језера;
3. речна фаза представљена са две терасе;
4. млађа копнена фаза у којој настају лесне заравни.

**Плеистоцен**

**Старији речни седименти** – на истражном делу терена, ове творевине припадају најстаријем одељку квартара, плеистоцену. Дебљина седимената је променљива. Седиментациони циклус почиње песковито-шљунковитим наслагама на дубини 85-100 m, а на појединим местима и преко 100 m. Честе су смене песка, алевритског песка и алевритских глина. На дубини 40-50 m поново долази до таложења шљунковито-песковитих седимената, са повећаном шљунковитом компонентом у вишим деловима. У оквиру ових седимената формирана је издан која се користи за водоснабдевање насеља и индустрије квалитетном водом. Ситнозрни седименти су најзаступљенија компонента. Садрже конкреције калцита, а у вишим партијама оолита и гетита, pH = 7,7-8,5. Глиновита фракција одговара хидролискуну, кварцу, калциту и хлориту. Боја седимената је смеђа и жућкаста. Ове творевине називане су често и језерске или речно-језерске творевине. Палудинско језеро које се у плиоцену простирало јужно од Фрушке горе захватајући северни део Мачве, престало је да постоји у плеистоцену. Пра-токови великих река који су у плиоцену вршили принос материјала у слатководно Палудинско језеро, у плеистоцену су пробијали своје токове. Пра-токови су мењали свој ток формирајући системе уплетених река. Током плеистоцена услед тектонске активности и спуштања ободних делова Панонског басена и зона на ободу Фрушке горе, реке су мењале своје токове и остављале забарене и мочварне терене. Тек после великих глацијација у средњем и горњем плеистоцену, речни токови постају довољно снажни, усецају своја корита формирајући речне терасе и добијају свој данашњи изглед.

**Копнени лес** – еолске творевине су констатоване на већем делу простора истраживања, одакле се даље настављају на север. Изграђују благе заравни са надморском висином 100-135 m н.м. Дебљина ових наслага износи око 30 m. Лес представља продукт еолске акумулације. Овде су били повољни услови за акумулирање леса, односно снажни ветрови, затим вегетација и барски региони који су омогућили да се прашина заустави. Велики број погребених земаља, што се може уочити у лесу, указују нам на климатске промене које су се дешавале за време његовог формирања. Боја леса је углавном мркожута, а погребених земаља мркоцрвена. Осим разлике у боји постоји и разлика у литолошком саставу.

**Холоцен**

**Речне терасе** – речна тераса, на истражном простору заузима највеће пространство са апсолутним висинама 75-80 m. Дебљина седимената је доста мала и износи 20-30m. Настала је услед поткопавања лесних наслага и њиховим преталожавањем. Река је померала своје корито ка југу, остављајући речни нанос за собом. Изграђена је од песка, шљунка, глине, суглине и супескова. Код лесоидно-барских седимената у завршном циклусу седиментације преовлађују алевритске глине које се налазе у смени са алевритским песковима и ситнозрним песковима. Боје су жућкасте и сиво-смеђе са карбонатним конкрецијама (2-15 mm), pH = 7,4 - 8,6. Ови седименти флувијалног процеса су се таложили крајем плеистоцена и почетком холоцена. Речна тераса је формирана приликом одлагања акумулативних флувијалних творевина реке Саве. Формирала се као пространа терасна раван са надморском висином 75-82 m н.м., која се даље пружа до Дрине на западу. Изграђена је од песковитог шљунка, песка са сочивима песковитих глина. У завршном делу редовно се срећу преталожене лесоидне алевритске глине са карбонатним конкрецијама. Дебљина терасе је 3-10 m. Из сондажних и структурних бушотина прикупљен је већи број проба за макроанализу седимената средине. Ова фауна указује да су седименти флувијалног порекла и да су се таложили крајем плеистоцена и почетком холоцена.

**Барске творевине** – у оквиру алувијалне равни Саве у данашњем рељефу, јасно се запажају удубљења лучног облика чији се правци углавном поклапају са правцем тока реке. То су стари меандри некадашњег тока реке са барском вегетацијом и барском водом. Ниво воде зависи од нивоа текућих вода. Код ових седимената запажа се присуство преталожених лесоидних творевина, односно, изграђени су од лесоидних глина, суглина и супескова са међусобним прелазима. На местима где преовлађује глиновита компонента, ове творевине могу да се користе за израду грађевинског материјала, тј. цигле и црепа.

**Фација поводња** – поводањска фација се простире у непосредној близини тока реке Саве. Настаје при појави великих вода и изливању тока реке из њеног корита. Тада долази до депоновања алевритског песка, алевритских глина и ређе заглињеног шљунка. Дебљина ових наслага је веома променљива и креће се 1-5 m, па чак и до 10 m. Ове творевине се простиру у југо-западном делу истражног терена.

**Пролувијум** – пролувијум је представљен конусним плавинама, тј. наносима повремених водених токова. Материјал који је одлаган је различитог састава. Најчешће су то: заглињен песковит шљунак, песак и суглине. Дебљина пролувијалних наслага се креће око 10 m. Корен пролувијума карактеришу крупнозрни шљункови, док у периферним областима доминирају ситно шљунковите лесоидне суглине.

**Делувијални седименти** – делувијални седименти су регистровани на подручју самог града Руме. Стварају се у виду застора на благим падинама. Представљени су суглинама, а често садрже и шљунковити детритус, који је у нижим деловима ситнији и прерађен, што значи да је долазило до пролувијалних преталожавања.

***Хидрогеолошке карактеристике терена – изворишта Јарак***

На истражном терену заступљени су следећи типови средина с аспекта струјања подземних вода:

- збијени тип издани са слободним нивоом - алувијалне наслаге Саве са притокама,
- збијени тип издани са нивоом под притиском - шљунковито-песковите наслаге неогене и квартарне старости,
- условно-безводни делови терена које чине глине, лапорци, алеврити.

Са хидрогеолошког аспекта, највећи значај на истражном терену има збијени тип издани са слободним нивоом и нивоом под притиском (артешке издани).

**Збијени тип издани са слободним нивоом** има доста велико распрострањење на подручју истраживања. Заступљен је у стенама интергрануларне порозности у квартарним и алувијални наслагама Саве и њених притока, затим речним терасама, делувијалним, колувијалним и пролувијалним наслагама. За потребе водоснабдевања од ових седимената највећи значај имају алувијалне наслаге у оквиру којих се налазе пространи песковити и шљунковити наноси као добри носиоци акумулације подземних вода.

Шљункови и пескови квартара понекад и директно належу на плиоценске песковите и шљунковите слојеве, па њихова граница није увек јасна. Општа је констатација, да се дебљина шљункова и пескова у алувијалним наслагама Саве креће између 10-20 m, док су преко њих исталожене глине и глиновити пескови дебљине од 5-10 m. Песковите и шљунковите серије у зонама веће заступљености грубозрних компоненти, имају добру водопропусност и представљају добре резервоаре подземних вода. Средња вредност коефицијента филтрације алувијалних шљункова Саве креће се у границама од $10^{-3}$-$10^{-5}$ m/s, док је коефицијент филтрације пескова реда $10^{-5}$ m/s.

Амплитуде колебања нивоа издани у приобалној зони Саве износе од 3-4 m, дубина до слободног нивоа издани је l-3 m, а некад излази и на површину терена у виду "пиштевина" замочварујући терен (Хртковци, Платичево, Грабовци). У зони алувиона Саве генерални смер кретања подземних вода је према југу односно току Саве. Прихрањивање издани у алувијалним наслагама остварује се највећим делом инфилтрацијом вода речних токова Саве и њених притока, инфилтрацијом атмосферских талога и вода из каналске мреже. Дренирање ове издани врши се непосредним истицањем у речне токове у периодима ниских вода када Сава представља "дрен" за све "прве" издани, у процесу евапотранспирације, преко плитких копаних бунара за локално водоснабдевање и у бројне системе дренажних канала. Бунари који се хране водом из алувијалних равни Саве преко шљунковитих колектора практично имају неограничену издашност.

За ову издан карактеристична је активна хидрауличка веза са речним током. На појединим местима, где постоји колматација речног корита, због повећаног садржаја глиновитих честица ова веза може бити отежана. С друге стране, у оним срединама, где је присуство крупнијих фракција у алувијалним наслагама веће, хидраулички отпор стена корита река се може занемарити и стене у литолошком профилу посматрати као средина са једнородним филтрационим својствима. У таквим природним условима, режим збијеног типа издани у алувијалним наслагама највећим делом је условљен режимом површинских вода. Тако у периоду високог водостаја река, долази до подизања нивоа издани скоро до површине терена, а после поводња храњење престаје и настаје период истицања изданских вода преко површинских токова.

**Збијени тип издани са нивоом под притиском** формиран је у шљунковито-песковитим наслагама у оквиру терцијарне и квартарне серије седимената. Седименти миоценске и плиоценске старости у литолошком погледу представљени су песковима, шљунковима, глинама, лапорцима, пешчарима, конгломератима и њиховим варијететима. Пакети неогених седимената посматрано у профилу и хоризонталном распрострањењу карактеришу се честим смењивањем водоносних (шљункови и пескови) и слабоводопропусних или непропусних седимената (глине, лапорци). Пескови и шљункови према порозности и хидрогеолошкој функцији коју поседују представљају добро водопропусне седименте у оквиру којих је формиран збијени тип издани. Ритмичко смењивање и синклиналан положај ових водопропусних и слабоводопропусних седимената условљава да се ниво издани налази под притиском дајући на тај начин овој издани артески или субартески карактер.

Просторно дефинисање артеских хоризоната, односно сагледавање њиховог распрострањења у плану и профилу, могуће је првенствено на основу резултата добијених процесом истражног бушења. На посматраном подручју истражна бушења су углавном вршена у сврху водоснабдевања и израде водозахватних објеката, чија је дубина већином до 200 m.

У неогеним и квартарним седиментима развијеним на територији јужног Срема формиран је већи број водоносних хоризоната. Неки хоризонти исклињавају, неки се раслојавају, неки имају велику дебљину и знатно распрострањење посматрано у плану, што даје сваком делу басена одређене хидрогеолошке карактеристике. Такве фацијалне промене у таложењу материјала настале су као последица промена обалских линија услед непрестаних тектонских колебања с једне стране, односно утицаја река које су, нарочито у младим теренима, у неравномерној количини доносиле материјал са копна и депоновале га у језеро што је било условљено променама у флувијалном и климатском режиму.

На основу резултата добијених бушењем за потребе водоснабдевања, дубоких истражних бушотина за потребе откривања нафте и гаса и "дубоког" хидрогеолошког бушења за потребе истраживања геотермалних вода генерално у овим просторима, посматрано од плићих према дубљим деловима терена, могу се издвојити:

- артески хоризонти квартарне и плиоквартарне старости
- артески хоризонти плиоценске старости.

Артески хоризонти квартарне и плиоквартарне старости представљени су песком, шљунком и песковито-шљунковитим колекторима. Пескови су различите гранулације и различитих варијетета у погледу боје (жути, сиви, беличасти, црвенкасти и др), док су партије шљунка локалног значаја. Ови артешки хоризонти представљају и најпродуктивније водоносне средине са аспекта оптималног коришћења воде ове издани. Филтрационе карактеристике наведених хидрогеолошких средина одређене су на основу опита црпења из постојећих бушених бунара. Коефицијенти филтрације се крећу од $6{,}4\cdot10^{-4}$ до $2{,}7\cdot10^{-3}$ m/s.

Артески хоризонти средње плиоценске старости формирани су претежно у оквиру песковитих седимената, који одговарају категорији слабије водопропусних седимената јер је коефицијент водопрупусности хидрогеолошких колектора реда величине $10^{-5}$-$10^{-6}$ m/s. Водоносни хоризонти изграђени од ситнозрног и прашинастог песка имају још слабију водопропусност и филтрациона својства - коефицијент филтрације је у границама од $10^{-5}$-$10^{-7}$ m/s. Водонепропусне стенске масе у вишим хоризонтима плиоцена представљене су масивним, сивим и плавичастим глинама, затим разнобојним песковитим глинама (жутим, сивим, мрким). Појединачни капацитети бунара су релативно мали, око неколико l/s. За водоснабдевање користе се хоризонти дубине залегања до 200 m, а ређе до 300 m.

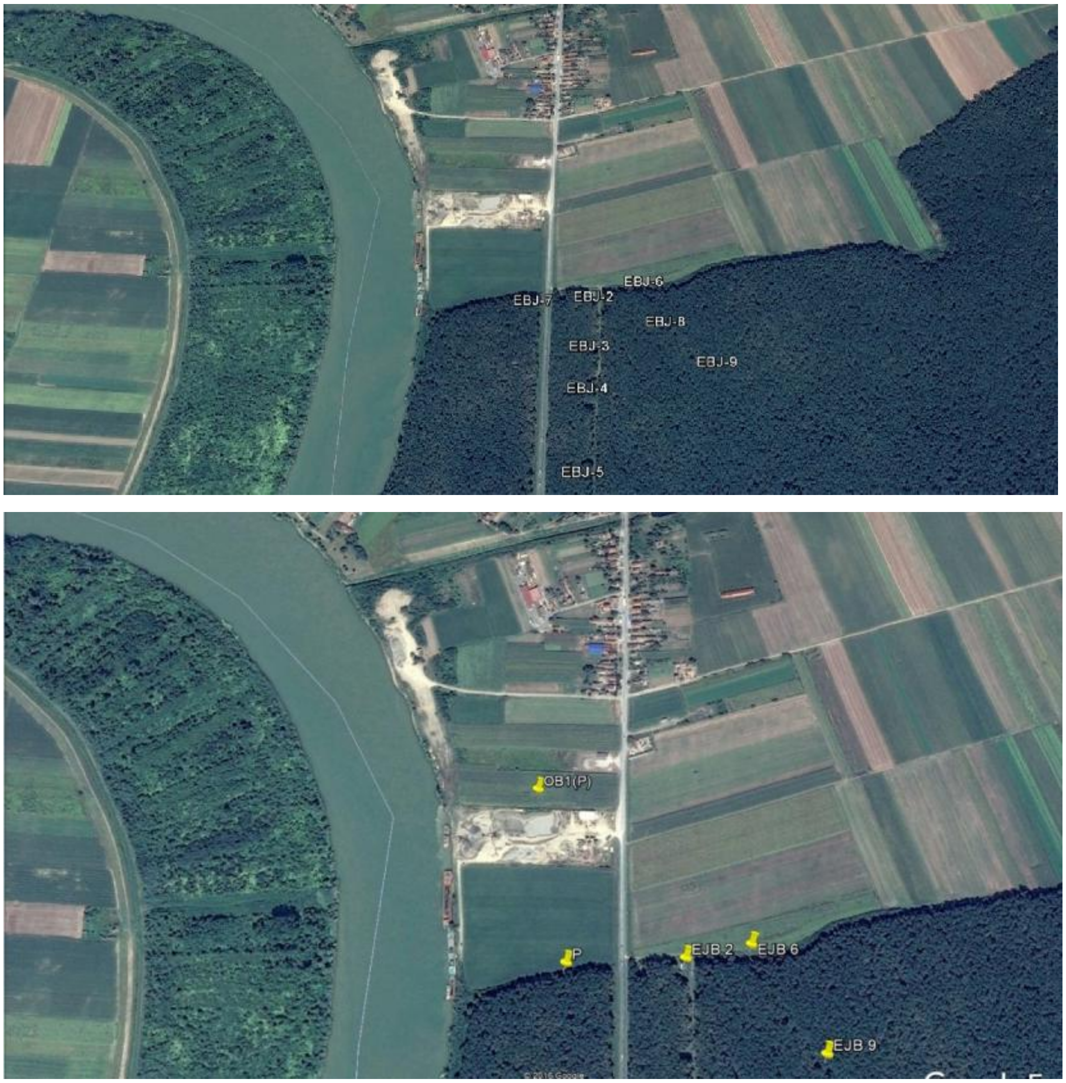
Воде су маломинерализоване (мање од 600 mg/l), хидрокарбонатне класе, претежно магнезијске групе, слабо алкалне реакције, меке до врло тврде. Прихрањивање "плићих" артеских хоризоната остварује се на рачун инфилтрације атмосферских падавина, затим преко површинских водених токова и алувијалних наслага и дотицањем вода из других водоносних средина. Прихрањивање путем падавина врши се директно на откривеним површинама, односно оним местима где неогени седименти избијају на површину терена (ободни делови Фрушке горе) или где су прекривени квартарним наслагама мање дебљине. Значајно прихрањивање може се остварити крајем зиме и током пролећа, односно у периоду отапања снежног покривача и појаве бујичних токова који се сливају са Фрушке горе у равничарске пределе. Дренирање "плићих" артеских хоризоната остварује се изливањем вода у слободну издан, затим на местима бочног исклињавања и преко експлоатационих бунара. Пражњење у слободну издан остварује се у случајевима када се изнад артеских хоризоната налазе издани са слободним нивоом које су од артеске издани одвојене полупропусним седиментима или када издан са слободним нивоом чини саставни део издани која се у другом делу распрострањења налази под притиском. Истицање вода из артеских хоризоната може бити и на местима бочног исклињавања хоризоната, односно на морфолошки погодним структурама. Веома значајан вид дренирања артеских хоризоната одвија се преко артеских и субартеских бунара који се користе за потребе водоснабдевања. Повећане потребе у води и све већа експлоатација вода из водозахватних објеката довела је до тога да артеске издани на територији и Срема и читаве Војводине из стања почетног позитивног пијезометарског нивоа падом нивоа пређу из артеског у субартески тип издани.

**Условно-безводни делови терена** у хидрогеолошком смислу представљају изолаторе кретању подземним водама. Ови хидрогеолошки изолатори представљени су, пре свега, лапоровитим, масним, сивозеленим до мркожутим глинама, песковитим глинама, глиновитим песковима, лесоидним глинама и др. Могу се окарактерисати као седименти мале пермеабилности, који с обзиром на њихову дебљину представљају добру заштиту артеских вода од површинског загађења. Према хидрогеолошкој функцији, “условно безводни делови терена” у односу на остале издани представљају потпуне или делимичне баријере кретању подземним водама. "Условно безводни делови терена", представљени су и терасним седиментима, који се простиру на истражном простору у повлати језерско-речних и језерских седимената. Дебљина им је око 20 m, и састављени су од глине и алеврита. Уз терасне седименте овде се могу сврстати и поводањске фације, барски седименти, речне терасе, копнени лес, старија језерска тераса, сви мале дебљине и неповољног литолошког састава.

### ***Водозахватни и осматрачки објекти изворишта***

**Табела 12.** Координате бунара и пијезометара изворишта "Сава 1" у Јарку (Gauss-Krüger 7)

| Назив објекта | Y [m] | X [m] | Z [m n.m.] |
|---|---|---|---|
| EBJ-1 | 7 402 987 | 4 974 144 | 80,2 |
| EBJ-2 | 7 402 979 | 4 973 988 | 80,2 |
| EBJ-3 | 7 402 966 | 7 402 966 | 80,0 |
| EBJ-4 | 7 402 959 | 4 973 765 | 80,0 |
| EBJ-5 | 7 402 946 | 4 973 625 | 80,0 |
| EBJ-6 | 7 403 092 | 4 974 025 | 80,2 |
| EBJ-7 | 7 402 900 | 4 974 004 | 80,2 |
| EBJ-8 | 7 403 134 | 4 973 922 | 80,0 |
| EBJ-9 | 7 403 185 | 4 973 848 | 80,0 |
| OB1-P | 7 402 724 | 4 974 325 | 80,0 |
| P1 | 7 402 763 | 4 974 019 | 80,0 |




**Слика 61.** Сателитски снимак са положајем свих бунара на изворишту (горе), положај објеката на којима је вршено узорковање и *in situ* мерења на изворишту “Сава 1” (доле)

У даљем тексту дат је приказ литолошких профила свих девет бунара.

### Бунар EBJ-1

Истражно-експлоатациони бунар EBJ-1 у насељу Јарак (општина Сремска Митровица) израђен је током 1984. год. Истражно хидрогеолошко бушење извело је Предузеће Хидросонда из Новог Сада. Бунар EBJ-1 избушен је до дубине 50 m. На основу техничког извештаја о изведеном бушењу истражно-експлоатационог бунара EBJ-1 детерминисан је следећи литолошки профил:

**Табела 13** Литолошки опис набушеног материјала (EBJ-1)

| Дубина (м) | | Литолошки опис |
|---|---|---|
| од | до | |
| 0,0 | 10,0 | лес |
| 10,0 | 35,0 | песак средњезрн до крупнозрн |
| 35,0 | 41,0 | шљунак |
| 41,0 | 50,0 | глина |

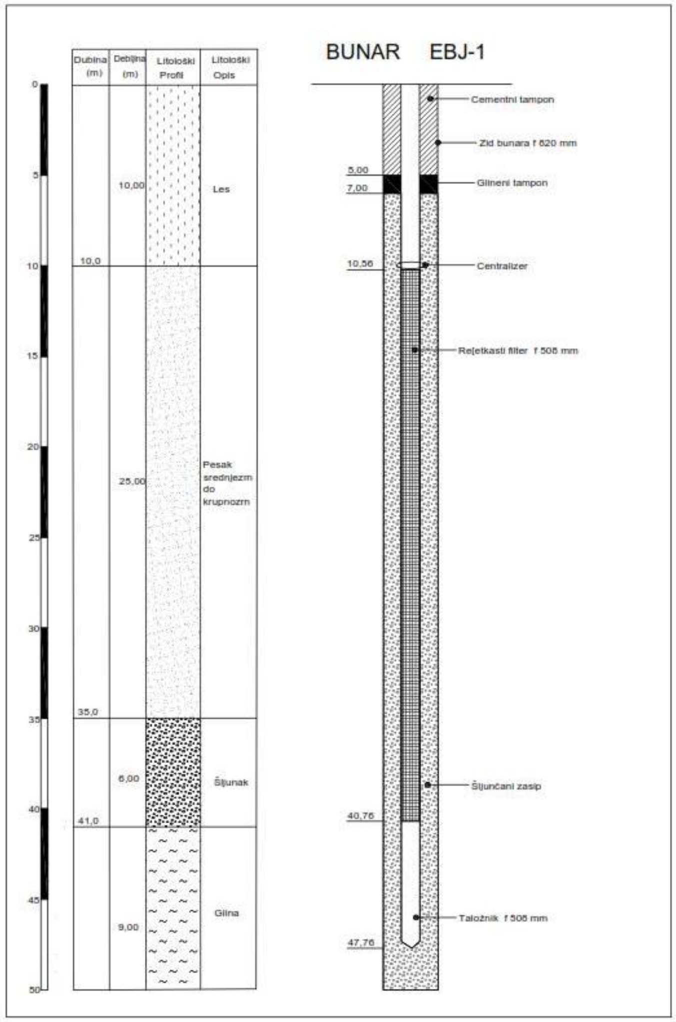
Бушење је изведено једним пречником:

- 0,0 – 50,0 m бушење Ø 820 mm

Бунар EBJ-1имао је следеће конструктивне карактеристике:

- 0,0 – 10,56 m челична цев Ø 508 mm
- 10,56 – 40,76 m филтерска конструкција (челична цев Ø 508 mm )
- 40,76 – 47,76 m таложник (челична цев Ø 508 mm)

Бунарски засип (гранулат) уграђен је од дна до дубине од 7 метара. Међупростор између уводне и обложне колоне у интервалу 5,0-7,0 m је тампониран глиненим тампоном, да би се спречио прилив подземних вода из плићих водоносних хоризоната.




**Слика 62.** Литолошки и технички профил бунара EBJ-1

## Бунар EBJ-2

Истражно-експлоатациони бунар EBJ-2 у насељу Јарак (општина Сремска Митровица) израђен је током 1984. године. Истражно хидрогеолошко бушење извело је Предузеће Хидросонда из Новог Сада. Регенерација бунара је рађена 1998. године, услед пропадања филтерске конструкције. Тада је у постојећи филтер уграђена пакер колона са новим филтером у интервалу од 12 m до 30 m.


**Слика 63.** Изглед бунарске шахте бунара ЕВЈ-2 (фото Ј. Зарић)

Бунар ЕВЈ-2 избушен је до дубине 50 м. На основу техничког извештаја о изведеном бушењу истражно-експлоатационог бунара ЕВЈ-2 детерминисан је следећи литолошки профил:

**Табела 14.** Литолошки опис набушеног материјала (ЕВЈ-2)

| Дубина (m) | | Литолошки опис |
|---|---|---|
| од | до | |
| 0,00 | 12,21 | глине, лесоидне, жуте |
| 12,21 | 35,00 | песак средњезрн до крупнозрн |
| 35,00 | 42,21 | шљунак крупнозрн до ситнозрн |
| 42,21 | 50,00 | глина, доста тврда, жута |

Бушење је изведено једним пречником:

- 0,0 – 50,0 m бушење пречником Ø 1080 mm

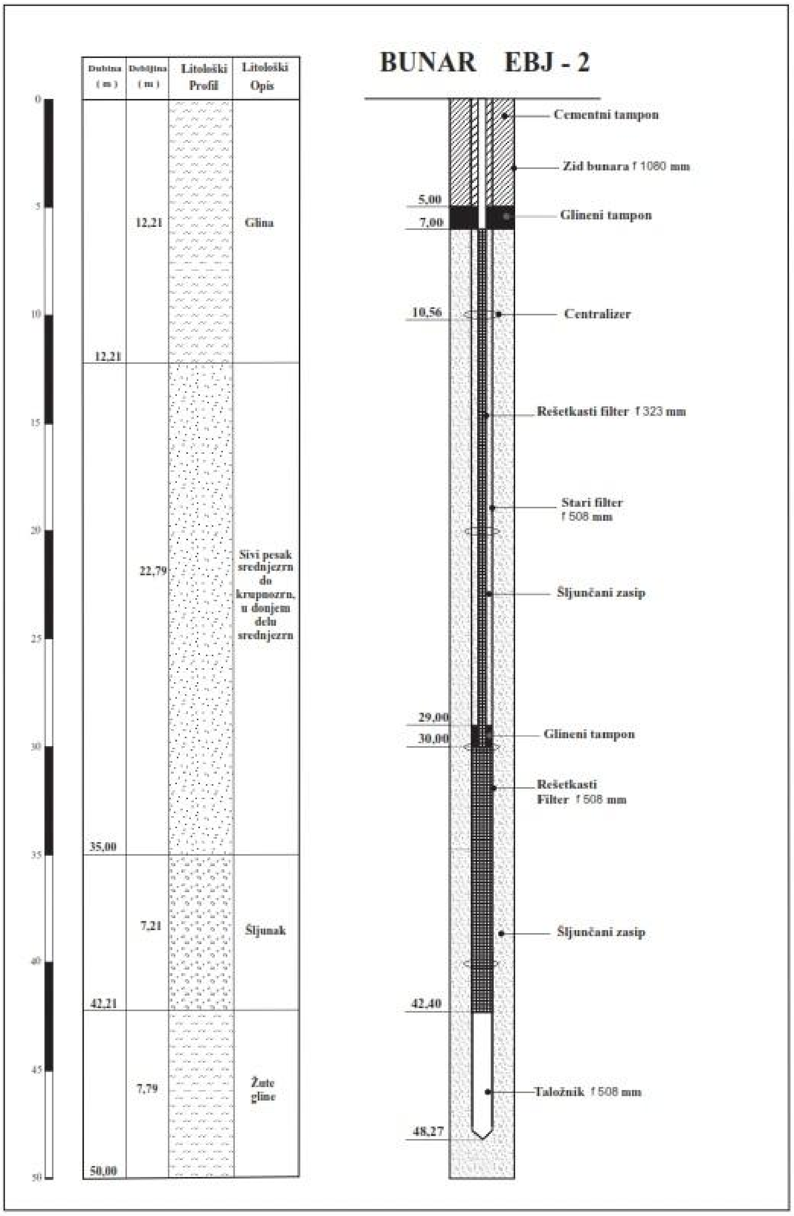
Бунар ЕВЈ-2 имао је следеће конструктивне карактеристике:

- 0,0 – 30,0 m пуна челична цев Ø 508 mm
- 30,0 – 42,4 m решеткасти филтер Ø 508 mm
- 42,4 – 48,27 m таложник (челична цев) Ø 508 mm

Након регенерације је уграђена следећа конструкција:

- 0,0 – 7,0 m пуна челична цев Ø 323 mm
- 7,0 – 29,4 m решеткасти филтер Ø 323 mm
- 29,0 – 30,0 m таложник (челична цев) Ø 323 mm

Бунарски засип (гранулат) уграђен је од дна до дубине од 7 метара. Међупростор између уводне и обложне колоне у интервалу 5,0-7,0 m и 29,0-30,0 m је тампониран глиненим тампоном, да би се спречио прилив подземних вода из плићих водоносних хоризоната. Након регенерације уграђен је шљунчани засип у интервалу од 29,0 до дубине од 7 метара.




**Слика 64.** Литолошки и технички профил бунара EBJ-2

**Бунар EBJ-3**

Истражно-експлоатациони бунар EBJ-3 у насељу Јарак (општина Сремска Митровица) израђен је током 1984. године. Истражно хидрогеолошко бушење извело је Предузеће Хидросонда из Новог Сада. Бунар EBJ-3 избушен је до дубине 55 m. На основу техничког извештаја о изведеном бушењу истражно-експлоатационог бунара EBJ-3 детерминисан је следећи литолошки профил:

**Табела 15.** Литолошки опис набушеног материјала (EBJ-3)

| Дубина (m) | | Литолошки опис |
|---|---|---|
| од | до | |
| 0,0 | 33,0 | нема писаних података |
| 33,0 | 45,0 | шљунак |
| 45,00 | 55,0 | жуте глине |

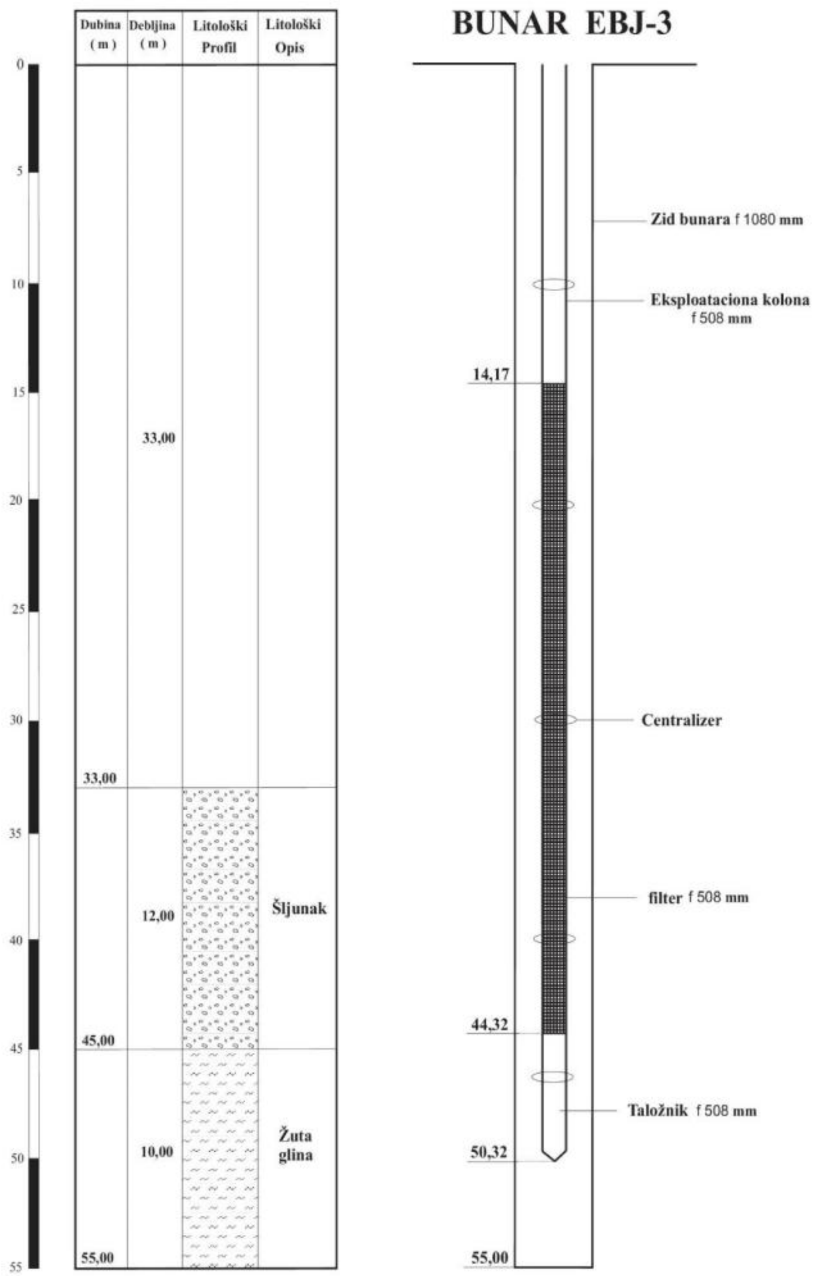
Бушење је изведено једним пречником:

- 0,0 – 55,0 m бушење пречником Ø 1080 mm.

Бунар EBJ-3 има следеће конструктивне карактеристике:

- 0,0 – 14,17 m пуна прохромска цев Ø 508 mm,
- 14,17 – 44,32 m филтерска конструкција (челична цев Ø 508 mm са ситом),
- 44,32 – 50,32 m таложник (челична цев Ø 133 mm).

Нема података у ком интервалу је уграђен бунарски засип (гранулат).




**Слика 65.** Литолошки и технички профил бунара EBJ-3

**Бунар EBJ-4**

Истражно-експлоатациони бунар EBJ-4 у насељу Јарак (општина Сремска Митровица) израђен је током 1985. године. Истражно хидрогеолошко бушење извело је Предузеће Хидросонда из Новог Сада. Регенерација бунара је рађена 2006. године, услед рапидно смањених прилива подземних вода у бунар. Регенерацију је извело Предузеће Хидросонда из Новог Сада.

Бунар EBJ-4 избушен је до дубине 54 m. На основу техничког извештаја о изведеном бушењу истражно-експлоатационог бунара EBJ-4 детерминисан је следећи литолошки профил:

**Табела 16.** Литолошки опис набушеног материјала (EBJ-4)

| Дубина (m) | | Литолошки опис |
|---|---|---|
| од | до | |
| 0,0 | 10,0 | глина |
| 10,0 | 18,0 | песак, прашинаст до ситнозрн |
| 18,0 | 24,0 | шљунак |
| 24,0 | 39,0 | песак, средњезрн до ситнозрн |
| 39,0 | 44,5 | песак са шљунком |
| 44,5 | 54,0 | глина |

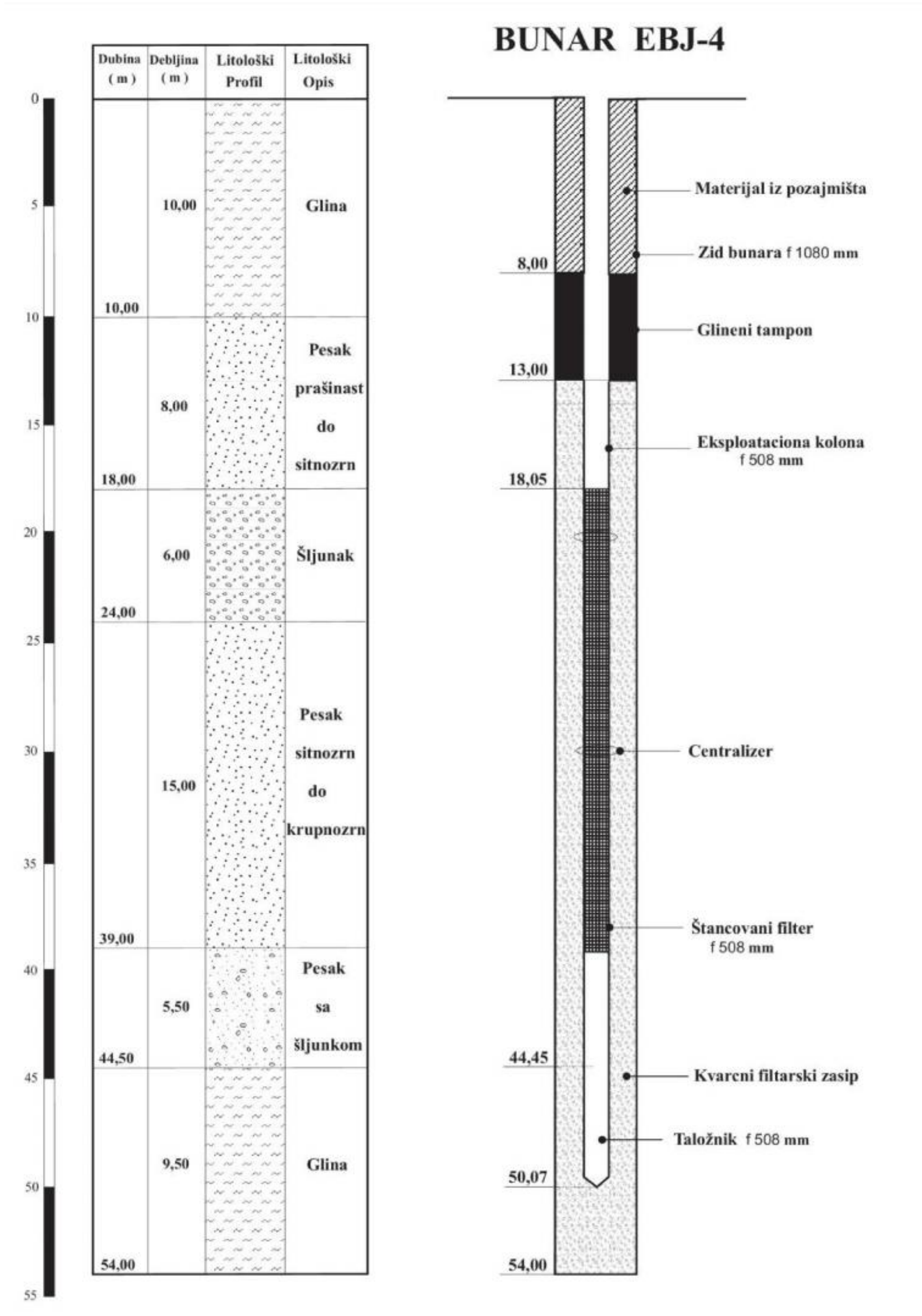
Бушење је изведено једним пречником:

- 0,0 – 54,0 m бушење пречником Ø 1080 mm.

Бунар EBJ-4 имао је следеће конструктивне карактеристике:

- 0,00 – 18,05 m челична цев Ø 508 mm,
- 18,05 – 39,00 m филтерска конструкција (штанцовани филтер Ø 508 mm),
- 39,00 – 50,07m таложник (челична цев Ø 508 mm).

Бунарски засип (гранулат) уграђен је од дна до дубине од 13 метара. Међупростор између уводне и обложне колоне у интервалу 8,0-13,0 m је тампониран глиненим тампоном, да би се спречио прилив подземних вода из плићих водоносних хоризоната, док је интервал 44,45 - 54,00 m запуњен сепарисаним кварцним гранулатом, фракција зрна 1,6 – 3,2 mm.




**Слика 66.** Литолошки и технички профил бунара EBJ-4

**Бунар EBJ-5**

Истражно-експлоатациони бунар EBJ-5 у насељу Јарак (општина Сремска Митровица) израђен је током 1986. године. Истражно хидрогеолошко бушење извело је Предузеће Хидросонда из Новог Сада. Бунар EBJ-5 избушен је до дубине 51 m. На основу техничког извештаја о изведеном бушењу истражно-експлоатационог бунара EBJ-5 детерминисан је следећи литолошки профил:

**Табела 17.** Литолошки опис набушеног материјала (EBJ-5)

| Дубина (m) | | Литолошки опис |
|---|---|---|
| од | до | |
| 0,0 | 11,0 | жута глина |
| 11,0 | 21,0 | сива глина |
| 21,0 | 27,0 | прашинаст песак |
| 27,0 | 30,0 | глиновит песак |
| 30,0 | 31,0 | шљунак |
| 31,0 | 34,0 | песак |
| 34,0 | 43,0 | шљунак |
| 43,0 | 44,0 | песак |
| 44,0 | 51,0 | глина |

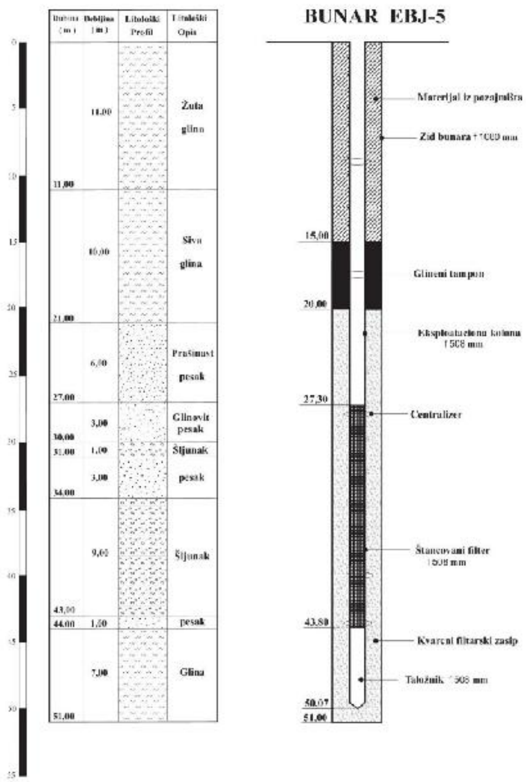
Бушење је изведено једним пречником:

- 0,0 – 51,0 m бушење пречником Ø 1080 mm.

Бунар EBJ-5 има следеће конструктивне карактеристике:

- 0,00 - 27,30 m челична цев Ø 508 mm,
- 27,30 – 43,80 m филтерска конструкција (штанцовани филтер Ø 508 mm),
- 43,80 – 50,07 m таложник (челична цев Ø 508 mm).

Бунарски засип (гранулат) уграђен је од дна до дубине од 20 метара. Међупростор између уводне и обложне колоне у интервалу 15,0-20,0 m је тампониран глиненим тампоном, да би се спречио прилив подземних вода из плићих водоносних хоризоната.




**Слика 67.** Литолошки и технички профил бунара EBJ-5

## Бунар EBJ-6

Истражно-експлоатациони бунар EBJ-6 у насељу Јарак (општина Сремска Митровица) израђен је током 1991. године. Истражно хидрогеолошко бушење извело је Предузеће Хидросонда из Новог Сада. Бунар EBJ-6 избушен је до дубине 53 m. На основу техничког извештаја о изведеном бушењу истражно-експлоатационог бунара EBJ-6 детерминисан је следећи литолошки профил:

**Табела 18.** Литолошки опис набушеног материјала (EBJ-6)

| Дубина (m) | | Литолошки опис |
|---|---|---|
| од | до | |
| 0,0 | 16,0 | глина |
| 16,0 | 18,0 | сиви ситнозрни до крупнозрни пескови |
| 18,0 | 20,0 | крупнозрни песак |
| 20,0 | 30,0 | ситнозрни до крупнозрни пескови |
| 30,0 | 33,0 | шљунак |
| 33,0 | 34,0 | глина |
| 34,0 | 39,0 | шљунак |
| 39,0 | 42,0 | песак |
| 42,0 | 45,0 | шљунак |
| 45,0 | 53,0 | глина |


**Слика 68.** Изглед бунарске шахте бунара ЕВЈ-6 (фото Ј. Зарић)

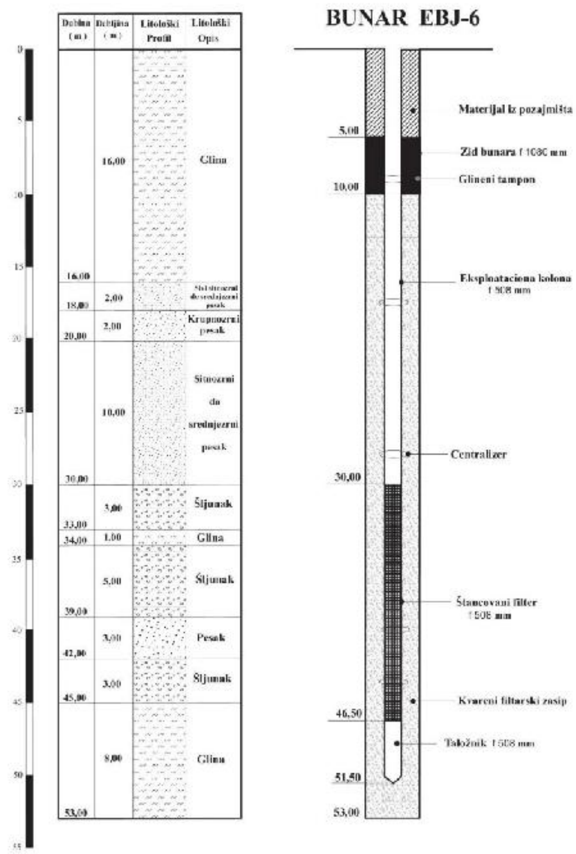
Бушење је изведено једним пречником:

- 0,0 – 53,0 m бушење пречником Ø 1080 mm.

Бунар ЕВЈ-6 има следеће конструктивне карактеристике:

- 0,00 - 30,00 m челична цев Ø 508 mm,
- 30,00 – 46,50 m филтерска конструкција (штанцовани филтер Ø 508 mm),
- 46,50 – 51,50 m таложник (челична цев Ø 508 mm.)

Бунарски засип (гранулат) уграђен је од дна до дубине од 10 метара. Међупростор између уводне и обложне колоне у интервалу 5,0-10,0 m је тампониран глиненим тампоном, да би се спречио прилив подземних вода из плићих водоносних хоризоната.




**Слика 69.** Литолошки и технички профил бунара EBJ-6

## Бунар EBJ-7

Истражно-експлоатациони бунар EBJ-7 у насељу Јарак (општина Сремска Митровица) израђен је током 1996. године. Истражно хидрогеолошко бушење извело је Предузеће Хидросонда из Новог Сада. Бунар EBJ-7 избушен је до дубине 53 m. На основу техничког извештаја о изведеном бушењу истражно-експлоатационог бунара EBJ-7 детерминисан је следећи литолошки профил:

**Табела 19.** Литолошки опис набушеног материјала (EBJ-7)

| Дубина (m) | | Литолошки опис |
|---|---|---|
| од | до | |
| 0,0 | 0,5 | хумус |
| 0,5 | 2,0 | глина |
| 2,0 | 5,5 | глина песковита |
| 5,5 | 13,4 | глина |
| 13,4 | 33,5 | песак, средњезрни, местимично заглињен |
| 33,5 | 39,3 | песак крупнозрни |
| 39,3 | 45,1 | песак крупнозрни, шљунковит |
| 45,1 | 46,4 | глина |
| 46,4 | 47,6 | глина песковита |
| 47,6 | 53,0 | глина жута |

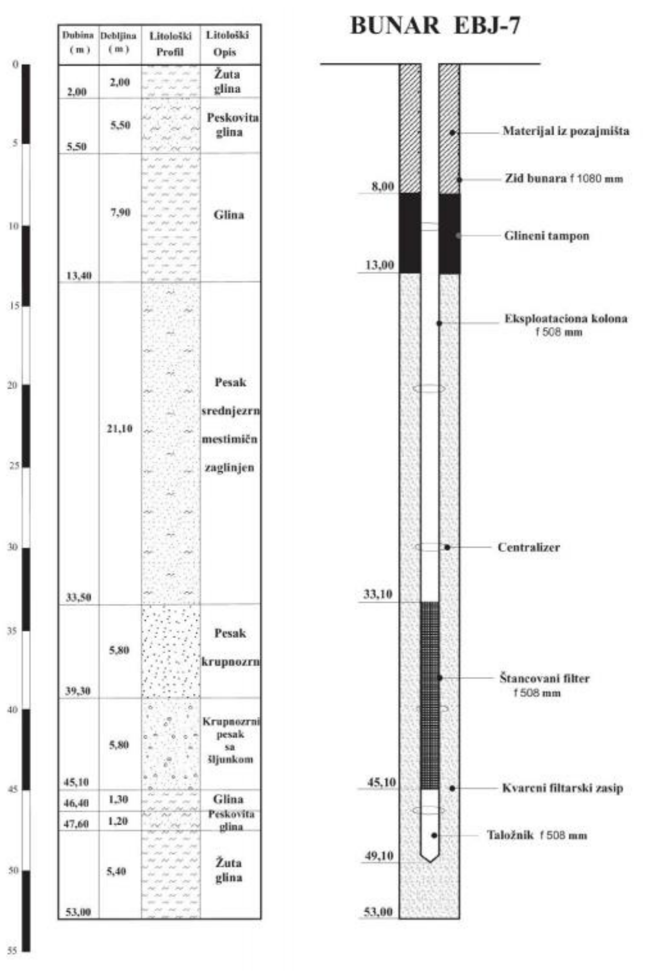
Бушење је изведено једним пречником:

- 0,0 – 53,0 m бушење пречником Ø 1080 mm.

Бунар EBJ-7 имао је следеће конструктивне карактеристике:

- 0,00 - 33,10 m челична цев Ø 508 mm,
- 33,10 – 45,10 m филтерска конструкција (штанцовани филтер Ø 508 mm),
- 45,10 – 49,10 m таложник (челична цев Ø 508 mm).

Бунарски засип (гранулат) уграђен је од дна до дубине од 13 метара. Међупростор између уводне и обложне колоне у интервалу 8,0-13,0 m је тампониран глиненим тампоном, да би се спречио прилив подземних вода из плићих водоносних хоризоната




**Слика 70.** Литолошки и технички профил бунара EBJ-7

**Бунар EBJ-8**

Истражно-експлоатациони бунар EBJ-8 у насељу Јарак (општина Сремска Митровица) израђен је током 2003. године. Истражно хидрогеолошко бушење извело је Предузеће Хидросонда из Новог Сада. Бунар EBJ-8 избушен је до дубине 50 m. На основу техничког извештаја о изведеном бушењу истражно-експлоатационог бунара EBJ-8 детерминисан је следећи литолошки профил:

**Табела 20.** Литолошки опис набушеног материјала (EBJ-8)

| Дубина (m) | | Литолошки опис |
|---|---|---|
| од | до | |
| 0,0 | 1,0 | хумус |
| 1,0 | 7,0 | сива глина |
| 7,0 | 13,0 | жута глина |
| 13,0 | 16,0 | сива глина |
| 16,0 | 18,0 | сиви средњезрни пескови |
| 18,0 | 23,0 | сива глина |
| 23,0 | 26,0 | крупнозрни песак |
| 26,0 | 30,0 | сива песковита глина |
| 30,0 | 35,0 | крупнозрни песак |
| 35,0 | 46,0 | ситнозрни шљунак |
| 46,0 | 50,0 | жута глина |

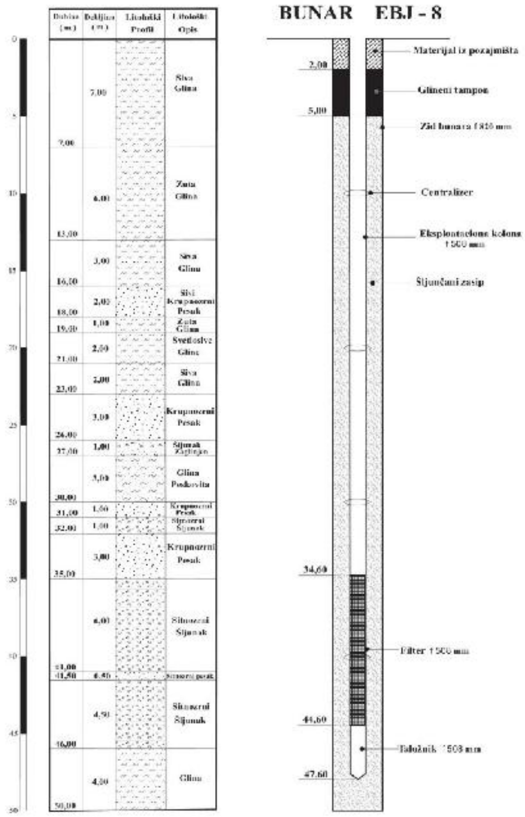
Бушење је изведено једним пречником:

- 0,0 – 50,0 m бушење пречником Ø 820 mm.

Бунар EBJ-8 има следеће конструктивне карактеристике:

- 0,00 – 34,60 m челична цев Ø 508 mm,
- 34,60 – 44,60 m филтерска конструкција Ø 508 mm,
- 44,60 – 47,60 m таложник (челична цев Ø 508 mm).

Бунарски засип (гранулат) уграђен је од дна до дубине од 5 метара. Међупростор између уводне и обложне колоне у интервалу 2,0-5,0 m је тампониран глиненим тампоном, да би се спречио прилив подземних вода из плићих водоносних хоризоната.




**Слика 71.** Литолошки и технички профил бунара EBJ-8

## Бунар EBJ-9

Истражно-експлоатациони бунар EBJ-9 у насељу Јарак (општина Сремска Митровица) израђен је током 2004. године. Истражно хидрогеолошко бушење извело је Предузеће Хидросонда из Новог Сада.


**Слика 72.** Бунар EBJ-9 (фото Ј. Зарић)

Бунар EBJ-9 избушен је до дубине 50 m. На основу техничког извештаја о изведеном бушењу истражно-експлоатационог бунара EBJ-9 детерминисан је следећи литолошки профил:

**Табела 21.** Литолошки опис набушеног материјала (EBJ-9)

| Дубина (m) | | Литолошки опис |
|---|---|---|
| од | до | |
| 0,0 | 4,0 | жута глина |
| 4,0 | 6,0 | сива глина |
| 6,0 | 10,0 | жута глина |
| 10,0 | 22,0 | сива глина |
| 22,0 | 23,0 | глиновити пескови |
| 23,0 | 30,0 | песковита глина |
| 30,0 | 32,0 | крупнозрни шљунак |
| 32,0 | 34,0 | крупнозрни песак |
| 34,0 | 37,0 | шљунак |

Бушење је изведено једним пречником:

- 0,0 – 50,0 m бушење пречником Ø 1080 mm.

Бунар EBJ-9 има следеће конструктивне карактеристике:

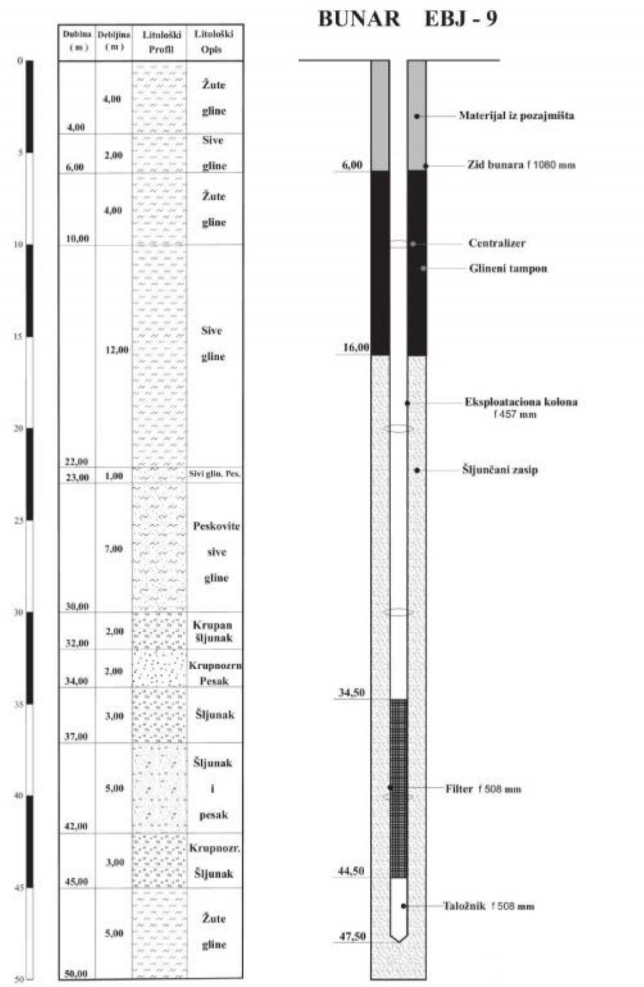
- 0,00 – 34,50 m челична цев Ø 508 mm,
- 34,50 – 44,50 m филтерска конструкција Ø 508 mm,
- 44,50 – 47,50 m таложник (челична цев Ø 508 mm).

Бунарски засип (гранулат) уграђен је од дна до дубине од 16 метара. Међупростор између уводне и обложне колоне у интервалу 6,0-16,0 m је тампониран глиненим тампоном, да би се спречио прилив подземних вода из плићих водоносних хоризоната.

**Пијезометри ОБ1[9] и Р1**

У питању су осматрачки објекти који се налазе са супротне стране магистралног пута Рума-Шабац у односу на бунаре изворишта „Сава 1“у Јарку. Објекти су изабрани за осматрање због положаја у односу на положај тока реке Саве, како би била утврђена евентуална разлика у вредностима осматраних параметара у односу на бунаре изворишта „Сава 1“у залеђу и њихова веза са положајем реке и прихрањивањем издани водом из тог правца.

[9] Стари бунар ОБ1 у функцији пијезометра




**Слика 73.** Литолошки и технички профил бунара EBJ-9

Објекат ОБ1 налази се у средишту њиве на 500 m од места где се ток реке Саве оштро ломи и скреће ка југу у правцу Шапца. На овом месту Сава интензивно поткопава леву обалу и има највећу дубину на делу тока кроз Србију, преко 25 m. ОБ1 се данас користи као осматрачки објекат, а у питању је стари бунар (ЈБ-3), који је данас ван функције. Бунар је израђен у оквиру мреже објеката за потребе израде Студије отварања изворишта подземних вода на потезу Јарак-Кленак за водоснабдевање Руме коју је радио Институт за водопривреду „Јарослав Черни" (1980. год). Овом приликом израђено је 16 структурно истражних бушотина и два опитно-експлоатациона бунара.

**Слика 74.** Осматрачки бунар ОБ1, узимање узорка подземне воде (фото О. Анђелковић)

Осматрачки објекат P1 налази се паралелно са бунаром EBJ-2 са супротне стране магистралног пута Рума-Шабац, на самом рубу њиве. Пијезометар је израђен у оквиру мреже објеката за потребе израде Студије отварања изворишта подземних вода на потезу Јарак-Кленак за водоснабдевање Руме коју је радио Институт за водопривреду Јарослав Черни (1980. год.). У бушотину је уграђена пијезометарска конструкција Ø 50 mm.

**Слика 75.** Пијезометар - P1, *in situ* мерења (фото Ј. Зарић)

Бушење је изведено са два пречника:

- 0,0 – 50,0 m бушење пречником Ø 195 и 160 mm.

Пијезометри имају следеће конструктивне карактеристике:

- поцинкована цев Ø 50 mm,
- филтерска конструкција (10% перфорације) Ø 50 mm,
- таложник (челична цев Ø 50 mm.)

Бунарски засип (кварцни гранулат Ø 1 – 3 mm) уграђен је до дна бушотине. Испод бетонског блока уграђен је глинени тампон, да би се спречио прилив подземних вода из плићих водоносних хоризоната.

## ФИЗИЧКО-ХЕМИЈСКИ КВАЛИТЕТ ВОДЕ ИЗ ОДАБРАНИХ ОБЈЕКАТА

Током кампања узорковања 2016. и 2017. године, узимани су узорци и вршена *in situ* мерења на бунарима изворишта ЕВЈ–2, ЕВЈ-6 и ЕВЈ-9, као и на пијезометрима ОВ1-Р и Р1 са супротне стране магистралног пута Рума – Шабац.

**Табела 22.** Резултати физичко-хемијских анализа воде и *in situ* мерења

| **Објекат** | | **P1** | **OB1-P** | **EBJ-2** | **EBJ-6** | **EBJ-9** | **Сава** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ID узорка** | | 16-02-465 | 16-02-466 | 16-02-467 | 16-02-468 | 16-02-469 | 16-01-350 |
| **Датум узорковања** | | 13.12.2016. | 13.12.2016. | 13.12.2016. | 13.12.2016. | 13.12.2016. | 13.12.2016. |
| **Датум пријема** | | 14.12.2016. | 14.12.2016. | 14.12.2016. | 14.12.2016. | 14.12.2016. | 14.12.2016. |
| **Параметар** | Јединица | Вредност | | | | | |
| Температура воде | ºC | 13,4 | 13,3 | 13,3 | 14,2 | 13 | 4,8 |
| pH | | 8,35 | 8,30 | 7,51 | 7,40 | 7,42 | 8,21 |
| Спец. ел. проводљивост на 25ºC | µS/cm | 276 | 466 | 736 | 970 | 1008 | 476 |
| Редокс | mV | -188,6 | -230 | -139 | -128,9 | -133,2 | 213,2 |
| Eh | mV | 26,5 | -14,8 | 76,2 | 85,7 | 82,2 | 434,3 |
| Растворени кисеоник | mg/l | 0,13 | 0,40 | 0,12 | 0,06 | 0,12 | 11,34 |
| Мутноћа | NTU | 0,96 | 4,93 | 2,71 | 2,01 | 1,89 | 9,41 |
| Боја | °Pt-Co | 5 | 15 | 8 | 9 | 11 | 19 |
| Укупни испарни остатак на 105°C | mg/l | 176 | 297 | 468 | 615 | 645 | 302 |
| $CO_2$ | mg/l | 0 | 0 | 20,98 | 37,10 | 38,74 | 0 |
| амонијум јон | mgN/l | <0,02 | <0,02 | <0,02 | <0,02 | 0,05 | 0,05 |
| нитрити | mgN/l | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | 0,020 |
| нитрати | mgN/l | 0,30 | 0,70 | 0,32 | 0,40 | 0,61 | 1,21 |
| алкалитет | $mgCaCO_3/l$ | 140,0 | 220,0 | 339,5 | 466,0 | 509,5 | 209,0 |
| бикарбонати | $mgHCO_3^-/l$ | 160.6 | 262.5 | 414.2 | 568.5 | 621.6 | 255.0 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| карбонати | mg$CO_3^{2-}$/l | 4,2 | 2,4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| хлориди | mg/l | 6,29 | 11,92 | 7,69 | 7,41 | 6,29 | 17,94 |
| сулфати | mg/l | <2 | 5,25 | 40,81 | 40,3 | 29,70 | 17,88 |
| водоник-сулфид | mg/l | - | - | - | - | - | - |
| укупна тврдоћа | mg$CaCO_3$/l | 116,3 | 190,4 | 314,2 | 383,8 | 369,1 | 175,8 |
| $Fe^{2+}$ | mg/l | <0,1 | 18,2 | 1,22 | 1,03 | 1,30 | <0,1 |
| Укупно гвожђе | mg/l | 0,01 | 18,24 | 1,52 | 1,24 | 1,47 | 0,30 |
| бор | µg/l | <20 | 35,4 | <20 | <20 | <20 | <20 |
| калцијум | mg/l | 32,06 | 40,61 | 60,49 | 75,95 | 71,46 | 53,94 |
| магнезијум | mg/l | 8,79 | 21,62 | 39,62 | 47,14 | 46,30 | 9,98 |
| натријум | mg/l | 4,02 | 8,28 | 15,39 | 31,76 | 48,35 | 6,97 |
| калијум | mg/l | 3,47 | 0,61 | 0,78 | 1,21 | 1,47 | 1,37 |
| манган | mg/l | 0,04 | 0,08 | 0,12 | 0,15 | 0,12 | 0,08 |
| алуминијум | µg/l | <40 | <40 | <40 | <40 | <40 | 72,6 |
| арсен | µg/l | <20 | <20 | <20 | <20 | <20 | <20 |
| бакар | µg/l | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 |
| цинк | µg/l | 510,1 | 2,6 | <2 | <2 | 3,3 | 7,2 |
| кадмијум | µg/l | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 |
| олово | µg/l | <2 | 2,7 | 5,2 | 5,4 | 5,5 | 2,4 |
| хром | µg/l | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 |
| Cr(VI) | mg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| никл | µg/l | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 |
| жива | µg/l | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| TOC | mg/l | 1,69 | 1,46 | 1,13 | 1,32 | 1,25 | 1,95 |
| баријум | µg/l | 50,4 | 42,6 | 118,2 | 187,5 | 211,3 | 35,1 |
| селен | µg/l | <20 | <20 | <20 | <20 | <20 | <20 |
| стронцијум | µg/l | 112,7 | 174,2 | 308,7 | 429,6 | 467,5 | 127,0 |
| литијум | µg/l | <2 | 3,0 | 4,9 | 6,8 | 7,5 | <2 |
| силицијум | mg/l | 4,32 | 17,18 | 29,33 | 31,86 | 31,31 | 7,85 |

### 8.2.2. Изворишта „Мартинци“ и “Старо извориште” код Сремске Митровице

Водоводни систем Сремске Митровице је сложен и велики, како у погледу захваћених количина воде, тако и у погледу веома разгранате мреже и значајног броја потрошача у самој градској зони, али и у околним насељима, прикљученим на заједнички водовод. Из овог водовода се врши водоснабдевање како становника тако и највећег дела индустрије Сремске Митровице.

Водоводни систем Сремске Митровице, поред града, снабдева још петнаест месних заједница. Предмет овог поглавља су два изворишта, „Мартинци“ са 10 бунара са издашностима по 40-55 l/s и „Старо извориште“ са 4 бунара чије су издашности око 40 l/s.

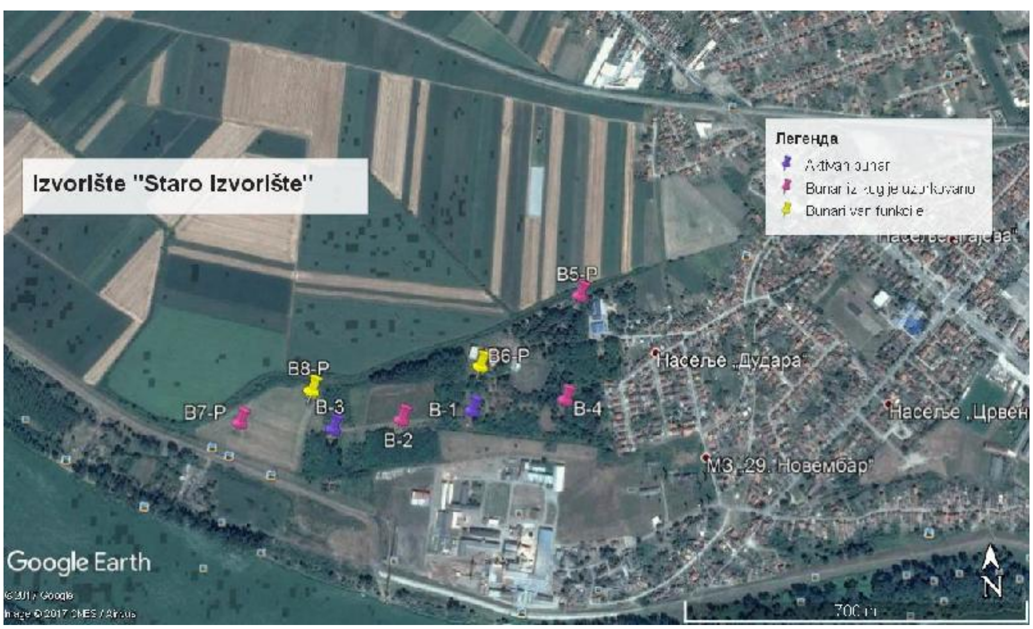
**“СТАРО ИЗВОРИШТЕ”**

Ово извориште лоцирано је у југозападном делу града, на самој обали реке Саве. Положај изворишта и распоред бунара у оквиру њега приказан је на слици 72.

„Старо извориште“ састоји се од укупно осам бунара урађених у периоду од 1971 – 1981. године, од којих су четири у функцији (B-1, B-2, B-3 и B-4), док се остала четири (B5-P, B6-P, B7-P и B8-P) користе као осматрачки објекти. Сви бунари лоцирани су на котама од 79,47-80,25 m н.м.

Водозахватима на овом изворишту каптирани су шљункови и пескови квартарне старости који залежу у интервалу од око 20 m до око 45 m. Изузетак представља бунар B-3, који, осим наведеног водоносног хоризонта, каптира и слојеве на дубини од 65 – 70 m.

Обрађени су подаци физичко-хемијских анализа подземних вода са бунара B-2, B-4, B5-P и B7-P, који су узети као репрезентативни. Просторни распоред бунара, са којих је вршено узорковање може се видети на слици 76.




**Слика 76.** Сателитски снимак са распоредом бунара на локацији „Старо извориште“ (Googлe Earth)

**ИЗВОРИШТЕ „МАРТИНЦИ“**

Извориште „Мартинци“ лоцирано је јужно од насеља Мартинци, на обали Саве, односно у зони Курјаковца (слика 77). Састоји се од укупно 10 бунара који су распоређени линијски, паралелно са током Саве.

Изузетно добре филтрационе карактеристике алувијалних и терасних песковито-шљунковитих наслага реке Саве у зони Мартинаца, омогућавају експлоатацију великих количина воде по бунару, уз релативно мала снижења од свега неколико метара. Брза водозамена, тј. повољни услови прихрањивања издани, инфилтрацијом воде пре свега из Саве, главни су фактори који омогућавају да се у изворишту у Мартинцима захвата око 400-500 l/s воде солидног квалитета, односно 40-50 l/s по бунару. Задовољавајуће хидрохемијске карактеристике воде према важећем правилнику о квалитету пијаћих вода, поред значајних количина које се могу захватити, главне су одлике овог изворишта.

Чињеница да се сирова вода из бунара пре дистрибуције у мрежу подвргава само аерацији, филтрирању и хлорисању, довољно говори да се ради о квалитетним водама.

Захваћена вода из изворишта у Мартинцима се најпре доводи до црпне станице код „Старог изворишта“, а одатле се центрифугалним пумпама потискује у водоводну мрежу до крајњих потрошача.

Извориште је формирано током 1983. године, када су урађена прва четири бунара (В-1, В-2, В-3 и В-4). Проширења изворишта реализована су у више наврата: најпре су 1986. године урађени бунари В-5 и В-6, затим 1990. године бунари В-7 и В-8, и на крају, током 1995. и 1996. године изведени су бунари В-9 и В-10. Све водозахвате, осим последња два, извело је предузеће „Геотехника“, односно „Геоинг“ из Загреба. Сви бунари лоцирани су на котама од 79,8-80,70 m н.м.


**Слика 77.** Сателитски снимак са распоредом бунара на локацији „Мартинци“ (Googлe Earth)

### *Геоморфолошке и хдролошке одлике терена*

Шири истражни простор се простире између реке Дунав на северу и реке Саве на југу. На северу, распростире се планински венац Фрушке горе која представља хорстовску планину. Она представља једну морфолошку целину која штрчи у пространом равничарском терену Панонске низије и има правац пружања исток-запад а сочивастог је облика. Протеже се на дужини од око 80 km почев од Старог Сланкамена на истоку па преко многобројних превоја до пута Илок-Шид. Терен Фрушке горе према северу нагло пада према Дунаву до алувијалне равнице која се налази на котама од 75 до 80 m н.м. На овом делу, терен је избраздан стрмим кратким јаругама.

На јужним падинама развијен је простран систем речне мреже тако да је терен испресецан бројним долинама. Према југу терен се спушта знатно блаже у поређењу са северним падинама.

Са гребена Фрушке горе спуштају се према југу бројне речне долине које су добро развијене у горњим токовима у зони планинског дела Фрушке горе, док су у средњем делу тока усечене у зоне лесних тераса па су у овом делу терена долине узане са кратким бочним јаругама засеченим у лесном платоу. Доњи токови се нагло шире у зони алувијалне равни реке Саве.

Алувијалне равни представљају најниже делове терена. На подручју истраживања оне захватају значајну површину на левој обали реке Саве. Осим алувијалне равни Саве, на ширем истражном простору егзистирају и алувијалне равни формиране непосредно уз корито бројних потока са Фрушке горе.

На лесним платоима у заравнима честе су суве долине. По дну оваквих долина честа су плитка вртачаста удубљења, тањирасте вртаче у којима се у време интезивних падавина сакупља вода која касније понире.

Преко лесних платоа, терен благо пада до алувијалне равнице реке Саве односно до кота 70 - 80 m н.м. Сама Сремска равница представља благо заталасану равницу са просечном надморском висином од 100 m. Оваква пространа равничарска површина са веома малим нагибима терена условила је слабо и споро отицање површинских вода, интензивно храњење издани у зонама где је терен пропустљив, стварање баруштина и ритова.

**Хидрографске одлике терена**

Површинске воде на територији општине Сремска Митровица чине реке Сава, Босут, неколико фосилних речних корита међу којима је највећа Засавица, многобројне баре, неколико вештачких језера и доста густа мрежа дренажних канала и потока.

**Сава**

Основне особине слива Саве на сектору општине изложене су на основу података водомерне станице у Сремској Митровици која је успостављена 1878. године, а има водомерну летву на коти 72,22 m. Код просечних осцилација вода Саве током године констатован је углавном један минимум, који траје од августа до октобра и један максимум, који траје од фебруара или марта до маја. Средње високе воде имају највиши ниво у марту. Оне плаве само мале делове инундационе равни, чији је највећи део уосталом брањен насипима. Код средњих вода у децембру се појављује још један, секундарни максимум, а у јануару секундарни минимум водостаја. Разлика између њих је минимална и равна је само једном центиметру. Та појава регистрована је и код високих вода.

Под претпоставком пада нивоа реке од 4,2 cm/km, ове воде су у западном делу општине биле на висини од 82,42 m и надвисују све ниже терене. То је највећи део територије између Саве и Босута. Низводно од Босута њихов ниво био је сразмерно нижи, али је ипак надвишавао највећи део терена до близу Кузмина, Мартинаца и Лаћарка, приобалне делове Сремске Митровице и алувијалну раван између Митровице и Јарка. Исти је случај и са мачванским делом општине. Највећи део ових терена заштићен је насипима. Уколико би они попустили, овако високе воде ипак не би поплавиле све терене које оне надвисују, јер би им се ниво знатно снизио разливањем по великим површинама. Високе воде угрожавају приобалне делове и поред насипа јер се процеђују у фреатску издан. То намеће потребу копања дренажних канала и пребацивање каналске воде у реку. Поред Сремске Митровице протекне, у просеку, сваке секунде 1.602 $m^3$ воде. Током године протицај варира и највећи је у априлу, а најмањи је у септембру. Протицај је резултат комплекса климатолошких, хидролошких, геолошких, геоморфолошких и других фактора, који делују у непосредном окружењу, али и у читавом сливу узводније.

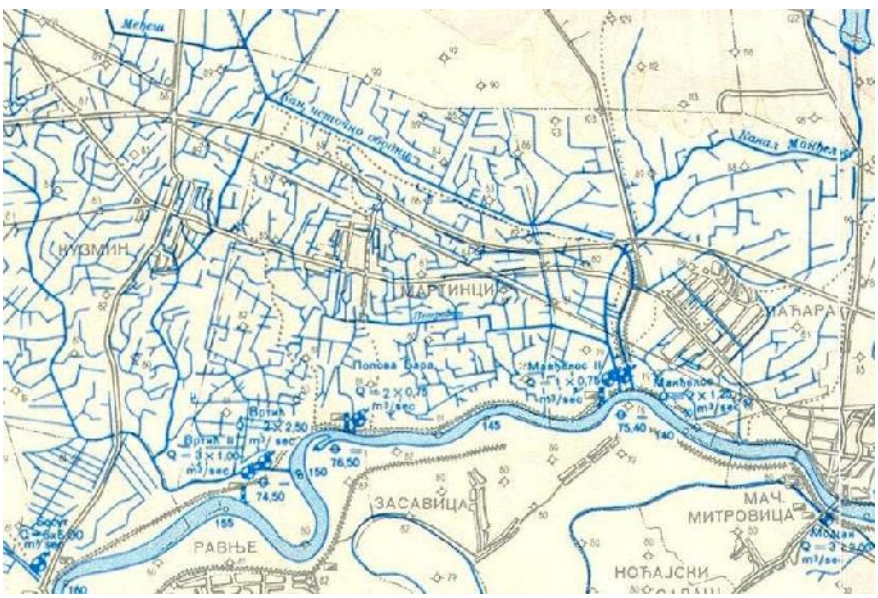
Априлски максимум, на пример, последица је високих вода Дрине у чијем сливу се почетком пролећа топе велике количине снега и на којој је максимум протицаја у априлу и мају. Тада Дрина даје Сави 1/4 воде која протекне поред Сремске Митровице. Све узводније станице на Сави, максималан протицај имају у новембру. Најмањи протицај је у септембру. У том периоду квашење исушене земље је најмање с’тога се и најмање кишнице слива у реку. Секундарни максимум је у децембру, а минимум у јануару. Екстремни протицаји илуструју велику неуједначеност овог хидролошког елемента, а последица су неуједначених количина падавина у сливу. Однос најмањег и највећег протицаја је 1:3,6.

Мрежа канала на алувијалној равни толико је густа и толико је радикално изменила старе правце отицања да је доње токове потока могуће реконструисати само на детаљним картама рађеним у прошлом веку.

**Канали**

На обрађеним деловима делувијалне терасе и алувијалне равни постоји густа мрежа дренажних канала. Када се у пролеће подигне ниво подземних вода они служе као колектори у које се те воде сливају и површински отичу до најближег природног тока. То површинско отицање је брже и ефикасније снижава ниво издани од спорог подземног отицања. Оно је посебно важно када су воде Саве и Босута високе. То је посебно потребно код алувијалних равни изнад чијег нивоа се пењу високе воде Саве и ту се воде из канала у реку пребацују пумпама.

У општини Сремска Митровица постоји неколико међусобно изолованих каналских система. Највећи простор заузима мрежа канала између реке Босут на западу и Сремске Митровице на истоку. Главни канали прокопани су трасама корита највећих потока, а највећег профила је канал који их сече попречно. Он почиње јужно од Ердевика, подно лесне заравни, и протеже се ка југоистоку до Лаћарка. Овде скреће ка југу и са Савом је спојен јужно од села. Његова функција је да сакупи фреатске воде које се сливају са сектора лесне заравни. Те воде се пумпама две црпне станице пребацују у реку. Овај канал, назива се Ободни, Источно ободни канал или Генерални канал. Он пресеца корита свих великих потока, све до Манђелоског потока на истоку. На тај начин, на делувијалној тераси и на алувијалној равни, сви ови потоци данас имају јединствен слив. На западу је канал Гат или Баркут - Шидина. Он прикупља воде свих потока на западној периферији Фрушке горе. За дренирање ових терена значајнији је Генерални канал који прикупља део фреатских вода које се сливају са Фрушке горе. Мрежа локалних дренажних канала независна је од њега. Она прикупљене воде спроводи ка југу, ка црпној станици која их пребацује у Саву.




**Слика 78.** Приказ површинских вода на ширем подручју истраживања (1:200 000, РО „Хидрозавод ДТД”, Нови Сад, 1987. год.)

**Табела 23.** Преглед средњих месечних водостаја на Сави на хидролошкој мерној станици Сремска Митровица (у m н.м.) за период 2010-2016. година (према подацима РХМЗ)

| Кота "0" (m н.м): | | **Мерно место: станица Сремска Митровица** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 72,22 | | | | | | | | | | | | |
| Год. | Јан. | Феб. | Март | Апр. | Мај | Јун | Јул | Авг. | Сеп. | Окт. | Нов. | Дец. |
| **2010** | 66,45 | 68,2 | 66,7 | 68,0 | 68,6 | 67,1 | 69,7 | 71,2 | 70,4 | 69,2 | 68,5 | 65,9 |
| **2011** | 68,5 | 69,9 | 69,7 | 70,2 | 70,4 | 70,5 | 71,5 | 71,7 | 72,1 | 71,8 | 71,6 | 71,1 |
| **2012** | 71,1 | 70,9 | 69,7 | 69,3 | 68,9 | 70,1 | 71,6 | 72,0 | 71,6 | 71,2 | 69,4 | 68,7 |
| **2013** | 68,5 | 67,6 | 66,6 | 65,9 | 68,1 | 69,3 | 71,2 | 71,8 | 71,6 | 71,2 | 69,4 | 69,7 |
| **2014** | 69,8 | 68,4 | 67,9 | 68,7 | 65,4 | 69,1 | 70,3 | 69,0 | 67,1 | 68,4 | 67,9 | 68,0 |
| **2015** | 68,5 | 67,7 | 67,3 | 68,2 | 69,4 | 70,0 | 71,2 | 71,7 | 71,6 | 69,6 | 70,4 | 70,7 |
| **2016** | 69,6 | 68,5 | 66,1 | 69,2 | 68,4 | 70,1 | 70,8 | 71,2 | 71,3 | 70,8 | 68,5 | 72,1 |

### *Геологија и стратиграфија квартарних наслага истражног терена*

Геолошка грађа подручја истраживања обрађена је на основу ОГК 1: 100.000, листова Шабац и Нови Сад. Аутори поменутих листова су различито издвајали квартарне наслаге (пре свега холоценске) услед чега се јавља проблем неусаглашености просторног распореда појединих картираних јединица, што се јасно види на геолошкој карти. На основу анализе података досадашњих истраживања, може се констатовати да је подручје истраживања изграђено од квартарних, неогених, мезозојских и палеозојских стенских маса.

Терен припада јужном ободу Панонског басена, који се налази између планинског венца Цер и Фрушке горе. Обухвата углавном део низије јужног Срема, са надморском висином од 70 до 90 m.

Предмет истраживања су, пре свега, квартарне наслаге, али ће се у потребном обиму, приказати и старије неогене стенске масе у њиховој подини. У наредном тексту ће се приказати основне карактеристике свих картираних јединица које су заступљене на подручју истраживања. На површини подручја истраживања простиру се само квартарни седименти, али је истражним бушењем утврђено да се у њиховој подини, на целом подручју истраживања налазе неогене наслаге.

## НЕОГЕН (Ng)

### Миоцен (М)

Седименти **панона** представљају најстарије стенске масе које су регистроване на истражном терену и залежу на дубинама испод 400 – 500 m. Њихово присуство утврђено је извођењем дубоких истражних бушотина које су урађене у ближој околини истражног терена (у Сремској Рачи, Вогњу и Руми). Према расположивим подацима, наслаге миоцена, у литолошком погледу, представљене су, углавном, глинама и лапорима. Ови седименти таложени су у време постојања сланог језера и припадају панону.

Горњи миоцен или **понтски** кат, раније је (према ОГК) припадао плиоцену. Данас понт представља седименте ослађеног језера, реликта Панонског језера и спада у горњи миоцен. Дубоким истражним бушотинама на подручју Срема, утврђено је да се дебљина понтских наслага креће од 300-500 m. Понт има комплетно развиће, тако да је доњи представљен песковима, песковитим глинама и лапорцима, средњи глинама, песковима, ређе шљунковима, песковитим алевритима и песковитим глинама, а горњи песковима и шљунковима.

**Плиоцен (Pl)**

Плиоценски седименти представљају седименте слатководног Палудинског језера. Истражни терен обухвата сам јужни обод распрострањења језера почетком плиоцена. Језеро се током плиоцена повукло и крајем плиоцена остао је само његов реликт на данашњој територији Хрватске.

Палудински слојеви, подразумевају слатководне језерске творевине први пут издвојене у Славонији. На подручју Фрушке Горе откривени су на северној страни код Сусека, Черевића, Ср.Каменице и Ср.Карловаца. На јужним падинама планине нигде не исклињавају на површини терена.

Доње палудински слојеви лежи конкордантно преко горњег понта. У литолошком погледу доминирају разнобојне глине, у мањој мери јављају се пескови док су шљунковита сочива ретка.

Горње палудински слојеви представљени су глинама и шљунковито-песковитим наслагама. Нису констатовани на површини терена већ само у бушотинама.

Дубоким бушењем за потребе истраживања нафте, утврђено је да средњи и горњи плиоцен (према ОГК), тј. палудински слојеви, имају велико распрострањење, захватајући такорећи читаву равницу Срема али су покривени дебелим наслагама квартара. Карактеристично је за њих присуство водоносних хоризоната у којима се акумулирају подземне воде. Из највиших водоносних хоризоната врши се експлоатација подземних вода за потребе водоснабдевања. Дебљина плиоценских седимената у целокупном развићу, варира од неколико десетина метара до више од

2500 m, у централним деловима басена. Велика дебљина плиоценских седимената последица је непрестаног сукцесивног тоњења централних делова басена условљено неотектонским покретима.

**Доњи плеистоцен ($Q_1$)**

У оквиру доњег плеистоцена на листу Бачка Паланка (према ОГК) развијени су језерски (језерско-барски и језерско-речни) седименти представљени алевритским песковима, алевритским глинама, глинама, песковима, ређе шљунковима. Палудинско језеро престало је да постоји на овим просторима још у плиоцену. Током старијег плеистоцена развијају се пра токови река који су меандрирали и мењали свој ток услед тектонске активности, акумулирајући алувијални материјал на широком подручју. Прва интензивнија терминација (отапање) дешава се тек у средњем плеистоцену, па су вероватно из тог разлога седименти старијег плеистоцена описивани као језерски. На листу Шабац седименти палеотока реке Дрине заступљени су на читавом терену Мачве, услед померања тока од Шапца до данашњег ушћа и ови седименти раније су интерпретирани као језерски или речно-језерски седименти.

**Старији речни (полициклични) седименти** или **језерска фација** према ОГК, еквивалент доњег плеистоцена, литолошки је издвојена и фаунистички документована само преко података из бушотина ОГК. То су слојеви са карактеристичном формом *Viviparus boeckhi* и пратећом фауном која се протеже од горњопалудинских слојева. Северно од Дунава ови слојеви леже веома плитко, на дубини око 40 m. Доња граница према палудинским слојевима треба да лежи на дубини од око 80 m где су нађени фрагменти пужева врсте *Viviparus vukotinovici*.

У оквиру ОГК издвојена је још једна фација речних полицикличних седимената, средњег плеистоцена која је названа **речно-језерски седименти**. Ови седименти откривени су на површини терена јужно од Дунава, већим делом су констатовани бушењем у покривеним деловима Срема и јужне Бачке. Ареал распрострањења је веома мали пошто се јављају као уске зоне између дунавског корита и стрмих лесних одсека лесне заравни. Литолошки су представљени хетерогеним шљунковима који леже у нижим хоризонтима, сивим и жутим лискуновитим песковима укрштене и косе седиментације.

У оквиру ОГК издвојени су и **поводањски седименти** или виши литолошки члан друге терасе. У структурном погледу то су алевритске глине, алеврит глине, глиновити алеврити, песковито глиновити алеврити и алеврит пескови. Преовлађују песковито глиновити алеврити са 27,0-28,0% алевритске компоненте. Дебљина поводањског сегмента је варијабилна и износи од 0,50 до 1,5 m.

**Холоцен ($Q_2$)**

Квартарни седименти на истражном терену имају највеће површинско распрострањење.

Јављају се као покривач који у потпуности покрива неогене и део плеистоценских наслага. Квартарни седименти су представљени језерско-лесоидним наслагама, речним терасама, лесом, барским седиментима и алувијумом са неколико фација.

**Прва речна тераса реке Саве** формирана је на њеној левој обали у зони Мартинаца, и низводно од Лаћарка и С. Митровице. Изграђена је од пескова и ситнозрних шљункова, алевритских пескова и суглина. Детерминисана фауна указује да су седименти флувијалног порекла и да су се таложили крајем плеистоцена и почетком холоцена. На исти закључак указује и суперпозициони положај терасних наслага које леже преко слојева са *Corbicula fluminalis* које су констатоване на дубини од 10-20 m.

**Лесоидно-барски и језерско-лесоидни седименти** су на подручју истраживања регистровани у зони Ноћаја и Ноћајског Салаша. Представљени су песковима, алевритским песковима, алевритским глинама, глинама, суглинама са биљним детритусом. Језерско-лесоидни седименти су мање заступљени у односу на лесоидно-барске и јављају се између градског подручја Сремске Митровице и Шашинаца.

**Пролувијум** је представљен конусним плавинама, тј. наносима повремених водених токова, изграђених од шљункова, пескова и суглина. Корен пролувијума карактеришу крупнозрни шљункови, док у периферним областима доминирају ситно шљунковите лесоидне суглине. Пролувијум се на истражном терену јавља само на крајњем северу истражног терена.

**Барски седименти** су представљени алевритским песковима и суглинама са биљним детритусом. Откривени су на више локалитета у јужном делу подручја истраживања у непосредној близини реке Саве, док се изван истражног терена јављају у Глушцима.

У оквиру алувијалне равни реке Саве издвојене су фације мртваја и алувијалне наслаге.

**Фације мртваја** се налазе између Равња и Ноћаја. Представљене су песковима, алевритским песковима, алевритским глинама са биљним детритусом.

**Алувијалне наслаге** на истражном подручју имају највеће распрострањење на површини терена. Алувијални седименти су наталожени у западним, северним и јужним деловима истражног терена. Треба нагласити да алувијалне наслаге Саве имају значајно распрострањење и изван граница истражног терена. Представљене су песковима, шљунковима и суглинама. Дебљина алувијалних наслага са наведеним фацијама се креће до 100 m.

***Хидрогеолошке одлике испитиваног терена***

У геолошкој грађи истражног терена учествују стенске масе различите старости и састава у којима постоје услови за акумулирање одређених количина подземних вода, али најважнију улогу са аспекта водоснабдевања имају квартарни и неогени седименти миоцена и плиоцена, из којих се тренутно захватају највеће количине воде на подручју истраживања.

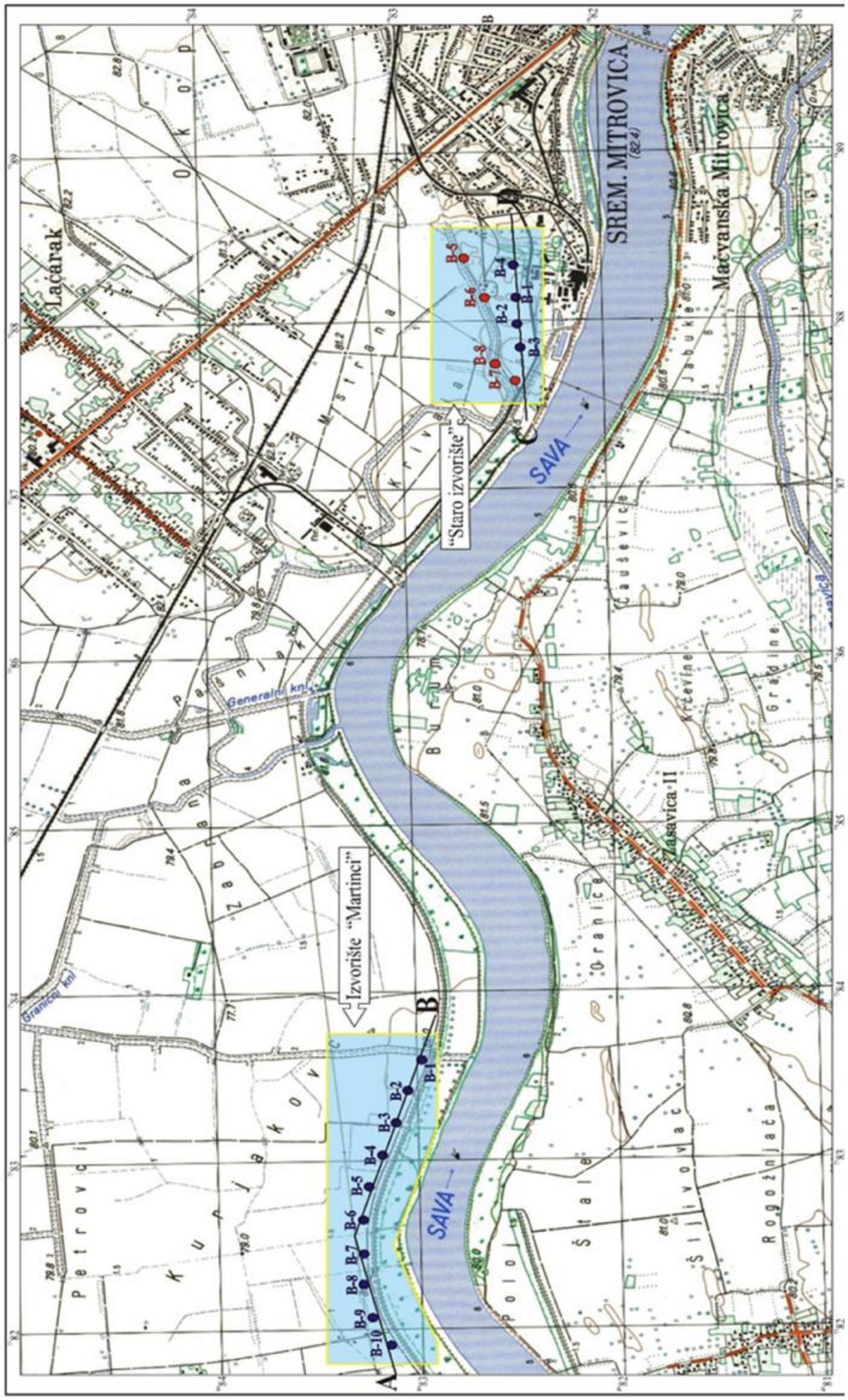
На основу резултата истражног бушења, општих геолошко-хидрогеолошких услова, као и заступљених стена, њихове структурне порозности и хидродинамичких услова, могу се на подручју истражног терена издвојити следећи типови издани који су приказани на хидрогеолошким профилима (слика 81 и 81):

- збијени тип издани у оквиру квартарних седимената,
- збијени тип издани у оквиру неогених седимената,
- условно безводни делови терена.

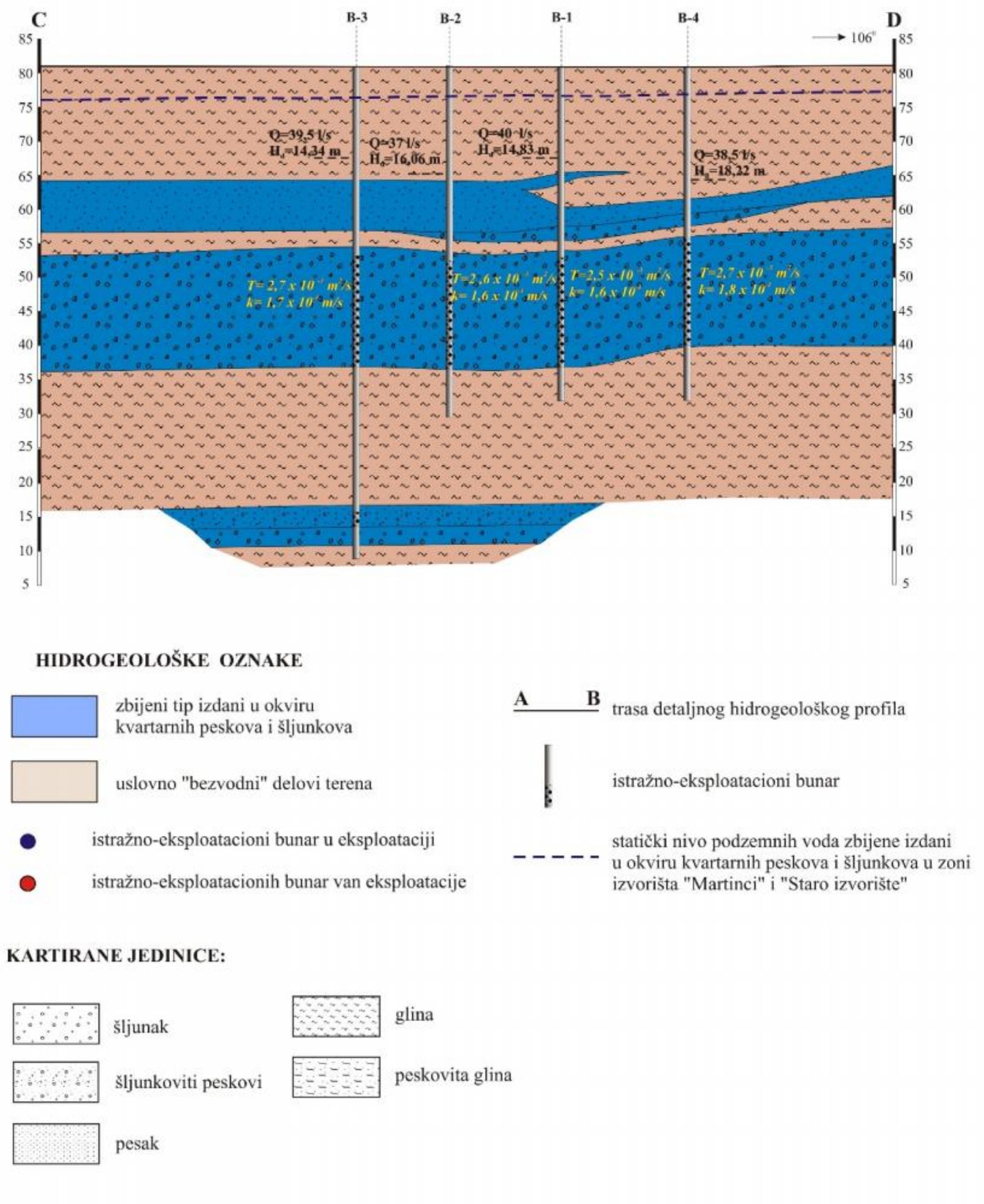
**Збијени тип издани у оквиру квартарних седимената** има велико распрострањење на подручју истраживања.

Квартарни седименти на ширем подручју истраживања су представљени водоносним слојевима шљункова, шљунковитих пескова и пескова, и водонепропусним наслагама глина које имају функцију изолатора водоносних слојева. Највећа дебљина квартарних седимената (песковито-шљунковитих наслага) је у алувиону у непосредној близини реке Саве и износи око 25-30 m, а са удаљавањем од реке дебљина им се постепено смањује.

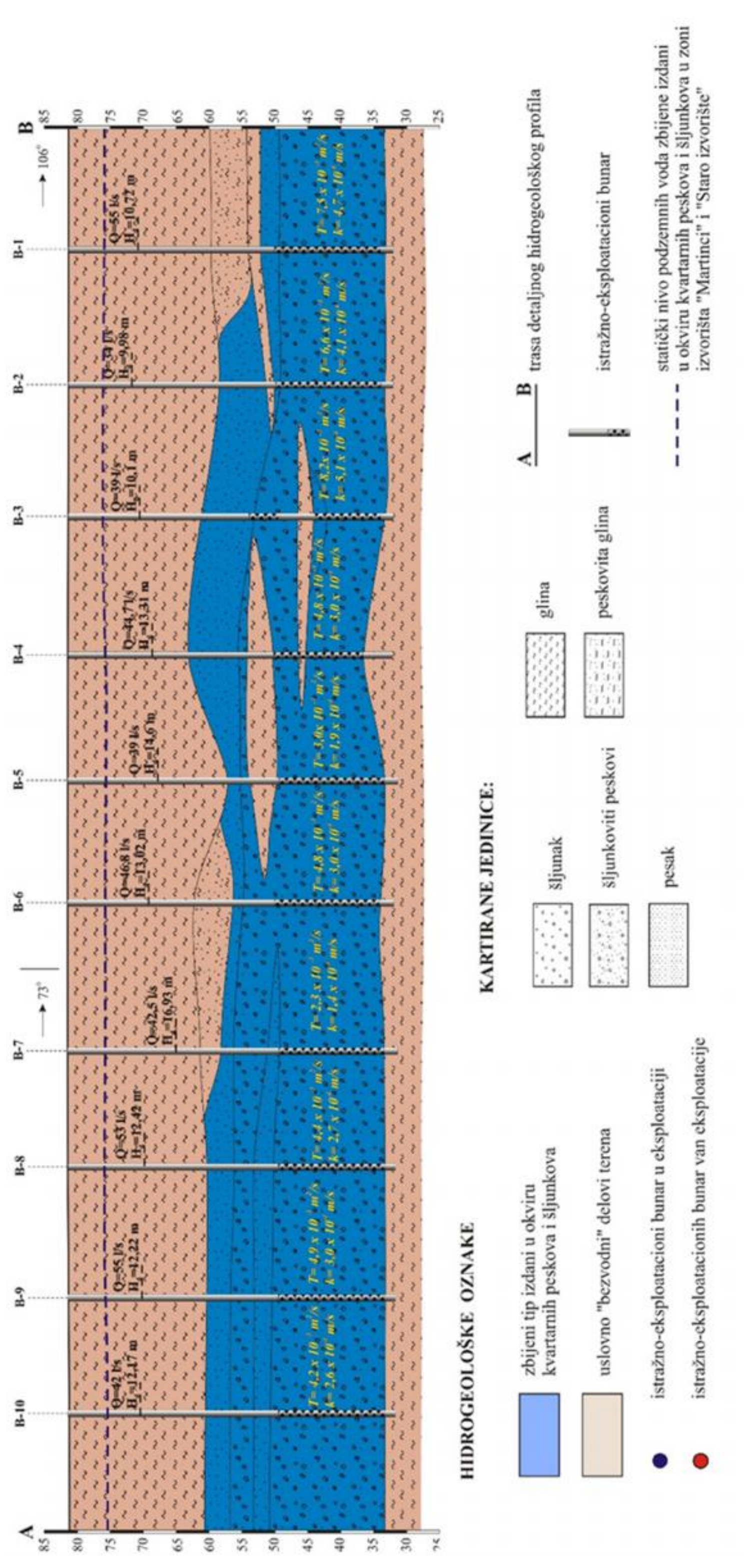
Значајно распрострањење и дебљина алувијалних песковито-шљунковитих наслага, релативно добри услови прихрањивања и повољне филтрационе карактеристике са коефицијентом филтрације од $1 \cdot 10^{-3}$-$5 \cdot 10^{-3}$ m/s, нешто ређе $1 \cdot 10^{-4}$ m/s, омогућили су формирање издани са слободним нивоом, а местимично и под притиском, са субартешким нивоом.




**Слика 79.** Топографска карта 1:25.000 са уцртаним објектима и трасама пресека (Ћирић, 2008)




**Слика 80.** Шематизовани хидрогеолошки пресек C-D (Старо извориште) (Ћирић, 2008)




**Слика 81.** Шематизовани хидрогеолошки пресек А-В (Извориште Мартинци) (Ћирић, 2008)

Прихрањивање издани у оквиру квартарних седимената је углавном од стране површинских токова, пре свега Саве и Дрине, али и њихових бројних притока, и то у деловима терена где су Сава и Дрина усекли своја корита у шљунковито-песковите наслаге. Према подацима истражно-експлоатационог бушења на предметним извориштима може се закључити да глиновити седименти имају знатно дубље коте залегања од корита реке Саве, па се изводи закључак да је на ширем простору Сремске Митровице веза корита реке Саве и издани сведена на минимум.

Издан се дренира природним путем, при ниским водостајима отицањем у реку или вештачким путем преко истражно-експлоатационих бунара. Просечне издашности водозахватних објеката, се крећу од 40 до 50 l/s. Бунари који су у функцији водоснабдевања Сремске Митровице и околних насеља каптирају ову издан. „Старо извориште“, које датира од почетка шестдесетих година, је лоцирано у југо-западном делу града и тренутно су у експлоатацији четири бунара дубине до око 50 m. Друго извориште је лоцирано на локацији Курјаковац и састоји се од 10 бунара типских конструкција дубине до 52 m.

**Збијени тип издани у оквиру неогених седимената** није регистрован на површини истражног терена, већ је на неколико локалитета малих површина, изван истражног терена утврђено његово присуство. Палеонтолошким анализама које су рађене у дубоким бушотинама у Сремској Рачи, Вогњу и Руми, доказано је присуство ових седимената испод квартарних наслага. Њихова дебљина се креће до 400-500 m. У оквиру седимената ове издани формиран је збијени тип издани. Она има знатно распрострањење испод квартарних седимената. Ова издан није била предмет ових истраживања и неће бити детаљније описана.

Прихрањивање ове издани се врши у ободним деловима неогеног басена. Прихрањивање неогених песковито - шљунковитих слојева на подручју истраживања, једним делом се обавља и у подножју Фрушке горе , на контакту неогених седимената и палеозојских шкриљаца. Издан се дренира углавном вештачким путем, преко великог броја бунара различитих дубина и природним путем, у знатно мањем обиму, истицањем у плићу издан, представљену квартарним песковима и шљунковима.

**Условно „безводни“ делови терена**, формирани у оквиру глиновитих, глиновито-песковитих седимената чине природну баријеру у циркулацији подземних вода. Ови седименти чине повлату и подину каптиране издани и као такви констатовани су на ширем подручју истраживања.

## ВОДОЗАХВАТНИ И ОСМАТРАЧКИ ОБЈЕКТИ НА ИЗВОРИШТУ

**Табела 24.** Координате бунара и пијезометара изворишта “Старо извориште” и “Мартинци”(Gauss-Krüger зона 7)

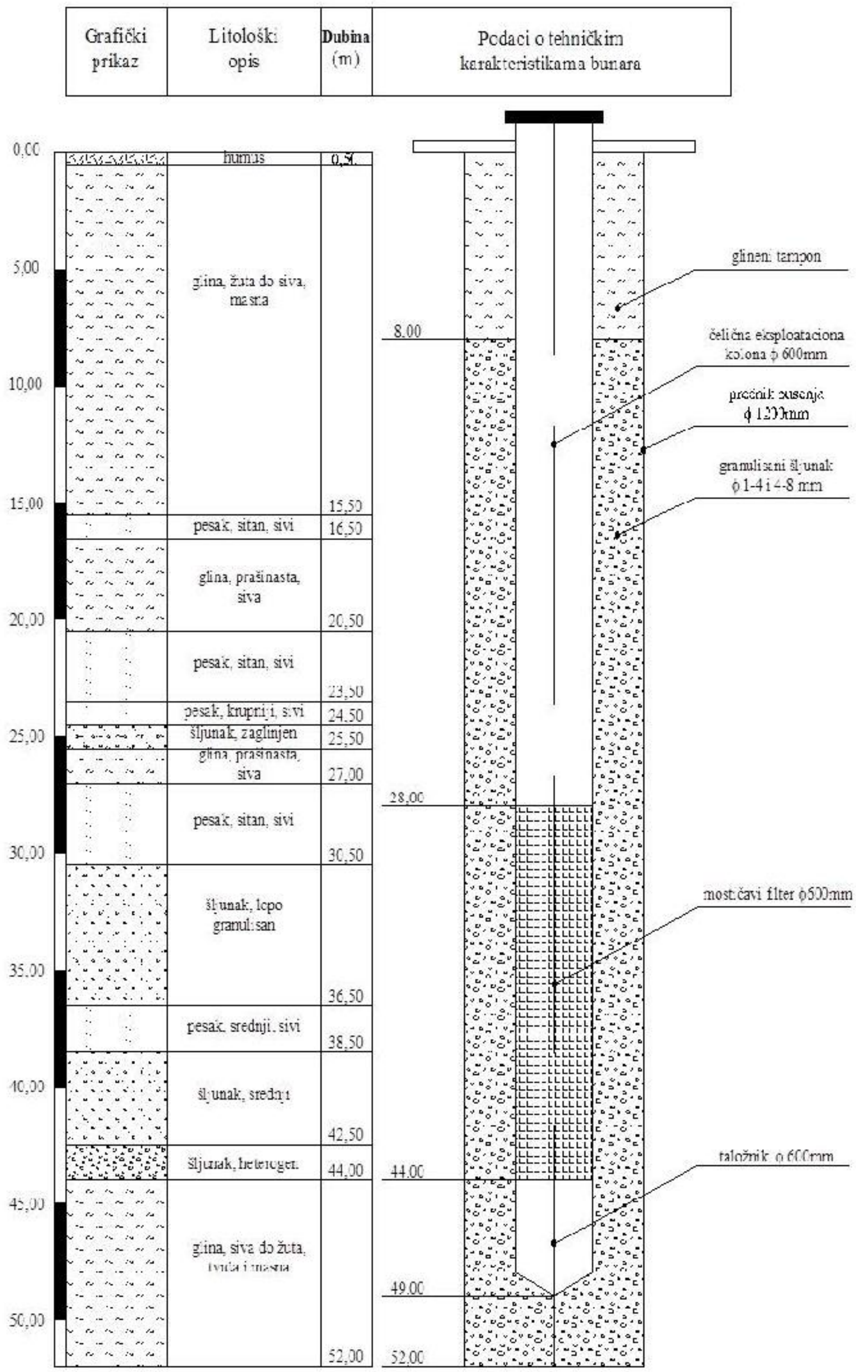
| **Извориште „Мартинци“** | | | |
|---|---|---|---|
| Назив објекта | Функција објекта | Y [m] | X [m] |
| B-1 | Активан | 7 383 578 | 4 982 997 |
| B-2 | Активан | 7 383 408 | 4 983 053 |
| B-3 | Активан - узорковање - | 7 383 223 | 4 983 120 |
| B-4 | Активан | 7 383 031 | 4 983 181 |
| B-5 | Активан | 7 382 841 | 4 983 245 |
| B-6 | Активан | 7 382 647 | 4 983 296 |
| B-7 | Активан | 7 382 449 | 4 983 303 |
| B-8 | Активан | 7 382 260 | 4 983 286 |
| B-9 | Активан - узорковање - | 7 382 066 | 4 983 239 |
| B-10 | Активан | 7 381 904 | 4 983 165 |
| **Извориште „Старо извориште”** | | | |
| B-1 | Активан | 7 388 133 | 4 982 427 |
| B-2 | Активан - узорковање - | 7 387 985 | 4 982 415 |
| B-3 | Активан | 7 387 842 | 4 982 508 |
| B-4 | Активан - узорковање - | 7 388 332 | 4 982 435 |
| B5-P | Неактиван - узорковање - | 7 388 399 | 4 982 629 |
| B6-P | Неактиван | 7 388 171 | 4 982 508 |
| B7-P | Неактиван - узорковање - | 7 387 642 | 4 982 427 |
| B8-P | Неактиван | 7 387 757 | 4 982 525 |

## „СТАРО ИЗВОРИШТЕ“

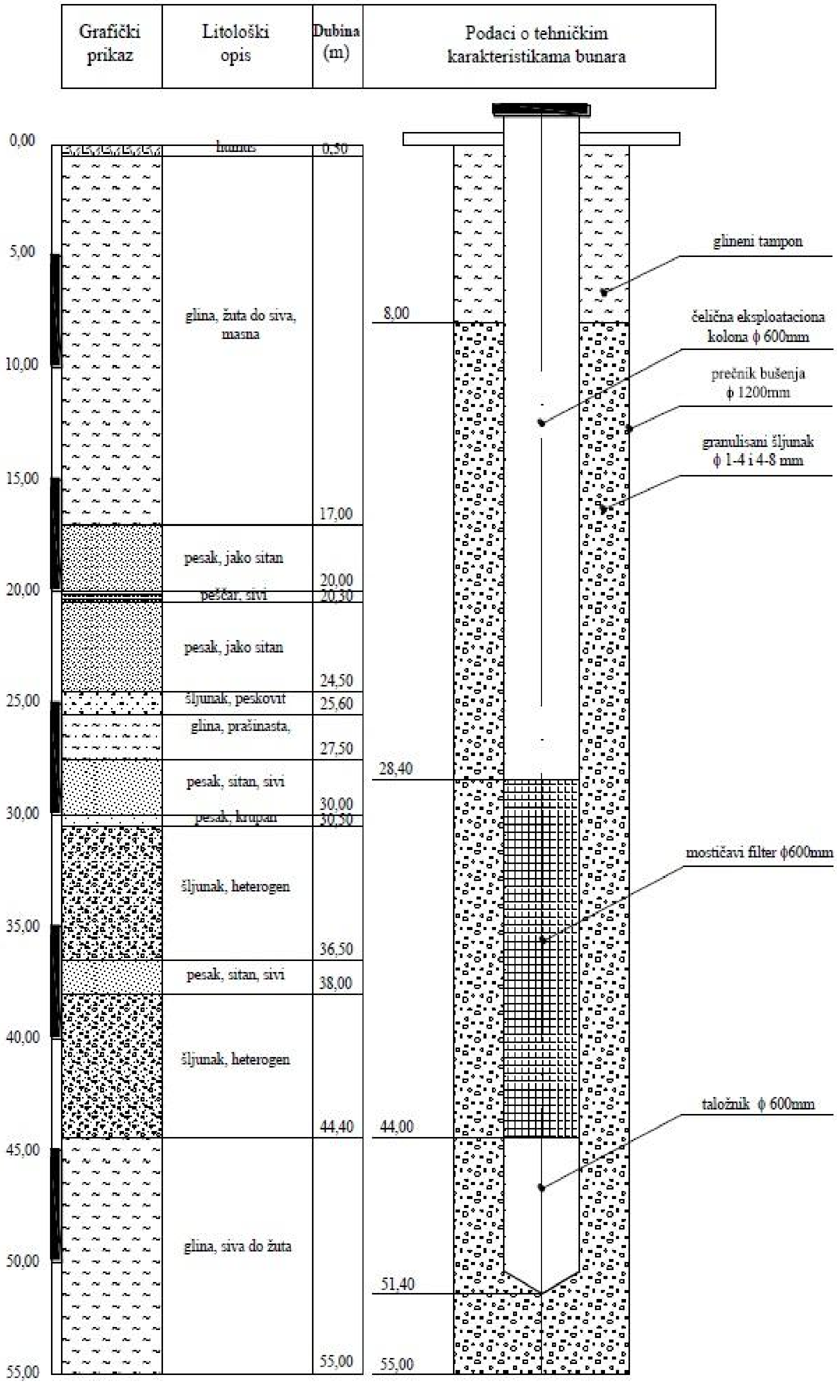
Као што је већ наведено, истражно – експлоатациони бунари на „Старом изворишту“ који су тренутно у експлоатацији (B-1, B-2, B-3 и B-4) су типских конструкција. Сви су урађени ротационом методом бушења уз реверсну циркулацију флуида за бушење. Извођач радова на свим водозахватима било је предузеће „Геотехника“ из Загреба. Бунари су урађени почетком седамдесетих година прошлог века.

Бушење је урађено пречником 1200 mm, а уграђена је челична бунарска конструкција пречника Ø 600 mm. Као водопријемни део уграђени су мостичави филтери пречника Ø 600 mm.

Садашњи изглед непосредне околине, литолошки профили и конструкције бунара В-1, В-2, В-3 и В-4 приказани су на сликама у наставку текста.

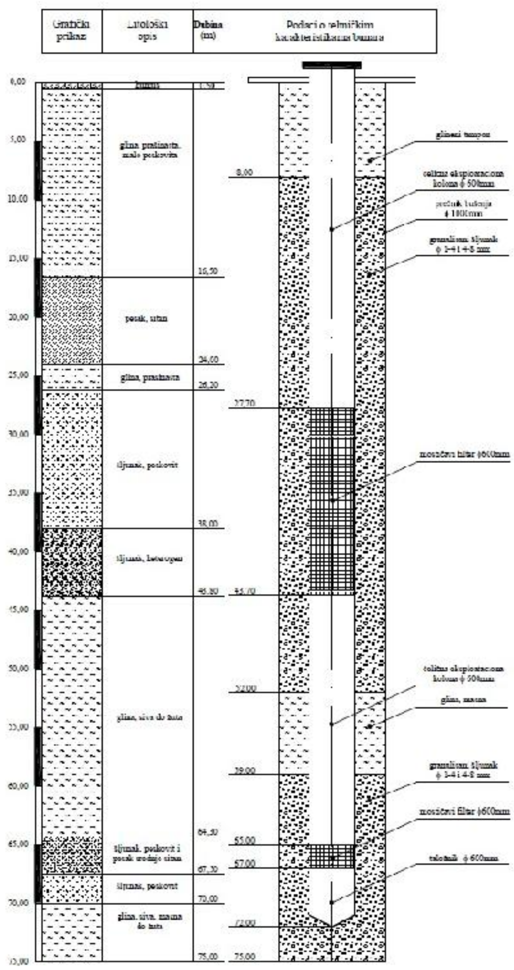



**Слика 82.** Литолошки профил и конструкција истражно – експлоатационог бунара В-1 на „Старом изворишту“

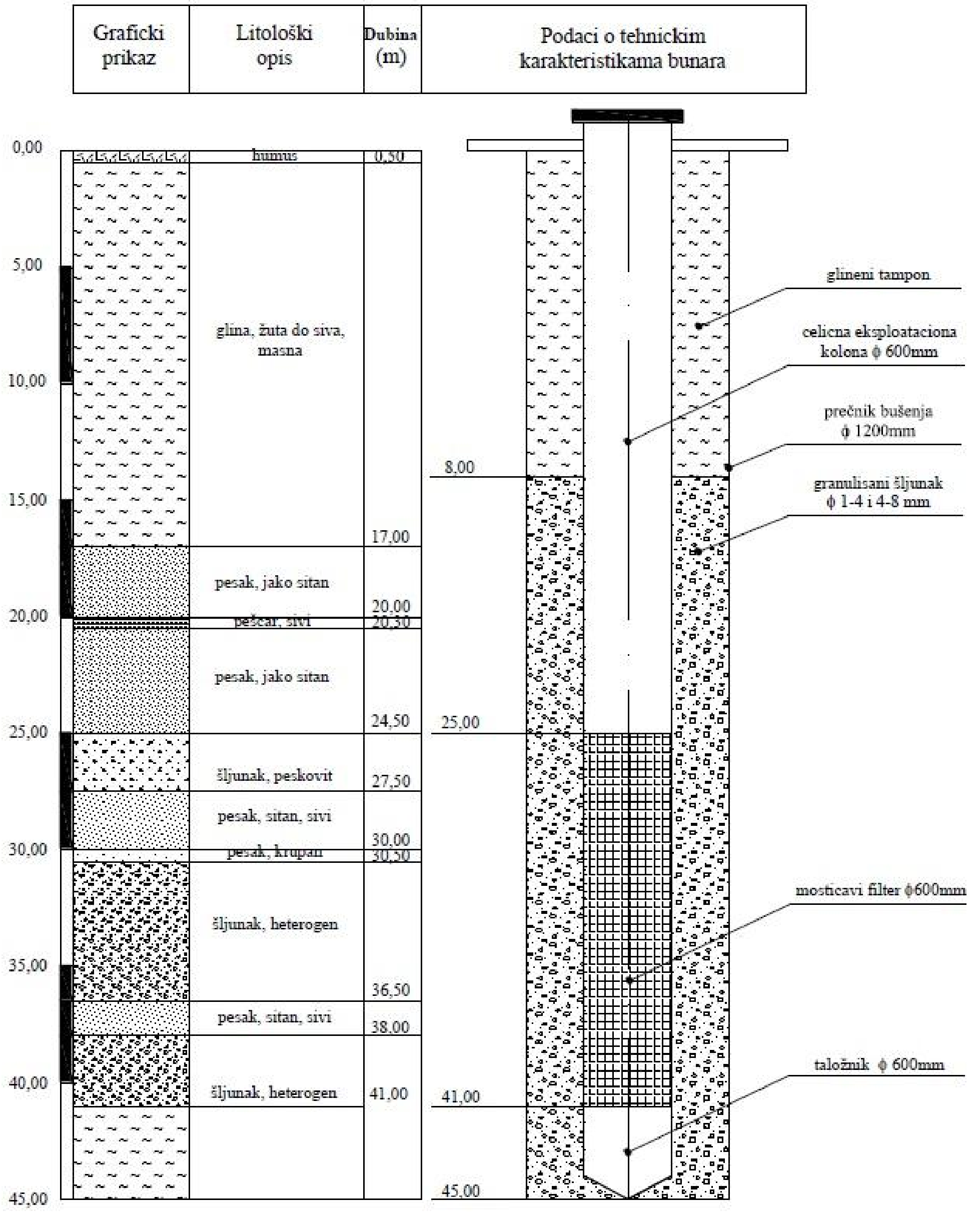



**Слика 83.** Литолошки профил и конструкција истражно – експлоатационог бунара В-2 на „Старом изворишту“


**Слика 84.** Садашњи изглед истражно-експлоатационог бунара В-2, (фото Ј. Зарић)



**Слика 85.** Литолошки профил и конструкција истражно – експлоатационог бунара В-3 на „Старом изворишту“




**Слика 86.** Литолошки профил и конструкција истражно – експлоатационог бунара В-4 на „Старом изворишту“


**Слика 87.** Спољашњи изглед истражно-експлоатационог бунара В-4, *in situ* мерења (фото: О. Анђелковић)

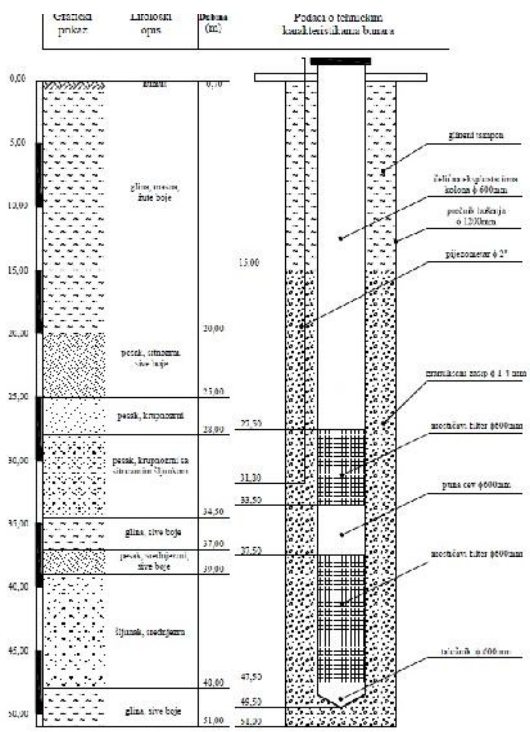
**Слика 88.** Истражни бунар (осматрачки објекат В7-р), *in situ* мерења и узорковање

**Слика 89.** Истражни бунар (осматрачки објекат В5-р)

## ИЗВОРИШТЕ "МАРТИНЦИ"

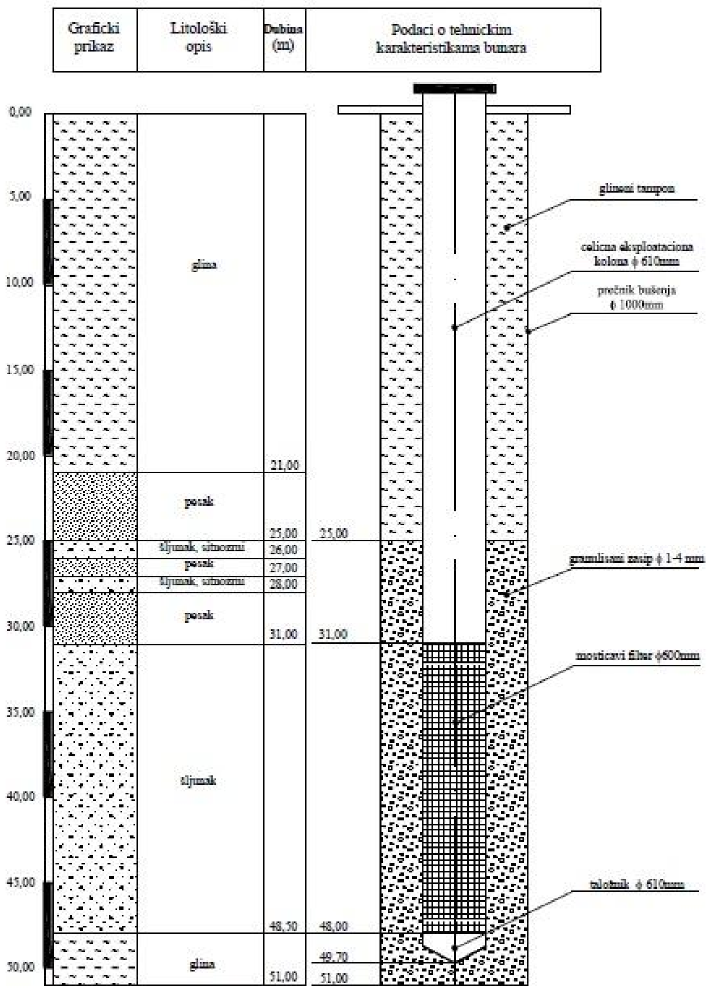
Сви бунари су типских конструкција, урађени ротационом методом бушења са реверсном циркулацијом флуида, пречником бушења Ø 1000 – 1200 mm. Дубине бунара су 51 и 52 m, а уграђене су челичне бунарске конструкције пречника Ø 600 и 660 mm, са мостичавим филтерима као водопријемним делом конструкције.

Каптирани алувијални и терасни шљункови и пескови, у зони изворишта „Мартинци", залежу на дубинама од 20 – 25 m до око 48 m, са повременим, тањим слојевима глине.




**Слика 90.** Конструкција истражно – експлоатационог бунара В-3 на изворишту „Мартинци"


**Слика 91.** Спољашњи изглед бунарске кућице истражно-експлоатационог бунара В-3, *in situ* мерења (фото: Ј. Зарић)




**Слика 92.** Конструкција истражно – експлоатационог бунара В-3 на изворишту „Мартинци“


**Слика 93.** Спољашњи изглед бунарске кућице истражно-експлоатационог бунара В-9, *in situ* мерења (фото: Ј. Зарић)

## ФИЗИЧКО-ХЕМИЈСКИ КВАЛИТЕТ ВОДЕ ИЗ ОДАБРАНИХ ОБЈЕКАТА

Сви бунари су типских конструкција, урађени ротационом методом бушења са реверсном циркулацијом флуида, пречником бушења Ø 1000 – 1200 mm. Дубине бунара су 51 и 52 m, а уграђене су челичне бунарске конструкције пречника Ø 600 и 660 mm, са мостичавим филтерима као водопријемним делом конструкције.

Каптирани алувијални и терасни шљункови и пескови, у зони изворишта „Мартинци“, залежу на дубинама од 20 – 25 m до око 48 m, са повременим, тањим слојевима глине.

**Табела 25.** Резултати физичко-хемијских анализа воде на изворишту „Мартинци“ и *in situ* мерења

| **Објекат** | | **В-3** | **В-9** |
|---|---|---|---|
| **ID узорка** | | 16-02-443 | 16-02-447 |
| **Датум узорковања** | | **06.12.2016.** | **06.12.2016.** |
| **Датум пријема** | | 07.12.2016. | 07.12.2016. |
| **Параметар** | Јединица | Вредности | |
| Температура воде | ºC | 12,8 | 12,3 |
| pH | | 7,35 | 7,33 |
| Спец. ел. проводљивост на 25ºC | µS/cm | 807 | 1044 |
| Редокс | mV | -103,8 | -112,9 |
| Eh | mV | 111,7 | 103,0 |
| Растворени кисеоник | mg/l | 0,21 | 0,08 |
| Мутноћа | NTU | 1,06 | 2,35 |
| Боја | °Pt-Co | 1 | 3 |
| Укупни испарни остатак на 105°C | mg/l | 508 | 659 |
| $CO_2$ | mg/l | 37,74 | 47,85 |
| амонијум јон | mgN/l | 0,18 | 0,24 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| нитрити | mgN/l | <0,005 | <0,005 |
| нитрати | mgN/l | 0,06 | 0,07 |
| алкалитет | mgCaCO$_3$/l | 422,5 | 511,5 |
| бикарбонати | mgHCO$_3^-$/l | 515,5 | 624,0 |
| карбонати | mgCO$_3^{2-}$/l | 0 | 0 |
| хлориди | mg/l | 7,34 | 21,74 |
| сулфати | mg/l | 9,29 | 30,25 |
| водоник-сулфид | mg/l | - | - |
| укупна тврдоћа | mgCaCO$_3$/l | 302,4 | 370,8 |
| $Fe^{2+}$ | mg/l | 0,88 | 1,19 |
| Укупно гвожђе | mg/l | 1,05 | 1,26 |
| бор | µg/l | 53,9 | 34,8 |
| калцијум | mg/l | 69,61 | 81,79 |
| магнезијум | mg/l | 31,22 | 40,46 |
| натријум | mg/l | 29,60 | 46.14 |
| калијум | mg/l | 1,12 | 1,40 |
| манган | mg/l | 0,11 | 0,08 |
| алуминијум | µg/l | <40 | <40 |
| арсен | µg/l | <20 | <20 |
| бакар | µg/l | <2 | <2 |
| цинк | µg/l | <2 | <2 |
| кадмијум | µg/l | <2 | <2 |
| олово | µg/l | <2 | 6,5 |
| хром | µg/l | <2 | <2 |
| Cr(VI) | mg/l | <0,01 | <0,01 |
| никл | µg/l | <2 | <2 |
| жива | µg/l | <1 | <1 |
| TOC | mg/l | 1,08 | 1,45 |
| баријум | µg/l | 156,1 | 220,4 |
| селен | µg/l | <20 | <20 |
| стронцијум | µg/l | 449,6 | 673,8 |
| литијум | µg/l | 4,3 | 4,6 |
| силицијум | mg/l | 31,10 | 29,49 |

Током кампања узорковања 2016. и 2017. године, узимани су узорци и вршена *in situ* мерења на објектима В–2, В-4, В5-Р и В7-Р као репрезентативним. У складу са претходним детаљним истраживањима резултати физичко-хемијских анализа воде из ових објеката могу да укажу на процесе који се дешавају у аквиферу током струјања воде.

**Табела 26.** Резултати физичко-хемијских анализа воде на изворишту „Старо извориште" и *in situ* мерења

| **Објекат** | | **В-2** | **В-4** | **В5-Р** | **В7-Р** |
|---|---|---|---|---|---|
| **ID узорка** | | 16-02-442 | 16-02-444 | 16-02-445 | 16-02-446 |
| **Датум узорковања** | | 06.12.2016. | 06.12.2016. | 06.12.2016. | 06.12.2016. |
| **Датум пријема** | | 07.12.2016. | 07.12.2016. | 07.12.2016. | 07.12.2016. |
| **Параметар** | Јединица | Вредности | | | |
| Температура воде | °C | 13,7 | 13,7 | 13,1 | 13,1 |
| pH | | 7,33 | 7,32 | 7,78 | 7,44 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Спец. ел. проводљивост на 25ºC | μS/cm | 917 | 933 | 960 | 843 |
| Редокс | mV | -117,9 | -119,7 | -217,2 | -149,2 |
| Eh | mV | 97,0 | 95,2 | -1,9 | 66,1 |
| Растворени кисеоник | mg/l | 0,05 | 0,09 | 0,07 | 0,12 |
| Мутноћа | NTU | 1,90 | 0,95 | 2,19 | 2,97 |
| Боја | °Pt-Co | 2 | 1 | 3 | 3 |
| Укупни испарни остатак на 105°C | mg/l | 582 | 597 | 621 | 537 |
| $CO_2$ | mg/l | 40,46 | 42,50 | 14,45 | 29,77 |
| амонијум јон | mgN/l | 0,23 | 0,22 | 0,38 | 0,33 |
| нитрити | mgN/l | <0,005 | <0,005 | <0,005 | 0,008 |
| нитрати | mgN/l | 0,19 | 0,07 | 0,11 | 0,24 |
| алкалитет | $mgCaCO_3/l$ | 432,5 | 444,0 | 435,5 | 410,0 |
| бикарбонати | $mgHCO_3^-/l$ | 527,7 | 541,7 | 531,3 | 500,2 |
| карбонати | $mgCO_3^{2-}/l$ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| хлориди | mg/l | 24,44 | 20,91 | 25,5 | 13,48 |
| сулфати | mg/l | 34,04 | 39,09 | 55,64 | 29,49 |
| водоник-сулфид | mg/l | - | - | - | - |
| укупна тврдоћа | $mgCaCO_3/l$ | 352,0 | 368,4 | 398,6 | 367,2 |
| $Fe^{2+}$ | mg/l | 1,07 | 1,00 | 2,82 | 3,10 |
| Укупно гвожђе | mg/l | 1,14 | 1,31 | 2,95 | 3,22 |
| бор | μg/l | 473,0 | 32,0 | 34,4 | 33,1 |
| калцијум | mg/l | 81,67 | 89,27 | 84,37 | 83,63 |
| магнезијум | mg/l | 35.95 | 35.33 | 45.65 | 38,47 |
| натријум | mg/l | 28,70 | 27,05 | 15,90 | 19,61 |
| калијум | mg/l | 1,15 | 1,14 | 0,67 | 0,87 |
| манган | mg/l | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,08 |
| алуминијум | μg/l | <40 | <40 | <40 | <40 |
| арсен | μg/l | <20 | <20 | <20 | <20 |
| бакар | μg/l | <2 | <2 | <2 | <2 |
| цинк | μg/l | <2 | <2 | <2 | <2 |
| кадмијум | μg/l | <2 | <2 | <2 | <2 |
| олово | μg/l | <2 | 2,9 | 3,1 | 3,5 |
| хром | μg/l | <2 | <2 | <2 | <2 |
| Cr(VI) | mg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| никл | μg/l | <2 | <2 | <2 | <2 |
| жива | μg/l | <1 | <1 | <1 | <1 |
| TOC | mg/l | 1,41 | 1,46 | 1,42 | 1,46 |
| баријум | μg/l | 203,0 | 223,9 | 110,4 | 137,0 |
| селен | μg/l | <20 | <20 | <20 | <20 |
| стронцијум | μg/l | 518,5 | 551,8 | 601,7 | 491,8 |
| литијум | μg/l | 53,2 | 4,3 | 0,7 | 1,8 |
| силицијум | mg/l | 30,97 | 30,44 | 20,89 | 30,84 |

# 9. БЕОГРАДСКО ИЗВОРИШТЕ ПОДЗЕМНИХ ВОДА

## 9.1. Претходна истраживања

Подручје Београда и околине, као и београдског изворишта (слике 94-97) било је предмет истраживања за многе наменске пројекте и студије. Због тога је геолошка структура терена околине Београда, била проучавана парцијално, према конкретним задацима и потребама.

Један од првих српских геолога, који се бавио овом проблематиком, био је Светолик Радовановић. Његова истраживања подземних вода и предлог каптирања, кључни су за отварање првог изворишта за централизовано водоснабдевање Београда у Макишу (1894).

Први хидрогеолошки истражни радови за потребе Београдског водовода започињу 1884. године, када је дошло до несташице воде у новом Београдском водоводу. Негде половином 1894. године, Београдска општина је формирала комисију у којој су, поред осталих, били С. Радовановић и F. Hofman. Ова комисија је имала за задатак да проучи сву документацију о новом (Макишком) водоводу, затим да обави и теренска истраживања која су потребна и на основу свега тога, да изнесе своје мишљење о геолошком саставу терена и пореклу макишке подземне воде.

После обављеног задатка, стручна комисија је, на основу скромних истраживања констатовала да подземне воде има довољно у непосредној околини Београда, па је предложила да се за водоснабдевање Београда користи подземна вода.

Посебан траг у хидрогеологији оставили су радови Ј. Цвијића, иако се најчешће нису директно односили на истраживање и проучавање издански вода за њихово конкретно коришћење.

Први радови који третирају геолошку, а делом и хидрогеолошку проблематику шире и уже околине Београда, датирају још од краја XIX века. Поменутим истраживањима бавили су се: Ј. Жујовић, Ј. Цвијић, С. Радовановић, П. Павловић, М. Гочанин, Н. Горјановић, В. Ласкарев, М. Луковић, К. Петковић и многи други.

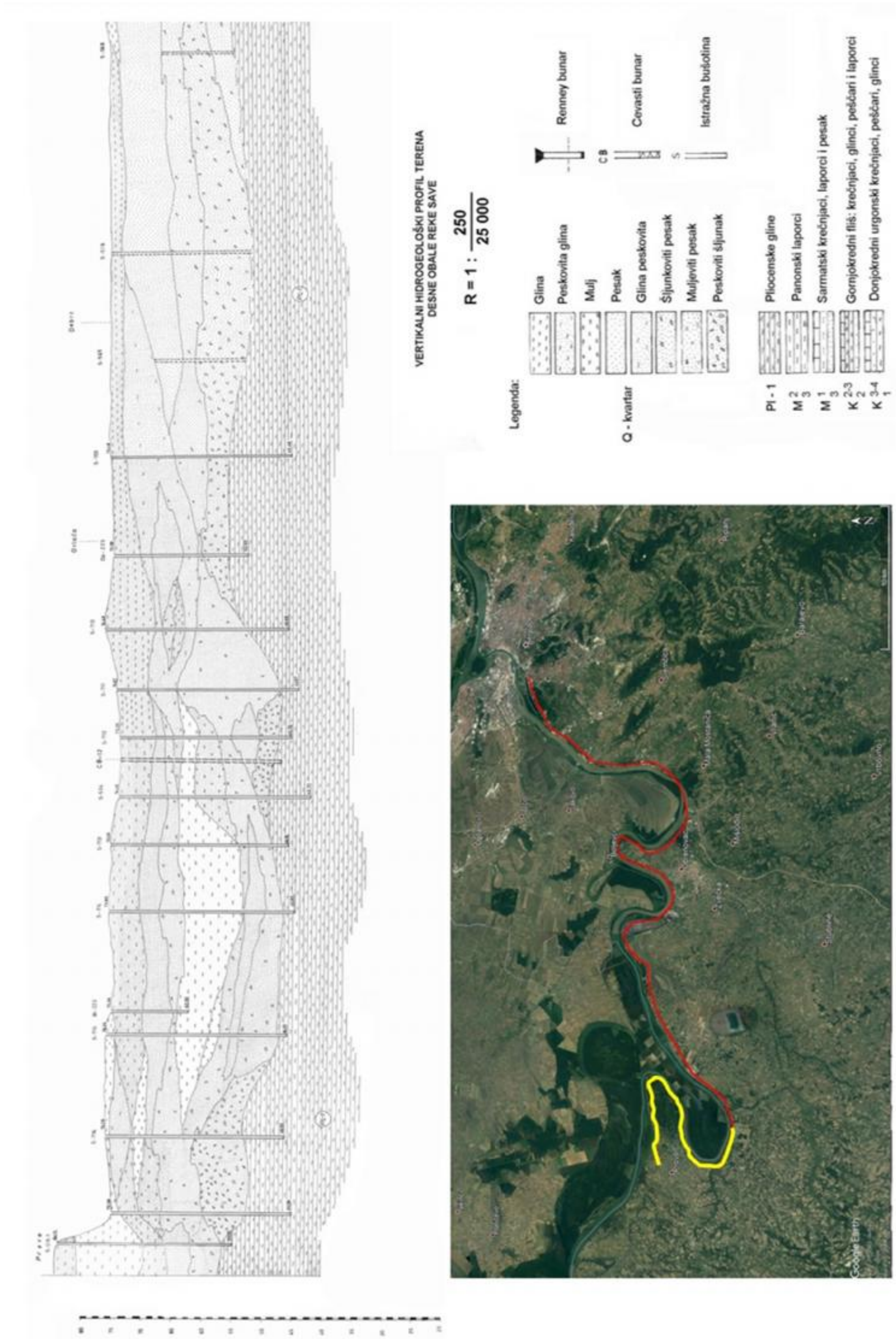
Када је 1950. године донета одлука о изради новог Генералног урбанистичког плана града Београда до 1970. године, а нарочито када је 1952. започета изградња Рени (Renney) бунара у београдском изворишту, указала се потреба за извођењем обимнијих хидрогеолошких истраживања. Ова истраживања извођена су у приобаљу реке Саве, како у Макишу и Ади Циганлији, тако и у приобаљу леве обале реке Саве од ушћа до Остружнице. Пројектовање и извођење истражних радова поверено је проф. М. Пећинару, који је резултате приказао у одговарајућој техничкој документацији која се налази у Београдском водоводу.

Највећи обим хидрогеолошких истраживања извршен је у периоду од 1970-1975. када је донета одлука Градске скупштине за израду новог Генералног урбанистичког плана за развој Београда до 2000. године. Пројектовање и извођење ових хидрогеолошких истраживања поверено је инг. Ј. Живковићу. Хидрогеолошка истраживања у поменутом периоду извођена су у приобалном подручју реке Саве од ушћа, па узводно до Шапца, као и на Ади Циганлији и левој обали реке Дунав, од ушћа реке Сибнице па узводно до Сурдука (Живковић, 1997).

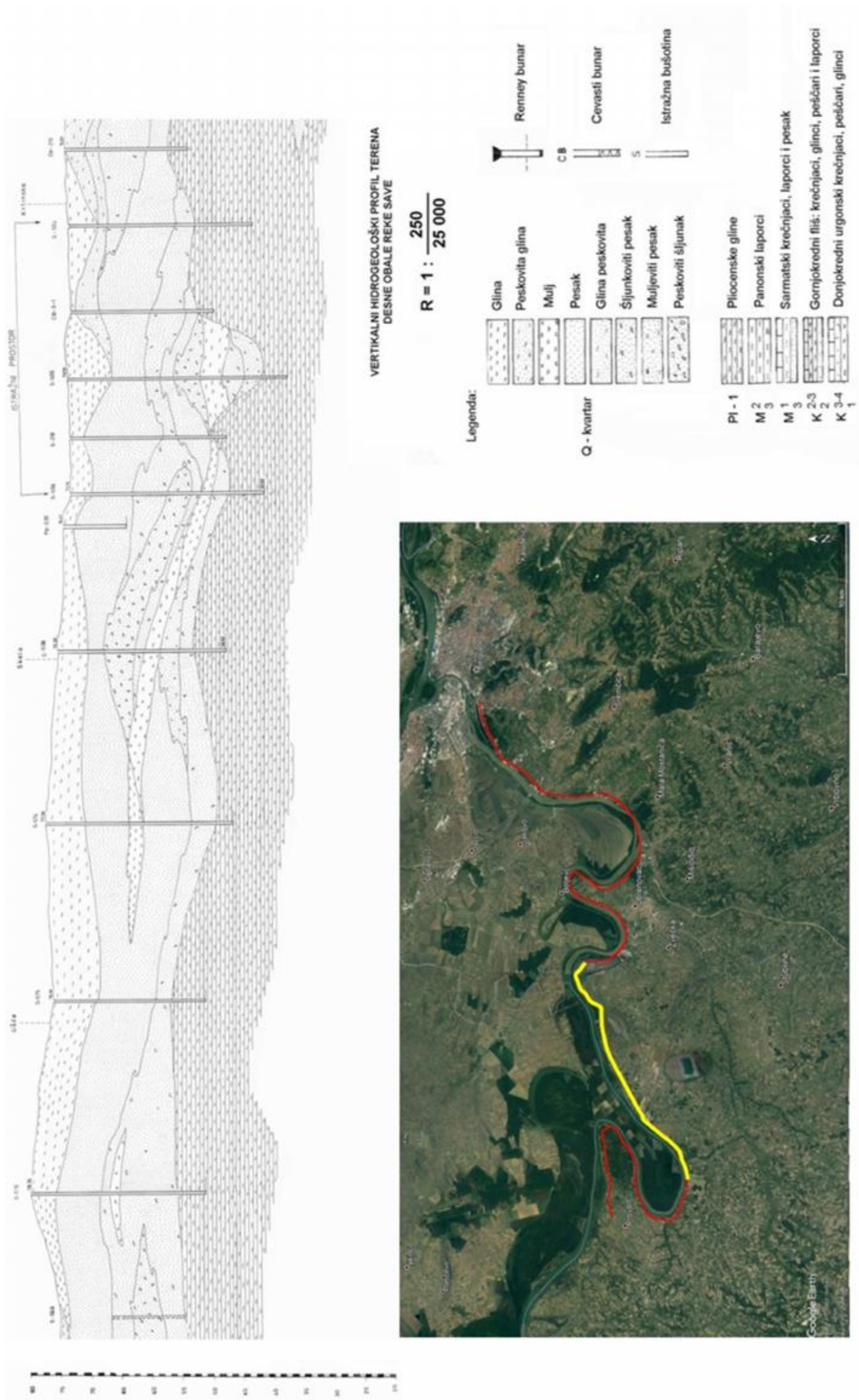
Циљ ових хидрогеолошких истраживања био је да се у потпуности дефинишу, како садашња тако и перспективна београдска изворишта из којих би се обезбедиле потребне количине подземне воде за водоснабдевање Београда до 2000. године, па и за наредне деценије.

У периоду 1970-1975. године извршено је следеће:

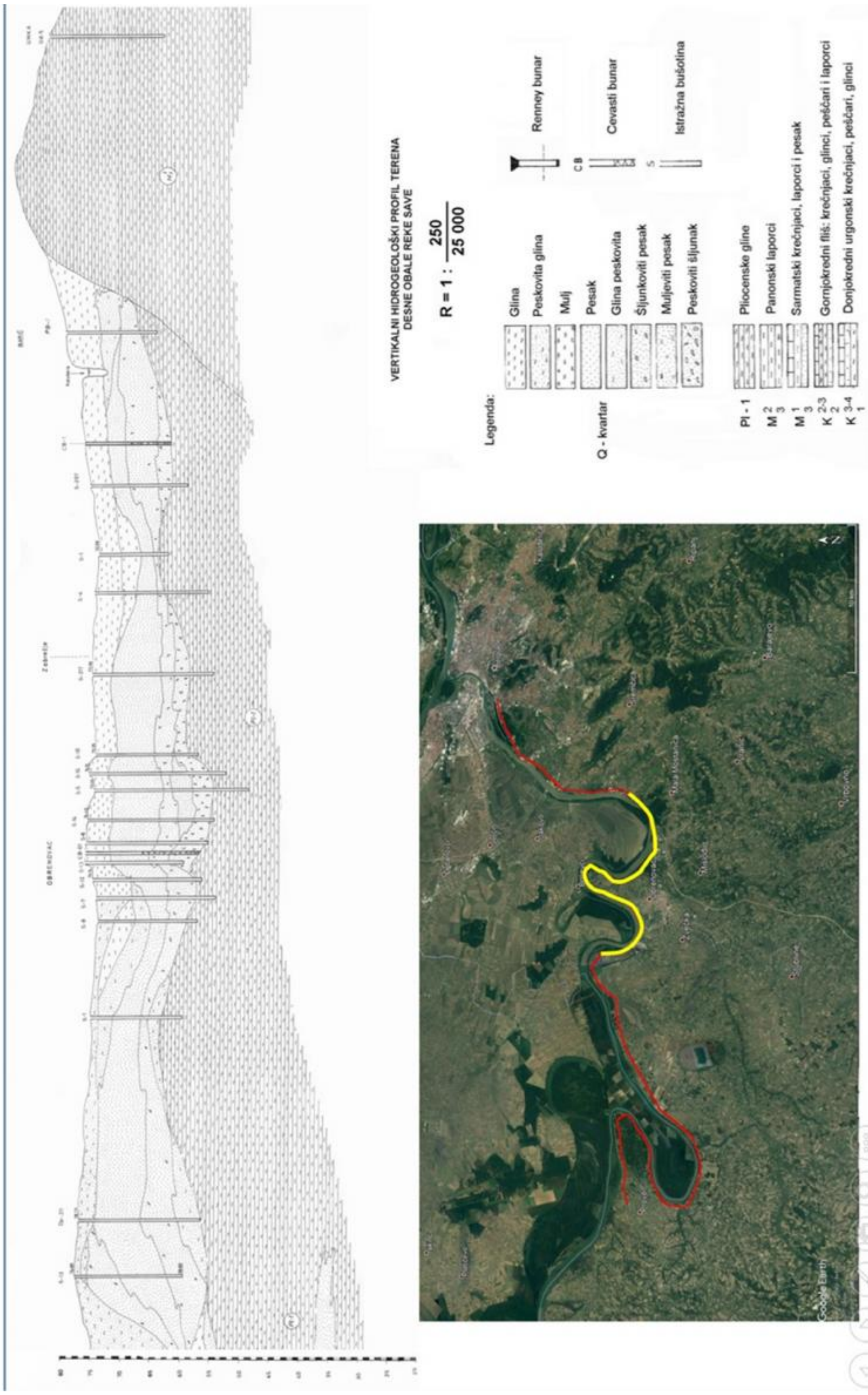
- избушено је око 2000 истражних структурних бушотина,
- извађено је 2700 геоелектричних сонди,
- избушено је неколико десетина вертикалних бушених пробно - експлоатационих бунара,
- урађено је преко 8000 анализа гранулометријског састава,
- урађено је око 1000 анализа физичко - хемијског састава подземних вода,
- од узорака материјала узетих из одабраних структурних бушотина урађено је 370 минеролошких анализа, 300 палеонтолошких анализа и 300 палинолошких анализа,
- урађено је и неколико моделских истраживања.



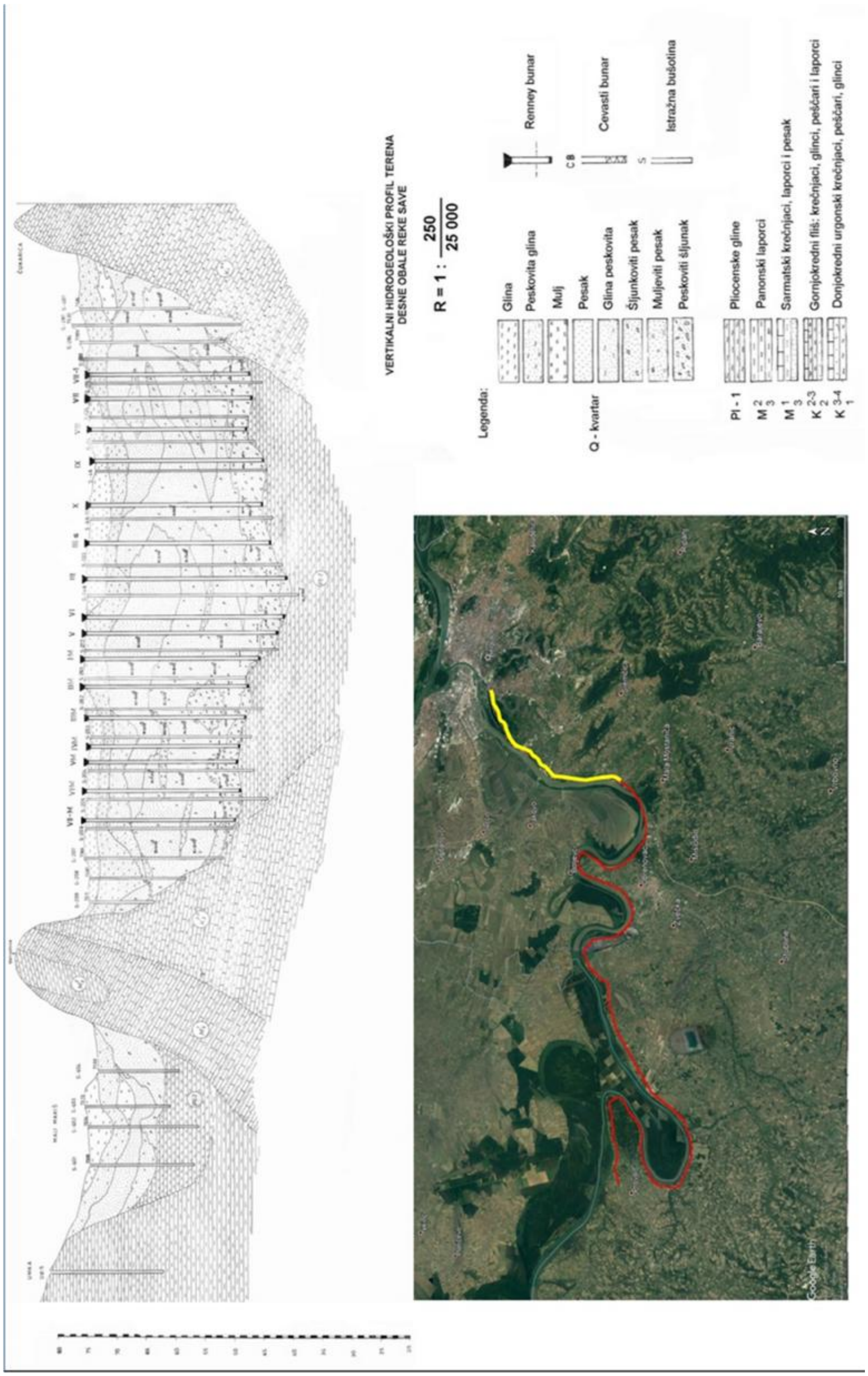

**Слика 94.** Вертикални хидрогеолошки профил десне обале реке Саве у зони од Прова до Дебрца - деоница обележена жутом линијом (Бабац, 2005)




**Слика 95.** Вертикални хидрогеолошки профил десне обале реке Саве у зони од Дебрца до Прогара - деоница обележена жутом линијом (Бабац, 2005)




**Слика 96.** Вертикални хидрогеолошки профил десне обале реке Саве у зони од Прогара до Умке - деоница обележена жутом линијом (Бабац, 2005)




**Слика 97.** Вертикални хидрогеолошки профил десне обале реке Саве у зони од Умке до Чукарице - деоница обележена жутом линијом (Бабац, 2005)

Поред раније споменутих истраживача геолошку структуру Београда и њене уже околине нарочито су проучавали П. Стевановић, М. Анђелковић, Н. Милојевић, Ј. Живковић, М. Протић чији су резултати истраживања нарочито битни за период почетка рада и развоја београдског изворишта. Касније су квартарне творевине околине Београда проучавали многи аутори и инжењери који су учествовали у изради пројеката и студија развоја београдског изворишта, санације Renney бунара и многим другим наменским истраживањима.

Приликом истраживања током 1970-1975. избушено је неколико стотина истражних бушотина у квартарним седиментима ради решавања проблема водоснабдевања Београда. Том приликом узимани су узорци шљунковитих и песковитих седимената, скоро из свих бушотина и извршене су гранулометријске анализе набушених седимената а код већег броја бушотина одређивани су поред процентуалних садржаја гранулометријских фракција шљунака, песка, праха и глине, квантитативни минерални садржаји ових фракција, посебно тешки минерали, порекло материјала и правци његовог приноса. Резултати ових истраживања публиковани су кроз радове М. Протића, Ј. Обрадовића и Ј. Живковића (1976). Подаци о саставу и пореклу квартарних седимената прикупљени су и из фондовске документације дисертације С. Вујасновића (1985). Подаци о математичким моделима који су рађени за београдско извориште, као и резултати праћења и анализе процеса у алувијалним изданима и процеса старења бунара на београдском изворишту публиковани су кроз бројне радове аутора М. Димкић и М. Пушић. Ова наменска истраживања махом су рађена на Институту за водопривреду Јарослав Черни, за потребе израде Студије београдског изворишта подземних вода у периоду од 2004 – 2010, а рад на санацији и регенерацији бунара београдског изворишта настављен је до данас.

## 9.2. Геолошка грађа терена

**МЕЗОЗОИК** (јура, креда)

За истражно подручју и алувијалну издан београдског изворишта јурске и кредне творевине битне су са два аспекта. Због приноса материјала који је гравитационо и мањим токовима доносио материјал у савски басен и због контакта са изданима у оквиру алувијалних творевина и у оквиру сарматских кречњака и других млађих творевина.

**Јура**

На проучаваном подручју као најстарије стенске масе запажају се седименти горње јуре и то на ободу Макиша, недалеко од Жаркова, као и у долини Топчидерске реке северно од Ресника. Јурски седименти представљени су спрудним кречњацима који су тектонским покретима јако поремећени.

Такође је констатовано да се јурски седименти налазе преко знатно млађих стена по свом постанку, што указује да су седименти јуре навучени на млађе стенске масе. Ово указује да је тектоника долине Топчидерске реке врло сложена и компликована.

На проучаваном терену седименти горње јуре имају велико распрострањење и они чине подину млађим кредним и терцијарним седиментима.

**Креда**

Од крединих седимената на проучаваном подручју налазе се седименти доње и горње креде (Живковић, 1984).

**Доња креда**

Доњо-кредни седименти појављују се на површини терена захватајући Топчидерско брдо, Кошутњак и Дедиње, затим у долини Топчидерске реке, на подручју Топчидера, као и северно од Ресника. Такође, се ови седименти запажају и имају велико распрострањење на подручју Чукарице, Жаркова и Железничке реке, настављајући се тако преко села Барајева на кредне седименте Космаја.

Доњо-кредни седименти представљени су седиментима који су стварани у плитким деловима мора, у флишним базенима, или дубљим деловима тадашњег мора. Због оваквих услова таложења јавиле су се и одговарајуће фацијалне разноврсности у седиментацији. Тако су створени спрудни седименти, дубоководни седименти и флишни седименти.

На проучаваном подручју заступљени су сви катови доње креде. Међутим, сви ови катови доње креде нису запажени на површини терена, већ само следећи: валендински, отривски, баремско-аптски, аптски и албски кат.

– Седименти валендинског ката откривени су на десној обали реке Саве на ободу Макиша, и представљени су плитководним седиментима, тј. песковитим лапорцима и лапоровитим кречњацима.
– Седименти отривског ката појављују се такође на ободу Макиша, на Грујиној страни и на јужним падинама Кошутњака, као и у долини Топчидерске реке. На ободу Макиша седименти отривског ката су заступљени са лапоровитим кречњацима и песковитим лапорцима у којима се запажа богата фауна брахиопода.
– Седименти баремско-апстског ката имају највеће распрострањење на проучаваном терену. У овом периоду долази до диференцирања морског дна и тако се стварају различите фације којом приликом је створена тзв. ургонска фација, и фација флиша. Стенске масе баремско-аптског ката запажају се на Топчидерском брду, Бановом брду, Дедињу и Кошутњаку, где тону у долину Топчидерске реке. Седименти баремско-апстског ката на овом подручју припадају тзв. ургонској и флишној фацији.
– У ургонској фацији местимично се издвајају два типа седимената и то: пешчарско-конгломератичне творевине и карбонатне творевине.
– Пешчарско-конгломератичне творевине се запажају у Кошутњаку и Дедињу. У састав овиих седимената улазе пешчари жућкасте боје са крупним комадима кварца и рожнаца.
– Карбонатне творевине ове фације распрострањене су на Топчидерском брду, Бановом брду и Кошутњаку. Ови кречњаци су углавном банковити ређе песковити, обично су једри и компактни. Карактеристично је да су ове кречњачке масе у доњем делу песковите и бречасте, а у вишим деловима чистије

и компактније. 2015 године на терену савског амфитеатра (Београд на води, локалитет централне куле) ургонски кречњак у фацији чврстих, масивних кречњака, сиве боје, набушен је директно испод кредног кречњака на дубини од 60 m до 90 m где се налази раседна зона на контакту ургонских кречњака и сиво-зелених чврстих пешчара. У оквиру ургонских кречњака забележена је честа промена боје услед хемијске алтерације, што може да указује на издизање подземних вода контакта ургона и подинских седимената које су термоминералног карактера (појава није испитана, картирање проф др. С. Кнежевић).

- Флишне творевине баремско-аптског ката заступљене су такође у околини Београда. Оне су представљене са пешчарско-глиновитим стенским масама, нарочито у атару села Рушња и Барајева.
- Творевине аптског ката се појављују код Топчидерске станице, Топчидерског гробља и Ковнице новца, као и на ушћу Раковичког потока у Топчидерску реку. У литолошком погледу седименти аптског ката заступљени су са крупнозрним и трошним пешчарима. Често се запажају сочива и прослојци песковитих кречњака, а понекад и банковитих кречњака.
- Албски седименти на испитиваном терену налазе се у мањим партијама у тектонски спуштеним структурама, или се местимично јављају преко седимената аптског ката. Изоловане партије ових седимената налазе се на падинама Топчидерске реке, а насупрот ушћа Раковичког потока, као и на ободу Макиша, између Чукарице и Жаркова.

У литолошком погледу седименти албског ката представљени су у доњем и средњем делу конгломератима, гвожђевитим пешчарима, глауконтиским пешчарима, оолитском рудом гвожђа и другим седиментима. Горњи делови ових седимената су углавном од песковитих лапораца и лапоровитих ситнозрних пешчара.

**Горња креда**

Седименти горње креде у околини Београда имају највеће распрострањење у односу на остале мезозојске седименте.

Обично леже трансгресивно преко старијих стенских маса, али се понегде запажа постепен прелаз између доње и горњокредних седимената.

На проучаваном подручју горњокредни седименти се јављају у више фација и то: фацији кречњака, фацији пешчара и кредних лепораца, пешчарско глиновитој фацији и фацији флиша.

Изузев горњокредних седимената развијених у фацији флиша, остале фације ових седимената су запажене само местимично и имају веома мало простирање, из тог разлога у даљем излагању, детаљније је описан горњокредни флиш.

Горњокредни флиш има знатно пространство на проучаваном подручју и простире се од Остружнице у широком појасу у источном правцу, настављајући се даље према Барајеву. Ови седименти познати су под називом Остружнички флиш, који је ограничен са југозападне стране Остружничком реком, а са источне стране Железничком реком. Такође се на десној обали реке Саве на површини терена запажа једна мања партија седимената горњо-кредног флиша, код села Пећана.

Истражним бушењем, која су изведена од стране Београдског водовода, на левој обали Саве код Остружнице, а на око 50-100 m од обале, констатовани су седименти горњокредног остружничког флиша на дубини од 30-40 m. Ово потврђује да се горњокредни флиш простире од Остружнице према северу, чинећи тако на овом делу терена једну природну баријеру кориту реке Саве.

У литолошком погледу Остружнички флиш заступљен је углавном са жућкасто сивим банковитим пешчарима, који се наизменично смењују са глинцима и глиненим шкриљцима, а местимично се јављају и конгломерати, па и бречасти материјал. Пешчари су обично богати лискунима и имају доминантну улогу, затим долазе глинени шкриљци, док су партије глинаца врло танке, само неколико центиметара.

Седименти Остружничког флиша одликују се благим падовима од око 10-15$^{o}$, што указује да су ови седименти благо поремећени тектонским покретима. Ово иде у прилог мишљењу да је остружнички флиш стваран после главног убирања које је захватило мезозојске седименте, укључујући и Авалски флиш.

Према томе Остружнички флиш је млађи од авалског флиша.

У седиментима Остружничког флиша налази се оскудна фауна, па и због тога о старости остружничког флиша постоје различита мишљења.

На геолошкој карти Београда размере 1:25000 у редакцији В. Ласкарева, В. Петковића и М. Луковића, остружнички флиш означен је као стенска маса доњокредне старости.

Гочанин (1935)[10] остружничке пешчаре и лапорце означава као јурске седименте, а 1940. године, флиш западно од Топчидерске реке означава као седименте горње креде.

Стевановић је такође указао да седименти остружничког флиша припадају горњој креди.

Седименти горњокредног флиша у околини Београда издвојени су у два типа и то: Авалски флиш – пешчарско-алеверолитског карактера и као старији туронско-сенонски и Остружнички флиш – пешчарског карактера, као завршетак сенона и данског ката (Анђелковић, 1967)[11], што би по литолошком саставу и тектонској структури седимената Остружничког и Авалског флиша било прихватљиво мишљење. Исто тако, на основу литолошког састава, тектонских односа и фосила нађених у флишним седиментима на подручју Београда, ови седименти издвојени су у трећи тип флиша, познат под називом Барајевски флиш (Анђелковић, 1967).

**КЕНОЗОИК**

Од кенозојских творевина на проучаваном терену налазе се терцијарне и квартарне наслаге.

**<u>Терцијар</u>**

Терцијар је заступљен на проучаваном терену са миоценским седиментима.

**Миоцен**

Ранијим проучавањима на подручју испитиваног терена и његове уже околине констатовани су седименти средњег и горњег миоцена. Познато је да је крајем горњокредне периоде овај део терена био копно све до миоцена, када се формирало море Паратетис. У овој фази долази поново до седиментације и стварања миоценских наслага.

Неогени седименти углавном леже трансгресивно и дискордантно преко кредних стенских маса, што указује на осцилације мора и померање обалских линија у

[10] Према наводима Живковић, Ј. (1976) - наведени литературни извори нису наведени у референцама
[11] Према наводима Живковић, Ј. (1976) - наведени литературни извори нису наведени у референцама извора

доњем миоцену. Доњег миоцена у зони ширег истражног подручја нема, док је средњи миоцен представљен баденским и сарматским катом, а горњи миоцен панонским и понтским катом.

***Баден***[12]

Појава баденских седимената на проучаваном терену констатована је у различитим фацијама и то: фацији глина, песковито-конгломератичној фацији и кречњачкој фацији.

Баден је према старој номенклатури (тумач ОГК ) називан тортон, што је и даље у употреби али за депозициону средину Јадранског басен и то старији миоцен. За простор централног паратетиса усвојен је назив баден, који представља старији средњи миоцен.

Појава баденских седимената на проучаваном терену констатована је у различитим фацијама и то: фација глина, песковито-конгломератичној фацији и кречњачкој фацији.

На територији Београда, на Ташмајдану, констатовано је присуство седимената бадена развијених у кречњачкој фацији, познатих под називом Ташмајдански литотамнијски кречњаци (лајтовачки кречњак). Ова фација баденских кречњака констатована је бушењем дубоке бушотине у селу Купинову са којом је добијена и термоминерална вода. Ови кречњаци откривени су на површини терена на Ташмајдану, на подручју око Славије и даље зоне према Вишњици. Добро су карстификовани са развијеним системом каверни и канала који омогућавају циркулацију воде у подземље. Ове зоне, међутим врло су урбаноизоване и покривене вештачки насутим материјалом, па се може сматрати да је количина воде која учествује у укупном билансу прихрањивања издани природним путем са површине терена, релативно мала. Што се тиче дренирања издани, појаве истицања подземних вода могу бити под утицајем раседних структура.

Један од извора из баденског спрудног кречњака је и извориште Света Петка на Калемегдану (унутар саме капеле цркве Свете Петке на приближно 100 m н.м). Извор је формиран на контакту спрудних кречњака баденске старости, са млађим панонским седиментима у повлати (лапоровито глиновитим седиментима), који су

[12] По ранијој номенклатури ови слојеви су дефинисани као тортонски ($M_2^2$), данас се називају баденски ($M_2^1$)

водонепропусни. У овом делу терена панонски лапорци леже директно преко баденског ката, док сарматског ката нема. У подини баденског кречњака налазе се највероватније песковито, глиновито-песковите, прашинасто песковите (местимично цементоване) и лапоровите наслаге баденске старости, практично водонепропусне.

***Сармат*[13]**

Сарматски седименти, јављају се у југоисточном делу проучаваног терена у доста континуалним и широким зонама. Ови седименти појављују се и са источне и са западне стране мезозојске шумадијске креде, а понегде и директно на њој.

Сарматске стенске масе простиру се континуално од Београда преко Кошутњака, Чукарице и Жаркова, захватајући тако једну широку зону од Макишког обода на северу, пружајући се према истоку до Топчидерске реке и према југу, преко Сремчице, све до Сибнице. Ови седименти се такође појављују у виду једне уже зоне између Остружничке реке и Пећана. На крајњем западном делу проучаваног терена код села Прова, непосредно поред корита реке Саве на површини терена, запажају се сарматски седименти у фацији песковитих кречњака, који се пружају даље према атару села Свилеуве и Баталага. Такође, ови седименти су констатовани бушењем бушотине на левој обали реке Саве, на дубини од око 25 m.

Седименти сарматског ката на проучаваном подручју развијени су у више фација и то: у фацији глине, фацији лапораца и кречњака и фацији песковитих кречњака.

Сарматски кречњаци су обично беле боје, често изграђени од пужева *Lumakela cerita* (кречњак пужарац) и друге фауне. Најчешће се смењују са лапорцима, лапоровитим кречњацима, сивим глинцима и прослојцима пешчара.

У приобалном делу десне обале реке Саве, сарматске творевине представљене су претежно лапорцима и пешчарима са интеркалацијама кречњака, местимично и лапоровитом глином. Дебљина ових седимената није поуздано утврђена, али по М. Луковићу варира од 20-50 m. Бушењем једне истражне експлоатационе бушотине у Обреновцу на дубини од 161-183 m констатовани су карстификовани сарматски кречњаци, из којих је добијена термоминерална сумпоровита вода. Дебљина сарматских кречњака на овом месту је 22 m, а укупна дебљина сармата је око 60 m.

[13] По новој подели сармат је млађи средњи миоцен ($M_2^2$)

Појава сармата на овом делу испитиваног терена потврђује раније тврђење Стевановића (1939) да на овом подручју у кориту реке Саве постоје седименти сармата који ометају пловидбу.

На многим местима на проучаваном терену запажа се да су сарматски кречњаци једри, местимично шупљикави до каверозни, односно карстификовани. У овим стенским масама запажају се врло често вртаче, канали па и веће каверне и пећине, као на пример у Сремчици, подручје мерокарста по Цвијићу.

***Панон***

Горњо-миоценски, панонски седименти, заузимају такође велико пространство на пручаваном терену и његовој околини. Ове творевине имају велико пространство на самој територији града Београда, нарочито на Савској падини, лежећи преко сарматских седимената. Плићим, или дубљим бушењем бушотина на територији града констатовани су ови седименти на широком подручју Београда, где су прекривене млађим седиментима.

Панонски или доњоконгеријски седименти (назив су добили према роду шкољке *Congeria*) простиру се у виду једне широке зоне скоро на целој територији града Београда, пружајући се надаље према југу, ка Реснику. Исто тако, запажа се једна мања зона ових седимената на терену код Железника, са правцем пружања североисток-југозапад, као и једна шира зона ових седимената јужно и југоисточно од Остружничке реке, простирући се од Велике Моштанице према југу и преко Мислођина ка југозападу. На крајњем западном делу проучаваног подручја, западно од села Прова, на површини терена запажају се панонски седименти.

Доњоконгеријски слојеви су нарочито уочљиви на терену на десној обали Саве код Дубоког у близини Обреновца, где се примећује да су ови седименти јако распаднути.

Панонски седименти представљени су глинама, лапорцима, лапоровитим глинама. Местимично се у лапоровитим партијама запажају прослојци пескова, или глиновито песковити хоризонти.

Панонски седименти на проучаваном терену констатовани су бушењем на многим местима у основи квартарних седимената. На подручју села Прова, Дебрца и Купинова откривене су сиве песковите глине са остатцима *Congeria zsigmondi Cžec*.

и богатом заједницом остракода (остракодски лапорци панона) карактеристичним за панон.

По Стевановићу (1939) виши хоризонти доњо-конгерских слојева откривени су у Дубокој реци која се улива у Саву код Купинског кута, затим у поткопу Бресници у селу Звезду, у долини реке Вукодраже и Свилеуве. По истом аутору према Сави неогени слојеви су спуштени дуж расeдне линије, која иде од Камичка средином Саве према југоистоку, јер се сарматски кречњаци простиру испод воде до средине корита реке, а затим се одједанпут губе. Западно од Камичка у висини ниске воде Саве избијају глиновито лапоровити седименти панона, који су са осталим седиментима заједно потонули дуж раседа који иде северним делом села Дреновца. У Обреновцу панон је констатован на дубини од 146-161 m, док по Стевановићу цела серија панона, која је мање више хоризонтална, или благо нагнута према Ј-ЈЗ, дебела је око 260 m.

***Понт***

Треба истаћи да је према старој номенклатури понтски кат раније спадао у плиоцен, али је пребачен у горњи миоцен, где данас припада.

Понтски седименти представљени су са песковитим глинама и глинама, у којима се налази бројна фауна мекушаца. У ужој зони београдске посавине нису запажени случајеви трансгресивног положаја понта преко сармата, што указује да је Посавина за време панона била удаљена од морске обале. Процеси нагомилавања седимената нису се прекидали током горњег миоцена (Стевановић, 1951). Одсуство понтских седимената и врло танак слој панонских лапоровитих глина на десној обали Саве, на територији града Београда, последица су вероватно ерозије са издигнутих блокова Београдског рта.

Понтски седименти у широј зони београдског изворишта имају велико распрострањење на јужном ободу. Нарочито су уочене код Дубоког где се у виду једне зоне и даље простиру према југоистоку и југу и у сливу Колубаре. Запажају се од слива Колубаре, па све до села Прова. Истражним бушењем утврђено је да се појављују у виду терасних седимената, што вероватно указује на померање обалске линије током седиментације.

Поред песковитих глина, понтске наслаге су заступљене и са ситнозрним песковима, а који су најчешће стварани у плитководној фацији и то у ободним деловима Колубарског басена. Идући према североистоку, према реци Сави, ови песковити седименти се постепено губе, прелазећи у глиновито лапоровите седименте.

У Посаво-Тамнави, понтске наслаге појављују се у долини Вукодраже и шире околине реке Свилеуве. У обе ове области развијен је горњи понт, у оквиру кога се могу издвојити два нивоа и то: доњи, представљен са глинцима са *Congeria rhomboidea* и горњи, који је такође заступљен са глинама са *Congeria croatica, Congeria rhomboidea, Valeenciennecia* и др.

Цела серија на овом делу проучаваног терена генерално пада благо према западу и северозападу, под углом од око 5-10$^{o}$. Дебљина наслага јужно од реке Саве, односно источно од реке Колубаре је око 300 m,  што је за око 150 m више од дебљине понтских наслага западно од реке Колубаре. Ово је вероватно последица различитог рељефа морског дна, а у вези са тим и различитих услова седиментације.

Хидрогеолошким истражним бушењем, које је изведено од стране Београдског водовода 1975. године, северно од реке Саве утврђено је да на овом подручју горњоплиоценски седименти имају много веће распрострањење према северу, него што је то до тада било познатно. Приликом бушења откривене су глине чија је старост одређена на основу остатака ретких *Congeria croatica*, или бројне фауне остракода, у којима су нарочито честе врсте које су карактеристичне за горњи понт. На левој обали реке Саве, недалеко од топлане, набушена је подина терцијарних седимената на дубини од око 105 m, међутим дебљина понтских наслага северно од Саве у Војводини достиже и до 1000 m.

Панонске, као и понтске наслаге које чине углавном подину квартарним седиментима у доњем току реке Саве, у хидрогеолошком погледу су практично водонепропусне стенске масе. Збот тога је њихов положај и простирање на проучаваном терену од великог значаја.

**Плиоцен**

Према неким ауторима (Мандић, 2015) Палудинско језеро, као реликт Панонског језера егзистирало је на простору нешто северније од ушћа Саве у Дунав и самог тока Саве почетком плиоцена, да би се до краја плиоцена повукло и егзистирало само на подручју данашње Хрватске. Новијим истраживањима (Рундић, 2016) на локалитету у Сремским Карловцима (лежиште глине), откривени су седименти горњопалудинских слојева. Ово указује на егзистирање палудинског језера на простору Србије до краја плиоцена и почетка плеистоцена.

Пратокови Саве, Дунава и Тисе уливали су се у слатководно језеро, формирајући у његовом ободу наносе еродованог материјала (песка и шљунка). Слојеви настали седиментацијом у палудинском језеру називају се палудински слојеви и регистровани су на подручју Панонског басена, али не и на терену београдског изворишта. У току Саве кроз Србију регистровани су у подини леса или на рецентно издигнутим терасама по ободу Фрушке горе.

**Плио-плеистоцен**

У подини квартарних седимената у неким деловима београдског изворишта (Макишко поље, Ада Циганлија и Доње поље) у подини полицикличних алувијалних седимената налазе се слојеви такозваних шарених глина плио-плеистоцена. Ови слојеви констатовани су и приликом бушења дубоких бушотина на локацијама Rb-6/p-5d и Rb-36/p-4d које су описане у поглављу 9.2. Дебљина им опада идући од Новог Београда ка супротној обали (Макишком пољу) и потпуно исклињавају идући ка Чукаричкој падини.

По неким тумачењима ову формацију чине преталожене глине и лапорци панона и понта, еродоване са издигнутих делова јужног обода савског басена, које су се потом таложиле у спуштеним блоковима терена који се степеничасто спуштају ка централном делу Панонског басена (у правцу северозапада). Њихова дебљина се из тог разлога повећава идући од леве обале Саве ка Бежанијској коси. Као што је већ наведено, постоји могућност да су ови хоризонти бочне фације језерских палудинских слојева, у теренима где оне имају екстремно велику дебљину.

Обично су без фосила, осим ретких примерака копнених пужева, а литолошки су сачињени од плавичастих глина са оолитима гвожђа и мангана, у доњем делу серије са прослојцима песка и шљунка.

**Квартар**

Прве детаљније податке о квартару у околини Београда дао је у својим радовима Ласкарев (1938). Он је први извршио стратиграфску поделу ових седимената и то у две групе: старије плеистоценске слојеве са *Viviparus boeckhi* и средње плеистоценске слојеве са *Corbicula flumminalis* чију је старост одредио као минделску и риску глацијалну и миндел-риску интерглацијалну и млађу групу коју сачињавају претежно лес и лесоидне глине, еолски пескови и најзад најмлађи речни седименти холоцена. Према овом аутору горњоплеистоценски циклус полицикличних седимената је еродован.

Описујући квартарне седименте у Макишу, за које је имао највише података Ласкарев каже: „Главна особина профила на Макишу је та што се на доњем и на горњем крају профила налазе екстреми: доле најстарији квартарни седименти уопште у Београду са *Corbucula fluminalis* и *Vivipara diluviana*[14] из доба миндел, риске глацијалне и миндел-риске интерглацијалне епохе, горе – сасвим млади, готово рецентни седименти из доба холоцена са савременом фауном сличној фауни из реке Саве. Средњих пак слојева нема“. На основу овога аутор изводи закључак да је између ових екстрема, а који се испољавају тиме што се у доњим хоризонтима горњих млађих седимената, нађу понекад заобљени фосили - *Corbicula fluminalis*, као преталожени и да то указује на постојање једног млађег речног корита у једном другом старијем кориту.

У свом раду – Извештај о геолошком снимању листа Обреновац – Стевановић (1939. и 1951.) наводи да је квартар у овој области представљен копненим барским лесом и алувијалним седиментима Саве, Колубаре, Пештана и Беланице. На падинама Саве издваја наслаге леса као и на Дубоком у селу Баричу. Поред типичног падинског леса у овој области Стевановић сматра да је заступљен и барски лес, код села Прова, Новог села и Ушћа. По истом аутору, барски лес гради делувијалну терасу са одсецима на обали Саве према Купинском куту.

Стевановић у свом раду (1951) на геолошкој карти Посаво-Тамнаве у оквиру квартарних седимената издваја: речне седименте алувиона, акватични лес, терасне лесоидне глине и слојеве са *Corbicula fluminalis* (шљунак и песак).

[14] Данас се називају *Viviparus boechki*

Хидрогеолошким бушењем на испитиваном подручју утврђено је да квартарне наслаге углавном леже трансгресивно и дискордантно преко понтских и панонских лапоровитих глина или пак преко барско-терестричних формација плио-плеистоцена.

- Подину квартарним песковитим седиментима код Дубоког чине панонски лапроци и пешчари.
- Сарматски кречњаци чине подину квартарним седиментима на самом ушћу Саве на подручју Новог Београда непосредно у приобалном делу реке, на ободном делу Макиша код Белих вода и Жаркова и на крајњем западном делу проучаваног терена у приобаљу Саве, северно од села Прова (Камичка).
- На левој обали реке Саве утврђено је да у основи квартара леже баденске лапоровите песковите глине, између Обреновца и села Купинова.
- На подручју Чукарице и на Ади Циганлији квартарни шљунковито-песковити седименти директно леже преко кредних кречњака, а код села Остружнице, преко кредног флиша.

Запажа се да се подина квартарних седимената на испитиваном подручју налази на дубини од 5-25 m мада местимично достиже дубину и преко 35 m. Генерално узевши може се рећи да се дубина подине квартара повећава, идући од десне обале Саве према северу тј. према Војводини, док је најдубље залегање квартарних седимената иземђу села Скела – Ратара и реке Саве, затим у близини села Купинова на левој обали реке Саве. Исто тако, ово се запажа између села Јакова и Остружнице. Дубина подине квартарних седимената на поменутим локалитетима прелази 30 m.

**Плеистоцен**

Доњи пакет алувијалних седимената представљен је речним полицикличним седимената плеистоценске старости. Представљени су комплексом шљунковито-песковитих наслага таложених у широкој алувијалној равни (попут језера[15]) која се

[15] Због велике површине распрострањења речни полициклични седименти имају изглед језерских наслага и тако су и описиване у литератури од стране многих аутора (Цвијић, 1926; Ракић, 1977; Рајчевић, 1978).

простирала западно и северно од брежуљкастог дела терена идући од Обреновца (и западније према Шапцу), па преко ушћа Саве у Дунав даље ка северу. Дебљина им варира у интервалу од 20-30 m на ободним деловима, до преко 100 m у депресијама на ширем подручју војвођанског дела Панонске низије.

Постојећи подаци указују да овакав тип седимената има огроман ареал и да су, са друге стране, генетски везани за речну долину. Према положају у односу на масив Фрушке горе и брдско-планински систем јужно од Саве, плеистоценски речни басен припада тзв. типу интрапланинских сложених речних долина, чији се постанак везује за тектонске процесе у смислу вишеструког потањања.

У хронолошком смислу, речни полициклични седименти код нас су се обично сматрали еквивалентима средњег плеистоцена - миндела и миндел/риса (Ласкарев, 1951).

Од плеистоценских седимената изграђена је цела алувијална раван Макиша (доњи слојеви пакета алувујалних седимената) на десној обали реке Саве.

Узводно од Остружнице у приобаљу десне обале Саве између Остружнице и Умке, квартарни седименти изграђују једну мању раван познату под називом „Мали Макиш". Дебљина квартарних седимената на овом делу терена смањује се идући југоисточно од реке Саве према ободу, где ови седименти потпуо исклињавају.

Идући даље узводно од Умке, квартарни седименти заузимају знатно пространство и изграђују приобални терен десне обале реке Саве, доњег тока реке Колубаре и Тамнаве, простирући се на југ до миоценског одсека испод села: Грабовца, Дрена, Сувог села, Дебрца и Прова. Генерално узевши и на овом подручју дебљина квартарних седимената повећава се идући од плиоценског обода, на десној обали реке Саве, према кориту реке Саве и даље према северу.

Квартарни седименти на десној обали реке Саве и Колубаре на овом подручју чине једну целину изграђујући пространу алувијалну раван са котом терена од 72-78 m. Исто тако, од квартарних седимената: глина, песковитих глина, у чијој основи леже пескови и шљункови, изграђена је и тераса у доњем току реке Колубаре и део терена око Барича, који чине саставни део ове терасе.

Између села Купинова, Ашање, Петровчића и Прогара утврђено је да у бази квартара, на дубини од око 42 m, леже баденске песковите лапоровите глине. Код

Остружнице, квартарни седименти леже трансгресивно и дискордантно преко кредног флиша.

На испитиваном подручју леве обале реке Саве преко подинских глина наталожени су квартарни грубље порозни шљунковито песковити седименти. Бушењем је утврђено да се испод наслага копненог леса, на лесном Бежанијском одсеку налазе шљунковито песковити седименти старијег квартара дебљина од 2-5 m, док је дебљина леса на овом подручју око 40 m.

Алувијална раван Саве, између села Бољевца и Остружнице, изграђена је такође од квартарних шљунковито песковитих наслага које леже углавном преко панонских, а делимично преко понтских песковито лапоровитих глина. У основи се налазе грубље порозни шљунковито песковити седименти старијег квартара. Дебљина квартарних седимената на овом подручју варира од 9-37 m, где се такође запажа да се дебљина квартарних седимената повећава идући од реке Саве према северу. Ово указује да је овде било некадашње старо корито реке Саве. И на овом подручју у серији шљунковито песковитих седимената грубље порозности запажају се сочива и прослојци алеврита и песковите глине, што је скоро увек последица хидродинамичких услова који су владали на овом терену приликом стварања ових седимената. У повлатним седиментима запажају се често мртваје или мочваре. Идући ка северу, повлатни седименти су представљени лесоидним глинама, које на овом терену имају велико пространство. Од ових седимената изграђена је тераса код села Јакова.

Између села Бољевца и Прогара дебљина квартарних седимената варира до 10-30 m показујући такође тенденцију повећања дебљине, идући од корита Саве ка северу.

Од села Купинова па узводно до села Прова, литолошки састав и структура квартарних седимената је на овом терену скоро иста као и на предходним. Међутим, дебљина шљунковито-песковитих седимената смањује се идући од Купинова узводно, али само у приобалном подручју, док се северно од Саве запажа повећање дебљине шљунковито песковитих наслага.

**Холоцен**

Холоценски речни седименти представљају најмлађи део пакета алувијалних седимената. Стварани су у холоцену а обухватају и део преталожених седимената плеистоценске старости. Представљени су песковима и глиновитим песковима у доњем делу (седиментима корита), док су у горњем делу представљени глиновито-прашинастим седиментима (фација поводња).

Они се налазе у повлати плеистоценских алувијалних седимената на читавом истражном подручју. У зони савског амфитеатра леже директно преко панонских лапораца или преко сарматских кречњака идући ка залеђу. У зони меандра изворишта Виђ баре код Обреновца, такође леже директно преко подинских глина. Зоне тока где су холоценски седименти наталожени директно преко подинских глина указује на меандрирање тока Саве у тим деловима терена.

На крајњем западном делу проучаваног терена, на левој обали Саве на површини терена, западно од Обедске баре која представља остатак старог корита реке Саве, запажа се велико пространство седимената мртваја и мочвара. Река Сава и данас има тенденцију промене свог корита, нарочито према равничарској – сремској страни, вршећи бочну ерозију којој погодују приобални терени изграђени од лесоидних глина, као на пример у Купиновском куту и код села Прова.

### 9.3. Геотектонски услови

Тектоника доњег тока реке Саве и београдског изворишта је веома сложена. У овој дисертацији дат је приказ тектонских односа у обиму који је неопходан ради разумевања хидрогеолошке проблематике и услова седиментације квартарних седимената на овом подручју.

Прве податке о тектонској грађи територије Београда и шире околине дао је Ј. Жујовић (1900), а затим В. Петковић (1912), који је у свом раду „Тектонска скица београдске околине“ изнео основну тектонску грађу ове области. Такође су се овим проблемом бавили и Стевановић (1951), Б. Степановић (1958), Б. Димитријевић (1951), М. Анђелковић (1961), Ј. Живковић (1976), Тољић и др. (2014) и други. Најновија истраживања тектонског склопа, као и издизање и спуштање формација јужног обода Панонског басена подразумевају примену метода као што је (U-

Th)/He термохронолошка метода која је примењена при истраживању хорста Фрушке горе. При овим најновијим истраживањима за интерпретацију квартарне тектонске активности јужног обода Панонског басена коришћени су геолошки, геоморфолошки, термохронолошки и геофизички подаци, а позиције значајнијих раседних структура утврђене су даљинском детекцијом, интерпретацијом расположивих геофизичких профила и на основу теренских података.

**Мезозојска тектоника**

Мезозојски седименти (јурске и кредне старости) на проучаваном терену налазе се југоисточно од реке Саве, чинећи панонски одсек, који изграђују долину Топчидерске реке и Остружнички флиш, који изграђује југозападни обод Макиша. Мезозојски кречњаци су јако убрани и израседани. Седименти флиша такође указују на знатне тектонске поремећаје, који се на овом терену огледају у већем броју раседа.

Најмаркантнији расед на овом терену је расед дуж Топчидерске реке, који има меридијални правац пружања. Овај расед се запажа од Ресника до Раковице, а затим од Раковице па до ушћа Топчидерске реке. Дуж овога раседа знатно је потонуо део терена десне обале Топчидерске реке. Поред овог главног раседа у долини Топчидерске реке постоји неколико других, мањих раседа. Главни расед дуж Топчидерске реке је испресецан, деформисан и издељен у посебне одељке попречним раседима, који су касније настали.

Поред ових раседа на овом терену постоје и многи други мањи раседи, претежно правца пружања Ј.ЈЗ – С.СИ, а има их и са правцем пружања управним на поменуте раседе. Ови мањи раседи налазе се на ободу Макиша, у долини Топчидерске реке, као и у дубљим деловима Панонског басена.

Мезозојске стенске масе су обично прекривене са млађим квартарним седиментима, па се раседи у дубљим зонама не могу уочити на терену, изузев при изради подземних објеката или бушењем.

Мезозојски седименти су врло често убрани у боре различитих облика, па се запажају синклинале и актиклинале већих, или мањих димензија. Петковић је (1912) открио познату жарковачку синклиналу, а приликом израде водоводног тунела од Макиша до Топчидера, такође је констатована синклинала. На јужним падинама Кошутњака констатована је једна антиклинала у чијем језгру су ургонски кречњаци, а на крилима албски гвожђевити пешчари. Међутим, касније је доказано да је она једним раседом поремећена. Поред набројаних, познате су још Барајевска антиклинала и антиклинала Сремчице.

**Неогена и пост-неогена тектоника**

Како мезозојска тако и неогена и пост-неогена тектоника битно су утицали на хидрогеолошке прилике проучаваног терена.

Познато је да је крајем горњокредне периоде овај део терена био копно све до миоцена, када се формирало море – Паратетис. У овој фази долази поново до седиментације и стварања миоценских наслага.

Неогени седименти углавном леже трансгресивно и дискордантно преко кредних стенских маса, што указује на осцилације мора и померање обалских линија. Исто тако, на неким местима запажа се да су неогени седименти благо убрани и израседани, као што се то на пример може запазити у сарматским кречњацима на подручју Раковице, Сремчице, Пећана и на западу све до села Прова.

У неогеним седиментима (сарматским кречњацима) поред вертикалног запажају се и хоризонтална померања блокова дуж вертикалних раседа, што указује на пост-неогену тектонику. Неогена и пост-неогена тектоника проучаваног терена карактерише се углавном раседним типом поремећаја.

На ободу Макиша од Остружнице и Железника па преко Жаркова, све до ушћа Саве, постоји један расед којим су пресечене млађе неогене наслаге, тако да је дошло до спуштања северног крила, односно до тоњења неогених седимената.

На десној обали Саве посматрано узводно, панонско-понтиска серија са источне, односно североисточне стране одвојена је од сарматских седимената раседном линијом, која иде између Остружнице и Пећана ка југоистоку, позната као пећански расед (по В. Ласкареву). Дуж ове раседне линије панонска серија седимената западног крила повила се и дубоко потонула у средњем плиоцену (по В. Стевановићу). Такође, од Остружнице преко Умке, дуж десне обале реке Саве према Баричу, запажа се један расед који се јужно од Обреновца сече са колубарским раседом. Дуж овог раседа дошло је до тоњења северног крила, односно миоценских седимената.

Дуж реке Колубаре постоји расед који прати њену десну обалу, познат као колубарски расед. Овај расед има правац пружања С.СИ – Ј.ЈЗ. Поред ових раседа према геолошкој карти В. Миловановића и Б. Ћирића, постоје и други раседи на проучаваном подручју, као на пример: тамнавски (црњански) расед, који се сече под тупим углом са колубарским раседом нешто јужније од Обреновца. Затим расед који иде од села Прова преко Сувог села, Дрена и Грабовца правца пружања З.ЈЗ – И.СИ од Обреновца. Значајна је раселина која иде од Велике Моштанице преко Обреновца, затим села Ратара, Скеле и Купинова до изнад села Прова (Камичка), а која има правац пружања СЗ – ЈИ. Дуж овог раседа дошло је до спуштања панонско-понтиске серије седимената, односно тоњења северног крила. У вези са овим раседом је и појава термоминералних и термалних вода у Обреновцу и селу Купиново.

Према Живковићу (1984) постоји још један значајан расед који иде од Остружнице па преко села Прогара, Купнова до села Прова на левој обали реке Саве. Овај расед има правац пружања исток – запад, дуж овога раседа дошло је до тоњења миоценских седимената северног крила и до издизања миоценских седимената у једном блоку који се налази између два попречна паралелна раседа, који имају правац пружања југ – север, тј. између Колубарског раседа и раседа који иде од ушћа Вукићевице, западно од села Дрена, па на север преко села Обрежа и то на његовом делу северно од села Купинова према Ашањи. Ово претпостављамо из тог разлога, што су на овом делу терена хидрогеолошким бушењем на дубини од око 40 м у основи квартара набушени седименти бадена.

### 9.4. Хидрогеолошке карактеристике

На основу структурног типа порозности, могу се издвојити следећи типови издани:

- збијени тип издани
- пукотински тип издани (на јужним ободним деловима Макиша, Чукарице, Бановог брда, десна обала Саве до Калемегдана)
- карстни тип издани (Калемегдан, ободни делови Макиша)

У посебну категорију издвојени су условно „безводни“ делови терена.

Београдско извориште, са 99 бунара са хоризонталним дреновима, каптира збијени тип издани, интергрануларне порозности. Ова издан формирана је у полицикличним алувијалним седиментима квартарне старости.

Алувијалне наслаге обухватају највећи део творевина у проучаваном делу терена. Оне су у хидрогеолошком смислу и најзначајнији стратиграфски члан у приобаљу Саве, с обзиром да су за њих везане главне издани подземних вода. Сматра се да су оне стваране у периоду од млађег доњег плеистоцена до данас (Ненадић, 2003). У оквиру њих, по старости могу се издвојити две литостратиграфске јединице:

- алувијалне полициклични наслаге старијег плеистоцена и
- савремене речне наслаге тока реке Саве.

***Полициклични алувијалне наслаге плеистоцена***

Старији пакет квартарних алувијалних седимената обухвата наслаге старијег циклуса речних седимената, познатих из литературе под називом "макишки слојеви" или "слојеви са *Corbicula fluminalis*" (Ласкарев, 1938; Стевановић, 1977). Наведени аутори су сматрали да су у питању седименти стварани у језерској, или речно-језерској средини. У приобаљу Саве оне чине подину савременим алувијалним седиментима, док нешто северније, на подручју Бежанијске косе и горњег Земуна, преко њих су наталожени седименти млађих одељака плеистоцена, укључујући наслаге леса. Исти аутори сматрају да су на левој обали Саве, плеистоценске алувијалне наслаге делом ердоване, тако да између њих и савремених речних наноса постоји ерозиона дискорданција. То су кластични седименти, представљени разним варијететима песковитих шљункова, шљунковитих пескова, пескова са сочивима и прослојцима алеврита и песковитих глина.

| | Laskarev 1926 | Laskarev 1938 | Laskarev, 1938, 1951 | | | | | | | | Laskarev 1952 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | vicinity of Belgrade | vicinity of Belgrade | After Penck & Brückner (1909-1911) | | Makiš (Sajmište, Pančevački rit) | Zemun | Belgrade Plateau | Ovča | Complete Subdivision | After Milanković absolute chronology | Zrenjanin |
| Holocene | Holocene | Holocene | | | Sands, clayey sand, loessoid loam<br>Sands with: *Unio pictorum, Amphimelania holandri* etc.<br>Gravels with the same fauna | I Loess<br>(first paleosol of Belgrade)<br>II Loess | I Loess<br>Cultural stratum of Neolithic-Bronze age<br>I Paleosol<br>II Loess<br>*Elephas, Equus, Bos.* sp. | | | | Holocene |
| Ice Age-Pleistocene | | | Upper | Würm | (eroded) | II Paleosol<br>III Loess<br>III Paleosol<br>IV Loess<br>IV Paleosol | II Paleosol<br>III Loess<br>III Paleosol<br>Belgrade Plateau gola brda | | $W_3$<br>$W_2$-$W_3$<br>$W_2$<br>$W_1$-$W_2$<br>$W_1$ | 22.100 (years BP)<br>71.900<br>115.000 | |
| Ice Age-Pleistocene | | | Upper | Riss - Würm | (eroded) | V Loess<br>Lake-palustrine and aeolian sands, clays, freshwater loess | | | PW-$W_1$<br>PW<br>$R_2$-PW | 145.000 | Szentes deposits |
| Ice Age-Pleistocene | | | Middle | Riss | | Dark sandy clays, yellow sands and gravels, grey sandstones and sands | | | $R_2$<br>$R_1$-$R_2$<br>$R_1$ | 187.000<br>230.000 | Szentes deposits |
| Ice Age-Pleistocene | | older Pleistocene | Middle | Mindel-Riss | Yellow and grey sands, gravels, conglomerate with *Corbicula fluminalis, Vivipara diluviana* etc (Makiš) | Gray sands with sandstones, gravels and grey sands | | Gray sands, gravels with *Corbicula fluminalis* | PR-$R_1$<br>PR<br>$M_2$-PR | | *Corbicula fluminalis* beds |
| Ice Age-Pleistocene | older Pleistocene | older Pleistocene | Lower | Mindel | Ferruginous sands and gravels with *Vivipara diluviana* (Makiš) | | | | $M_2$<br>$M_1$-$M_2$<br>$M_1$ | 435.000<br>475.000 | *Viviparus boeckhi* beds |
| Ice Age-Pleistocene | | | Lower | Günz-Mindel | | | | | $G_2$-$M_1$ | | *Viviparus boeckhi* beds |
| Ice Age-Pleistocene | | | Lower | Günz | | | | | $G_2$<br>$G_1$-$G_2$ | 550.000 | *Viviparus boeckhi* beds |

**Табела 27**. Хроностратиграфска корелација полицикличних алувијалних седимената на београдском изворишту (Gaudenyi et al., 2014)

Данас је опште прихваћено гледиште (Ракић, 1977; Ненадић, 2003) да су полициклични речни седименти таложени у пространој алувијалној равни, широкој попут језера, али са динамиком речне средине. Пошто су генетски везани за тектонске процесе у смислу вишеструког потањања дна акомулационе равни, карактеришу се цикличним понављањем типичних седимената корита (шљункови, песковити шљунак, шљунковити песак, песак), са седиментима поводња (алеврити и песковите глине). Поред активне тектонике, климатске осцилације током плеистоцена чиниле су један од кључних фактора цикличности при седиментацији ових слојева на београдском изворишту.

Плеистоценски полициклични седименати – "*слојеви са Corbicula fluminalis*", утврђени су у профилима свих бушотина, где се доња граница по правилу налази између 28-30 m дубине (апсолутна висина варира 43-45 m н.м.), а горња граница више варира од 12-16 m дубине (апсолутна висина варира од 57-61 m н.м.). У литолошком саставу преовлађују кластични седименти песковити шљункови који се смењују са разним варијантама шљунковитих пескова (крупнозрни, ситнозрни) који су настали у фази развића седимената корита. Они се повремено смењују са алевритима и глинама из фаза развића седимената поводња. За њих је карактеристично смењивање фација седимената корита и повремено поводња у вертикалном и бочном смислу. Генерално више грубокластичног материјала има у старијим хоризонтима него млађим.

На простору Београдског изворишта се често у млађим хоризонтима јавља прослојак алеврита или глина (седименти поводња) који има веће распрострањење. За њега је уведен локални назив "Јевремовића слој" и његово присуство доста утиче на хидродинамичке карактеристике Београдског изворишта. Углавном нема велику дебљину (између 20 до 50 cm), а налази се на надморској висини око 55 m н.м. висине на Макишу и нешто ниже на левој обали Саве. Иако је веома распрострањен, овај хоризонт није увек заступљен на целом терену у долини Саве код Београда. На местима где није присутан вероватно је накнадном ерозијом разорен приликом усецања корита реке Саве или бочно прелази у друге фацијалне типове алувијалних седимената. У сваком случају претпоставља се да је за време таложења "јевремовића слоја" клима локално била знатно сувља, са мањим дотоком воде у условима тектонског мировања.

Понављање цикличности разних варијанти седимената корита и седимената поводња свакако су настале као резултат климатских колебања у току плеистоцена. У палеонтолошком смислу плеистоценски речни седименти су обележени присуством врста којих данас више нема у савременим алувијалним седиментима. Међу мекушцима то су пре свега врсте *Corbicula fluminalis*, *Viviparus boeckhi*, *Unio crassum* и др. Запажено је да је у најстаријим слојевима плеистоцених полицикличних речних седимената више присутна врста *Viviparus boeckhi*, а у млађим доминира *Corbicula fluminalis*.

За полицикличне плеистоценске речне седименте у околини београдског изворишта, карактеристична је и местимична појава танких плочастих сочива, тзв. "летни" карбонатних тврдих пешчара. Оне су неравномерно распоређене, тј. не чине правилан хоризонт. Постоје различита мишљења о њиховом настанку: према једном мишљењу то су постседиментационе творевине лучене из раствора калцијум карбоната у подземним водама; према другом мишљењу (М. Ракић, усмено саопштење) ради се о истовременим седиментационим творевинама, које су таложене у условима специфичне климе на површини седиментационе равни.

Макроскопском анализом грубљег кластичног материјала утврђено је да доминирају зрна кварца чије присуство иде и до 70%, затим разнобојног рожнаца (црног и црвеног) 5-6%, валутака миоценских лапораца и кречњака, мезозојских (најчешће кредних пешчара и глинаца, ређе серпентинита и валутака магматских стена, дијабаза, дацито андезита, гранита итд.).

***Савремени алувијални седименти***

Савремени алувијални седименти реке Саве чине млађу формацију алувијалних наслага, ствaрану у холоцену, а могуће делом и у млађем плеистоцену. Између њих и старијих полицикличних плеистоценских творевина постоји ерозиона дискорданција. С обзиром да је у првој фази стварања корита реке Саве обављена интензивна ерозија подине, то је утицало на промењиву дебљину еродованих старијих, али и млађих речних наноса.

У профилу савремених речних наслага, могу се разликовати генерално две литостратиграфске целине:

- старији пакет, претежно песковитих седимената фације корита и
- млађи пакет, изграђен од смеђих алевритичних пескова, смеђих и сивосмеђих алеврита и песковитих глина (седименти речног спруда и поводња)

Старији пакет седимената корита је изграђен од шљунковитих пескова у старијем делу профила, који навише прелазе у сивосмеђе пескове и прашинасте жућкасто-смеђе пескове. У њему се налазе (поготову у старијим хоризонтима) честа сочива шљункова, или заглињених сивих пескова, алевритских муљева и угљенисаних остатака биљака као и љуштуре мекушаца у којима доминирају врсте *Dreissena polymorpha*, *Theodoxus danubilis*, *T. transversalis*, *Microcolpia daudebartii acicularis*, *Esperia essperi*, *Holandriana holandri*, *Litoglyphus naticoides*, углавном све врсте које су присутне и у плеистоцену.

У биостратиграфско - палеонтолошком смислу, у фосилној заједници саврeмних речних наноса Саве јављају се облици слични оним у старијим плеистоценским полицикличним алувијалним седиментима. У њима нема изумрлих карактеристичних доњоплеистоценских врста као што су *Corbicula fluminalis* и *Viviparus boeckhi*, чијим су присуством обележене старе плеистоценске речне наслаге.

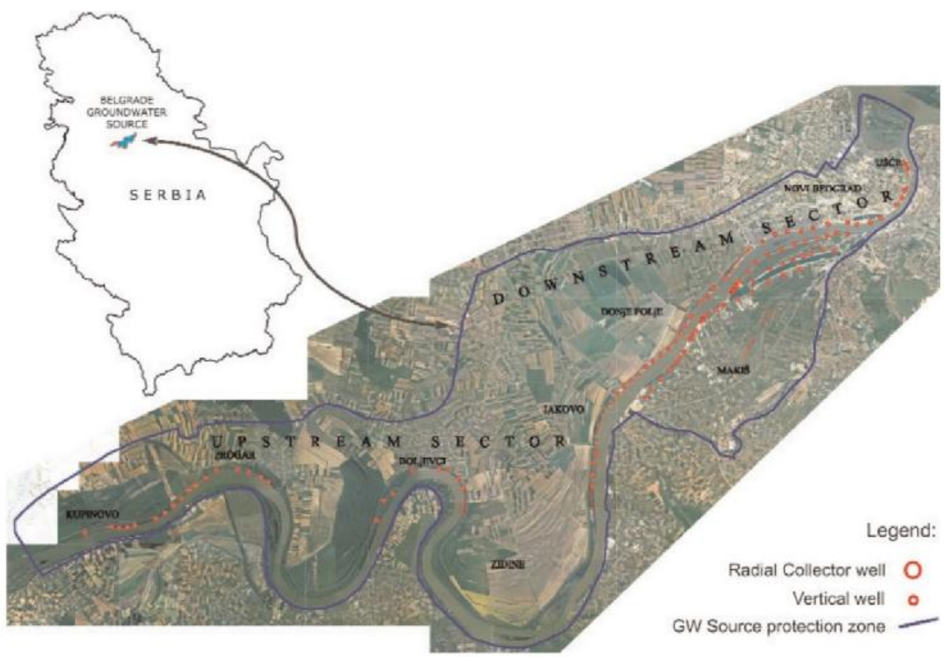
Међутим, овде је могућа биостратиграфско - палеонтолошка идентификација холоценских алувијалних седимената, на основу методе заступљености врста. Тако је овде утврђено да се у савременим речним наслагама много масовније него у старијем плеистоцену, јавља врста шкољке *Dreissena polimorpha*. Она је нарочито честа у седиментима корита, представљених сивосмеђим песковима, који се обично јављају између 7 и 16 m дубине.

Фацијалне карактеристике савремених алувијалних наслага у приобаљу Саве сведоче о честим климатским колебањима, миграцијама корита реке и другим палеогеографским променама, које су пратиле формирање речне долине на истражном подручју.

Млађи, површински пакет савремених речних седимената, представљен је слабоводопропусним седиментима поводња, изграђених од сивосмеђих алеврита, алевритских заглињених пескова и песковитих глина. Његова дебљина варира, у проучаваном делу терена, између 3 и 5 m.

## 10. БУНАРИ БЕОГРАДСКОГ ИЗВОРИШТА

На београдском изворишту подземних вода постоји 99 бунара са хоризонталним дреновима и 47 вертикалних цевастих бунара (слика 98). Бунари су изграђени дуж 55 km тока реке Саве, узводно од њеног ушћа у Дунав (Димкић, 2014). Експлоатација подземних вода је заснована на принципу обалске филтрације. Будући да обезбеђују више од 90% укупне производње вода за водоснабдевање, бунари са хоризонталним дреновима чине основу система експлоатације подземних вода на београдском изворишту. Опадање капацитета или такозвано старење бунара је процес који прати експлоатацију подземних вода на Београдском изворишту од самог почетка експлоатације бунара са хоризонталним дреновима, још почетком раних 50-тих година (Димкић, 2011а; Димкић, 2011б; Поломчић, 2000).




**Слика 98.** Географски положај београдског изворишта, са изворишним зонама (Поломчић, 2016)

Током рада бунара, постепено се одвијало смањење броја активних дренова и слабљење њиховог водопријемног потенцијала, што је имало за последицу смањење експлоатације подземних вода. Овом појавом се, са различитих аспеката до данас, бавио већи број институција и истраживача. Старење бунара на београдском изворишту је предиспонирано природним и антропогеним факторима.

Према ранијим наводима аутора (Димкић, 2011а; Димкић, 2011б; Поломчић, 2000, Поломчић, 2016; Божовић, 2016), најзначајнији антропогени фактори подразумевају да дренови често  нису утиснути у слој најповољнијих филтрационих карактеристика, да је неадекватан материјал израде дренова, услед чега долази до негативне интеракције са хемијским и микробиолошким саставом подземних вода, да су технологија формирања дренова и техничке карактеристике филтерских цеви неприлагођене механичком саставу водоносне средине у којој су утиснути, да је неадекватан режим експлоатације бунара током њиховог вишедеценијског рада и др. Из овога видимо да је предуслов за избегавање негативних антропогених фактора, разумевање природних фактора и карактеристика средине, као и генезе водоносне средине, а затим и процеса који се одвијају на контакту дренова и геолошке средине у интеракцији са подземним водама, као у природно непоремећеним условима, тако и у условима њихове експлоатације.

Прву фазу експлоатације београдског изворишта подземних вода карактерисали су високи протицаји бунара и значајна обарања нивоа подземних вода. Другу фазу карактерише обарање капацитета изворишта због колмирања речног дна. Трећу фазу, у којој се извориште налази и данас, карактерише губитак капацитета бунара и изворишта у целини због старења бунара. Укупан природни, а и некадашњи експлоатациони капацитет износи око 5 $m^3/s$. У последњих десет година експлоатација подземних вода на бунарима је смањена на око 3 $m^3/s$, што говори да се на нивоу једне године, као директна последица старења бунара, смањи у просеку за око 100 l/s. Просечан капацитет бунара је тренутно око 35 l/s, док 15% бунара има капацитет мањи од 10 l/s (Димкић, 2019). Висок водостај реке Саве, која представља главни извор прихрањивања издани, више нема очекивани утицај услед колмирања дна корита реке. Из овог разлога врло је битно узети у обзир целокупну хидрогеолошку и хидродинамичку слику терена која укључује дотицај и прихрањивање издани из залеђа.

Заустављање даљег опадања капацитета бунара је могуће постићи једино њиховом ревитализацијом утискивањем нових дренова. У ту сврху, испитивања су вршена у периоду од 2005. до 2009. године и састојала су се од великог броја активности: мерења издашности бунара, анализе квалитета воде из бунара са аспекта индикатора старења, израда блиских пијезометара и систематско праћење пијезометарских нивоа, пробних црпења на великом броју бунара, пробних црпења на пет бунара са новим хоризонталним дреновима, постављеним системом Пројсаг у периоду 2006. до 2008. године, математичког моделирања рађених ради утврђивања реалног капацитета појединих сектора изворишта, као и изворишта у целини и израде. локалних модела појединих бунара. Сврха ових модела је била да помогну у што бољем дефинисању капацитета локације, утврђивању хидрауличких губитака, као и при пројектовању нових елемената бунара.

Блиски пијезометри су израђивани са циљем добијања информације о пијезометарском нивоу у датој тачки у ужој зони дренова бунара. Зато су пијезометри израђивани непосредно поред једног од дренова бунара, са веома кратким филтарским делом (0,5m). Уколико је у зони бунара констатовано постојање глиновитог прослојка, онда су постављана два (у неким случајевима и три) пијезометра, по један у сваком од слојева, изнад и испод поменутог прослојка. Тестирања бунара са новим дреновима су извођена на сваких неколико месеци, док су на осталим бунарима ова тестирања извођена по правилу једном годишње. Тзв. петодневна тестирања су реализована са више, обично два степена укључења бунара, са паузом између њих. Са претходним мерењем, пре почетка теста и по његовом завршетку, до укључења бунара у редовну експлоатацију, овакав тест је обично трајао пет до седам дана. Тзв. тродневни тест се састојао од претходног, једнодневног мерења услова рада бунара, затим једнодневног искључења бунара и затим поновног укључења у редовни рад, који је праћен један дан. Време трајања искључења је дириговано временом потребним да се постигне локални статички ниво у бунару.

На терену, у бунарима и пијезометрима су мерени параметри квалитета воде: температура, садржај раствореног кисеоника, електрична проводљивост, pH и редокс параметар, мултипараметарском сондом. У мониторингу подземних вода београдског изворишта, микробиолошка активност је праћена и анализирана методом BART биодетектора (Biological Activity Reaction Tests). Овом методом, на свим испитиваним бунарима је одређивана биолошка активност гвожђевитих (IRB), сулфат редукујућих (SRB), бактерија које продукују слуз (SLYME), хетеротрофних анаеробних бактерија (HAB) и денитрификационих бактерија (DN).

У бунарима на којима је извршено утискивање нових дренова у периоду 2006. до 2008. године, праћена је промена специфичних хидрауличких отпора кроз време. Ови резултати се доводе у везу са индикаторима (Fe, Eh, MB). Овде MB представља микробиолошки агенс. Методом BART тестова анализирани су бројеви потенцијално активних бактерија и приказана веза са променом специфичних хидрауличких отпора на новообнoвљеним бунарима, код којих су дренови урађени од прохрома. Тиме је елиминисан процес корозије и добијени резултати су везани само за ефекте колмирања дренова.

Примењени су критеријуми за пројектовање нових и замену старих дренова, који одређују зависност улазне брзине у дрен у зависности од индикатора колмирања бунара:

Vul = Vul (Fe, Eh, MB, d50, ...)

Све анализе и мерења (протицај бунара, анализе Fe и Eh), реализоване су у периоду од 5 година (2005 - 2009). Садржај укупног гвожђа (Fe tot), редокс потенцијала (Eh) и пречника зрна аквифера ($d_{50}$) су коришћени као главни индикатори квалитета бунара и њиховог старења. Дијаграми који показују везу Fe tot и Eh са протицајем бунара показују расипање података, што је резултат разлика између различитих делова изворишта и бунара (локални хидрогеолошки услови, број, дужина и положај дренова, режим рада, итд.). Ипак, утврђено је да се зависности између анализираних параметара јављају у сваком појединачном бунару.

### 10.1. Процеси инкрустације гвожђем у алувијалним изданима

Експлоатација подземних вода из алувијалних седимената поред већих река, праћена је бројним проблемима, везаним за постепено смањивање издашности појединачних бунара и изворишта у целини. Феномен опадања издашности бунара у пракси се назива “*старење бунара*” и то је неумитан процес, који, када започне, не може потпуно да се спречи, али може да се успори, и на неки начин предупреди. Везан је пре свега за ***инкрустацију Fe*** и ***корозију.***

У алувијалним аквиферима доњег тока великих река, у оквиру најситнијих фракција зрна седимената су често депоновани минерали са садржајем гвожђа. У бунарима на овим локацијама се јавља масовни развој гвожђевитих бактерија. Формирани талог је главни узрочник старења бунара и смањења издашности бунара. Овакво старење бунара се догађа у условима релативно смањеног редокс потенцијала и довољно раствореног гвожђа у подземним водама. Поред природних услова, за старење су од значаја начин и материјал израде бунара, почетни капацитет, услови експлоатације, одржавање, итд. Гранулометријски састав има посебно битну улогу, како због брзине филтрације подземних вода, тако и због учешћа ситних честица које су носиоци гвожђа у издани и прифилтерској зони.

Да би дошло до интензивог формирања талога, потребно је да у прифилтарској зони бунара редокс потенцијал буде нешто виши. Услед разлике у редокс потенцијалима у бунару и прифилтарској зони долази до реакције, типа:

$$Fe^{2+} - e^{-} => Fe^{3+}$$

Реакција се одвија уз каталитичко учешће бактерија, које користе енергију реакције, и/или њене продукте за своје потребе. Према Jurgens et al., 2010, процеси оксидоредукције се одвијају према следећој шеми:

$$O_2 \rightarrow NO_3^- \rightarrow Mn^{4+} \rightarrow Fe^{3+} \rightarrow SO_4^{2-} \rightarrow CO_2$$

Основна проблематика, која ће овде бити размотрена, третира управо оне процесе у природним и вештачки нарушеним условима, који се дешавају у интергрануларно порозним срединама, и утичу на функционалност неког изворишта подземних вода, а у крајњем на »старење« како бунара тако и самог изворишта. Посебно се велика пажња усмерава на проучавање и тумачење узрочно-последичних веза тих процеса. Експлоатацијом подземне воде долази до нарушавања постојеће равнотеже као последица хидродинамичких поремећаја у водоносном слоју, контакта подземне воде са кисеоником из ваздуха, биохемијских процеса, губитка гасова растворених у води и таложења у прифилтарској зони бунара. Ове промене доводе до смањења количина захваћене воде, пада продуктивности бунара за водоснабдевање, повећања депресија, потрошње струје и укупних експлоатационих трошкова. Аноксични услови у издани, минералошки и гранулометријски састав који погодују развоју бактерија, праћени су бактеријском активношћу које доводи до физичкохемијског обрастања филтера.

Управо велики допринос разумевању функционисања бактерија, које се налазе у изданима, дат је из области регенерације бунара услед последица насталих зачепљивањем филтра бунара (биозарастањем) и биолошки изазваном корозијом. Када је биозарастање бунара у питању, најпознатије су гвожђевите бактерије и то

*Galluonella*, *Crenothrux*, *Leptothrux* и *Sphaerotulus*. Истраживањима је потврђено да се ове бактерије налазе у изданима, као природном станишту на свим континентима.

Колмирање бунара, које доводи до његовог старења, се јавља када се за то стекну физички, хемијски и биохемијски услови.

- ***Физички услови*** се односе на филтрациону стабилност тла, улазне брзине у бунар, карактеристике отвора на филтру, карактер засипа и сл.
- ***Хемијски услови*** се односе на хемијску стабилност воде, као и на евентуалну електрохемијску реакцију вода – средина. Неки од типова инкрустација бунара су претежно хемијски (на пример, исталожавање $CaCO_3$).
- ***Биохемијска*** *инкрустациј*a бунара је појава која се јавља уз неопходно дејство микробиолошког агенса. За ово је најубедљивији пример инкрустација која се догађа услед исталожавања $Fe_2(OH)_3$ на бунарском филтру, а предоминантно услед дејства гвожђевитих бактерија.

**Синергија процеса** се јавља када је више типова колмирања бунара истовремено заступљено. Величина отвора на филтру, поре у засипу и прифилтерској зони, свакако да утичу на процес колмирања:

Већи отвори => мање улазне брзине => спорије колмирање

Један тип колмирања, смањујући величину пора средине, или отворе на филтру, утиче на убрзавање процеса колмирања другог типа. Брзина дотока воде и њеног уласка у бунар више обезбеђује агенсе колмирања бунара (Димкић, 2012).

Колмирање може бити механичко, хемијско, биохемијско и биолошко, а индикатори колмирања су мерљиви параметри који помажу при пројектовању нових бунара и при утврђивању узрока старења бунара и начина његове регенерације.

На основу **индикатора механичког састава тла** одређује се стабилност тла на суфозију (димензионисањем дозвољене улазне брзине, гранулометријског састава засипа и отвора на филтру) и ламинарност тока на улазу у бунар (дозвољене улазне брзине).

За филтрациону стабилност, суфозију и одржање ламинарног режима формулисани су критеријуми на основу релевантних параметара ($d_{10}$, $d_{20}$, $d_{40}$, $d_{50}$, $d_{60}$, $D_{50}$, $K_f$). Са циљем да се испројектује бунар, такав да буду обезбеђени следећу услови:

- филтрациона стабилност, уз истовремено обезбеђење што већих отвора на филтру и у засипу,
- максималне дозвољене улазне брзине и капацитет бунара, уз одржавање ламинарног режима на улазу воде у бунар.

**Индикатори физичко хемијског састава воде** треба да омогуће прогнозу типа старења бунара (корозија, инкрустација). У случају већ регистроване инкрустације (постојећи бунар, извориште), познавање ових параметара може помоћи у разматрању концепције регенерације појединих бунара, односно даљег развоја изворишта у целини.

За прогнозу старења бунара услед хемијског и микробиолошког састава подземних вода, важније је познавање (тј. прогноза) квалитета воде у експлоатацији, од података добијених за потребе пројектовања бунара. Услове за појаву корозије на филтрима бунара дају Џонсон и Гаврилко (табела 28).

**Табела. 28** Фактори који доводе до убрзане корозије према Џонсону и Гаврилку (Димкић, 2008а; 2008б – према Johnson, 1972 и Gavrilko, 1985)

| No. | Factor |
|---|---|
| 1 | pH $< 7$ |
| 2 | $O_2$ (dissolved) $> 2$ mg/l |
| 3 | $H_2S$ (dissolved) $> 1$ mg/l |
| 4 | $CO_2$ ($H_2CO_3$) $> 50$ mg/l |
| 5 | Presence of organic acids |
| 6 | Low water hardness |
| 7 | TDS $> 1000$ mg/l |

Услове за појаву инкрустације на бунарима, дају Morozov и Merščij на основу Ланжелијеовог индекса и Ризнеровог броја.

Физички и хемијски параметри, обухваћени критеријумима у претходном тексту, као и они потребни за опште сагледавање квалитета вода у вези са старењем бунара су: *pH, redoks potencujal, Ca,* $HCO_3$*,* $Fe^{2}+$*,* $Fe^{3}+$*, Mn,* $SuO_2$*,* $Al_2\ O_3$*, температура, минерализација,* $H_2\ S$*,* $SO_4$*,* $O_2$*.*

Свакако да су неки типови хемијске инкрустације израженији од биохемијских, на пример, исталожавање $CaCO_3$ или $MgCO_3$. Међутим, неке врсте инкрустација бунара су многоструко интензивније као биохемијски, него хемијски процеси.

**Биохемијски агенс** (индикатори) колмирања бунара су бактерије које својом активношћу доводе до излучења талога на површини, или унутрашњости бунарског филтра, у засипу, или у прифилтарској зони. Активост бактерија је услов за појаву биохемијске инкрустације. Међутим, бројност популације и брзина њеног раста, не морају бити сразмерне интензитету инкрустације.

Бактерије које изазивају инкрустацију гвожђем су гвожђевите и слузпродукујуће бактерије. Сулфаторедукујуће бактерије живе у делу колоније разних врса и бактерија у којој владају анаеробни услови. Сулфаторедукујуће бактерије могу бити један од узрока корозије на бунару.

Један од метода за утврђивање постојања и активности одређених врста бактерија су тзв. BART тестови (Cullimore 1999).

Бактерије које узрокују прелаз $Fe^{2+}$ u $Fe^{3+}$ су аеробне бактерије. За очекивати је да је њихов број већи, или знатно већи на оваздушеном бунарском филтру, него у дубини анаеробне, или семиаеробне издани са раствореним $Fe^{2+}$.

Бунарски талог, пре свега минерална покорица на унутрашњости филтра, веома је добар индикатор за дефиницију процеса који се дешавају у издани. На основу овог талога, може се стећи увид какав је карактер доминантне инкрустације. Анализу састава талога треба унакрсно анализирати са хемијском анализом воде у бунару и околним пијезометрима, као и одговарајућим биолошким агенсом. Анализа талога је корисна за одређивање типа хемијске регенерације.

### 10.2. Показатељи и последице колмирања бунарског филтра

Директна последица колмирања филтра и прифилтарске зоне бунара је пораст хидрауличких губитака при улазу воде у филтар. Ово се манифестује смањењем издашности бунара током времена.

Основни хидраулички параметер, којим се може квантификовати степен колмираности одређеног бунара, је специфична депресија (депресија по јединичном протицају бунара), изражена као количник $\Delta S/Q$. Вредност $\Delta S/Q$ називамо и *специфични хидраулички отпор* (губитак). $\Delta S$ је разлика пијезометарског нивоа непосредно изван бунара (прифилтарске зоне), или дрена код бунара са хоризонталним дреновима, и нивоа у самом бунару, односно бунарском шахту.

На основу приказаних дијаграма, може се донети неколико генералних закључака Издашност бунара је обрнуто пропорционална садржају гвожђа. Просечни садржај гвожђа у води бунара, чија је измерена издашност изнад 100 l/s (има их 5), износи 0,85 mg/l.

За протицај бунара између 50 и 100 l/s добија се просечни садржај гвожђа од 2 mg/l, а за бунаре са протицајем испод 50 l/s, просечни садржај гвожђа је 2,3 mg/l.

Већа издашност бунара одговара и већим вредностима измереног редокс потенцијала. У свих пет бунара, на анализираном делу изворишта, чија је издашност преко 100 l/s, измерени редокс потенцијал (Eh) је изнад 160 mV (просечно 250 mV).

За бунаре са протицајем између 50 и 100 l/s, просечни Eh = 140 mV, а за бунаре испод 50 l/s, Eh = 125 mV. Ови подаци говоре о томе да је редокс потенцијал добар генерални индикатор квалитета бунара. Просечни протицаји бунара за одабране карактеристичне интервале садржаја гвожђа и редокс потенцијала, приказани су у табели 29.

**Табела 29.** Просечни протицаји бунара за одабране карактеристичне интервале садржаја гвожђа и редокс потенцијала (Димкић, 2012.)

| Fe (mg/l) | | | | Redox Eh (mV) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Садржај Fe (mg/l) | 0-1 | 1-3 | >3 | Redox (mV) | >160 | 110-160 | <110 |
| Q (l/s)* | 75 | 53 | 48 | Q (l/s)* | 86 | 49 | 45 |
| Q/dren (l/s)* | 12 | 8,5 | 7 | Q/dren(l/s)* | 12,4 | 8,7 | 7,5 |
| * протицај, мерен у 2006.години | | | | *протицај, мерен у 2006. години | | | |

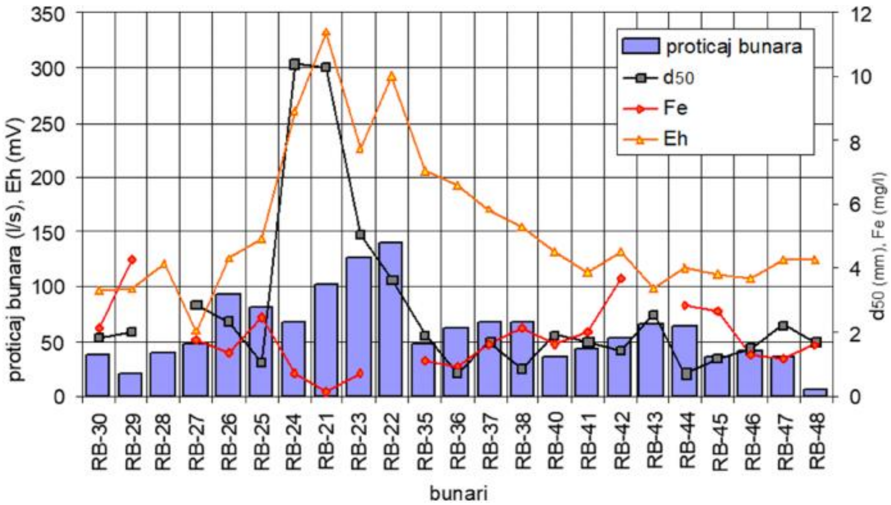
У овој табели се може видети да је за бунаре са садржајем гвожђа испод 1 mg/l, просечна издашност 75 l/s. Истовремено, просечни протицај по дрену ових бунара је 12 l/s. Ови бунари су уједно и најбољи на изворишту (има их 13 на анализираном делу изворишта).

За измерени редокс потенцијал изнад 160 mV, просечни протицај бунара је 86 l/s, а протицај по дрену је 12,4 l/s.

Из приказаних резултата се може закључити да најбољи бунари изворишта имају протицај реда 80 l/s, протицај по дрену нешто преко 12 l/s, а да су садржај укупног гвожђа и редокс потенцијал одлични параметри – индикатори квалитета бунара (слика 99).

Приказане су и анализиране корелације између вредности редокс потенцијала подземних вода, укупне концентрације гвожђа у води, величине зрна аквифера и издашности бунара. Дакле, упоређује се неколико индикатора старења бунара са његовим капацитетом, добијени тестирањем на београдском алувијалном изворишту, у периоду 2005 – 2009.

На слици 95 је приказан капацитет неколико бунара, њихове вредности Eh, Fe и карактеристичног пречника зрна $d_{50}$.




**Слика 99.** Подаци о параметрима: Q, Eh, Fe и $d_{50}$ у делу речне обале Саве (Димкић, 2008б)

Сазнања, која су овде изнета, базирана су на тумачењу корелације установљене дугогодишњим праћењем најважнијих параметара као што су: издашност бунара, хидраулички карактер тока подземних вода (улазне брзине), гранулометријски састав, аеробност односно вредности раствореног кисеоника $O_2$, pH подземне воде, редокс потенцијал (Eh), концентрација гвожђа (Fe) у води и др. параметара.

Иако су ти параметри међусобно повезани и условљени, а и сами по себи веома сложени, установљене су извесне законитости које могу имати знатну практичну примену, при одабиру локација и карактеристика водозахватних објеката у алувијалним седиментима, и уопште примену у ефикаснијој експлоатацији подземних вода. Између осталог, функционално повезивање хидрауличких отпора на филтрима бунара, брзине уласка воде у филтарске дренове и беохемијских индикатора, са старењем бунара.

Дакле, природни капацитет или издашност бунара одређена је на првом месту условима средине на локацији самог водозахватног објекта. Међутим, иницијални капацитет бунара може драстично и брзо падати услед развоја хидрауличких отпора, који су такође у функцији извесних параметара средине.

За локалне хидрауличке отпоре (LHR) можемо рећи да зависе од следећих фактора:

$$\mathrm{LHR} = \mathrm{LHR}(\mathrm{G}, \mathrm{Eh}, \mathrm{Fe}, \mathrm{BCH}, \mathrm{O_2}, \mathrm{M})$$

Где је:

LHR - локални хидраулички отпори,

G - величина зрна око дренова бунара,

Eh - редокс потенцијал подземних вода,

Fe - укупна концентрација гвожђа у подземним водама,

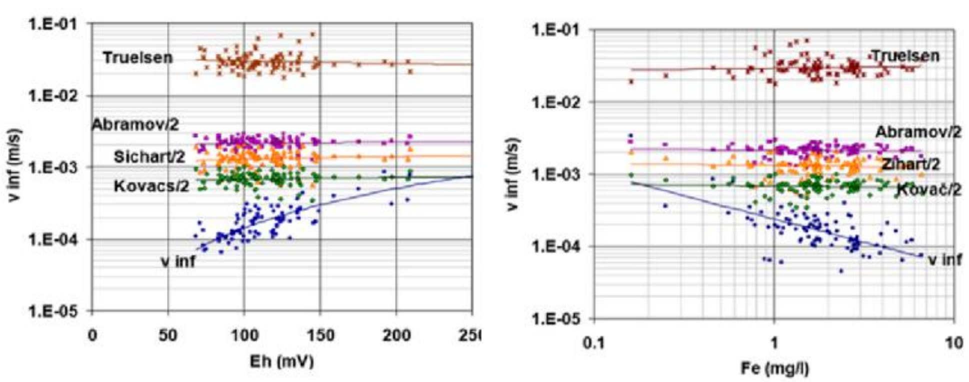
BCH - биохемијске карактеристике,

$O_2$ - концентрација раствореног кисеоника у подземној води, и

M - бунарска продукција и режим одржавања.

Дозвољени експлоатациони капацитет бунара зависи од природног капацитета локације и од фактора који доводе до опадања капацитета током времена. Главно питање приликом дефинисања експлоатационог капацитета бунара било је обезбедити оптимални капацитет којим ће бити задовољена потребна количина воде за водоснабдевање, а да при томе не дође до развоја локалних хидрауличких отппора и убрзаног старења бунара. Главни циљ је био изабрати или рангирати бунаре за санацију, тачније изабрати оне бунера који би могли да обезбеде довољне количине воде, уз прихватљиве ефекте старења. У циљу дефинисања плана за развој и очувањ капацитета београдског изворишта израђена је претходно помента Студија (Димкић, 2005-2009) која је представљала базу за развој и даља истраживања у овој области. Све анализе и мерења (протицај бунара, анализе Fe и pH), реализоване су у периоду од 5 година (2005-2009) у оквиру истраживања за потребе Студије бунара београдског иворишта. Зависности које су добијене, биле су битне за будуће активности у управљању београдскоим извориштем, али су биле и врло интересантне са аспекта тумачења у ширим научним круговима из ове области. Предлог критеријума и вишепараметарске анализе дозвољених улазних брзина на филтру бунара и капацитета бунара, по први пут даје Димкић (2008a; 2008b). У оквиру израде петогодишње студије, анализиран је рад бунара београдског изворишта и спроведен опсежан мониторин.

На основу анализе бунара београдског изворишта, поређењем карактеристичних индикатора за старење бунара (редокс потенцијала воде и садржаја укупног гвожђа) на основу поређења критичних брзина, израчунатих на основу ограничења, изведених из услова колмирања гвожђем, са критичним брзинама израчунатим на основу критеријума обезбеђења филтрационе стабилности и ламинарног струјања (слика 100), дошло се до закључака да за београдско извориште, критичне брзине произилазе из услова за споро биохемијско колмирање бунара, а не из механичких и хидрауличких услова.




**Слика 100.** Различити критеријуми за одређивање Vkr = ƒ(Eh) лево и Vkr = ƒ(Fe) десно (Димкић, 2008а)

До данас, Студија бунара београдског изворишта служи као основна подлога при избору бунара за санацију. Критеријуми за избор бунара дати у Студији, базирани су на препорукама поменутих аутора, али се додатно анализирају и стално унапређују на основу нових резултата праћења рада бунара и ефеката њихове санације (Димкић и Пушић, 2018). У оквиру ове дисертације презентовани су резултати истраживања и истражних радова реализованх током израде 40 пијезометара током 2016. и 2017. године за потребе ЈКП Београдског водовода и канализације у циљу избора нових бунара за санацију.

### 10.3. Избор бунара за санацију и препоруке за пројектовање изворишта – бунара

Стечена дугогодишња искуства са београдског изворишта, везана за индикаторе старења бунара, омогућила су претходним ауторима (Димкић и Пушић, 2008; 2010;

2011; 2012; 2014; 2017) да дају следеће препоруке при пројектовању изворишта – бунара.

Поред препорука којима се задовољавају широко постављени услови (квантитет, квалитет, еколошки, техно-економски и др. услови) ови аутори препоручују и фундаменталне услове којима се предупређује старење бунара и изворишта.

Изворишта крупнозрног материјала са добрим садржајем кисеоника и високим редокс потенцијалом исказују мању склоност ка старењу објеката инкрустацијом.

Ово се посебно односи на колмирање гвожђем. Бунари београдског изворишта са повољним кисеоничним режимом и високим редоксом (Eh > 160 mV), имају у просеку знатно већу издашност од осталих бунара:

$$Eh > 160\ mV \rightarrow Qbunar = 86\ l/s$$

док је просечна издашност за све бунаре београдског изворишта знатно мања:

$$Q\ \text{сви бунари} \sim 45\ l/s$$

Група бунара, код којих је концентрација Fe у захваћеној води испод 1mg/l,

знатно је издашнија него просечни бунари на изворишту:

$$Fe \leq 1{,}2\ mg/l \rightarrow Q \sim 75\ l/s$$

Код врло аеробних изворишта $O_2$ > 5 mg/l, Eh > 300 mV, а садржај гвожђа је незнатан. Опадање издашности ових изворишта, због старења бунара, је изузетно ниско.

Циљ је сачувати подземне водне ресурсе са изданима у крупнозрним, добро оваздушеним водоносним срединама. Овакви резервати су веома издашни, трансформација квалитета воде у издани је повољна, а потенцијално старење водозахватних објеката споро (добар кисеонички и редокс режим, као и режим осталих физичко - хемијских параметара).

Није довољно одредити само улазне брзине у циљу обезбеђења филтрационе стабилности засипа и прифилтарске зоне бунара. Потребно је бунар пројектовати тако да се такође спречи, или успори, хемијско и биохемијско старење бунара.

Пример београдског изворишта је показао да повећан број дренова (бунари са хоризонталним дреновима) може да омогући:

- мање инфилтрационе брзине,
- спорије старење бунара,
- већу почетну издашност бунара,

- спорије опадање издашности бунара.

При одређивању локације бунара, у условима изражене склоности ка инкрустацији (квалитет воде и седимента), треба извршити прогнозу квалитета воде у току експлоатације бунара (са гледишта процеса старења водозахватног објекта).

Бунар треба изградити на локацији, и у режиму рада, који обезбеђује мању склоност ка процесима старења бунара (корозија, инкрустација).

Брзину хемијске и биохемијске инкрустације треба одређивати и искуствено (на основу искуства на претходним бунарима истог изворишта).

Основни показатељи за одређивање улазних брзина у бунар су резултати анализе регионалних и локалних услова и потенцијалне и оптималне издашности бунара, (на основу математичког модела), као и резултати анализе дозвољених улазних брзина воде у филтар на основу критеријума за обезбеђења филтрационе стабилности и ламинарног течења (дају се искуствене формуле[16]).

Приликом прогнозе параметара квалитета воде релевантних за процесе старења бунара индикатори квалитета су: pH, редокс потенцијал, Ca, $HCO_3$, $Fe^{2+}$, $Fe^{3+}$, Mn, $SiO_2$, $Al_2O_3$, температура, суви остатак, $H_2S$ и $SO_4$.

Параметри биохемијског агенса су популације гвожђевитих, слуз продукујућих и сулфато редукујућих бактерија (када се анализира могућност инкрустације гвожђем). Утврђивање популације и активности ових бактерија може се урадити системом BART, док су критеријуми за појаве корозије дати према Џонсону и Гаврилку. Границе параметара који утичу на појаву инкрустације су дати према Џонсону.

Поделу вода по типовима старења бунара на основу одређивања Ланжелијеовог и Ризнеровог броја дао је Алексејев.

Резултати вишегодишњих испитивања на бунарима београдског изворишта, довели су до закључка да су бунари са садржајем гвожђа од 1 mg/l и мање, а редокс потенцијалом већем од 160 mV, значајно веће издашности и споријег процеса инкрустације.

**Табела. 30** Услови при којима долази до стварања инкрустација према Џонсону (Димкић, 2008а)

[16] Критеријуми за обезбеђење филтрационе стабилности и ламинарног течења, емпиријске формуле - критеријум Зихарта, модификовани критеријум Зихарта, критеријум Абрамова, критеријум Ковача, критеријум Трулсена, модификовани критеријум Трулсена (Pietraru).

| | Characteristic | Comment |
|---|---|---|
| 1 | pH > 7.5 | Alkaline water |
| 2 | $HCO_3$ > 300 mg/l | Potential for $CaCO_3$ precipitation |
| 3 | Fe > 2 mg/l | Fe precipitation, intensified by iron bacteria |
| 4 | Mn > 1 mg/l | $CO_2$ ($H_2CO_3$) > 50 mg/l |

Треба уочити разлику између ових резултата (гранична концентрација Fe у води је реда 1 mg/l (тачније 1,2 mg/l) и препорука Џонсона (наводи садржај Fe од 2 mg/l као границу повећане инкрустације – табела 30). За бунаре са садржајем концентрације гвожђа испод 1,2 mg/l, просечна издашност бунара је знатно повећана, а старење бунара успорено.

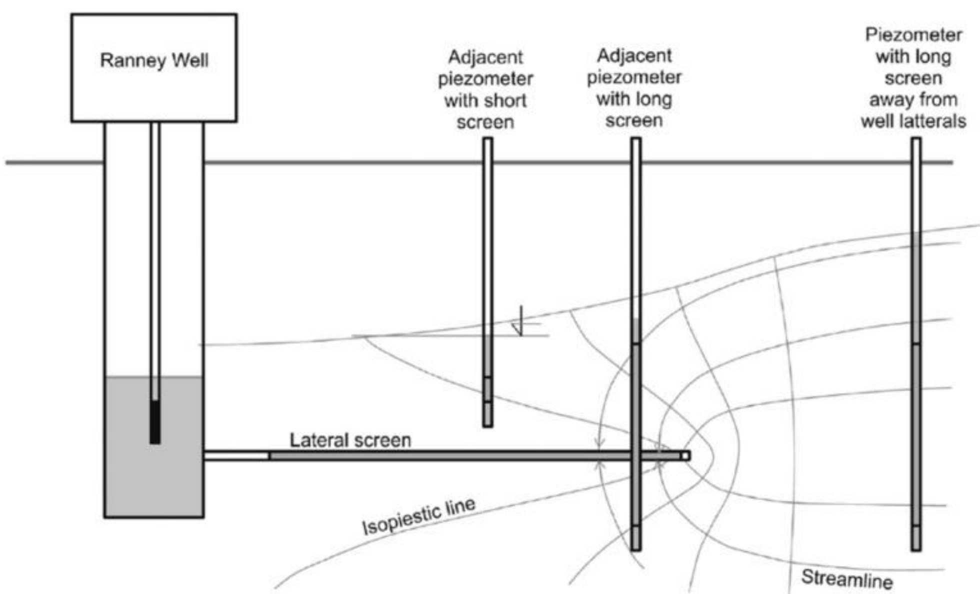
## 10.4. Старење бунара и ефекти регенерације на београдском изворишту

Београдско извориште може се окарактерисати као претежно анаеробно са концентрацијама раствореног кисеоника ретко изнад 0,5 mg/l, при чему је просечна концентрација раствореног кисеоника на изворишту око 0,17 mg/l (Димкић, 2014). Концентрација гвожђа у подземним водама изворишта је око 1,51 mg/l (Димкић, 2014). У тлу око бунара егзистира више родова бактерија, при чему су идентификоване: гвожђе-оксидујуће, аеробне хетеротрофне, слуз-формирајуће, сулфато-редукујуће и денитрификујуће бактерије (Димкић, 2011). Биозарастање филтера јавља се услед бактеријске активности уједно са корозијом филтера, што доводи до опадања капацитета бунара. У циљу одржавања капацитета изворишта бунари се периодично санирају и регенеришу. Локални хидраулички отпори су мера запушености бунарског филтра и прифилтарске зоне на основу које се одређује успешност регенерације и чишћења бунарских филтера. Чишћење филтера има привремени ефекат и мора се понављати. Утискивањем нових дренова добијају се бољи и знатно дуготрајнији ефекти, с обзиром да су нови дренови који се уграђују направљени од материјала који нису корозивни. Елиминацијом корозије као фактора опадања капацитета, биохемијски процеси и зарастање постали су примарни проблем опадања капацитета бунара. Режим експлоатације подземних вода у том смислу од пресудног је значаја за процесе који се у прифилтарској зони издани одвијају и који доводе до опадања капацитета изворишта.

### 10.4.1. Локални губици на дреновима – дефиниција, одређивање и веза са протоком, редокс потенцијалом, концентрацијом раствореног двовалентног гвожђа и бројем бактерија

Да би се могао квантитативно одредити утицај колматација на дреновима потребно је дефинисати и одредити локалне хидрауличке губитке на њима. На слици 101 је приказана типична струјна слика око дрена једног Ranney бунара у вертикалном пресеку.

На слици 101 се може уочити да у зони дрена постоји велики градијент хидрауличког потенцијала у вертикалном правцу тако да је за тачно одређивање хидрауличког потенцијала у близини дрена, осим тога што филтарска колона пијезометра треба да се налази близу дрена, потребно и да она није дужа од 1 до 2 m. За одређивање промене линеарних хидрауличких губитака на дрену могуће је користити и пијезометре ван зоне дренова, али пошто је значајан део разлике између нивоа у пијезометру и бунару у овом случају настао услед струјања кроз материјал аквифера, промене у протоку бунара значајно утичу на то колики је удео локалних хидрауличких губитака у овој разлици. Вредност линеарних хидрауличких губитака у одређеном тренутку се у овом случају може одредити само апроксимативно, одузимањем рачунски одређене разлике између нивоа у пијезометру и бунару настале услед струјања кроз материјал аквифера.




**Слика 101**. Типична струјна слика око дрена једног Ranney бунара у вертикалном пресеку (Димкић, 2008а)

За реалну и правилну процену ефеката изведених регенерација потребно је квантификовати величину промене локалног хидрауличког отпора филтарске и прифилтарске зоне бунара (engl. „local hydraulic resistance“- *LHR*) пре и после регенерације. *LHR* се дефинише као количник разлике пијезометарских нивоа (депресије) између бунара и блиског пијезометра ($\Delta S$) и протицаја кроз дрен (q):

$$\mathrm{LHR} = \frac{\Delta S}{q} \qquad (1)$$

Протицај кроз дрен је одређен разликом хидрауличких потенцијала ван и унутар дрена, димензијама дрена и дебљином и средњим коефицијентом филтрације колмираног слоја:

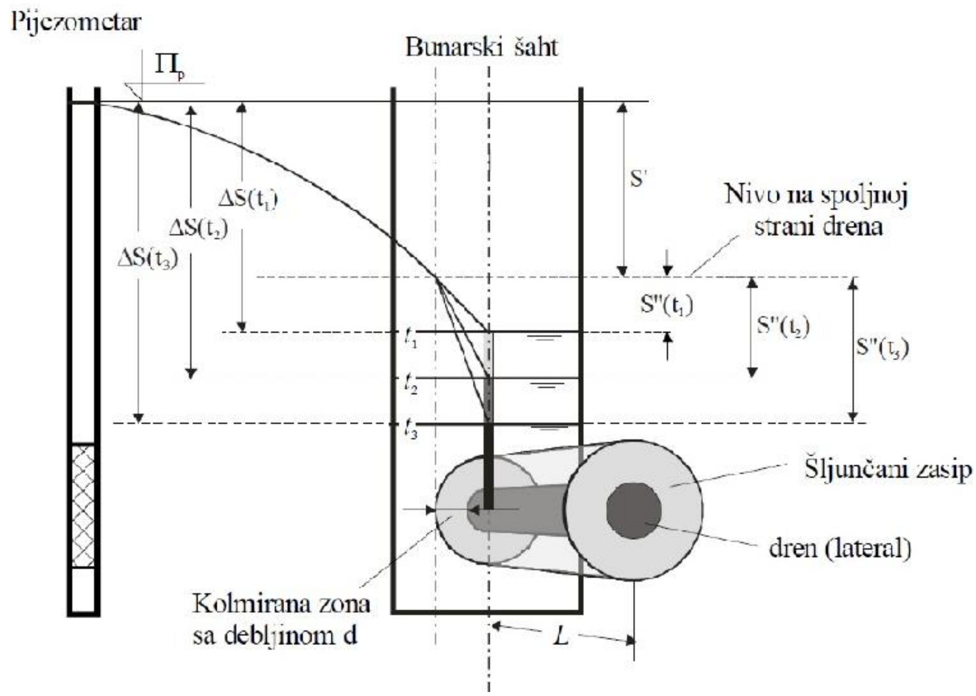
$$q = \int_0^L dL \int_0^F v dF = 2\pi \int_0^L \int_0^r \frac{K_L}{d} \Delta S_{(t)} dL dr \qquad (2)$$

где је *q* протицај дрена, *L* дужина дрена, *v* је улазна брзина филтрације подземних вода по ободу филтра, *F* је површина јединичне дужине дрена, а *r* је пречник дрена. $\Delta S$(t) је разлика између нивоа у блиском пијезометру и бунару, и састоји се од депресије услед филтрације у аквиферу - S’, и депресије која је резултат (промењивог) хидрауличког губитка на контури дрена - S’’, слика 102. Ако се ван непосредне зоне дрена филтрационе карактеристике материјала издани не мењају важи:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \frac{s'}{q} \approx 0 \qquad (3)$$

Брзина промене локалног хидрауличког отпора KLHR (engl. „kinetics of local hydraulic resistance“) је онда једнака:

$$KLHR = \frac{\partial}{\partial t} \frac{\Delta S}{q} = \frac{\partial}{\partial t} \frac{S''}{q} \qquad (4)$$



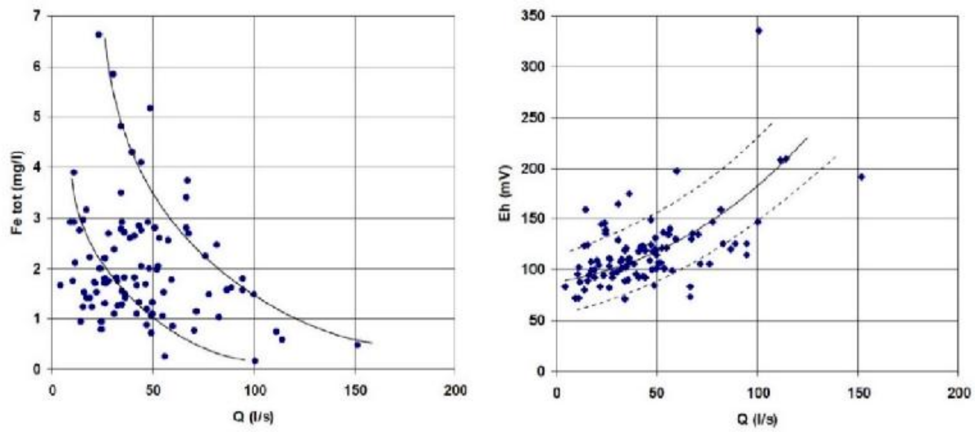

**Слика 102.** Губитак пијезометарског нивоа на путу подземне воде од места близу дрена, кроз колмирану зону, до унутрашњости дрена. S'(t) је за блиски пијезометар приближно једнако нули (Димкић, 2012)

Промена LHR током времена је најуочљивија у случају када се изврши регенерација и тада је најчешће негативна. У случају када се протицај у бунару одржава приближно константним и не врше се регенерације KLHR се обично не мења много током времена, тј. LHR приближно линеарно расте с протицањем времена. Поред протицаја, на вредност KLHR значајно утичу и редокс потенцијал, концентрација двовалентног гвожђа у води и бројност популације микроба који својом метаболичком активношћу доводе до колмирања бунара:

$$KLHR = \frac{\partial}{\partial r} \frac{\Delta S}{q} = f(Eh, [Fe^{2+}], B, q) \qquad (5)$$

B је геометријска средина броја потенцијално активних слуз-продукујућих и броја потенцијално активних гвожђевитих бактерија у узоркованој води из бунара анализираној помоћу BART тестова.

Утицај концентрације двовалентног гвожђа или укупног гвожђа, као и редокс потенцијала на кинетику линеарних хидрауличких губитака се одражава у великој мери на протицаје у бунарима због тога што линеарни губици тим спорије расту што је концентрација двовалентног гвожђа мања и редокс потенцијал већи, и услед тога се током рада бунара остварују у просеку већи протицаји (слика 103).




**Слика 103.** Однос средњег протицаја бунара и средње вредности концентрације укупног раствореног гвожђа у води (лево), и средњег протицаја и средње вредности редокс потенцијала (десно) (Димкић, 2018)

Утврђивање везе брзине колмирања дренова и поменутих параметара које одређује одлуке о пројектованом броју дренова и самом одржавању бунара, као технички важним и скупим категоријама, је веома значајно и са финансијског аспекта. Могућност прогнозирања промене LHR током времена омогућава и комплексне прорачуне и симулацију ефеката рада бунара различитим протоцима, где уз ефекте међусобног утицаја бунара на висине пијезометарског нивоа могу да се израчунају и промене LHR током времена у зависности од протока, чиме је у потпуности одређена и промена нивоа у сваком бунару у некој групи бунара током посматраног временског периода. Овај ниво, тј. разлика између њега и коте дренова одређује остварљиви проток и да ли је потребна регенерација бунара.

### 10.4.2. Регенерација дренова и квантификација ефеката регенерације

Регенерација дренова бунара се после 2000. године (а углавном и раније) изводи само механичким поступком. По заустављању рада бунара и уградње неопходне опреме, прво се обавља снимање дренова специјалном камером. У складу са резултатима анализе добијених снимака, дренови се испирају водом под високим притиском (и преко 100 bar). Испирање дренова се обавља по сегментима, у трајању од више сати, што зависи од процене на терену. На жалост, стари дренови типа

Ranney су подложни корозији, тако да је често неопходно скраћивање или потпуно затварање појединих дренова.

Ефекти регенерације бунара се у пракси најчешће прате преко промене (повећања) протицаја бунара, пре и после извршене регенерације. Међутим, овакав начин често ствара погрешан привид о успешности изведеног поступка. Разлога за то има више:

- Протицај бунара се мери пре почетка извођења регенерације, у условима текућег експлоатационог режима рада бунара и изворишта. По завршетку регенерације, протицај се често одмах мери иако се током рада на регенерацији, која траје више дана, бунар не користи за експлоатацију и ниво каптиране издани се подиже на локални, или регионални статички ниво.
- Задати услови рада бунара пре и после регенерације се мењају, или променом протицаја, или променом одржаваног нивоа.

За реалну и правилну процену ефеката изведених регенерација потребно је квантификовати величину промене локалног хидрауличког отпора филтарске и прифилтарске зоне бунара пре и после регенерације. Коефицијент смањења линеарних хидрауличких губитака услед регенерације $y_{reg}$ показује однос LHR после и пре регенерације:

$$y_{reg} = \frac{LHR_2}{LHR_1} \qquad (6)$$

где су $LHR_1$, $LHR_2$ - вредности *LHR* пре и после регенерације, респективно.

Множењем *yreg* са *LHR* пре регенерације и протицајем кроз дрен *q* после регенерације, добија се величина хидрауличких губитака на дрену након регенерације:

$$S'' = LHR_1 \cdot y_{reg} \cdot q \qquad (7)$$

Мерења неопходних величина на терену се обављају по претходно постигнутом (квази) стационарном режиму струјања подземних вода према бунару.

За упоредну анализу промене локалних хидрауличких отпора и мерених протицаја бунара, одабрано је 20 регенерација на 18 бунара (табела 31), због тога што су постојали подаци о протицају у бунару и LHR пре и после регенерације, тако да су оба мерења и регенерација обављени унутар периода од максимално две године.

**Табела 31.** Мерени протицаји, протицаји по дрену, просечни протицаји по дрену и локални хидраулички отпори бунара - LHR, KLHR, пре и после регенерација на београдском изворишту.

| | | | PRE REGENERACIJE | | | | | | POSLE REGENERACIJE | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Well | Date | $Q_1$ [l/s] | $q_1$ [l/s] | $LHR_1$ | $KLHR_1$ | $q_{1sr}$ [l/s] | no. of dr. | $Q_2$ [l/s] | $q_2$ [l/s] | $LHR_2$ | $KLHR_2$ | $q_{2sr}$ [l/s] | no of dr. | $Q_2/Q_1$ | $q_2/q_1$ | $q_2sr/q_1sr$ | $KLHR_2/KLHR_1$ | $LHR_2/LHR_1$ |
| 1 | RB-15 | 28-12-09 | 41 | 13.7 | 0.5 | 0.114 | 10.8 | 3 | 76 | 25.3 | 0.36 | 0.154 | 13.9 | 3 | 1.85 | 1.85 | 1.29 | 1.35 | 0.72 |
| 2 | RB 15 | 20 04 12 | 25 | 8.3 | 0.71 | 0.154 | 13.9 | 3 | 49 | 16.3 | 0.39 | 0.304 | 13.5 | 3 | 1.96 | 1.96 | 0.97 | 1.97 | 0.55 |
| 3 | RB-19-1 | 30-04-09 | 61 | 8.7 | 0.48 | 0.0394 | 7 | 7 | 124 | 20.7 | 0.16 | 0.1325 | 8 | 6 | 2.03 | 2.37 | 1.14 | 3.36 | 0.33 |
| 4 | RB-23 | 29-09-08 | 125 | 15.6 | 0.195 | 0.0566 | 15.9 | 8 | 88 | 11.0 | 0.13 | 0.0173 | 11.7 | 8 | 0.71 | 0.70 | 0.74 | 0.31 | 0.67 |
| 5 | RB 29 | 16 06 10 | 15 | 1.9 | 16 | 2.87 | 1.8 | 8 | 57 | 14.3 | 0.3 | 0.856 | 4.8 | 4 | 3.8 | 7.60 | 2.67 | 0.30 | 0.019 |
| 6 | RB-2m | 29-12-11 | 19 | 4.8 | 0.71 | 0.014 | 10.6 | 4 | 72 | 24.0 | 0.32 | 0.078 | 21.6 | 3 | 3.79 | 5.05 | 2.04 | 5.57 | 0. 45 |
| 7 | RB 3 | 01 07 10 | 13 | 4.3 | 6.75 | 1.87 | 5 | 3 | 10.5 | 5.3 | 1.1 | 1.43 | 4.2 | 2 | 0.81 | 1.21 | 0.84 | 0.76 | 0.16 |
| 8 | RB-4 | 19-04-08 | 164 | 20.5 | 0.188 | 0.05 | 23.3 | 8 | 206 | 25.8 | 0.062 | 0.021 | 18.9 | 8 | 1.26 | 1.26 | 0.81 | 0.42 | 0.33 |
| 9 | RB-5m | 20-08-10 | 24 | 6.0 | 1.2 | 0.443 | 9 | 4 | 95 | 23.8 | 0.2 | 1.21 | 8.5 | 4 | 3.96 | 3.96 | 0.94 | 2.73 | 0.17 |
| 10 | RB 5m | 27 06 12 | 17 | 4.3 | 0.7 | 1.21 | 8.5 | 4 | 52 | 13.0 | 2.5 | 1.02 | 8 | 4 | 3.06 | 3.06 | 0.94 | 0.84 | 0.28 |
| 11 | RB-6 | 01-03-11 | 24 | 2.4 | 2.2 | 0.334 | 5.5 | 10 | 33 | 5.5 | 0.45 | 0.422 | 7.7 | 6 | 1.38 | 2.29 | 1.40 | 1.26 | 0.2 |
| 12 | RB 52 | 16 04 10 | 17 | 2.1 | 1.25 | 0.182 | 8.6 | 8 | 56 | 8.0 | 0.66 | 0.361 | 6.1 | 7 | 3.29 | 3.76 | 0.71 | 1.98 | 0.53 |
| 13 | RB-53 | 30-04-10 | 10.5 | 2.1 | 1.4 | 0.292 | 11 | 5 | 16.8 | 3.4 | 0.7 | 0.665 | 4.6 | 5 | 1.6 | 1.60 | 0.42 | 2.28 | 0.5 |
| 14 | RB-79 | 23-09-08 | 28 | 3.5 | 5.8 | 0.01 | 1.3 | 8 | 11 | 1.4 | 1 | 0.158 | 3.4 | 8 | 0.39 | 0.39 | 2.62 | 15.80 | 0.17 |
| 15 | RB 8 | 22 05 08 | 16 | 5.3 | 1.3 | 1.37 | 12.2 | 3 | 18 | 6.0 | 1.3 | 0.781 | 4.5 | 3 | 1.125 | 1.13 | 0.37 | 0.57 | 1 |
| 16 | RB-8 | 23-03-12 | 5 | 1.7 | 4.25 | 0.781 | 4.5 | 3 | 69 | 23.0 | 0.4 | 1.39 | 7.5 | 3 | 13.8 | 13.80 | 1.67 | 1.78 | 0.094 |
| 17 | RB 9 | 01 07 10 | 9 | 4.5 | 4.4 | 0.738 | 5.3 | 2 | 6.3 | 6.3 | 1.25 | 0.508 | 5.9 | 1 | 0.7 | 1.40 | 1.11 | 0.69 | 0.28 |
| 18 | RB-10 | 26-02-10 | 31 | 5.2 | 0.46 | 0.11 | 17.2 | 6 | 59 | 11.8 | 0.09 | 0.33 | 10.2 | 5 | 1.9 | 2.28 | 0.59 | 3.00 | 0.2 |
| 19 | RB-11-1 | 01-07-08 | 50 | 6.3 | 1.4 | 0.022 | 6.9 | 8 | 45 | 11.3 | 0.7 | 0.258 | 7.2 | 4 | 0.9 | 1.80 | 1.04 | 11.73 | 0.5 |
| 20 | RB-12-3 | 16-04-08 | 40 | 8.0 | 1.13 | 0.01 | 7.8 | 5 | 44 | 22.0 | 0.27 | 0.181 | 12 | 2 | 1.1 | 2.75 | 1.54 | 18.10 | 0.24 |
| 21 | RB-81 | 20-11-09 | 42 | 7.0 | 4.3 | 0.01 | 3 | 6 | 60 | 15.0 | 0.15 | 0.556 | 6.1 | 4 | 1.43 | 2.14 | 2.03 | 55.60 | 0.035 |
| 22 | RB 90 | 12 11 10 | 28 | 4.0 | 4.4 | 0.652 | 5.9 | 7 | 49 | 9.8 | 1.9 | 0.679 | 5.4 | 5 | 1.75 | 2.45 | 0.92 | 1.04 | 0.43 |
| 23 | Rb-13 | 06-11-11 | 55 | 7.9 | 0.085 | 0.0122 | 7.7 | 7 | 112 | 16.0 | 0.06 | 0.0346 | 8.1 | 7 | 2.04 | 2.04 | 1.05 | 2.84 | 0.71 |
| 24 | Rb-13-1 | 01-07-11 | 13.5 | 3.4 | 4.7 | 0.694 | 4.6 | 4 | 12.5 | 6.3 | 1.8 | 0.638 | 4.7 | 2 | 0.93 | 1.85 | 1.02 | 0.92 | 0.375 |
| 25 | Rb-41 | 26-09-08 | 60 | 10.0 | 0.92 | 0.024 | 9 | 6 | 55 | 9.2 | 0.86 | 0.138 | 7.8 | 6 | 0.92 | 0.92 | 0.87 | 5.75 | 0.93 |
| 26 | Rb-20 | 05-06-12 | 12 | 3.0 | 1.3 | 0.318 | 11.2 | 4 | 85 | 21.3 | 0.29 | 0.492 | 16.8 | 4 | 7.08 | 7.08 | 1.50 | 1.55 | 0.22 |
| 27 | Rb 40 | 05 06 08 | 20.5 | 5.1 | 2.4 | 0.648 | 7.3 | 4 | 21 | 5.3 | 2.7 | 0.128 | 4.2 | 4 | 1.02 | 1.02 | 0.58 | 0.20 | 1.13 |
| Average | | | | | | | | | | | | | | 2.39 | 2.88 | 1.18 | | 0.41 | |

Из табеле 31 се може видети да је измерено повећање протицаја бунара, ΔQ, у дијапазону између 7 и 71 l/s, а коефицијент смањења линеарних хидрауличких губитака услед регенерације $y_{reg}$, између 0,09 (смањење 91%) и 1 (смањење 0%). Просечна вредност коефицијента смањења линеарних хидрауличких губитака услед регенерације износи 0,57.

Ни праћење ефеката регенерације преко промене LHR не даје сасвим тачну слику, јер се неки дренови делимично, или потпуно затварају, док се истовремено на филтарским отворима претходно запушене зоне делимично, или потпуно отварају, мењајући тако и локалну струјну слику подземних вода и расподелу протока у односу на период пре регенерације. Пошто мерења протицаја дрена практично никада нису доступна, и не постоји блиски пијезометар уз сваки дрен, од свих промена практично је могуће узети у обзир само промену броја активних дренова, и проток по дрену се добија дељењем протицаја бунара бројем дренова.

Замену дренова је оправдано извршити само на оним бунарима на чијим су локацијама присутне повољне хидрогеолошке одлике седимената водоносне средине, хемијски и микробиолошки састав подземних вода, као и повољни услови прихрањивања.

У циљу упознавања потенцијала локације за захватање потребних количина подземних вода, тј. квантификације капацитета ресурса подземних вода на локацији изградње бунара, сваке године врши се одређени опсег истраживања и реализација теренских истражних радова и лабораторијских анализа. У претходном периоду је у ЈКП БВК извршен избор бунара за које је, на основу постојећих информација, закључено да се утискивањем нових дренова могу очекивати позитивни ефекти у погледу остваривања значајнијег капацитета, као и стабилности капацитета током времена експлоатације. Избор бунара извршен је према наведеним критеријумима и вишепараметарским анализама карактеристика самих бунара и геолошке средине на њиховим локалитетима. Извођење радова, односно изградња нових пијезометара са пратећим анализама, који се спроводе сваке године, имају за циљ да омогуће дефинисање оптималног техничког решења санације одабраних бунара путем утискивања нових дренова.

Израда нових пијезометара у зони одабраних бунара има за циљ да обезбеди услове за потпуније упознавање лито-стратиграфског састава седимената на локацијама бунара, њихов механички и геохемијски састав, филтрационе карактеристике, хемијски и микробиолошки састав подземних вода, квалитет хидрауличког контакта делова издани којима припадају одабрани бунари са водотоком Саве. Поред тога, извођењем истражно–осматрачких објеката са пратећим испитивањима, стиче се увид тренутно функционално стања и хидрауличке карактеристике дренова на бунарима, као и режим подземних вода у непосредној зони бунара као неопходног услова за утврђивање капацитета локације у погледу расположивих количина подземних вода. Након извођења, нови истражно–осматрачки објекти укључују се у осматрачку мрежу пијезометара београдског изворишта.

### 10.4.3. Утискивање дренова и квантификација ефеката

Од 2005. године се приступило комплетној замени постојећих дренова појединих бунара Preussag (Пројсаг) методом, која подразумева убацивање нових дренова (мостичави отвори, висине мостића од 2,5 mm до 3,5 mm) од прохрома у претходно утиснуту колону (цев) и накнадно постављање филтарског засипа. У ранијем периоду су челичне дренске цеви (шлицоване, димензија 6 mm x 80 mm) директно утискиване у порозну средину Ranney методом.

Као резултат неколико пројеката и студија које је израдио Институт за водопривреду "Јарослав Черни" и након анализе резултата вишегодишњег осматрања рада пет бунара са новим дреновима на београдском изворишту и њихових блиских пијезометара (Rb-15, Rb-16, Rb-20, Rb-8 и Rb-5m), дефинисана је функционална зависност између редокс потенцијала, концентрација двовалентног гвожђа у води, бројности популације микроба који својом метаболичком активношћу доводе до колмирања бунара, протицаја кроз дрен, гранулометријског састава прифилтарске зоне или засипа и брзине колмирања нових дренова - једначина (8):

$$KLHR = \varphi_{(\Gamma)} 0.009 \cdot q \cdot [Fe^{2+}]^{\frac{3}{4}} \cdot (6.1 \cdot e^{-0.023 \cdot Eh})^{\frac{2}{3}} \cdot (0.6 + 0.01 \cdot B)^{\frac{1}{3}} \ [\mathrm{m}/(\mathrm{l/s})/a] \quad (8)$$

при чему се концентрација двовалентног гвожђа ($[Fe^{2+}]$) у води изражава у mg/l, редокс потенцијал ($Eh$) у mV а протицај по дрену ($q$) у l/s. φ(Γ) је фактор зависности KLHR од гранулометријског састава прифилтарске зоне издани или филтарског засипа. У случају да су приликом добро изведене разраде дренова утиснутих Ranney методом из прифилтарске зоне евакуисане ситније гранулометријске фрације, или да је крупнозрни засип успешно инсталиран приликом утискивања дренова Preussag методом, фактор φ(Γ) је мањи од један, а у супротним случајевима је већи од један. Прогнозирано годишње повећање LHR се добија множењем овако прорачунатог KLHR и протицаја дрена. Пошто мерења протицаја дрена практично никада нису доступна он се обично или израчунава дељењем протицаја бунара бројем дренова и множи са прорачунатим KLHR или се KLHR дели бројем дренова и множи протицајем бунара.

Након утискивања нових дренова, ако стари нису затворени, долази до прерасподеле протока између дренова. Равнотежа се успоставља када се губици хидрауличког потенцијала на старим и новим дреновима изједначе - једначина (9):

$$\Delta S = LHR_1 \frac{Q(1-x)}{n_1} = LHR_2 \frac{Qx}{n_2} \quad (9)$$

при чему су $LHR_1$ и $LHR_2$ локални хидраулички губици на старим и новим дреновима, док је Q проток у бунару. Локални хидраулички губици се рачунају на основу одговарајућих кинетика локалних хидрауличких губитака и времена протеклог од утискивања - једначина (10):

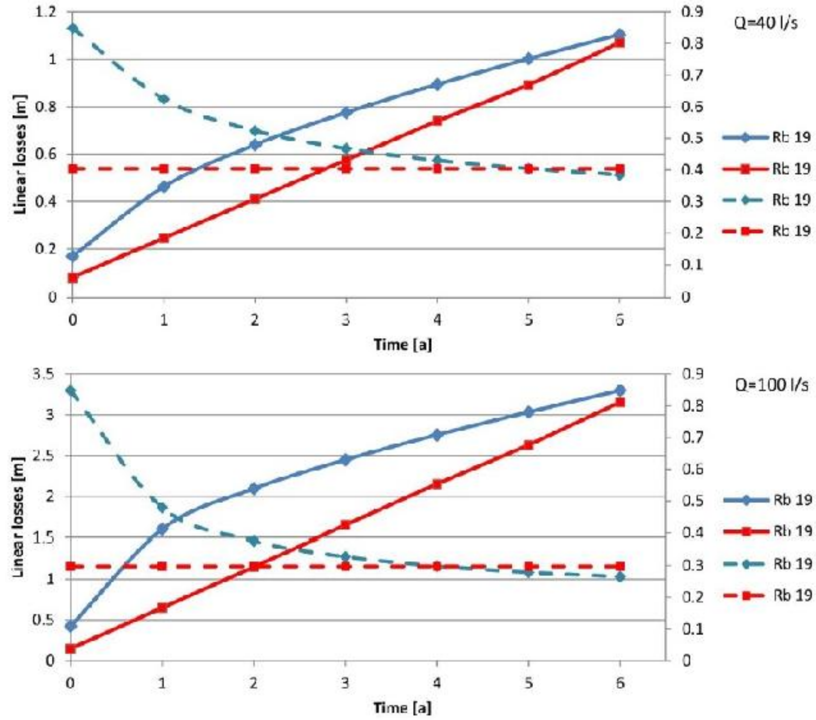
$$\Delta S = \left( KLHR_1(t - t_{ut}) + LHR_{t<t_{ut}} \right) \frac{Q(1-x)}{n_1} = \left( KLHR_2(t - t_{ut}) + LHR_{2_0} \right) \frac{Q\,x}{n_2} \qquad (10)$$

при чему је $t$ време трајања разматраног периода, $t_{ut}$ време протекло до утискивања, а $x$ удео протока кроз нове дренове. Из једначине (10) се добија једначина (11) којом се израчунава удео протока кроз нове дренове у укупном протоку бунара:

$$x = \frac{1}{\frac{n_1}{n_2} \frac{KLHR_2(t - t_{ut}) + LHR_{2_0}}{KLHR_1(t - t_{ut}) + LHR_{t<t_{ut}}} + 1} \qquad (11)$$

За сваки бунар је израчуната функција $Q=f(x)$, при чему је установљено да се однос Q и x може успешно описати линеарном функцијом за сваки бунар (Митриновић, 2018).

Овакав прорачун се заснива на претпоставци да се удео протока кроз нове дренове у укупном протоку није мењао од тренутка утискивања до краја симулираног периода. Ова претпоставка није тачна, због тога што су линеарни губици на новим дреновима мали одмах након утискивања, чак и када је кинетика раста отпора на њима бржа него за старе дренове. Ако су притом губици по јединици протока већи на старим дреновима, већи део протока ће ићи кроз нове дренове у периоду одмах након утискивања. Да би се проверило како се удео протока кроз нове дренове мења у периоду након њиховог утискивања, урађен је прорачун за тренутак одмах након утискивања, и после на сваких годину дана. Коришћена је такође једначина 12, при чему су губици из претходних година улазили у почетне линеарне губитке по јединици протока (LHR10 и LHR20) док је KLHR и за старе и нове дренове множено са јединицом јер је протекло време од краја претходног корака годину дана. На слици 104 приказани су резултати овог прорачуна за бунар Rb-19, за који су у основном прорачуну удели протока кроз нове дренове били најмањи и због тога поменути проблем у прорачуну потенцијално најизраженији.



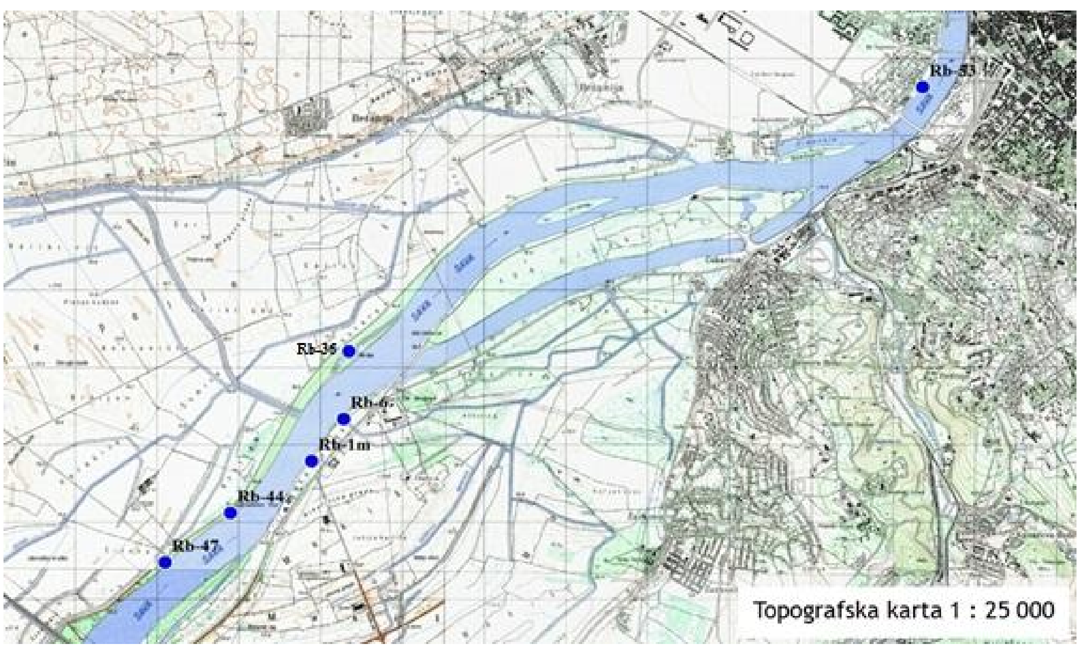

**Слика 104.** Удео протока кроз нове дренове (испрекидана линија) и линеарни губици (пуна линија) за случај када се примењује основни прорачун (црвене линије) и прорачун годину по годину (плаве линије), за случај када се из бунара црпи 40 l/s (горе) и 100 l/s (доле), за бунар Rb-19 (Митриновић, 2018)

На слици 104 се може уочити да се на основу прорачуна годину по годину добијају значајно већи удели протока кроз нове дренове и већи линерани губици у периоду непосредно након утискивања него у основном прорачуну, али да је разлика у обе величине минимална на истеку симулираног периода (Митриновић, 2018).

Оваквом анализом ствара се слика и увид у расподелу протока између старих и нових дренова, као и о брзини развоја хидрауличких отпора на новим дреновима. Код појединих бунара приликом санације, стари дренови су блиндирани, тако да су сада у функцији само нови дренови. Ово је случај са бунарима (Rb-1, Rb-7M и Rb-8M), код којих је утискивање нових дренова вршено Preussag методом, током 2015. године.

# 11. ИСТРАЖНО БУШЕЊЕ И ЛАБОРАТОРИЈСКЕ АНАЛИЗЕ НА БЕОГРАДСКОМ ИЗВОРИШТУ - НОВА ИСТРАЖИВАЊА

Истражно бушење у зони дренова бунара са хоризонталним дреновима на београдском изворишту је спроведено током 2016. и 2017. године на локацијама 6 бунара (слика 105). 2017. године израђене су и две дубоке бушотине на локацијама Rb-6/ и Rb-36 да би се стекао детаљан увид у циклусе седиментације флувијалних седимената на изворишту, одредио петролошки састав узорака из два различита циклуса седиментације, уз одређивање минералошког и елементарног састава одабране гранулометријске фракције седимената. Узети су узорци из различитих циклуса седиментације за датирање седимената коришћењем методе луминисценције стимулисане светлошћу из видљивог дела спектра и инфрацрвеним зрачењем и магнетостратиграфским методама. Прелиминарно палеонтолошко картирање је спроведено на терену, док су лабораторијски анализирани узорци узети из сандука током картирања, као и фосилни остаци издвојени из узорака током гранулометријског испитивања.




**Слика 105.** Локације Ranney бунара на којима су вршена истражна бушења током 2016. и 2017. године

Поред гранулометријских анализа, на репрезентативним узорцима у зони Ranney бунара извршене су следеће анализе:

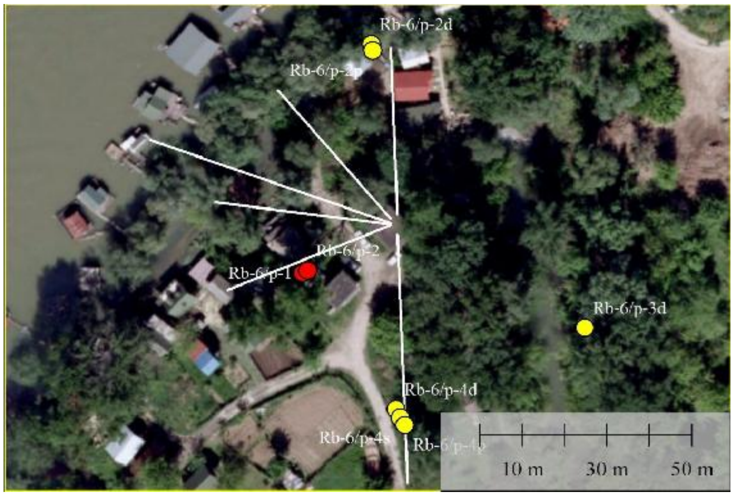
- минералошке анализе: карактеризација минерала на припремљеним узорцима пречника зрна од 0,10 до 0,16 mm, на по 2 узорка по бушотини (осим за Rb-6/p-5d где су урађене анализе на 4 узорка),
- геохемијске анализе: одређивање елементарног састава припремљених узорака пречника зрна од 0,10 до 0,16 mm, на по 2 узорка по бушотини (осим за Rb-6/p-5dгде су урађене анализе на 4 узорка),
- палеонтолошке анализе,
- седиментолошко-петролошке анализе песковитих и шљунковитих седимената, на по 2 узорка по бушотини.

Узорковање за минералошке, геохемијске и седиментолошко-петролошке анализе је вршено или током бушења тако што је вентил-кашика пражњена у кофу да би се сачувале ситне фракције (Rb-1m/p-3d и Rb-6/p-3d), или на крају бушења из сандука са припремљеним стубом ако је језгро из песковито-шљунковитих седимената извађено сржном цеви (Rb-6/p-5d, Rb-36/p-4d и Rb-44/p-4d). Палеонтолошке анализе су спроведене током теренског картирања и кабинетски, при чему је један део фосила прикупљен током теренског картирања, а други приликом сејања током гранулометријских анализа.

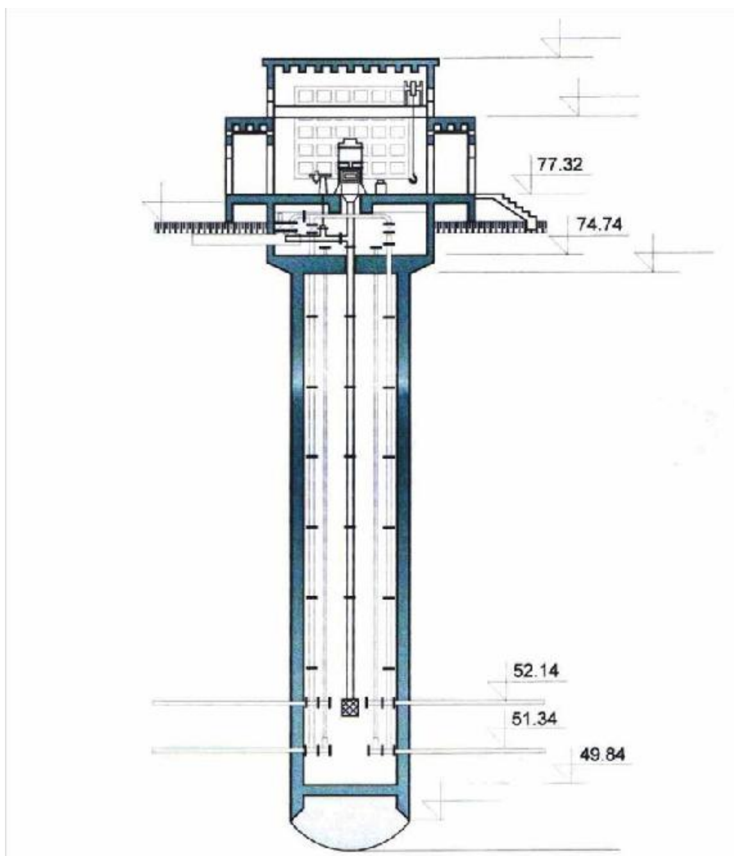
На структурно-пијезометарским бушотинама Rb-1m/p-3d и Rb-6/p-3d, Rb-6/p-5d, Rb-36/p-4d и Rb-44/p-4d у зони дренова четири Ranney бунара, које су одабране за минералошке, геохемијске и седиментолошко-петролошке анализе, узимана су по два узорка шљунковитог или песковитог материјала из различитих седиментационих циклуса и један узорак из глиновито-прашинастог међуслоја (ако је био присутан).

За датирање седимената (одређивање геолошке старости) методом оптички стимулисане луминисценције и палеомагнетном методом узорци су узети са две дубоке бушотине Rb-6/p-5dи Rb-36/p-4d. Узорци су узимани из карактеристичних слојева за одређивање старости појединих циклуса седиментације. Узорковање и одлагање спроведено је према описаној методологији узорковања за ове две методе.

## 11.1. Пијезометарско – структурна бушотина Rb-6/p-5d




**Слика 106.** Положај бунара Rb-6, пружање активних дренова и локације пијезометара




**Слика 107.** Вертикални пресек бунара Rb-6

Радови на изради пијезометра Rb-6/p-5d извођени су у периоду од 9.6.2017. до

10.6.2017. године. Одмах након обављања неопходних припремних радова за потребе израде пијезометра, приступило се бушењу. Бушење је изведено машинском гарнитуром (слика 108), континуалним језгровањем уз форсирање обложне колоне до дубине бушења од 29,00 m, при чему је коришћена ротациона метода уз употребу сржне цеви од Ø128 mm до 3,80 m и Ø98 mm од 3,80 m до коначне дубине бушења од 51,00 m. Пречник истражног бушења тј. обложне колоне био је Ø 128 mm од површине терена до дубине бушења од 29,00 m, и Ø98 mm од 29,0 m до 51,00 m. Упоредо са истражним бушењем вршено је и континуирано праћење набушеног материјала.

**Слика 108.** Машинска гарнитура за ротационо бушење

Картирање је вршено макроскопски (табела 32), са циљем да се утврде основне карактеристике тла, а пре свега литолошки састав и структура тла, крупноћа зрна.

**Табела 32.** Опис картираних јединица Rb-6/p-5d

| ДУБИНА [m] | ОПИС КАРТИРАНИХ ЛИТОЛОШКИХ ЈЕДИНИЦА (Rb-6/p-5d) |
|---|---|
| 0,0 – 2, 0 | глина (прашина), смедја, од 1,0 до 2,0 м спорадично са карбонатним талогом и скрамом мангана; |
| 2,0 – 3,2 | глина (прашина), мркосмеђа, прожета карбонатним талогом и скрамом мангана; |
| 3,2 – 5,3 | глина (прашина), смеђа, проткана хидроксидима гвожђа, скрамом мангана и карбонатним талогом; |
| 5,3 – 12,2 | песак, ситнозрн до средњозрн, смеђ, са учесталим појавама ламина смеђе глине (прашине), |
| 12,2 – 18,0 | песак, ситнозрн до средњозрн, смеђ, са прашином и шљунком (доминантно ситнозрне гранулације) у промењивом процентуалном учешћу, спорадично са облутцима и фрагментима кречњака; |
| 18,0 – 18,8 | глина (прашина), сива, од 18,2 до 18,8 м без узорка у сандуку; |
| 18,8 – 19,0 | прашина (глина), сива, са мањим садржајем ситнозрног песка и гранулама шљунка; |
| 19,0 – 22,2 | песак, ситнозрн, сив, са прашином, спорадично са гранулама шљунка, свих гранулација, у интервалу од 19,4 до 19,8 м са фрагментима кречњака и пешчара; |
| 22,.2 – 22,8 | без узорка у сандуку; |
| 22,8 – 24,0 | песак, средњозрн до крупнозрн, сив, са шљунком, доминантно ситнозрне гранулације и прашином у процентуалном учећшу <10%; |
| 24,0 – 27,0 | песак, средњозрн до ситнозрн, смеђ, са шљунком доминантно ситнозрне гранулације у мањем процентуалном учешћу, местимично са прашином, фрагментима глинца и пешчара; |
| 27,0 – 29,0 | глина (прашина), смеђесива до сива, спорадично са скрамом мангана и карбонатним талогом беле боје; од 27,2 до 27,9 без узорка у сандуку; |
| 29,0 – 30,3 | глина (прашина), мркосмеђа до сива, спорадично са скрамом мангана и литификованим карбонатним талогом; |
| 30,3 – 31,0 | без узорка у сандуку; |
| 31,0 – 32,2 | прашина, смеђа до смеђесива, са ситнозрним до средњозрним песком, (компактан узорак); |
| 32,2 – 32,5 | без узорка у сандуку; |
| 32,5 – 34,0 | прашина, сива до сивоплава, интеркалирана са гранулама шљунка свих гранулација; |
| 34,0 – 35,0 | песак, ситнозрн, светлосив, са прашином, спорадично са гранулама шљунка: |
| 35,0 – 35,6 | прашина, светлосива, интеркалирана са гранулама шљунка; |
| 35,6 – 36,2 | без узорка у сандуку; |
| 36,2 – 37,7 | песак, ситнозрн, светлосив до смеђесив, са прашином, спорадично са облутцима и гранулама шљунка: |
| 37,7 – 39,0 | глина (прашина), сива, прожета хидроксидима гвожђа, скрамом мангана и карбонатним талогом; |
| 39,0 – 39,7 | без узорка у сандуку; |
| 39,7 – 51,0 | глина (прашина), сива до сивоплава, лапоровита, местимично са литификованим карбонатним талогом; ~70 % језгра у сандуку; |

На основу запажених карактеристика при картирању језгра бушотина узети су репрезентативни узорци тла за потребе дефинисања гранулометријског састава. Узета су укупно 42 узорка.

Због тога што још два пијезометра, Rb-6/p-1 и Rb-6/p-2, са Rb-6/p-5d чине батерију пијезометара, уграђена је пијезометарска конструкција од PVC материјала, следећих карактеристика:

| | |
|---|---|
| +0,72 - -7,50 m | надфилтерски део, пуна PVC цев, Ø75 mm; |
| -7,50 - -8,50 m | филтерска конструкција, перфорирана PVC цев, Ø75 mm, са отвором 10 mm, у шах распореду, обложена PVC ситом са отворима 0,5/0,5 mm; |
| -8,50 - -9,50 m | таложник, пуна PVC цев, Ø75 mm. |

У интервалу од -51,00 m све до површине терена приликом вађења обложне колоне простор између пијезометарске конструкције и зида бушотине запуњен је материјалом издани. На површини терена око пијезометарске цеви уграђен је бетонски блок димензија 0,50 x 0,50 m, у интервалу од -0,50 до +0,20 m, који служи као заштита од механичких оштећења. У средини бетонског блока, постављена је заштитна PVC цев Ø300 mm, у интервалу -0,50 до +0,60 m. Простор између заштитне PVC цеви и надфилтерске PVC цеви је испуњен бетоном, и уграђена је заштитна пијезометарска капа са кључем.

**Слика 109.** Пијезометар Rb-6/p-5d

**Табела 33.** Резултати геодетског снимања пијезометра Rb-6/p-5d

| Пијезометар | Y [m] | X [m] | Кота терена [m н.м.] | Кота уста цеви [m н.м.] |
|---|---|---|---|---|
| Rb-6/p-5d | 7449261,67 | 4958328,16 | 73,45 | 74,17 |

**Теренска и лабораторијска палеонтолошка испитивања**

У бушотини су набушене квартарне наслаге – полициклични речни седименти старијег плеистоцена и савремене алувијалне наслаге Саве. Претпостављена граница између старих плеистоцених и савремених речних наслага је на 12,20 m, због појаве индексног фосила *Corbicula fluminalis* у литолошкој јединици чија је повлата на 12,20 m дубине. Уз опсервацију и идентификацију фосилних остатака приликом теренског картирања, материјал из интервала узоркованих за гранулометријску анализу је такође палеонтолошки анализиран, при чему се дошло до следећих резултата:

8,50-9,00 m

*Dreissena polymorpha, Lithoglyphus naticoides, Microcolpia daudebartii acicularis, Esperiana esperi, Viviparus acerosus, Theodoxus danubialis, Unio sp.;*

14,5-14,7m

*Corbicula fluminalis (juvenilna forma)*;

17,3-17,5m

*Amphimelania holandri, Litoglyphus naticoides, Theodoxus danubialis, Theodoxus transversalis, Pisidium amnicum, Unio crassus, pretaložena Congeria czizeki gornjomiocenske starosti (gornji panon);*

22,3-22,5m

*Viviparus boeckhi, Litoglyphus fuscus, Planorbis planorbis sa grbicom, Unio crassus;*

26,8-27,0m

*Viviparus boeckhi.*

**Минералошке, седиментолошко-петролошке и геохемијске анализе**

За потребе израде минералошких, седиментолошко-петролошких и геохемијских анализа узета су четири узорка са дубинских интервала 9,00 – 9,20 m, 16,50 – 17,00 m, 22,60 – 23,00 m и 26,30 – 26,70 m. Интервали су одабрани тако да припадају различитим циклусима седиментације, да су у водоносним слојевима и да је један узет приближно са нивоа дренова. Минералошке и седиментолошко-петролошке анализе су рађене на Геолошком одсеку Рударско-геолошког факултета у Београду, Департман за минералогију, кристалографију, петрологију и геохемију, у лабораторији за седиментологију на Катедри за петрологију и геохемију, док је део минералошких анализа рађен у лабораторији за рудну микроскопију.

### Датирање седимента методама стимулисане луминисценције и магнетостратиграфије

Узети су узорци за датирање методама стимулисане луминисценције према поступку описаном у подпоглављу 8.1.5, у табели 34. су дати интервали који су узорковани:

**Табела 34.** Узорци за датирање методама стимулисане луминисценције – Rb-6/p-5d

| Број узорка | Дубински интервал [m] |
|---|---|
| 1 | 9,30 – 9,60 |
| 2 | 16,00 – 16,50 |
| 3 | 22,20 – 22,60 |
| 4 | 27,00 – 27,30 |
| 5 | 35,90 – 36,30 |

Узети су узорци за датирање методама магнетостратиграфије према поступку описаном у подпоглављу 8.1.5, у табели 35. су дати интервали који су узорковани (дебљим фонтом су означени узорци који су послати на магнетна мерења).

**Табела 35.** Узорци за датирање методама магнетостратиграфије – Rb-6/p-5d

| Број узорка | Дубински интервал [m] |
|---|---|
| 1 | 18,10 – 18,40 |
| 2 | 18,40 – 18,70 |
| 3 | 27,35 – 27,65 |
| 4 | 27,65 – 27,85 |
| 5 | 28,65 – 29,00 |
| 6 | 30,30 – 30,55 |
| 7 | 30,55 – 30,80 |
| 8 | 31,45 – 31,70 |
| 9 | 32,25 – 32,50 |
| 10 | 33,00 – 33,30 |
| 11 | 33,90 – 34,20 |

| | |
|---|---|
| 12 | 35,60 – 35,90 |
| 13 | 38,15 – 38,50 |
| 14 | 38,80 – 39,20 |
| 15 | 39,20 – 39,50 |
| 16 | 39,75 – 40,00 |
| 17 | 40,30 – 40,60 |
| 18 | 40,90 – 41,30 |
| 19 | 41,55 – 42,30 |
| 20 | 42,30 – 42,55 |
| 21 | 43,10 – 43,40 |
| 22 | 43,70 – 44,00 |
| 23 | 44,00 – 44,30 |
| 24 | 44,30 – 44,60 |
| 25 | 44,80 – 45,10 |
| 26 | 45,70 – 46,00 |
| 27 | 46,35 – 46,60 |
| 28 | 47,40 – 47,70 |
| 29 | 49,40 – 49,80 |
| 30 | 50,40 – 50,60 |
| 31 | 50,90 – 51,20 |

**Лабораторијска испитивања подземних вода - хемијске и микробиолошке анализе**

Узорковање подземних вода за хемијске и микробиолошке анализе, као и *in situ* мерења извршени су 3.7.2017. Анализе воде су урађене у акредитованој Лабораторији за физичко-хемијско и микробиолошко испитивање воде Института за водопривреду “Јарослав Черни”, и у Лабораторији за хуману екологију и екотоксикологију Градског завода за јавно здравље (сулфиди) – табела 36. Поред Rb-6/p-5d, узоркована је подземна вода и из Rb-6/п-1 и Rb-6/п-2 који припадају истој батерији пијезометара.

**Табела 36.** Резултати *in situ* мерења, хемијских и микробиолошких анализа подземних вода

| **Објекат** | | **Rb-6/p-1** | **Rb-6/p-2** | **Rb-6/p-5d** |
|---|---|---|---|---|
| **ID узорка** | | 17-02- 220 | 17-02- 221 | 17-02- 222 |
| **Датум узорковања** | | 03.07.2017. | 03.07.2017. | 03.07.2017. |
| **Датум анализе** | | 04.07.2017. | 04.07.2017. | 04.07.2017. |
| **Параметар** | Јединица мере | Вредности | | |
| Температура воде | °C | 13,0 | 13,1 | 11,4 |
| pH | - | 7,66 | 7,60 | 7,64 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Специфична ел. проводљивост | μS/cm | 531 | 528 | 596 |
| Оксидо-редукциони потенцијал | mV | 115,0 | 165,4 | 140,0 |
| Садржај кисеоника | mg/l | <0,1 | 0,12 | 0,56 |
| Ук.раств.материје на 105°C | mg/l | 340 | 338 | 378 |
| Угљен-диоксид (CO2) | mg/l | 12,0 | 13,7 | 15,0 |
| Амонијум јон | mg/l | 0,14 | 0,05 | 0,31 |
| Нитрити | mg/l | <0,005 | <0,005 | <0,005 |
| Нитрати | mg/l | 0,57 | <0,05 | <0,05 |
| Укупан алкалитет | mg CaCO3/l | 224,0 | 223,0 | 269,0 |
| Бикарбонати | mg/l | 273,3 | 272,1 | 328,2 |
| Карбонати | mg/l | 0 | 0 | 0 |
| Хлориди | mg/l | 13,87 | 18,16 | 16,07 |
| Сулфати | mg/l | 44,14 | 40,10 | 31,52 |
| Сулфиди | mg/l | <0,04 | <0,04 | <0,04 |
| Силицијум | mg/l | 14,23 | 12,18 | 11,13 |
| Укупна тврдоћа | mg $CaCO_3$/l | 271,9 | 231,9 | 259,1 |
| Двовалентно гвожђе | mg/l | 2,36 | <0,1 | 0,17 |
| Гвожђе | mg/l | 2,49 | 0,06 | 0,21 |
| Манган | mg/l | 0,25 | 0,05 | 0,03 |
| Калцијум | mg/l | 83,94 | 71,34 | 79,75 |
| Магнезијум | mg/l | 15,12 | 13,06 | 14,57 |
| Натријум | mg/l | 7,15 | 7,87 | 7,88 |
| Калијум | mg/l | 0,70 | 0,77 | 0,73 |
| Арсен | μg/l | <20 | <20 | <20 |
| Цинк | μg/l | <2 | 8,3 | <2 |
| Кадмијум | μg/l | <2 | <2 | <2 |
| Никл | μg/l | 4,8 | <2 | 4,0 |
| TOC | mg/l | 0,93 | 0,76 | 2,05 |
| Микробиолошке BART анализе | | | | |
| IRB BART – гвожђевите бактерије | Дан реакције [TL] | 3 | | 4 |
| | Процена популације [p.a.c./ml] | 35,300 | | 8,820 |
| SRB BART – сулфат редукујуће бактерије | Дан реакције [TL] | 7 | | 3 |
| | Процена популације [p.a.c./ml] | 892 | | 115,000 |
| SLIM BART – слуз продукујуће бактерије | Дан реакције [TL] | 3 | | 3 |
| | Процена популације [p.a.c./ml] | 70,000 | | 70,000 |
| HAB BART – хетеротрофне бактерије | Дан реакције [TL] | 2 | | 2 |
| | Процена популације [p.a.c./ml] | 454,000 | | 454,000 |
| DN BART – денитрификационе бактерије | Дан реакције [TL] | | - | - |
| | Процена популације [p.a.c./ml] | - | | - |

## 11.2. Пијезометарско – структурна бушотина Rb-36/p-4d


**Слика 110.** Положај бунара Rb-36, пружање активних дренова и локације пијезометара

Радови на изради пијезометра Rb-36/p-4d са свим планираним радовима и активностима на терену извођени су у периоду од 31.05.2017. до 03.06.2017. и 22.07.2017. године. Бушење је изведено машинском гарнитуром, континуалним језгровањем уз форсирање обложне колоне до дубине бушења од 29 m, при чему је коришћена ротациона метода уз употребу сржне цеви од Ø128 mm до 3,80 m и Ø98 mm од 3,80 m до коначне дубине бушења од 61,20 m. Пречник истражног бушења тј. обложне колоне био је Ø128 mm до дубине бушења уз форсирање обложне колоне од 29,00 m, а Ø98 mm од 29,00 до 61,20 m. На основу запажених карактеристика при картирању језгра бушотине (табела 37), узети су репрезентативни узорци тла за потребе дефинисања гранулометријског састава. Узета су укупно 23 узорка.

**Табела 37.** Опис картираних јединица Rb-36/p-4d

| ДУБИНА [m] | ОПИС КАРТИРАНИХ ЛИТОЛОШКИХ ЈЕДИНИЦА (Rb-36/p-4d) |
|---|---|
| **0,0 – 2,0** | прашина (глина), смеђа, до 0,3 m растресита; |
| **2,0 – 5,7** | глина (прашина), мркосмеђа, спорадично прожета са хидроксидима гвожђа, скрамом мангана и карбонатним конкрецијама; |
| **5,7 – 8,5** | глина (прашина), смеђа до смеђесива, прожета хидроксидима гвожђа и скрамом мангана; |
| **8,5 – 10,4** | глина (прашина), сива, спорадично са мањим садржајем ситнозрног песка; |

| | |
|---|---|
| **10,4 – 11,7** | песак, ситнозрн до средњозрн, сив, са учесталим појавама ламина сиве глине (прашине); |
| **11,7- 13,0** | песак, ситнозрн до средњозрн, сивосмеђ, спорадично са мањим процентуалним учешћем прашине; |
| **13,0- 14,0** | прашина, смеђа, са песком ситнозрне гранулације; |
| **14,0- 16,5** | песак, ситнозрн, сив, спорадично са мањим садржајем прашине; |
| **16,5 – 17,0** | шљунак, свих гранулација, сив, са песком средњозрне до крупнозрне гранулације; |
| **17,0 – 18,4** | прашина, смеђесива, са ситнозрним песком, местимично са гранулама шљунка (облутцима); |
| **18,4 – 20,5** | песак, ситнозрн, сив, местимично са прашином и гранулама шљунка; |
| **20,5 – 21,4** | песак, средњозрн до ситнозрн, сивосмеђ, местимично са мањим садржајем прашине и кластитима шљунка; |
| **21,4 – 21,7** | прашина (глина), сивосмеђа, прожета скрамом мангана; |
| **21,7 – 24,0** | песак, ситнозрн до средњозрн, сивосмеђ, местимично са прашином и гранулама шљунка; |
| **24,0 – 25,0** | песак, средњозрн до ситнозрн, смеђ; |
| **25,0 – 26,3** | прашина (глина), смеђа; |
| **26,3- 30,0** | прашина (глина), смеђа, са мањим садржајем песка, ситнозрне гранулације, спорадично са гранулама шљунка; |
| **30.0 - 31.0** | прашина (глина), смеђа, са ситнозрним песком, знатно интеркалирана са гранулама шљунка и облутцима; |
| **31.0 - 33.0** | глина (прашина), мркосмеђа, спорадично са карбонатном скрамом (~80% узорка); |
| **33,0 – 37,5** | глина (прашина), смеђа до смеђесива, прожета хидроксидима гвожђа и карбонатном скрамом (~70% узорка); |
| **37,5 – 41,0** | глина (прашина), мркосмеђа, спорадично са карбонатном скрамом, од 39,3 m до 39,6 м смеђесива са хидроксидима гвожђа, (~80% узорка); |
| **41,0 – 42,0** | глина (прашина), смеђесива, прожета хидроксидима гвожђа (~40% узорка); |
| **42,0 – 43,0** | глина (прашина), мркосмеђа, спорадично са карбонатном скрамом; |
| **43,0 – 46,0** | глина (прашина), смеђесива до мркосмеђа, спорадично прожета са хидроксидима гвожђа (~70% узорка); |
| **46,0 – 48,0** | глина (прашина), сивосмеђа до сива, прожета са хидроксидима гвожђа и карбонатном скрамом (~70% узорка); |
| **48,0 – 51,5** | глина (прашина), сива, местимично прожета хидроксидима гвожђа и карбонатном скрамом (~70% узорка); |
| **51,5 – 53,5** | глина (прашина), смеђа до смеђесива, прожета са хидроксидима гвожђа (~70% узорка); |
| **53,5 – 58,0** | глина (прашина), сивозелена до сива, спорадично са гранулама шљунка (~70% узорка); |
| **58,0 – 60,0** | глина (прашина), сива, знатно интеркалирана са шљунком (40% узорка); |
| **60,0 – 61,2** | глина (прашина), сива, спорадично интеркалирана са гранулама шљунка, при крају интервала са ситнозрним песком, местимичмо прожета хидроксидима гвожђа (~80% узорка); |

Уграђена је пијезометарска конструкција од PVC-а, следећих карактеристика:

| | | | |
|---|---|---|---|
| +0,81 | - | -26,00 m | надфилтерски део, пуна PVC цев, Ø75 mm; |
| -26,00 | - | -27,00 m | филтерска конструкција, перфорирана PVC цев, Ø75 mm, са отвором 10 mm, у шах распореду, обложена PVC ситом са отворима 0,5/0,5 mm ; |
| -27,00 | - | -28,00 m | таложник, пуна PVC цев, Ø75 mm. |

У интервалу од -61,20 m све до површине терена приликом вађења обложне колоне простор између пијезометарске конструкције и зида бушотине запуњен је материјалом издани. На површини терена око пијезометарске цеви уграђен је бетонски блок димензија 0,50 x 0,50 m, у интервалу од -0,50 до +0,20 m, који служи као заштита од механичких оштећења. У средини бетонског блока, постављена је заштитна PVC цев Ø300 mm, у интервалу -0,50 до +0,60 m. Простор између заштитне PVC цеви и надфилтерске PVC цеви је испуњен бетоном, и уграђена је заштитна пијезометарска капа са кључем (слика 111).


**Слика 111.** Пијезометар Rb-36/p-4d

**Табела 38.** Резултати геодетског снимања пијезометра Rb-36/p-4d

| Пијезометар | Y [m] | X [m] | Кота терена [m н.м.] | Кота уста цеви [m н.м.] |
|---|---|---|---|---|
| Rb-36/p-4d | 7449520,07 | 4959342,93 | 73,80 | 74,61 |

### Теренска и лабораторијска палеонтолошка испитивања

У бушотини су набушене квартарне наслаге - полициклични речни седименти старијег плеистоцена и савремене алувијалне наслаге Саве. Претпостављена граница између старих плеистоценских и савремених речних наслага је процењена на око 13,0 m, због тога што литолошка јединица чија је повлата на 15,6 m дубине према резултатима картирања представља крај седиментационог циклуса. Уз опсервацију и идентификацију фосилних остатака приликом теренског картирања, материјал из интервала узоркованих за гранулометријску анализу је такође палеонтолошки анализиран, при чему се дошло до следећих резултата:

12,3-12,4m

*Lihoglyphus naticoides, Microcolpia daudebartii acicularis;*

19,7-19,9m

*Lithoglyphus naticoides* (veoma čest), *Microcolpia daudebartii acicularis, Unio crassus*;

20,0-20,3m

*Lithoglyphus naticoides;*

27,0-27,3m

*Viviparus boeckhi.*

## Минералошке, седиментолошко-петролошке и геохемијске анализе

За потребе израде минералошких, седиментолошко-петролошких и геохемијских анализа узета су два узорка са дубинских интервала 15,40 – 15,60 m и 24,40 – 24,60 m. Минералошке и део седиментолошко-петролошких анализа су рађени на Геолошком одсеку Рударско-геолошког факултета у Београду, Департман за за минералогију, кристалографију, петрологију и геохемију, у лабораторији за седиментологију на Катедри за петрологију и геохемију, док је део минералошких анализа рађен у лабораторији за рудну микроскопију. Део седиментолошко-петролошких, геохемијске и део минералошких анализа су рађени на Институту за испитивање материјала а.д. Београд у Централној лабораторији за испитивање материјала. Резултати су збирно приказани у табели 39.

**Табела 39.** Минералошки састав узорака из структурно-пијезометарске бушотине Rb-36/p-4d

| **Минерал** | **Хемијска формула минерала** | **Rb-36/p-4d (0,1<d<0,16 mm) 15,4-15,6 m [мас. %]** | **Rb-36/p-4d (0,1<d<0,16 mm) 24,4-24,6 [мас. %]** |
|---|---|---|---|
| хромит | $FeCr_2O_4$ | 0,12 | 0,08 |
| хематит | $Fe_2O_3$ | 0,24 | 0,23 |
| магнетит | $Fe_3O_4$ | 0,063 | 0,042 |
| лимонит | $FeO(OH)\cdot nH_2O$ | 0,293 | 0,000 |
| илменит | $FeTiO_3$ | 0,15 | 0,37 |
| рутил | $TiO_2$ | 0,1030 | 0,0363 |
| греигит (сулфид) | $FeS$ ili $Fe_3S_4$ | 0,0103 | 0,0196 |
| пирит | $FeS_2$ | 0,0040 | 0,0089 |
| гранат | $(Ca,Fe)_3(Al,Cr)_2(SiO_4)_3$ | 0,13 | 0,16 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| амфиболи (хорнбленда, тремолит) | $Ca_2(Mg, Fe^{II}, Mn, Al, Fe^{III})_5Si_6(Al, Fe^{III},Si)_2O_{22}(OH)_2$ | 0,11 | 0,05 |
| пироксени | (Ca,Mg,FeII)(Mg,FeII)Si2O6 | 0,49 | 0,89 |
| епидот | Ca2Al2(FeIII,Al)(SiO4)(Si2O7)O(OH) | 0,48 | 0,12 |
| биотит | $K(Mg,Fe^{II})_3AlSi_3O_{10}(F,OH)_2$ | 0,0028 | 0,0002 |
| хлорит | $(Mg,Fe^{II})_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2\cdot(Mg,Fe^{II})_3(OH)_6$ | 0,0004 | 0,0028 |
| одломци стена | | 0,36 | 0,28 |
| цоисит | $SiO_2$ | 0,0162 | 0,0025 |
| титанит | $CaTiSiO_5$ | 0,0056 | 0,0047 |
| дистен | $Al_2(SiO_4)O$ | 0,0081 | 0,0051 |
| андалузит | $Al_2SiO_5$ | 0,0046 | 0.0016 |
| апатит | $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$ | 0,0109 | 0,0051 |
| циркон | $ZrSiO_4$ | 0,0068 | 0,0063 |
| спинели | $MgAl_2O_4$ | 0,0029 | 0,0041 |
| карбонати (анкерит?) | $Ca(Fe^{II},Mg,Mn^{II})(CO_3)_2$ | 1,73 | 0,24 |
| обавијена зрна | | 0,083 | 0,014 |
| љуштуре | $CaCO_3$ | 0,008 | 0,002 |
| **тешка фракција укупно** | | 4,45 | 2,59 |
| кварц и кварцит | $SiO_2$ | 72,32 | 73,94 |
| калцит | $CaCO_3$ | 17,2 | 17,2 |
| доломит | $CaMg(CO_3)_2$ | 3,03 | 1,27 |
| фелдспат | $KAlSi_3O_8$ – $NaAlSi_3O_8$ – $CaAl_2Si_2O_8$ | 3 | 2 |
| фрагменти глинца и алевролита | | | |
| лискуни | $K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(F,OH)_2$ и $KAl_2(AlSi_3O_{10})(F,OH)_2$ | | |
| обавијена зрна | | | 3 |
| амфиболи/пироксени | | | |
| **лака фракција укупно** | | 95,55 | 97,41 |
| **Укупно** | | 100,00 | 100,00 |
| **Елемент** | | | |
| C | | 3,318 | 2,982 |
| O | | 47,719 | 47,810 |
| Na | | 0,018 | 0,058 |
| Mg | | 0,248 | 0,216 |
| Al | | 5,740 | 5,821 |
| Si | | 32,216 | 33,087 |
| P | | 0,194 | 0,194 |
| S | | 0,007 | 0,000 |
| Cl | | 0,000 | 0,000 |
| K | | 0,575 | 0,351 |
| Ca | | 7,604 | 7,590 |
| Sc | | 0,000 | 0,000 |
| Ti | | 0,169 | 0,240 |
| V | | 0,054 | 0,004 |
| Cr | | 0,124 | 0,189 |
| Mn | | 0,061 | 0,019 |
| Fe | | 1,953 | 1,440 |

**Датирање седимента методама стимулисане луминисценције и магнетостратиграфије**

Узети су узорци за датирање методама стимулисане луминисценције према поступку описаном у подпоглављу 8.1.5. У табели 40 су дати интервали који су узорковани:

**Табела 40.** Узорци за датирање методама стимулисане луминисценције – Rb-36/p-4d

| Број узорка | Дубински интервал [m] |
|---|---|
| 1 | 10,50 – 10,80 |
| 2 | 17,00 – 17,30 |
| 3 | 24,60 – 26,00 |

Узети су узорци за датирање методама магнетостратиграфије према поступку описаном у подпоглављу 8.1.5. У табели 41. су дати интервали који су узорковани.

**Табела 41.** Узорци за датирање методама магнетостратиграфије – Rb-36/p-4d

| Број узорка | Дубински интервал [m] |
|---|---|
| 1 | 31,00 – 31,15 |
| 2 | 31,75 – 32,00 |
| 3 | 32,00 – 32,25 |
| 4 | 33,0 0– 33,35 |
| 5 | 33,35 – 33,60 |
| 6 | 34,75 – 35,00 |
| 7 | 35,00 – 35,25 |
| 8 | 36,40 – 36,65 |
| 9 | 36,65 – 37,00 |
| 10 | 38,00 – 38,30 |
| 11 | 38,30 – 38,55 |
| 12 | 39,75 – 40,00 |
| 13 | 40,00 – 40,25 |
| 14 | 41,45 – 41,70 |
| 15 | 41,70 – 42,00 |
| 16 | 43,15 – 43,40 |
| 17 | 43,40 – 43,65 |
| 18 | 44,80 – 45,10 |
| 19 | 45,10 – 45,35 |
| 20 | 46,50 – 46,75 |
| 21 | 46,75 – 47,00 |
| 22 | 48,00 – 48,20 |
| 23 | 48,20 – 48,45 |
| 24 | 49,60 – 49,85 |
| 25 | 49,85 –50,10 |
| 26 | 51,30 – 51,55 |
| 27 | 51,55 – 51,80 |
| 28 | 53,15 – 53,40 |
| 29 | 53,40 – 53,65 |
| 30 | 54,80 – 55,05 |
| 31 | 55,05 – 55,30 |
| 32 | 56,50 – 56,75 |
| 33 | 56,75 – 57,00 |
| 34 | 58,30 – 58,55 |

| | |
|---|---|
| 35 | 58,55 – 58,80 |
| 36 | 59,50 – 59,75 |
| 37 | 59,75 –60,00 |
| 38 | 60,80 –61,00 |

**Лабораторијска испитивања подземних вода - хемијске и микробиолошке анализе**

Узорковање подземних вода за хемијске и микробиолошке анализе, као и *in situ* мерења извршени су 10.7.2017. Анализе воде су урађене у акредитованој Лабораторији за физичко-хемијско и микробиолошко испитивање воде Института за водопривреду "Јарослав Черни", и у Лабораторији за хуману екологију и екотоксикологију Градског завода за јавно здравље (сулфиди) – табела 42. Поред Rb-36/p-4d, узоркована је подземна вода и из Rb-36/p-4s, јер чини батерију пијезометара са Rb-36/p-4d.

**Табела 42.** Резултати *in situ* мерења, хемијских и микробиолошких анализа подземних вода

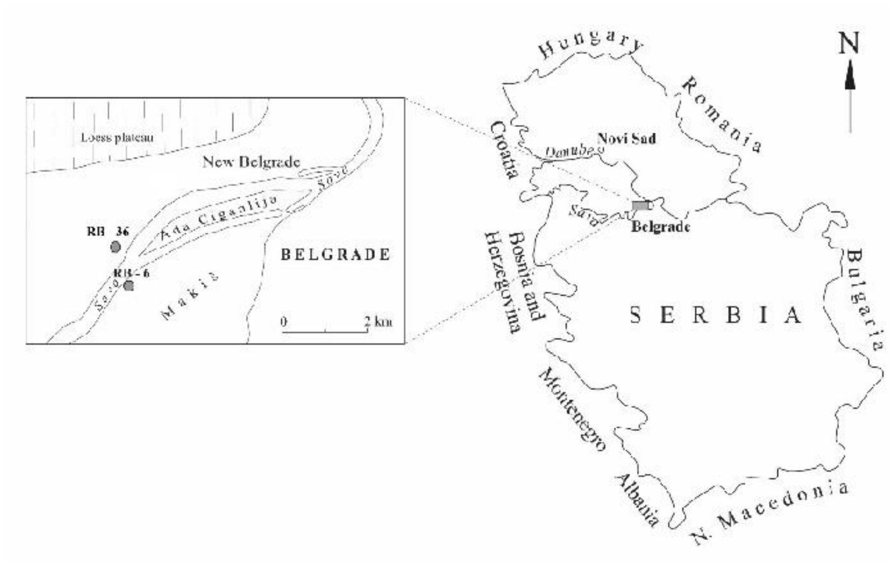
| **Назив узорка** | | **Rb-36/p-4s** | **Rb-36/p-4d** |
|---|---|---|---|
| **ID узорка** | | 17-02-229 | 17-02-230 |
| **Датум узорковања** | | 10.07.2017. | 10.07.2017. |
| **Датум анализе** | | 11.07.2017. | 11.07.2017. |
| **Параметар** | Јединица мере | Вредности | |
| Температура воде | °C | 13,9 | 14,1 |
| pH | - | 7,19 | 7,36 |
| Специфична ел.проводљивост | µS/cm | 764 | 837 |
| Оксидо-редукциони потенцијал | mV | 261,6 | 103,2 |
| Садржај кисеоника | mg/l | 4,76 | 0,64 |
| Укупно растворене материје на 105°C | mg/l | 501 | 521 |
| Угљен-диоксид ($CO_2$) | mg/l | 46,1 | 37,2 |
| Амонијум јон | mg/l | <0,02 | 0,58 |
| Нитрити | mg/l | <0,005 | <0,005 |
| Нитрати | mg/l | <0,05 | <0,05 |
| Укупан алкалитет | mg $CaCO_3$/l | 327,0 | 376,0 |
| Бикарбонати | mg/l | 398,9 | 458,7 |
| Карбонати | mg/l | 0 | 0 |
| Хлориди | mg/l | 18,06 | 17,27 |
| Сулфати | mg/l | 65,05 | 56,97 |
| Сулфиди | mg/l | <0,04 | <0,04 |
| Силицијум | mg/l | 13,5 | 18,8 |
| Укупна тврдоћа | mg $CaCO_3$/l | 347,3 | 373,9 |
| Двовалентно гвожђе | mg/l | 0,49 | 5,36 |
| Гвожђе | mg/l | 0,50 | 5,40 |
| Манган | mg/l | <0,005 | 0,65 |
| Калцијум | mg/l | 111,49 | 113,67 |
| Магнезијум | mg/l | 16,74 | 21,87 |
| Натријум | mg/l | 12,67 | 11,95 |
| Калијум | mg/l | 0,20 | 1,13 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Арсен | µg/l | <20 | <20 |
| Цинк | µg/l | <2 | <2 |
| Кадмијум | µg/l | <2 | <2 |
| Никл | µg/l | <2 | <2 |
| TOC | mg/l | 1,33 | 1,80 |
| Микробиолошке BART анализе | | | |
| IRB BART – Гвожђевите бактерије | Дан кракције [TL] | 3 | 4 |
| | Процена популације [p.a.c./ml] | 35,300 | 8,820 |
| SRB BART – сулфат редукујуће бактерије | Дан кракције [TL] | 3 | 3 |
| | Процена популације [p.a.c./ml] | 115,000 | 115,000 |
| SLIM BART – слуз продукујуће бактерије | Дан кракције [TL] | 3 | 2 |
| | Процена популације [p.a.c./ml] | 70,000 | 632,000 |
| HAB BART – хетеротрофне бактерије | Дан кракције [TL] | 2 | 2 |
| | Процена популације [p.a.c./ml] | 454,000 | 454,000 |
| DN BART – денитрификационе бактерије | Дан кракције [TL] | 4 | 4 |
| | Процена популације [p.a.c./ml] | 2,410 | 2,140 |

# 12. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖНИХ РАДОВА НА ДВЕ ДУБОКЕ БУШОТИНЕ (Анализа резултата истражног бушења и лабораторијских испитивања)

## 12.1.Стратиграфски приказ слојева на локацијама две дубоке бушотине

У геолошкој грађи терена на Београдском изворишту на локацијама бушотина код Renney бунара Rb-6 и Rb-36 (слика 112), заступљени су неогени и квартарни седименти.




**Слика 112.** Локације бунара Rb-6 и Rb-36 (Зарић и др., 2019a)

Основу геолошког стуба овде чине миоценске наслаге које су набушене у бушотини Rb-6/p-5d. Другу по старости геолошку формацију овде чине језерско-барско-терестични седименти. Њој није прецизно дефинисана стратиграфска припадност, али је на основу суперпозиције издвојена као плио-плеистоцен, с обзиром да лежи преко слојева горњег миоцена а у подини плеистоценских речних полицикличних слојева. Млађи пакет седимената чине две квартарне формације речних наслага. Старију формацију обухватају плеистоценске речне полицикличне наслаге преко које дискордантно леже слојеви млађе, холоценске формације алувијалних наноса реке Саве.

**МИОЦЕН - панон ($M_3$)**

У бушотини Rb-6/p-5d. набушени су слојеви горњег миоцена панонског ката од дубине 40,6 m до њеног дна на око 45 m. Изграђени су од сивих масивних лапоровитих глина са честом микрофауном остракода, а местимично и са остацима љуштура макрофауне мекушаца (*Congeria banatica, Congeria cjzjeki, Limnocardium sp*.). У генетском погледу ово су седименти некадашњег сланкастог језера Панон, насталог након изолације Панонског морског басена у млађем миоцену. На већој дубини могу се очекивати и морскобракични седименти сарматског ката, представљени карбонатним комплексом кречњака, карбонатних и лапоровитих пешчара и лапораца.

У бушотини Rb-36/p-4d на левој обали Саве седименти панона залежу знатно дубље тако да нису набушени ни на дубини од изведених 61 m, тј. на око 12 m н.м. (мада се може претпоставити да је ту бушење завршено близу горње границе панона).

У бушотинама на левој обали Саве око Renney бунара Rb-44, (узводно од Renney бунара 36) набушене су панонске лапоровите глине на много мањим апсолутним висинама (око 44 m н.м.), одмах у подини плеистоценских полицикличних седимената. Овако неравномеран висински распоред панонских наслага последица је блоковске грађе миоценских творевина, који је иницирао нераван палеорељеф на коме је образована депозициона средина на прелазу плиоцена и плеистоцена и почетком плеистоцена.

**ПЛИО - ПЛЕИСТОЦЕН ($PlQ_1$)**

На истражном простору "Београдског изворишта" у обе проучене бушотине утврђено је да подину плеистоценских полицикличних алувијалних седимената чини формација недовољно проучених наслага које су млађе од горњомиоценских каспибракичних слојева. У литолошком погледу овде су заступљени различити слојеви шарених глина, смеђих, сивих, са честим оолитима и сочивима оксида гвожђа и мангана, конкреција калцијум карбоната, плавичастосивих глина, заглињених пескова и шљункова. У њима готово да нема фосила сем у изузетно ретким случајевима (барски пужеви родова *Limneus* и *Planorbis*). Раније су ове наслаге погрешно третиране као панонске или као "кора распадања панона" па им није придавана посебна пажња (Живковић, 1976). Данас знамо да је већина бушотина за Renney бунаре око леве и десне обале Саве на београдском изворишту завршавана у слојевима ове формације.

Претпоставља се да се овде ради о полигенетским барско-језерским и терестичним наслагама ствараним у старијем плеистоцену, могуће и у плиоцену. Дебљина ових творевина је веома неуједначена. Генерално она се увећава на левој обали Саве према Бежанијској коси где достиже дебљину и преко 100 m, а смањује у правцу обода Макиша по попречном профилу долине Саве. Тако је и у проучаваном делу терена где су на десној обали на Макишу у бушотини Rb-6/p-5d наслаге плио-плеистоцена откривене од дубине 27,3 m до границе са сивим лапорцима панона од око 40,5 m дубине (интервал између 46 и 33 m н.м.). Укупна дебљина плио-плеистоцена код Renney бунара Rb-6 износи око 13 m. У бушотини на левој обали Саве Rb-36/p-4d оне имају много већу дебљину и бушене су од дубине 31 m до њеног дна од око 61 m дубине (интервал између 42 и 12 m н.м.). Укупна дебљина језерско-барско-терестичких слојева овде је већа од 30 m.

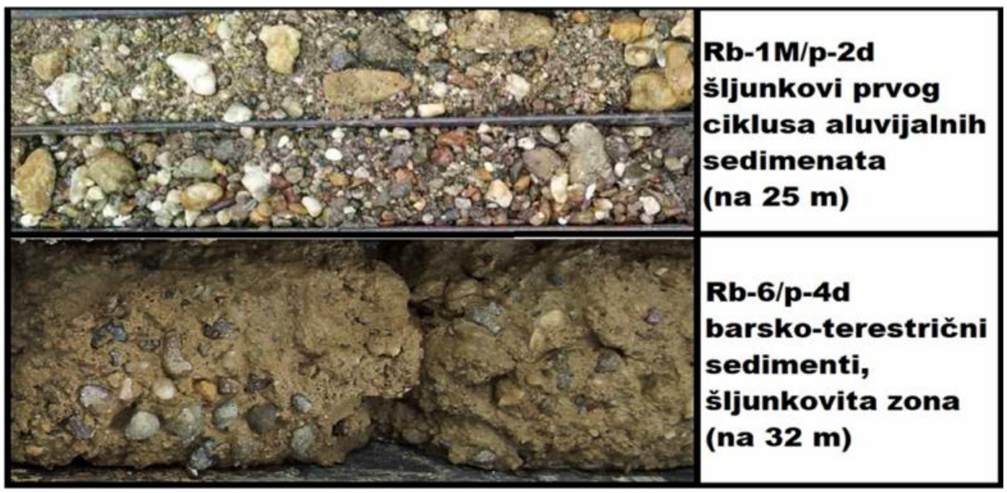
На основу података добијених при новијим истраживањима, дошло се до сазнања да је дебљина плио-плеистоцена неуједначена и по уздужном профилу. Као пример можемо навести податак да плио-плеистоценских слојева уопште нема око Renney бунара Rb-44, док идући низводно, бушењем се код Renney бунара Rb-36 нису откривени ни на дубини од 61 m (на око 12 m н.м.).

Ако се сагледају сви расположиви подаци о геолошкој формацији издвојеној под радним називом “плио-плеистоцен”, може се претпоставити следеће:

- Да је она настала у континенталној фази развоја током плиоцена и старијег плеистоцена, након престанка фазе развоја Панонског мора и сланкастог језера (у понту) из миоценске епохе.
- Да је у том геолошком времену под утицајем неотектонских покрета почело спуштања делова терена данашње Панонске низије, наспрам издизању делова терена на југу који данас припадају Шумадији и Балканском полуострву. Издизани делови терена на југу постају све до данас области денудације, док су тонући делови терена на северу, кроз део плиоцена и цео квартар, постале области језерско-барско-терестичне, а касније и речне седиментације. Најјачи и најдужи процеси релативног спуштања праћеног процесом седиментације

обављани су у теренима Бежанијске косе где је утврђена дебљина плио-плеистоценских седимената од преко 100 m.

- У теренима у долини Саве код београдског изворишта, стварани су плитководни басени стајаћих вода, језера и бара, који су повремено пресушивали. У њих су повремено у плувијалним периодима долазили пролувијални токови из издигнутих терена области денудације. С обзиром на променљиве услове седиментације депозити стварани у оваквим акватичним и семиакватичним срединама имају и променљив литолошки састав. Недостатак фосила указује на неповољне услове за развој организама, на могућу алкалну средину без довољно кисеоника и честе промене палеогеографских услова. Седиментација је овде обављана на неравном палеорељефу од миоценских наслага и вероватно је трајала у релативно дугом периоду када су се мењали и климатски услови старијих фаза леденог доба (најстарији глацијали и интерглацијали плеистоцена).




**Слика 113.** Алувијални седименти средњег плеистоцена (горе) и алувијални-барско-терестрични седименти старијег плеистоцена (доле)

Старији плеистоцен представљен је сменом хладних и топлих периода али, значајно мањих температурних разлика и мањег интензитета заглечеравања и отапања у односу на средњи плеистоцен. У овим условима егзистирали су широки, меандрирајући токови уплетених река који су на широком простору депоновали алувијални материјал и еродоване миоценске и старије наслаге са околних хипсометријски виших терена. На слици 113 приказана је разлика алувијалних седимената из фазе средњег плеистоцена, насталих радом бујичних токова, насталих брзим и интензивним отапањем ледника (горе) и алувијалних-барско-терестричних седимената (доле), депонованих током старијег плеистоцена у периоду интензивног тоњења ободних делова Панонског басена и егзистирања система широких, меандрирајућих, уплетених токова који су вршили принос и ерозију материјала са околних терена и депоновали их у забареним и замочвареним, спуштеним теренима у долини пра тока Саве. Честе појаве пукотина, прслина, дробина, конкреција калцијум карбоната, оксида мангана сведоче и о интензивном утицају постдијагенетских процеса, чак су могуће и појаве илувијалних процеса из хладних фаза плеистоцена.

С обзиром да наслаге геолошке формације издвојене под радним називом плио-плеистоцен чини већи део подлоге водоносних хоризоната на београдском изворишту, а досада им нико није придавао потребну пажњу, током ових истраживања установљено је да их треба боље истражити, посебно њихове седиментолошко-минералошке и геохемијске карактеристике.

Минералошки састав ових наслага набушених на Бежанијској коси (“Косовопројект”, Београд 1984) показује да добијени узорци шарених, мало шљунковитих глина из дубинског интервала 75-80 m, садрже зрна кварца, рожнаца, мезозојских и миоценских кречњака, серпентинита и др. У себи садрже оолите лимонита, гетита и магнетита, те криптокристаластог калцита. Оолити су елиптични и сферични, концентричне грађе измешани са монтморионитом. Седименти су без или са малим присуством калцијум карбоната (до 5,3%). Глиновита фракција представљена је монтморионитом и каолинитом. Садржај тешких минерала указује на присуство илменита и магнетита (12,9 – 39%), много ређе граната (2,0 – 12%), амфибола и пироксена, а хематита и лимонита у веома широком опсегу (1,0 – 38%). Садржај лаке минералне фракције указује на присуство преовлађујућег кварца (61 – 89%), ређе алтерисаних зрна (3,0 – 26%), фелдспата и мусковита (око 6,0%), те рожнаца (5,0%). Заобљеност стабилних минерала (турмалин, рутил, циркон, кварц, рожнац) могла би указати и на местимично дужи транспорт материјала.

**ПЛЕИСТОЦЕН ($Q_1$) - полициклични речни седименти, “слојеви са *Corbicula fluminalis*”**

У хидрогеолошком смислу, најважнији стратиграфски члан на подручју београдског изворишта, су седименти старије формације алувијалних наслага у долини Саве – формације полицикличних седимената плеистоцена, познатих и под називом “слојеви са *Corbicula fluminalis*”.

Ове наслаге су наталожене најчешће преко формације плио-плеистоцена као што је случај и у изведеним бушотинама око Renney бунара Рб-6 и Рб-36. Међутим негде леже и дискордантно преко миоценских седимената, најчешће панонских лапораца (као нпр. код Renney бунара Рб-44, Renney бунара Рб-1 код Старог сајмишта), али и сарматских кречњака (код новог Сајмишта) или баденских лајтовачких кречњака (код ушћа Саве у Дунав). У долини Саве преко плеистоценских алувијалних седимената дискордантно леже савремени алувијални наноси реке Саве, док у теренима Бежанијске косе и Горњег Земуна преко њих су наталожене творевине млађих одељака плеистоцена укључујући дебео пакет лесних наслага.

У стручној геолошкој литератури први их је описао Ласкарев (1938) дајући им првобитно назив “*Макишки слојеви*”, проучавајући их у старим бушотинама на Макишу. Касније их је издвајао и под именом “слојеви са *Corbicula fluminalis*”, по водећој врсти у фосилној фаунистичкој заједници. Под овим називом их описује касније и Стевановић (1977). Поменути аутори су сматрали да су ови слојеви настали као продукт речно-језерске седиментације у глацијалу миндел и већим делом у току интерглацијала миндел-рис. Касније, Ракић (1990; 1998) сматра да су то седименти некадашње велике реке са врло широком алувијалном равни. Еволуција те речне долине одвијала се, по геодиначком моделу развоја констративне фазе алувијалне седиментације, коју описује Shantzer (1951). То је најсложенији тип развоја алувијалне седиментације у теренима где се наизменично смењују утицаји ендогених сила (тектонско спуштање подлоге речне долине) са развојем егзогених процеса (речне ерозије и цикличним запуњавањем алувијалних седимената унутар речне долине). Ракић им даје назив *полициклични речни седименти*, и сматра на основу поређења са сличним седиментима у Украјини, да су вероватно настали у старијем плеистоцену.

Полициклични речни седименти плеистоцена откривени су у језгрима бушотина код Renney бунара, Rb-6 и Rb-36. У оба случаја подину им чине слојеви језерско-барско-терестичних наслага плио-плеистоцена. Доња граница према плио-плеистоцену је због нагле промене у литолошком саставу јасна и у бушотини на Макишу Rb-6/p-5d је на дубини од 27,3 m (око 46 m н.м.), док је у бушотини на левој обали Саве Rb-36/p-4d нижа и налази се на дубини од око 31 m (око 42 m н.м.). Горњу границу формације плеистоценских речних наслага према савременим алувијалним седиментима реке Саве често није лако утврдити због могућности њихове литолошке сличности и одсуства индех фосила. Овде су млађи хоризонти “слојева са *Corbicula fluminalis*“ увек еродовани, а старији слојеви савремених речних депозита могу да садрже шљунковиту компоненту, понекад преталожених из формације плеистоценских речних наслага. У бушотини Rb-6/p-5d, процењено је да се та граница налази на око 13,7 m дубине (на око 59 m н.м.), док је слична апсолутна кота границе и у бушотини Rb-36/p-4d, на дубини између 14 и 13 m дубине, односно 60 и 59 m н.м. Услед преталожавања седимената ове границе нису увек јасне и прецизно одређене.

Укупна дебљина сачуваних плеистоценских алувијалних наслага у бушотини на десној обали Саве на Макишу Rb-6/p-5d износи преко 15 m, а већа је на левој обали Саве у бушотини RB-36/p-4d, преко 17 m. Дебљина плеистоценских полицикличних речних седимената је већа на подручју лесне заравни на Бежанијској коси и горњем Земуну него у долини реке Саве (пошто ту нису еродовани њихови млађи хоризонти) достижу дебљину већу од 40 m.

У литолошком погледу формација плеистоценских алувијалних наслага истиче се присуством кластичних седимената: песковитих шљункова различите гранулације, који се смењују са шљунковитим песковима. Повремено се јављају прослојци ситнозрнијих седимената - алеврита и глина које означавају фазе развоја седимената поводња а некада и седимената старача и мртваја. Честе промене литолошких карактеристика у бочном и вертикалном смислу и појаве косе и укрштене слојевитости сведоче о променама правца речних струја и наизменичним смењивањем процеса ерозије и седиментације. Седиментација се одликује цикличним процесом акумулације (по правилу у једном циклусу се прво таложе грубљи кластити, па постепено ситнији). У појединим циклусима изостају неки чланови, најчешће поводањска фација (алеврита и глина) вероватно еродовани приликом таложења повлатног циклуса.

У београдском изворишту се унутар плеистоценских полицикличних речних наслага јавља и хоризонт алеврита и глина који на датом простору има регионално распрострањење. Он утиче на режим кретања подземних вода, а интерно је познат под називом "Јевремовићев слој". До сада је он утврђен на много места, али не и по целом простору. Може се претпоставити да је раније имао веће распрострањење, али да је на многим местима разорен каснијим процесима ерозије. Он се јавља на апсолутним висинама око 55-56 m н.м. Међутим на левој обали Саве с обзиром на природну појаву залегања слојева (падови слојева благо су оријентисани од обода ка средишту речне долине) "Јевремовићев слој" се може очекивати и на нешто нижим котама. У проученим бушотинама откривен је пакет алеврита и глина који би могао да буде део овог слоја. У бушотини Rb-6/p-5d на дубини 18,0 и 18,5 m (око 55 m н.м.) а у бушотини Rb-36/p-4d на дубини око 21,3 - 21,5 m (око 52 m н.м.). У генетском погледу овај слој је настао вероватно у фази тектонског мировања и већег запуњавања басена у режиму релативно сувље климе и мирне воде у поводањско-барским условима, при врло слабом протицају и дуготрајном мировању.

Специфична појава која је местимично присутна у плеистоценским речним слојевима су и плочасти прослојци калцијум карбоната или карбонатног пешчара, тзв. калкрити. Они могу да се јаве и као изоловани комади неправилног облика када су вероватно накнадно откинути и преталожени у речној депозиционој средини. На локацијама бушотина Rb-6/p-5d и Rb-36/p-4d нису регистровани калцификовани прослојци, нити одломци калкрита, али је на локацији бунара Rb-44 који се налази низводно од Rb-36 констатована појава више добро заобљених одломака калкрита (слика 114).

**Слика 114.** Калкрит пронађен на дубини од 11,1 m у бушотини Rb-44/p-1d (Фото Д. Миловановић, 2016.)

У петрографско-минералошком погледу у слојевима формације плеистоценских алувијалних наслага макроскопски се запажа доминантно присуство кварца. Поред тога веома су чести валутци црног и црвенкастог рожнаца, мезозојских пешчара и глинаца (најчешће су то преталожени фрагменти из формације остружничког флиша), мезозојских и сарматских кречњака, фелдспата, лискуна, ређе дијабаза, серпентинита и др. Такође су у проученим бушотинама запажени крупни фрагменти полузаобљених валутака од горњемиоценских лапораца, чак су нађени и преталожени остаци панонских фосила (конгерија).

За плеистоценске *слојеве са Corbicula fluminalis* карактеристично је да често садрже фосиле на основу којих је одређивана релативна старост и генеза седимената. Руководећи фосил је шкољка *Corbicula fluminalis* по коме су ове наслаге и добиле име. Други руководећи или индех фосил је врста изумрлог слатководног пужа *Viviparus boeckhi*, у старијој литератури је идентификован као *Viviparus diluvianus* (слика 115). Врло честа је и плеистоценска врста из фамилије униониде *Unio crassus*. Пратеће врсте иако врло честе, су врсте које и данас живе. Међу њима се истиче *Esperiana esperi*, *Microcolpia daudebartii acicularis, Litoglyphus naticoides, Litoglyphus fuscus, Theodoxus transversalis, Theodoxus danubialis, Amphimelania holandrii* (слатководни пужеви), *Pisidium amnicum, Dreissena polymorpha* i dr. (шкољке). У седиментима старијих одељака плеистоцена као индех фосили се узимају и неке фосилне врсте остракода као што су *Scottia browniana*, *Illiocypris* *gibba* али су оне ретке у кластичним седиментима какви су углавном распрострањени у београдском изворишту.


**Слика 115.** Масовна појаве *Viviparus boeckhi* на локацији бушотине Rb-1m/p-3d, на дубини од 26,7 m (Фото Ј. Зарић, 2017.)

У проученим бушотинама код Renney бунара Rb-6 і Rb-36 налажена је фосилна фауна мекушаца али је она веома неравномерно распоређена. У досадашњим проучавањима бушотина у београдском изворишту констатовано је да фосилна фауна може бити врло ретка а да некад може бити обилно присутна. Најчешће се јављају љуштуре врста *Litoglyphus naticoides* (у бушотини RB-36/p-4d нађен је и унутар "Јевремовићевог слоја" на 21,5m) *Litoglyphus fuscus*, *Microcolpia daudebartii acicularis*, *Esperiana esperi*, *Theodoxus transversalis*, *Theodoxus danubialis*, затим шкољке *Unio crassus* и *Pisidium amnicum*. Главни руководећи фосил шкољка *Corbicula fluminalis* и слатководни пуж *Viviparus boeckhi* могу да се јаве у свим деловима стратиграфског стуба који припада плеистоцену. Међутим *Viviparus boeckhi* се чешће појављује у старијем делу стуба када се може констатовати у великом броју. Пример масовне појаве *Viviparus boeckhi* регистрован је 2017. године приликом бушења на локацији Rb-1m. Ова појава регистрована је на локацији бушотине Rb-1m/p-3d, на дубини од 26,7 m. Треба напоменути да су у слојевима са *Corbicula fluminalis* више пута нађени и преталожени фосили из горњег миоцена представници родова *Congeria* и *Limnocardium*.

**ХОЛОЦЕН ($Q_2$)- савремени алувијални седименти реке Саве**

Млађа формација алувијалних насалага на београдском изворишту обухвата савремене речне наносе реке Саве. Она испуњава долину Саве и у свим деловима београдског изворишта покрива седименте старе алувијалне плеистоценске формације. Између ове две алувијалне квартарне формације постоји ерозиона дискординција пошто је река Сава усецала своје корито у подлогу од плеистоценских полицикличних алувијалних слојева.

У бушотини Rb-6/p-5d, процењено је, савремени алувијални седименти обухватају најмлађи део стратиграфског профила, од површине терена до дубине од око 13,7 m. У бушотини Rb-36/p-4d они убухватају интеравал од површине терена до дубине 13 до 14m.

Старији пакет алувијалних седимената реке Саве чине седименти фације корита, а млађе седименте фације поводња, местимично и старача.

Седименти фације корита изграђени су од пескова различите гранулације са малим прослојцима алеврита. У горњем делу су ситнозрни а у доњем су средњозрни. У најнижим хоризонтима, на граници са плеистоценом, они могу бити и шљунковити када често садрже преталожен материјал из слојева са *Corbicula fluminalis*. У њима се углавном јавља фауна која садржи облике који су живели и раније и у плеистоцену. У бушотини RB-6/p-5d у дубинском интервалу 8,5 до 9 m у сивим песковима констатована је богата фауна у оквиру које су идентификоване врсте *Lithtoglyphus naticoides, Dreissena polymorpha, Microcolpia daudebartii acicularis, Esperiana esperi, Viviparus acerosus, Theodoxus danubialis, Unio sp*.

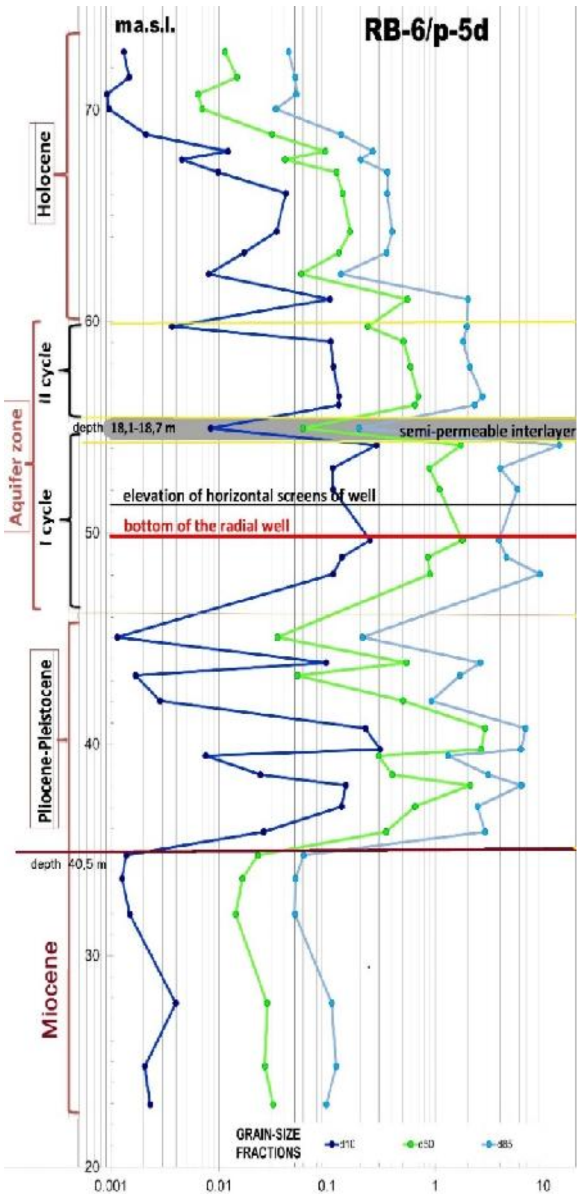
Млађи пакет савремених алувијалних наслага у проученим бушотинама представљају седименти поводња изграђених од заглињених ситнозрних пескова, смеђих и сивосмеђих алеврита и глина са врло ретком фауном. Седименти фације поводња имају већу дебљину у бушотини Rb-36/p-4d (присутни су до дубине око l0 m), а мању на Макишу у бушотини RB-6/p-5d где се јављају до дубине око 5,3m.

## 12.2. Резултати гранулометријских анализа

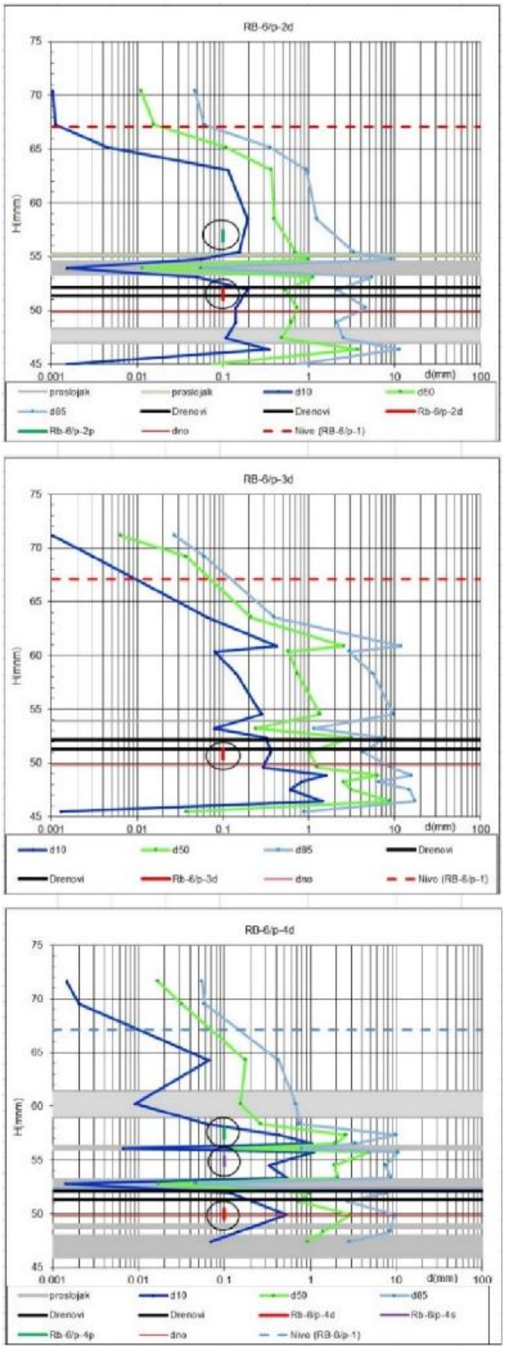
Издвајање циклуса алувијалне седиментације прво је извршено на основу резултата гранулометријских анализа.

Као што је већ наведено, узорковање језгра за гранулометријске анализе вршено је на свакој литолошкој промени или на сваких 0,5 метара у случају једнородних слојева веће дебљине. На графиконима дистрибуције фракција зрна по дубини бушотине приказани су карактеристични пречници $d_{10}$, $d_{50}$ и $d_{85}$ (слика 116) или $d_{10}$, $d_{15}$, $d_{20}$, $d_{50}$, $d_{60}$ и $d_{85}$ (слика 117).

На основу гранулације и сортирaности издвојени су прво седименти холоцена. Ова граница потврђена је упоредном анализом резултата картирања и палеонтолошких налаза уочених приликом картирања и узорковања језгра.




**Слика 116.** Дистрибуције фракција зрна карактеристичних пречника $d_{10}$, $d_{50}$ и $d_{85}$ по дубини дубоке бушотине Rb-6/p-5d (Зарић и др., 2019)

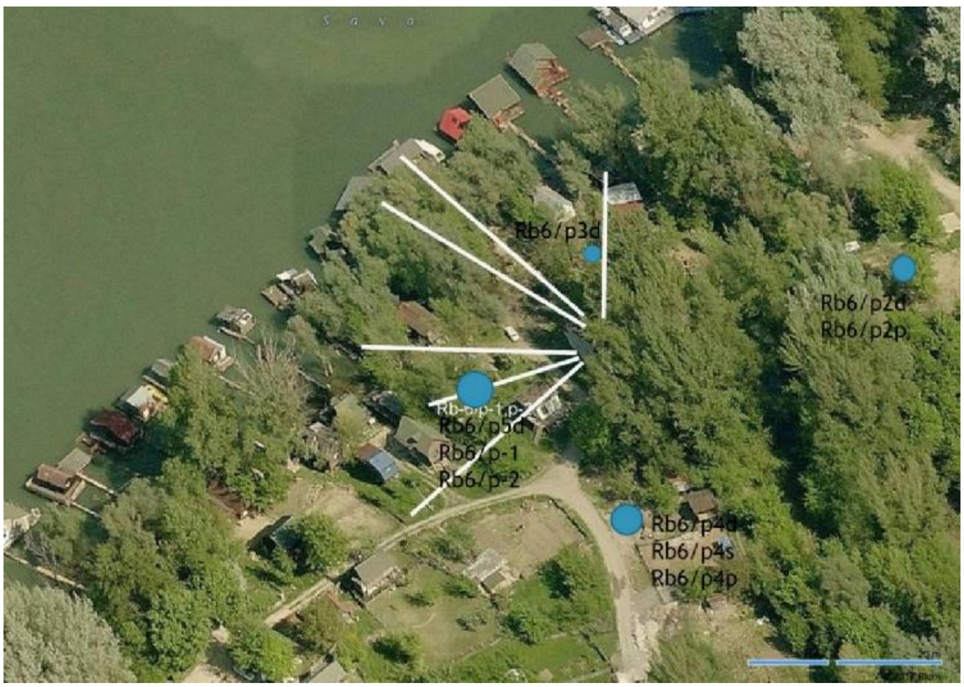



Седименти холоцена потом су раздвајани на седименте поводња и седименте корита који леже преко плеистоценских алувијалних наноса. У случају приказане бушотине Rb-6/p-5d прелаз је усвојен на 5,3 m дубине на коти 67,82 m n.m.

Плеистоценски седименти као главна изданска зона подељени су у два циклуса седиментације, које раздваја слој глина. Овај глиновити хоризонт регистрован је на великом делу изворишта као континуални слој посматрано у плану и јавља се око коте 55 m н.м. на левој обали изворишта. У случају локације бунара Rb-6 регистрован је на свим пијезметарским бушотинама израђеним током 2016. и 2017. године (слика 116). Дебљина му варира од пар центиметара на локацији бушотина Rb-6/p-3d и Rb-6/p-4d (слика 117), док се на локацији Rb-6/p-2d (слика 117) јавља у виду два прослојка, једног дебљег и једног врло танког.

**Слика 117.** Дистрибуције фракција зрна карактеристичних пречника $d_{10}$, $d_{50}$ и $d_{85}$ по дубини А) на бушотини Rb-6/p-2d, Б) на бушотини Rb-6/p-3d и Ц) на бушотини Rb-6/p-4d.

Иако се све пијезометарске бушотине на овој локацији налазе у радијусу од 50 m у односу на бунар извесне литолошке промене у стубу могуће су јер се конкретно бушотина Rb-6/p-2d налази са друге стране канала у односу на остале објекте на локацији (слика 118). Овај прослојак врло је битан са аспекта услова филтрације подземних вода, нарочито вертикалне компоненте. Овај услов средине је битан са аспекта анализе регионалних и локалних услова и потенцијалне и оптималне издашности бунара и при изради математичких модела. Постојање водонепропусног прослојка успорава или у потопуности онемогућава контакт и филтрацију између слојева два циклуса седимената у зони издани. Како би додатно биле утврђене карактеристике подземних вода у зони издани изнад и испод слабопропусног слоја израђене су батерије пијезометара са филтрима у зони старијег плеистоценског циклуса (дубоки пијезометри) и млађег плеистоценског циклуса (средњи пијезометри). Филтри плитких пијезометара уграђени су у зони холоценских седимената корита. На локацији Rb-6/p-5d постоје две батерије пијезометара које сачињавају плитки, средњи и дубоки пијезометар (слика 118).

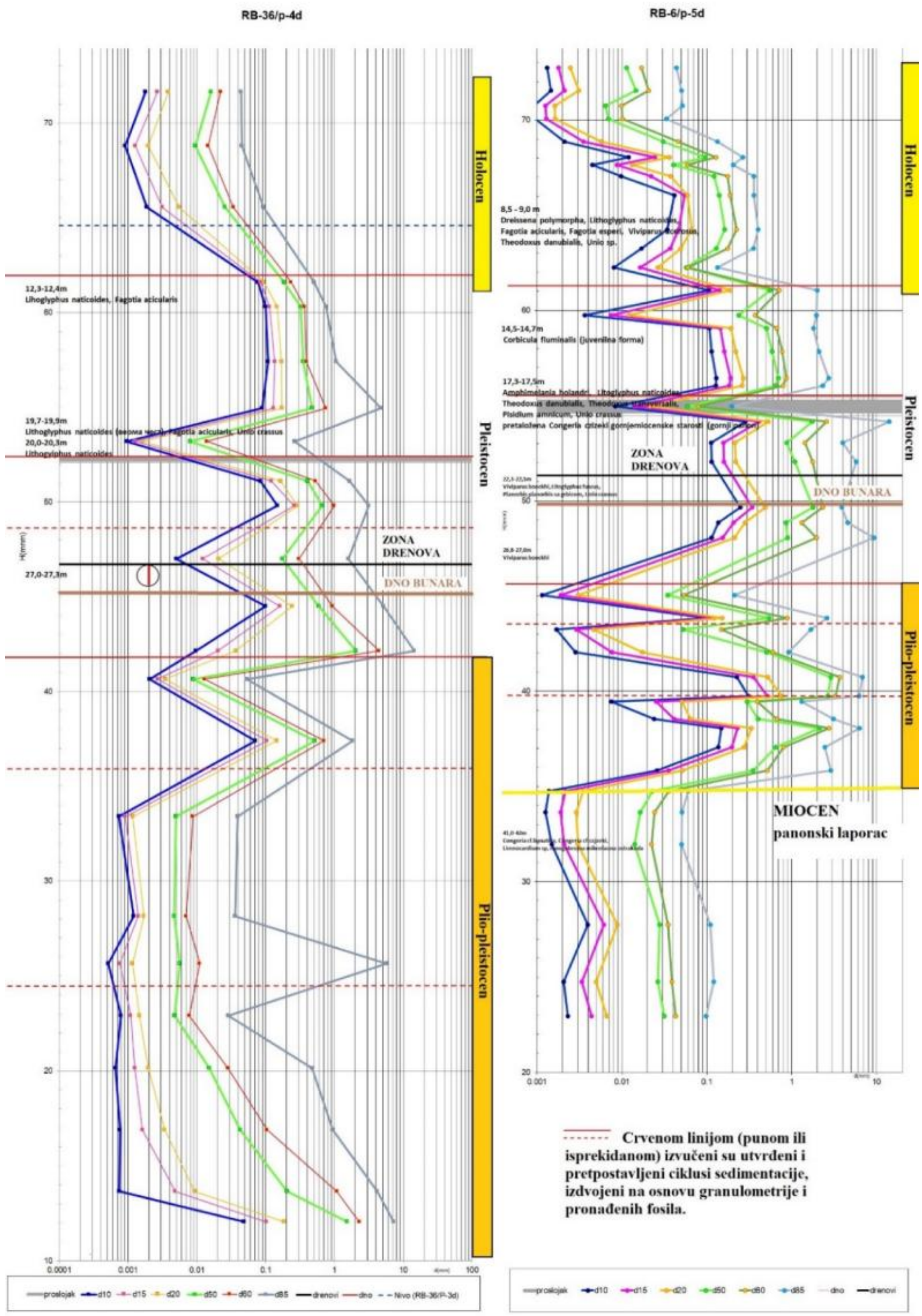



**Слика 118.** Позиција постојећих објеката на локацији Rb-6/p-5d

Доњи, старији циклус плеистоценске старости представља главну изданску зону у којој су утиснути хоризонтални дренови бунара. На слици 118 положај дренова у плану представљен је белим линијама, док је њихова позиција у профилу представљена на слици дистрибуцје гранулометријског састава по дубини бушотине (слика 119). Са слике 119 види се да је гранулација највећа управо у зони дренова, тј. испод слабопропусног глиновитог слоја. Једно од главних питања при интерпретацији услова седиментације је управо порекло шљунка овог слоја (циклуса) као главног и најиздашнијег изданског слоја. Тектонска активност имала је значајну улогу у погледу вишеструког спуштања обода панонског басена током плеистоцена, али крупнозрни материјал овог слоја у односу на остале циклусе указује на интензитет и снагу тока који је еродовао, а потом транспортовао шљунак у овом периоду плеистоцена. Принос материјала могао је бити вршен из разних праваца, од врло блиских формација такозваног београдског рта на десној обали Саве код њеног ушћа, преко приноса из правца ободних планинских терена колубарског басена, Фрушке горе, па све до удаљених Динарида Црне Горе и Босне посредством моћног тока реке Дрине. За овакав вид интерпретације потребно је узети у обзир и петролошке и минералошке карактеристике седимената. Гранулометријски састав и крупноћа материјала по циклусима седиментације свакако су прва индиција о интензитету заглечеравања, тачније отапања у периоду топлих фаза и при овим истраживањима представљали су први корак у дефинисању плеистоценских циклуса. У претходном поглављу дат је приказ њихове позиције у стратиграфском стубу, као и геолошка старост одређена према присутном индекс фосилу *Viviparus boeckhi*. Ревизија њихове позиције биће извршемна на основу резултата датирања и осталих анализа.

Изнад глиновитог прослојка (локално познатог под називом “Јевремовићев слој”) налази се циклус плеистоценских алувијалних творевина нешто ситније гранулације у односу на доњи хоризонт, а значајно већег пречника зрна у односу на повлатне холоценске седименте корита. Њихова хидроеолошка улога је свакако врло битна. У случају постојања слабопропусног слоја додатно је интересантно размотрити њихову везу са подземним водама доњег циклуса и хидрохемијске карактеристике подземних вода овог слоја, због чега су и уграђивани средњи пијезометри.

Подину плеистоценским водоносним хоризонтима на овој локацији представљају такозване шарене глине, које се због присуства оолита гвожђа и мангана дефинишу као барско-терестрични седименти. Досадашњим истраживањима нису детаљније анализиране њихове карактеристике у погледу лито-фацијалних промена, гранулометријског састава и дебљине слојева, с обзиром да нису сматране слојевима од велике важности са аспекта водоснабдевања.




**Слика 119.** Приказ гранулометрије на две дубоке бушотине са издвојеним седиментационим циклусима

Приликом пројектовања истражних радова 2017. управо из тог разлога израђене су две дубоке бушотине до њихове подине на локацији пијезометара Rb-6/p-5d

(Макишко поље) и Rb-36/p-4d (Доње поље, са Ново Београдске стране). Бушотина Rb-6/p-5d излази из ових седимената на 40,5 m дубине, док је бушотина Rb-36/p-4d остала у овим слојевима све до краја бушотине на 60-ом метру дубине. У доњем делу пакета плио-плеистоценских седимената, утврђене су зоне у којима се јавља значајно учешће крупног материјала (шљунковите фракције). Ова појава посебно је интересантна са аспекта механизма формирања ових слојева.

### 12.2.1. Избор методе бушења

Истражним бушењем на локацији бунара Rb-44, 2016. и 2017. године утврђено је да резултати гранулометријских анализа услед примене различитих метода бушења у великој мери међусобно одступају. Поставља се питање у којој мери то одступање утиче на резултате даљих истраживања при планирању и развоју изворишта, првенствено приликом израде математичких модела.

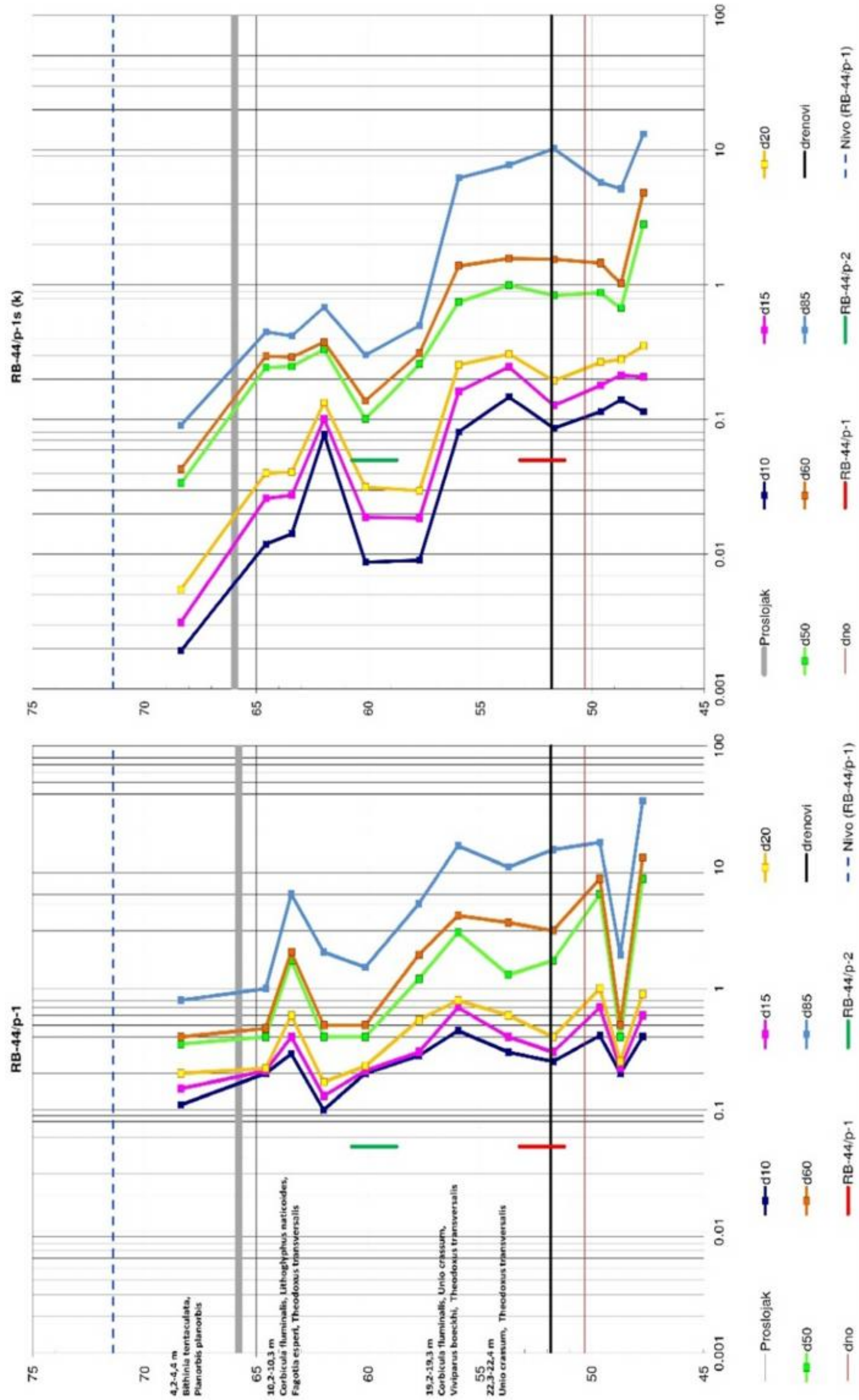
Услед примене различитих метода бушења при истражним радовима на локацији бунара са хоризонталним дреновима Rb-44 уочена је значајна разлика у погледу резултата гранулометријских анализа узорака језгра бушотина блиских пиојезометара Rb-44/p1 (дубоки пијезометар из 2016) и Rb-44/p-1s (средњег пијезометра из 2017, који је израђен као контролна бушотина). Контролна бушотина Rb-44/p-1s израђена је у циљу узорковања и израде гранулометријских анализа по интервалима рађеним за пијезометар Rb-44/p1 како би било утврђено колики се проценат фине фракције у оквиру шљунковитог слоја губи при бушењу методом вентил кашиком у односу на бушење применом сржне цеви.

Прва бушотина за дубоки пијезометар Rb-44/p1 израђена је 2016. године. Бушење је изведено машинском гарнитуром, континуалним језгровањем обложне колоне дуж целе дубине бушења при чему су комбиноване две методе бушења: ударна метода вентил кашиком (кроз растресите материјале) и ротациона метода уз употребу сврдла (кроз консолидоване материјале). Пречник истражног бушења био је Ø 146 mm до коначне дубине бушења од 27,00 m.

Радови на изради пијезометра Rb-44/p-1s изведени су у периоду од 21.04.2017. до 22.04.2017. године. Бушење је изведено машинском гарнитуром, континуалним језгровањем обложне колоне дуж целе дубине бушења ротационом методом уз употребу сржне цеви Ø 128 mm до 5,8 m и Ø 98 mm од 5,8 m до 28,5 m. Пречник истражног бушења тј. обложне колоне био је 127 mm до дубине од 28,20 m и 98 mm од 28,20 m до 28,5 m.

Упоредо са истражним бушењем вршено је и континуално праћење набушеног материјала, чиме су регистроване све литолошке промене. Картирање је вршено макроскопски са циљем да се утврде основне карактеристике тла, а пре свега литолошки састав и структура тла, како би били узети узорци тла из сваке литолошке промене (сваког слоја) за израду гранулометријских анализа. Из бушотине пијезометра Rb-44/p-1s узета су два сета узорака. Један сет узорака је узет према картирању набушеног језгра, на прелазима литолошких чланова, док је други (контролни) сет узет због поређења са резултатима гранулометријских анализа материјала набушеног при изради Rb-44/p-1 и Rb-44/p-2 (из 2016. године), који са Rb-44/p-1s чине батерију пијезометара (плитки, средњи и дубоки). Ово је урађено због тога да би се добио увид у разлике у гранулацији неконсолидованог материјала извађеног вентил-кашиком и сржном цеви.

Прикупљени узорци са локација бушења оба пијезометра (из 2016. и 2017. године) послати су на геомеханичку идентификацију у акредитовану лабораторију за геомеханику. Дефинисање гранулометријског састава седимената узетих из истражне бушотине приликом картирања језгра бушотина, извршена су у циљу допуне макроскопске класификације и одређивања основних идентификационо-класификационих карактеристика тла по геомеханичким критеријумима.




**Слика 120.** Упоредни дијаграми са приказом гранулометрије бушотина Rb 44/p-1 и Rb-44/p-1s на локацији бунара Рб-44 на левој обали Саве код Новог Београда (Зарић и др., 2018)

Резултати гранулометријских анализа приказани су и анализирани на упоредним дијаграмима (слика 120). На слици 120 уочава се да је генерални тренд свих гранулометријских кривих на бушотини Rb-44/p-1 у односу на бушотину Rb-44/p-1s померен више ка ситнозрнијој фракцији. Ово одступање је најуочљивије у делу криве која представља слојеве ситније гранулације, холоценских седимената и пескова за које се по њиховој суперпозицији у профилу претпоставља да припадају млађем плеистоцену. У зони дренова, која је литолошки представљена слојевима плеистоценских шљункова и песковитих шљункова, такође је уочљиво померање кривих ка ситнозрној фракцији. Повишено присуство ситније фракције дуж целог профила доводи до јасније изражености слојева холоценске, а нарочито плеистоценске старости.

Финозрна фракција у оквиру каптираног шљунковито-песковитог слоја има значајну улогу у погледу кинетике и равнотеже физичко-хемијских и биохемијских процеса који се одвијају у издани, а који доводе до старења бунара и опадања капацитета. Из тог разлога при истражном бушењу за потребе дефинисања услова средине локација бунара, или за потребе математичког моделирања при изради хидрогеолошких, пре свега хидродинамичких модела средине, предлаже се бушења ротационом методом уз употребу сржне цеви како неби дошло до губитка одређених фракција седимента.

## 12.3. Порекло и дистрибуција Fe у алувијалним седиментима

### 12.3.1. Порекло гвожђа

Гвожђевите седментне стене садрже 15% или више гвожђа. Садржај гвожђа у овим стенама доста варира, а садрже гвожђевите минерале из групе оксида (лимонит, хематит и магнетит), карбоната (сидерит) и силиката (глауконит). Гвожђевити седименти су често прослојени кречњацима, алевритима и ситнозрним пешчарима. Обично су невезани и добро сортирани, али могу бити и грубо везани седимент. Најчешће нису услојени и могу да садрже оолите. Дисконтинуални слојеви, не дебљи од пар метара, представљају творевине настале радом ветра или токова. Састоје се од нешто крупнијих кластера и финозрног матрикса.

Зависно од депозиционе средине издвајају се 4 типа фација седиментних стена богатих гвожђевитим минералима. Оксидна фација таложи се у оксичним срединама, силикати и карбонати у прелазним редох условима, док се сулфиди депонују у потпуно редукционим (анаеробним) условима.

Двовалентно Fe је заступљено у глинама, карбонатима, сулфидима, чак и у фелдспатима у малим количинама. Двовалентно Fe се у контакту са водом оксидује, због присуства раствореног кисеоника у води. Оксидација може бити хемијска или биохемијска. Приликом оксидације стене добијају карактеристичну црвену боју, по којој их најчешће и препознајемо. Тровалентно Fe је стабилно.

Феро и фери гвожђе је компонента многих минерала, посебно пешчара. $Fe^{2+}$ se налази у глинама, карбонатима, сулфидима и у малим количинама у фелдспатима, док се $Fe^{3+}$ налази у оксидима, хидридима, анхидридима и глауконитима. Оксидација гвожђа (хемијска или биохемијска) је најчешће последица реакције између површинскх вода богатих кисеоником и минерала.

Гвожђевите седиментне стене настају латеритизацијом. То је процес формирања тла који се јавља у топлим и влажним условима.

У подножју Фрушке горе старији нивои квартарних творевина представљени су пролувијално-делувијалним наслагама, генетски везаним за падине фрушкогорског масива. Створене су истовремено са иницијалном речном фазом у ободним деловима речног басена, на падинама подложним спирању. У овим теренима одвијали су се процеси латеритизације.

Земљишта формирана латеритизацијом доста су измењена под утицајем временских услова, имају висок садржај Fe и алуминијум оксида. Оваквим процесима настаје гетит, који може бити извор Fe u седиментима. Када је депонован долази до његове дехидратације и успостављања равнотеже са хематитом ($2HFeO_2 \rightarrow Fe_2O_3 + H_2O$). Пирит може настати седиментним процесима у редукционим условима најчешће у глинама.

Главни извори минералошке потрошње кисеоника у засићеној зони аквифера су јони двовалентног гвожђа и дисулфид из пирита. Јони двовалентног гвожђа углавном потичу из оксидацијом разложеног пирита, сидерита и редукцијом растворених минерала тровалентног гвожђа (хидратисани фери-оксихидроксид, лепидокрокит, гетит, хематит, лимонит). При оксидацији пирита за добијање једног мола тровалентног гвожђа се троши 15/4 мола молекулског кисеоника. При оксидацији јона двовалентног гвожђа за добијање једног мола тровалентног гвожђа се троши 1/4 мола молекулског кисеоника. Због тога пирит доминира према потрошњи кисеоника. Пирит и многи други минерали могу бити теригени и аутигени. Пирит на пример може бити нанет седиментацијом а може се и исталожити у редуктивној средини у којој је дошло до редукције сулфата и повећања концентрације сулфида и двовалентног гвожђа у подземној води. Гвожђе може потицати и из воде која прихрањује аквифер.

У речним токовима гвожђе се налази у тровалентном облику гвожђа (због оксичних услова), а може бити суспендовано, колоидно и растворено. Светски просек збирне концентрације сва три облика гвожђа у речним токовима је 0,67 mg/dm$^3$. Суспендовано гвожђе се таложи и ресуспендује у кориту реке у зависности од брзине тока. У муљем прекривеним слојевима седимента може доћи до редукције у двовалентни облик гвожђа.

Потрошња кисеоника на оксидацију органске материје и продуката њеног распадања се мења током године. У хладним месецима су брзине хемијских и биохемијских процеса мање, продукција биомасе смањена а растворљивост кисеоника у води повећана. То доводи до померања границе оксичне зоне даље од зоне прихрањивања оксичном водом ка унутрашњости аквифера.  Том приликом долази до оксидације пирита и двовалентног гвожђа адсорбованог на хидратисаном фери-оксихидроксиду и другим минералима гвожђа и потрошње кисеоника, као и практично квантитативног таложења хидратисаног фери-оксихидроксида на материјалу аквифера или у виду суспендованих честица.

Касније кад се услови промене и интензивира се потрошња кисеоника на оксидацију органске материје и продуката њеног распадања, у раније субоксичној и оксичној зони аквифера се успостављају редуктивни услови и због тога долази до редуктивног растварања минерала тровалентног гвожђа на спољашњој граници зоне са редуктивним условима, а унутар те зоне до истовременог редуктивног растварања минерала тровалентног гвожђа и адсорпције двовалентног гвожђа. Највећи део површине минерала тровалентног гвожђа неће бити прекривен адсорбованим јонима двовалентног гвожђа чак и при његовим масеним концентрацијама блиским 4 mg/dm$^3$ тако да ће редуктивно растварање минерала тровалентног гвожђа моћи да се неометано одвија, али ће адсорпција бити много бржи процес. На цикличном смењивању процеса адсорпције двовалентног гвожђа и његове оксидације се заснива и подземно одстрањивање гвожђа (subsurface iron removal - SIR).

Брзина оксидације двовалентног гвожђа у раствору а посебно на граници фаза је брз процес (бржи од разлагања пирита) и при ниским концентрацијама кисеоника, што значи да значајне концентрације двовалентног гвожђа у води могу постојати само у одсуству кисеоника или кратко време након уношења кисеоника у систем. Због тога двовалентно гвожђе у води која се црпи из аквифера мора потицати из минерала двовалентног гвожђа, редуктивно растворених минерала тровалентног гвожђа и из адсорбованих јона двовалентног гвожђа.

### 12.3.2. Дистрибуција гвожђа по слојевима

Раније изведена истраживања указала су на још један аспект појаве гвожђа и то на повишен садржај гвожђа у наслагама (колматацијама) које запуњавају перфорације на филтерској конструкцији. Из тог разлога урађена је и додатна анализа садржаја гвожђа у појединим литолошким члановима као и дистрибуција садржаја гвожђа по литолошком стубу, као потенцијалног узрочника стварања колматација на филтру бунара. Овом приликом извршено је скенирање портабилним XRF уређајем на спрашеном узорку укупног седимента (више фракција). На основу дефинисаних литолошких слојева као и боје седимената селектовани су узорци из свих литолошки специфичних интервала. Боја је узета као потенцијални индикатор садржаја гвожђа.

Ниво подземних вода регистрован је на 4,34 m електронским нивомером у бунару. На основу литолошког профила може се претпоставити да се изданска зона (коју каптира Ranney бунар Rb-6 у непосредној близини дубоке истражне бушотине Rb-6/p-5d) простире од око 12,2 m, до око 27 m. Издан је изграђена претежно од пескова различите гранулације који се наизменично смењују са шљунковима са повлатом коју чине глине поводња. Доња граница издани постављена је на 27 m, на прелазу у пакет глина који чине дубље литолошке чланове.

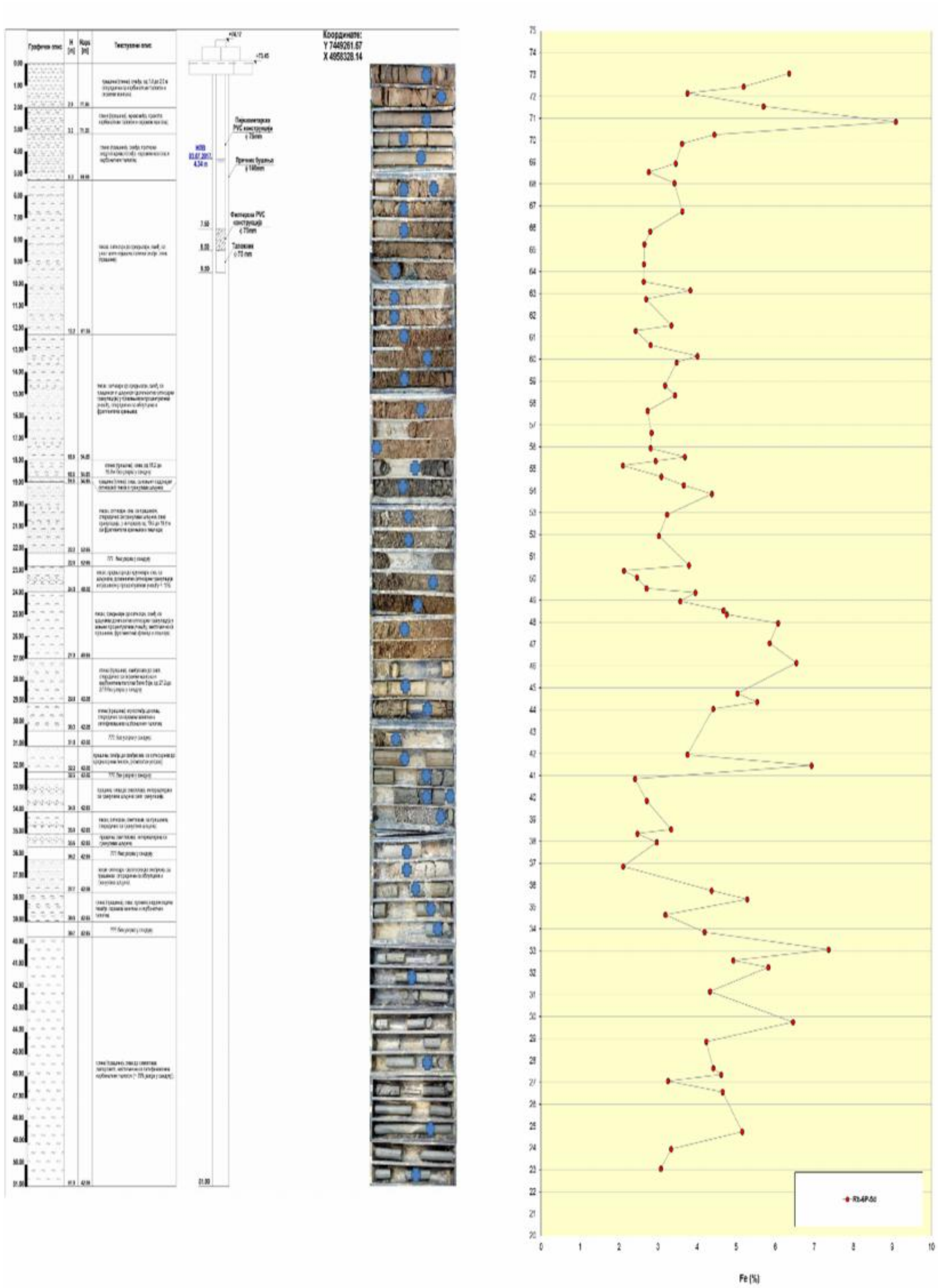
- Садржај гвожђа у водоносном интервалу издани варира у уском инервалу од 2 до 4,5 wt.% [17].

[17] weight percen (wt.%) – Рецимо да је цео узорак (целокупна маса узорка, спрашене стене или седимента) 1200 ppm Ba (тежинских) да би их претворили у тежинске проценте треба 1200 ppm поделити са 10000 ppm/% што износи 0,2 wt%

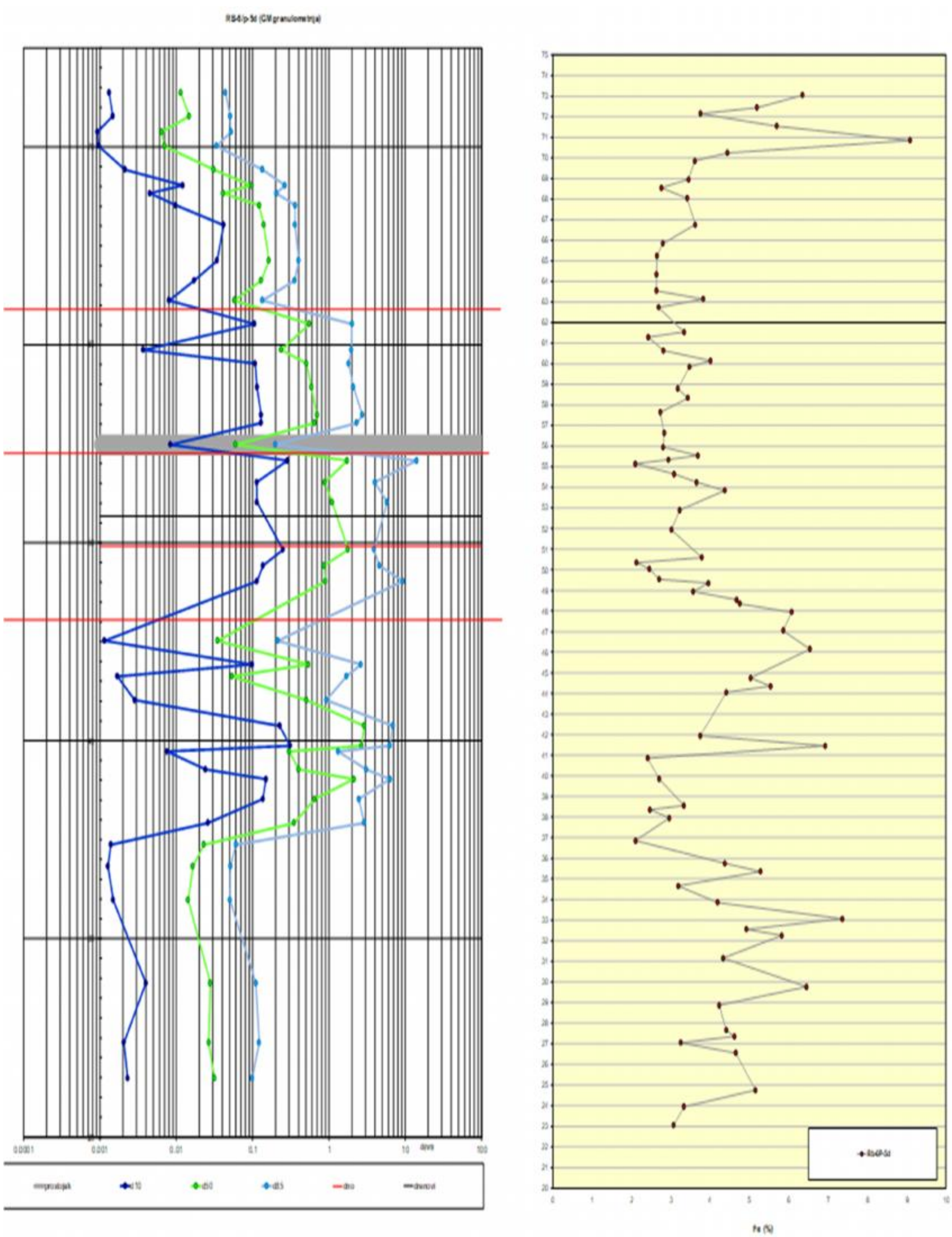
- Садржај гвожђа у глинама поводња који представљају повлату водоносних седименама (изнад нивоа подземних вода) је виши, и варира у интервалу од 3 до 9 wt.%, што се добро корелише са интензивније црвено-мрком бојом глина.
- Садржај гвожђа у подинским седиментима водоносних слојева (испод 27 метара), такође је знатно виши и варијабилан од 2 до око 7 wt.%.

На основу изнетог, може се закључити да су нижи садржаји гвожђа у интервалу издани, као и да варира у мањем опсегу у односу на подину и повлату, што вероватно указује да је гвожђе из овог интервала испрано/мигрирано подземним водама и процесима у току експлоатације издани као и да су седименти водоносног интервала извор гвожђа који је претрпео осиромашење у току експлоатације.

Извршена је упоредна анализа дистрибуције гранулометријског састава по дубини бушотине и садржаја гвожђа по дубини у укупном, спрашеном узорку тла (слика 122). Најситнија фракција, главни је носилац гвожђа и финозрна фракција у оквиру каптираног шљунковито-песковитог слоја има значајну улогу у погледу кинетике и равнотеже физичко-хемијских и биохемијских процеса који се одвијају у издани. Ови процеси су уједно и главни узрочник старења бунара и стварања колматација (описано у поглављу 7.4). Из тог разлога предвиђене су додатне анализе којима ће се утврдити садржај гвожђа у најфинијој фракцији седимента у оквиру каптираног слоја, као потенцијалног узрочника биохемијских процеса у прифилтарској зони. Поставља се питање да ли је гвожђе из водоносног хоризонта који се експлоатише испрано са честицама најситније фракције (које су носиоци Fe) или ће се анализом фине фракције у оквиру шљунковито песковитог каптираног слоја потврдити значајна заступљеност гвожђа везаног за најситније честице.




**Слика 121.** Графички приказ и литолошки опис језгра бушотине Rb-6/P-5d (лево), језгро бушотине Rb-6/P-5d са ознаком одакле су узети узорци језгра (у средини), дистрибуције садржаја гвожђа по дубини (десно) (Петронијевић, 2018)



**Слика 122.** Дистрибуција заступљености пречника зрна (лево), дистрибуције садржаја гвожђа (десно) по дубини бушотине Rb-6/P-5d (Петронијевић, 2018)

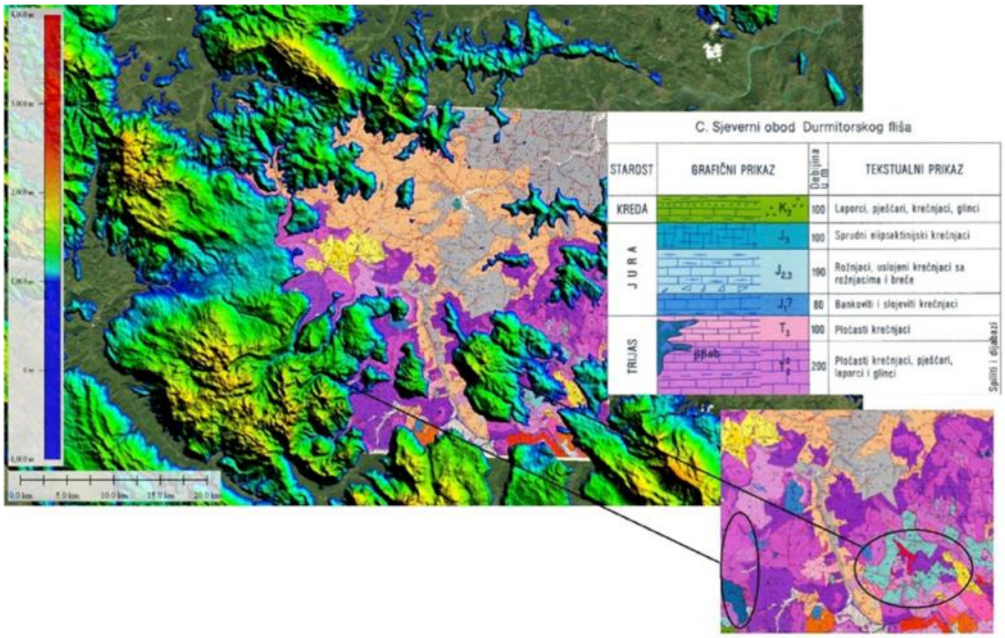
## 12.4. Резултати минералошких и петролошких анализа

На основу прелиминарне анализе приликом картирања алувијалних наслага долине Саве код Београда, запажено је да највећи садржај минералошко-петролошких компоненти у шљунку плеистоценских алувијалних слојева имају зрна кварца (преко 75%) и црвеног и црног рожнаца (од 5 до 7%), затим се уочава присуство валутака миоценских лапораца и кречњака, те мезозојских, најчешће кредних пешчара и глинаца, ређе серпентинита и валутака магматских стена (дијабаза, дацито-андезита, гранита итд.). Пошто су кварц и рожнаци по саставу силицујум диоксид општа им је особина да су врло отпорни на физичко и хемијско распадање. Због своје отпорности они су могли да претрпе транспорт из удаљених подручја и све облике климатских промена, те да у знатним количинама чине материјал који је формирао алувијалне, првенствено плеистоценске наслаге београдског изворишта. Управо високо учешће заобљених рожнаца, сведочи да су се матичне стене од којих потичу валуци ове минералне компоненте налазиле у удаљеним областима. Ако се сагледа регионално распрострањење геолошких творевина које садрже рожнац, види се да се оне налазе и у појасу простирања високих планина средње и источне Босне, северне Црне Горе и југозападне Србије. На слици 123 представљен је приказ једног од могућих праваца приноса рожнаца у Савски басен, из правца Динарида, под утицајем глацијација и формирањем пра-тока Дрине.

Ако покушамо да на основу познавања регионалне геолошке грађе слива реке Саве утврдимо порекло тј. правце приноса материјала, можемо навести следеће:

- Велика количина кварца и кварцита је могла да дође из различитих области, чак и веома удаљених, у прадолину Саве. Доста кварца вероватно потиче са Цера где је откривена велика дома гранитоида, богатих кварцом. Ова планина је у плеистоцену била велика област денудације, а кварц као чврста и хемијски отпорна компонента је у огромним количинама доспевала у прадолину Саве. Са Цера су дотицале и велике количине лискуна и фелдспата, много мање отпорних минерала. Повећано присуство микроклина у седиментима квартара на потезу Скела (источно) – Обреновац указује на порекло материјала са планине Цера и то са његове источне и северо-источне стране, где је познато појављивање гранита са микроклином.

- Фрагменти мезозојских и миоценских седимената потичу из околних терена из шумадијског побрђа, Посавине и обода колубарског басена, а мање са Фрушке горе.

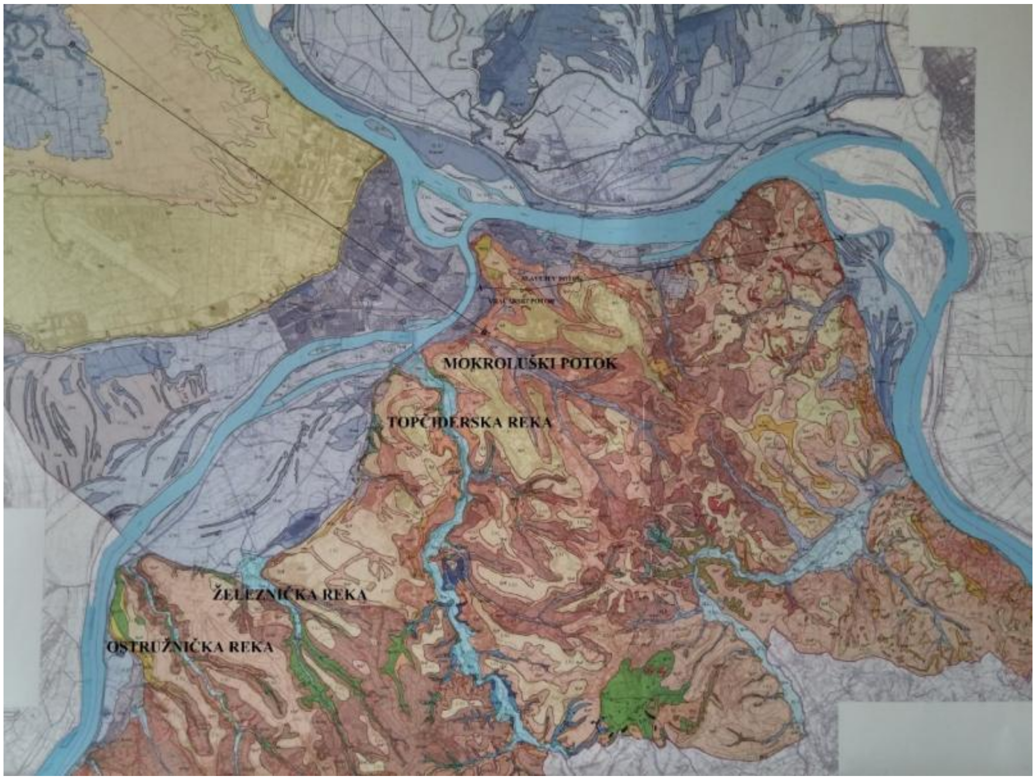



**Слика 123.** Сателитски снимак терена, преклопљен са геолошком картом и рељефом изнад 1000 мнм. Место где се сустичу реке Пива и Тара, градећи ток реке Дрине; десно – Сегмент OGK CG, лист Фоча, светло плавом бојом представљена је рожначка формација јурске старости, са карте се уочава да је ова формација еродована на левој обали која је хипсометријски виша од десне обале, где ова формација није у потпуности еродована, већ лежи преко тријаских творевина.

- Карактеристично је велико присуство рожнаца, друге по бројности минералошке компоненте у шљунковитим наносима слојева са *Corbicula fluminalis*. По хемијском саставу $SiO_2$ као и кварц, само у аморфном стању, рожнац је чврст и отпоран минерал, па се може сачувати у условима дуготрајног транспорта и преталожавања. Рожнаца има у околини Београда у околини Рипња и Рушња у сливу Топчидерске реке. Међутим, утврђено је да много рожнаца има и у плеистоценским речним седиментима узводно од ушћа Топчидерске реке у Саву. Због тога се извор веће количине овог чврстог и хемијски отпорног минерала, мора тражити у удаљеним областима од београдског изворишта. Такви су терени у тријаским и јурским дијабаз-рожначким формацијама у унутрашњим Динаридима у Босни, северној Црној Гори и западној Србији који припадају сливу Саве. За време хладнијих глацијалних епизода у плеистоцену масиви са дијабаз рожначким формацијама или формацијама кречњака са рожнацима, ових простора били су подвргнути глацијалним процесима. Морене и флувиоглацијални седименти у унутрашњим Динаридима морали су да садрже доста отргнутих фрагмената стена из ових формација. Фрагменти рожнаца и дијабаза су касније, доспевали у плеистоценске реке и преталожавани даље у басену прадолине Саве. Рожнаци су се као отпоран минерал сачували, док су се много мање отпорни фрагменти дијабаза и других стена, на путу до данашњег београдског изворишта углавном распали.

Поменуте творевине чине стене тријаске и јурске старости: вулканогено-седиментне формације (дијабаз-рожне), дубоководни седименти, као што су доломити и кречњаци са рожнацима и сл. Ледници формирани у тим теренима током плеистоцена разарали су матичне стене и одлагали их у глацијалним наносима. Касније су, у топлим фазама квартара, ти кластити даље транспортовани и одлагани у алувијалним наслагама притока Саве, затим поново преношени и додатно уситњавани све до свог одредишта у Београдском изворишту. Фрагменти стена и минералних компоненти који су мање отпорни на процесе физичко-хемијске деградације су се током дугог и сложеног процеса транспорта и преталожавања хемијски промениле или потпуно растуриле, па су и много мање заступљене у алувијалним формацијама у долини Саве.

Присуство мање отпорних дијабаза који су идентификовани приликом картирања језгра, при чему је њихово макроскопско распознавање јако отежано због изложености јаком утицају процеса физичко-хемијског распадања, указује да су приношени притокама из околних терена београдског изворишта. Приликом истраживања тешких минерала узорака фракције песка 0,1 - 0,16 mm регистрован је висок садржај одломака стена, што је уобичајено за кластичне седименате који се могу сматрати незрелим у смислу распадања (кратак транспорт и брза депозиција). То је својствено мањим алувијалним системима и пратећим фацијама, каквом би се могао сматрати ток Топчидерске реке (слика 124).




**Слика 124.** Геолошка карта са назначеним токовима потока и мањих река[18] ободног дела Београдског рта, као предиспонираних праваца приноса материјала и привилеговани правци кретања подземних вода

Одломци стена су констатовани практично у свим фракцијама. Дистрибуција одломака стена по магнетичним фракцијма зависи од количине магнетичних минерала које носе. У оквиру одломака стена препознати су одломци метаморфита, серпентинита и кластита.  Такође висок садржај пироксена, који је иначе нестабилан минерал у површинским условима, може се објаснити само близином матичних стена и брзим транспортом. Матичне стене су базичне и ултрабазичне стене (габрови, перидотити и серпентинисани перидотити). Одломци серпентинита су констатовани у оквиру одломака стена. Највећи део одломака серпентинита иде у лаку фракцију. На порекло материјала са базичних и ултрабазичних стена указују спинели и хромит. Амфибол, гранат, епидот, цоисит, дистен, ставролит и андалузит указују на порекло материјала са метаморфних комплекса. Са друге стране, рожнаци констатовани у седиментима бушотина на београдском изворишту, могу

[18] Железничка река је данас каналисана и спроведена канализационим одводима, али њен утицај је био велики при формирању седимената Макишког поља и на дотицај подземних вода из залеђа у Макиш

да указују на принос материјала из непосредне близине јурских изданака на ободу Макиша. Порекло серпентинског материјала у квартарним седиментима на београдском изворишту Протић (1976) објашњава, с једне стране, у ултрабазитима Шумадијске области, одакле је овај материјал ерозијом доспевао у долину Саве, а затим, с обзиром на појављивање честица пореклом од ових стена и у седиментима квартара у западном делу испитиваног подручја (Забрежје, Прово), допремањем овог материјала приносом преко реке Дрине у Саву.

### 12.4.1. Истраживања тешких минерала на локацијама (Rb-1m/p-3d, Rb-36/p-4d, Rb-44/p-4d, Rb-6/p-3d)

Истраживања тешких минерала су рађена на 8 (осам) узорака фракције песка 0,1 - 0,16 mm. Тешке фракције су издвајене бромоформом чија је густина 2,85 g/cm$^3$. У поступку сепарације издвајане су тешка фракција (TF), лебдећа фракција ($L_1F$) и лака фракција ($L_2F$). Све фракције су након испирања етром сушене и мерене на две децимале. Добијени резултати су дати табеларно (Табела 43). На два узорка није било могуће издвојити лебдећу фракцију.

**Табела 43.** Резултати сепарације бромоформом изражени у тежинским процентима

| No | Бушотине | Метража | Поцетна маса у g | % TF | % $L_1F$ | % $L_2F$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Rb-1m/p-3d | 18,5-18,8 | 170,62 | **7,44** | **2,80** | **89,76** |
| 2 | Rb-1m/p-3d | 23,6-24,0 | 79,87 | **6,74** | **5,02** | **88,24** |
| 3 | Rb-36/p-4d | 15,4-15,8 | 72,35 | **4,45** | **3,03** | **92,52** |
| 4 | Rb-36/p-4d | 24,4-24,6 | 63,40 | **2,59** | **1,27** | **96,14** |
| 5 | Rb-44/p-4d | 15,1 | 102,72 | **3,73** | **3,13** | **93,14** |
| 6 | Rb-44/p-4d | 21,1-21,5 | 72,91 | **4,57** | **1,99** | **93,45** |
| 7 | Rb-6/p-3d | 16,0 | 246,39 | **3,67** | ***** | **96,33** |
| 8 | Rb-6/p-3d | 20,5-21,3 | 237,07 | **3,33** | ***** | **96,67** |
| *Напомена: * - није издвојена* | | | | | | |

Добијене тешке фракције су у даљем поступку сепарисане ручним магнетом и електромагнетом (Францов магнетни сепаратор) да би се издвојиле магнетичне фракције и немагнетична фракција. Добијене фракције су мерене на две децимале, а резултати су у процентуалном облику приказани табеларно (Табела 44). Издвојене су следеће фракције: 1. ручни магнет (RM), 2. фракција за јачину магнетног поља од 0,25А (+0,25А), 3. фракција за јачину магнетног поља од 0,5А (+0,5А), 4. фракција за јачину магнетног поља од 1А (+1А), 5. фракција за јачину магнетног поља од 2А (+2А) и 6. немагнетична фракција (-2А).

**Табела 44.** Процентуални садржај фракција добијених магнетним сепарацијама

| No | Бушотине | Метража | RM | +0,25A | +0,50A | +1A | +2A | -2A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Rb-1m/p-3d | 18,5-18,8 | **2,05** | **5,91** | **7,49** | **31,05** | **9,22** | **44,29** |
| 2 | Rb-1m/p-3d | 23,6-24,0 | **2,04** | **7,06** | **14,85** | **39,34** | **17,47** | **19,24** |
| 3 | Rb-36/p-4d | 15,4-15,8 | **3,42** | **3,73** | **10,95** | **57,54** | **18,80** | **5,56** |
| 4 | Rb-36/p-4d | 24,4-24,6 | **3,67** | **7,95** | **14,89** | **54,08** | **7,29** | **12,11** |
| 5 | Rb-44/p-4d | 15,1 | **1,57** | **8,36** | **10,36** | **45,38** | **12,01** | **22,31** |
| 6 | Rb-44/p-4d | 21,1-21,5 | **4,80** | **6,42** | **29,71** | **17,11** | **15,93** | **26,02** |
| 7 | Rb-6/p-3d | 16,0 | **2,10** | **5,07** | **15,85** | **43,66** | **5,82** | **27,50** |
| 8 | Rb-6/p-3d | 20,5-21,3 | **4,47** | **6,70** | **15,16** | **48,44** | **7,35** | **17,88** |

Квалитативно и квантитативно је испитивано 8 узорака који су припремљени описаним сепарацијама. Припремљене фракције су испитиване оптички, бинокуларном лупом и у поларизационом микроскопу. У свакој фракцији је одређиван квалитативни и квантитативни састав. Резултати су приказани интегрално, за сваки узорак (Табела 45).

**Табела 45.** Квалитативни и квантитативни састав испитиваних тешких фракција

| Састојци/узорци | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Магнетит | 2,82 | 3,09 | 5,31 | 5,13 | 2,31 | 7,43 | 3,08 | 6,29 |
| Метални | 10,83 | 7,60 | 11,61 | 17,85 | 13,43 | 7,32 | 10,28 | 17,25 |
| Гранат | 1,54 | 4,31 | 2,45 | 5,90 | 5,34 | 4,03 | 2,59 | 4,62 |
| Амфибол | 3,29 | 2,04 | 2,69 | 2,14 | 2,73 | 0,71 | 1,16 | 4,26 |
| Пироксен | 12,81 | 22,75 | 10,77 | 37,01 | 24,54 | 13,68 | 24,76 | 16,45 |
| Ставролит | + | * | * | + | + | 0,04 | + | * |
| Епидот | 13,76 | 3,92 | 10,67 | 5,07 | 10,83 | 7,06 | 13,22 | 19,13 |
| Биотит | 0,01 | + | 0,07 | 0,01 | + | 0,34 | + | + |
| Хлорит | 0,02 | + | 0,01 | 0,13 | 0,15 | 0,43 | + | + |
| Одломци стена | 12,86 | 14,03 | 9,11 | 13,19 | 13,35 | 19,95 | 13,47 | 13,05 |
| Монацит | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Окси сулфиди | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Цоисит | 0,18 | 0,42 | 0,42 | 0,12 | 0,69 | 0,51 | 0,70 | 0,10 |
| Сфен | 0,05 | 0,02 | 0,12 | 0,19 | 0,23 | 0,08 | 0,02 | 0,02 |
| Турмалин | + | + | * | + | + | 0,01 | + | + |
| Дистен | 0,14 | 0,02 | 0,17 | 0,20 | 0,25 | 0,49 | 0,06 | 0,05 |
| Андалузит | 0,01 | 0,01 | 0,11 | 0,07 | 0,14 | 0,31 | 0,02 | 0,03 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Апатит | 0,02 | 0,01 | 0,26 | 0,23 | 0,04 | 0,41 | 0,03 | 0,01 |
| Рутил | 0,02 | 0,01 | 0,14 | 0,07 | 0,01 | 0,43 | 0,07 | 0,06 |
| Брукит | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,08 | 0,05 | 0,10 | 0,02 | 0,02 |
| Анатас | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Циркон | 0,06 | 0,03 | 0,11 | 0,19 | 0,08 | 0,14 | 0,04 | 0,02 |
| Спинели | 0,12 | 0,08 | 0,06 | 0,16 | 0,44 | 0,20 | 0,21 | 0,17 |
| Леукоксен | 0,11 | 0,09 | 0,12 | 0,38 | 0,23 | 0,45 | 0,12 | 0,18 |
| Пирит | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Карбонати | 39,02 | 38,65 | 43,44 | 11,15 | 23,78 | 33,71 | 26,15 | 17,11 |
| превучена зрна | 1,15 | 2,74 | 2,09 | 0,64 | 1,16 | 1,81 | 3,78 | 0,85 |
| Љуштуре | 1,19 | 0,17 | 0,20 | 0,09 | 0,21 | 0,35 | 0,23 | 0,33 |
| Сума | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| *Напомена: + - само констатован састојак или минерал и * - није констатован састојак или минерал.* | | | | | | | | |

У лебдећим фракцијама главни састојак су карбонатна зрна истих карактеристика као и код тешких фракција. Одређени садржаји су у границама 60-90%. Други састојак су некарбонатни састојци. У оквиру њих најзаступљенији су одломци стена.

Процентуални садржај тешких фракција код испитиваних узорака је у границама 2,59 -7,44 %. Он се може сматрати уобичајеним до умерено повишеним. Наиме, садржаји тешке фракције у песковима су уобичајено 1-2 %. Тешки минерали се обично концентришу у фракцијама песка мањим од 0,25 mm. Другим речима, фракције песка мање од 0,25 mm имају виши садржај тешких минерала него укупни песак. Како је у овим истраживањима испитивана фракција 0,1–0,16 mm разумљиво је зашто су добијени садржаји већи од 2,5 %.

Процентуални садржаји фракција издвојених магнетним сепарацијама је одређен минералним саставом тешке фракције. Садржаји фракција RM и +0,25; где су концентрисани оксиди Fe, може се сматрати нормалним. Генерално, укупни садржаји Fe-оксида су у границама 7,96–11,62 %. Садржаји осталих фракција су опредељени доминацијом пироксена и карбоната и њиховим широким распоном магнетичности.

Квалитативна и квантитативна анализа тешких фракција показала је наглашену доминацију пироксена, одломака стена и карбоната. Њихов укупни садржај је у оквирима 46-75%.  Међутим, већина проба има оквир од 60-65%.

**Висок садржај одломака стена је уобичајен код кластичних седимената који се могу сматрати незрелим у смислу распадања (кратак транспорт и брза депозиција).** То је својствено мањим алувијалним системима и пратећим фацијама. Одломци стена су констатовани практично у свим фракцијама. Дистрибуција одломака стена по магнетичним фракцијама зависи од количине магнетичних минерала које носе. У оквиру одломака стена препознати су одломци метаморфита, серпентинита и кластита. Добар део одломака стена се апсолутно не може препознати.

**Висок садржај пироксена, који је иначе нестабилан минерал у површинским условима, може се објаснити само близином матичних стена и брзим транспортом.** Матичне стене су базичне и ултрабазичне стене (габрови, перидотити и серпентинисани перидотити). Одломци серпентинита су констатовани у оквиру одломака стена. Највећи део одломака серпентинита иде у лаку фракцију. На порекло материјала са базичних и ултрабазичних стена указују спинели и хромит.

Карбонати генерално, имају највише садржаје. Зрна карбоната могу бити агрегатна или монокристална. Њихово порекло може бити са карбонатних комплекса било које старости одакле је приношен материјал. Такође, део карбоната може бити и аутигеног порекла тј. да је настао у систему као органогени или као неорганогени. Органогени карбонат води порекло од љуштура мекушаца. Неорганогени може бити везан за процес цементације.

**Амфибол, гранат, епидот, цоисит, дистен, ставролит и андалузит указују на порекло материјала са метаморфних комплекса.**

Типични тешки минерали као што су циркон, апатит, турмалин, сфен, рутил, букрит су у веома малом садржају. Они су практично разређени због високог садржаја пироксена, карбоната и одломака стена.

Овим анализама сулфидни минерали као што је пирит нису констатовани било као оксидисали или као свежи.

**Рудномикроскопске и SEM-EDS анализе** 8 узорака невезаних седимената претходно су припремљени на следећи начин:

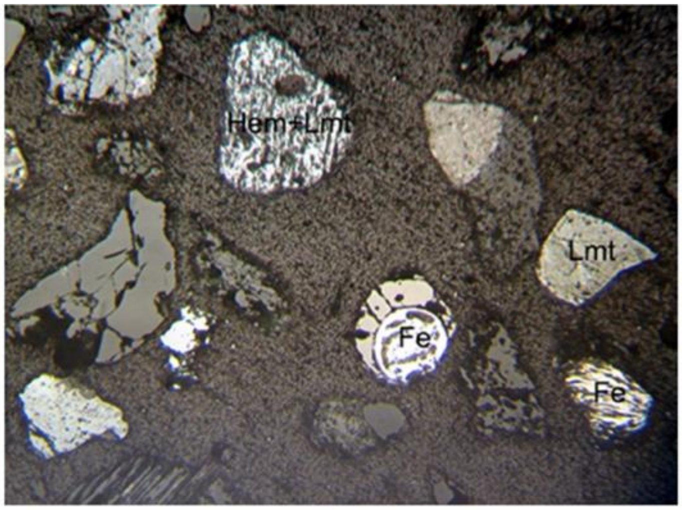
- ситовном анализом издвојене су гранулометријске фракције 0,1-0,16 mm;
- методом тешких течности (бромоформ) издвојене су тешке фракције и

- ручним магнетом и електромагнетном сепарацијом издвојене су следеће магнетне фракције: А (RM - ручни магнет), Б (+0,25), Ц (+0,5), Д (+1,0), Е (+2,0) и Ф (-2,0).

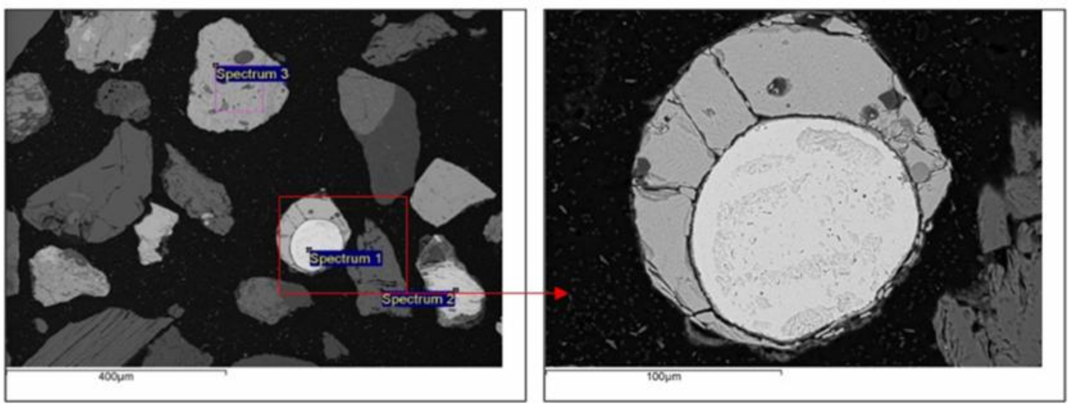
SEM-EDS анализа рађена је у следеће сврхе:

- откривање и детерминација минерала који се јављају у сувише малим величинама зрна (<10 µm) како би се њихово присуство, а нарочито идентификација утврдила рудномикроскопским прегледом;
- потврда детерминације минерала који услед недовољно карактеристичних оптичких особина и/или недовољне величине зрна не могу сасвим поуздано да се детерминишу само рудномикроскопским испитивањем;
- утврђивање хемијског састава минерала чији састав може да варира изоморфним замењивањем главних елемената или присуством хемијских примеса у минералу.

Најзаступљенији рудни односно непровидни минерали у испитиваним узорцима су: хромит, $FeCr_2O_4$, илменит, $FeTiO_3$, хематит, $Fe_2O_3$, магнетит, $Fe_3O_4$, лимонит, $FeO(OH) \times nH_2O$ (минералоид) и рутил, $TiO_2$, а изузев последњег, тј. рутила, сви наведени минерали су минерали гвожђа или минерали који садрже гвожђе у значајној мери. Поред ових минерала гвожђа који припадају групи оксида и хидроксида, у испитиваним узорцима су готово редовно присутни, али у мањој мери (као споредни или ретки минерали) и сулфиди гвожђа, неидентификовани Fe-сулфид и пирит $FeS_2$.




| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Spec. 1 | | | 0,5 | 0,9 | | | | | 0,8 | 97,9 | | 100,0 |
| Spec. 2 | | | | | 0,4 | | | 0,3 | 1,2 | 97,2 | 0,9 | 100,0 |
| Spec. 3 | 35,4 | 1,0 | 1,1 | 0,8 | | 0,5 | 4,0 | | 0,7 | 56,6 | | 100,0 |




**Слика 125.** Појава гвожђа (Fe, Spec. 1, 2) и рудних минерала лимонита (Lmt) и делимично лимонитисаног хематита (Hem+Lmt, Spec. 3).

У појединим узорцима је установљено и незнатно присуство халкопирита, $CuFeS_2$, злата и опиљака гвожђа као вештачких продуката.

Присутни минерали гвожђа хромит, магнетит, илменит и хематит, су у највећој мери концентрисани у магнетичним фракцијама А (RM), Б (+0,25) и Ц (+0,5), лимонит је претежно концентрисан у фракцији Д (+1,0) док је рутил у највећој мери концентрисан у фракцијама Е (+2,0) и Ф (-2,0). У свим магнетним фракцијама су у значајној мери присутни и минерали јаловине (силикати, карбонати, остали), а до потпуног раздвајања минерала по фракцијама није дошло из разлога што минерална зрна испитиване гранулометријске фракције (0,1 – 0,16 mm) нису хомогена (тј. није било потпуног ослобађања минерала), већ се зрна састоје од више минерала различитог магнетног сусцептибилитета (MS)[19] који међусобно прорастају или образују текстуре замењивања. На расподелу одређеног минерала по магнетним фракцијама такође утичу и варијације у хемијском саставу минерала (нпр.  хромит), а услед значајних алтерација минерала носилаца гвожђа (нпр. илменит), на магнетне особине сваког зрна утиче и степен алтерације минерала.

Присуство Fe-сулфида углавном у магнетним фракцијама, а нарочито његова значајна заступљеност у фракцији A (RM), отежава његову тачну детерминацију, јер и поред оптичких особина које одговарају пириту, његова детерминација као пирит не може бити поуздана јер се пирит не концентрише у магнетним фракцијама, а нарочито се не издваја ручним магнетом. С обзиром да је минерал греигит, $Fe_3S_4$ такође сулфид гвожђа, а магнетичан је, присутни Fe-сулфид у испитиваним узорцима би могао бити детерминисан као греигит. Међутим, његова идентификација није могућа само на основу микроскопских испитивања, јер је греигит релативно редак минерал у природи, са недовољно утврђеним и описаним оптичким карактеристикама у одбијеној светлости, а услед његове природе појављивања у испитиваним узорцима у виду веома финозрних порозних агрегата, није било могуће добити његову прецизнију хемијску анализу. Из тог разлога, за његову тачну детерминацију и утврђивање евентуално његовог присуства у узорцима препоручује се примена методе рендгенске дифракције.

### 12.4.2. Минерални састав

Минерални састав квартарних седимената, као и порекло и правци приноса материјала на широј територији Београда и београдског изворишта, изучавани су у радовима Протића и Обрадовића (1976), затим у докторској дисертацији Живковића (1976) и у оквиру докторске тезе Вујасиновића (1985). Истражни терен обухвата приобаље Саве од Прова до ушћа Саве у Дунав. Истраживања су базирана на минералошким и петролошким анализама материјала из великог броја бушотина израђених за потребе београдског изворишта. На основу ових анализа израђене су

[19] Магнетни сусцептибилитет (MS) је мера способности материјала да постане магнетичан у присутству слабог магнетног поља (Blumentritt i Lascu, 2014).

карте заступљености појединих минерала у одређеним деловима изворишта и одређени су правци приноса.

Према овим истраживањима карактеристичне минералне асоцијације издвојене на основу тешких минерала су:

а) **у седиментима старијег квартара** гранат-амфибол и гранат-амфибол-турмалин, а за крајњи западни део испитиваног терена гранат-амфибол-турмалин-циркон;

б) **у седиментима млађег квртара** за источни део терена гранат-амфибол, гранат-амфибол-турмалин, а за западни део амфибол-циркон-турмалин, гранат-амфибол-турмалин-циркон и гранат-амфибол-турмалин.

Поред овога има разлика и у појави појединих тешких минерала. Тако нпр. у седиментима старијег квартара садржај металичних минерала је нижи у западном делу басена, а пироксена нешто виши, него у источном делу. У седиментима млађег квартара садржај пироксена је такође већи у западном делу, са појавом већих варијација у заступљености металичних минерала у источном делу басена.

Резултати нових истраживања (из 2016 и 2017. године) интерпретирани су на основу теренских и лабораторијских извештаја и студија проф. др Н. Васића, проф. др С. Кнежевића и др А. Пачевског. Као што је већ наведено, установљено је присуство типичних тешких минерала (циркон, апатит, турмалин, сфен, рутил) у врло малом садржају у испитиваним узорцима. У питању су седименти старијег квартара, западног дела београдског изворишта. Они су у процентуалној заступљености практично разређени због високог садржаја пироксена, карбоната и одломака стена.

На основу напред изложеног произилази да у изградњи кластичних седимената квартара реке Саве у широј околини Београда учествује материјал који потиче од вулканских стена, гранита, ултрабазита, регионално метаморфних стена, кластичних и карбонатних седиментних стена.

Материјал пореклом од лавичних стена, односно пре од вукланског туфа, има широк ареал распрострањења (слика 126). Узимајући условно да су пироксен, амфибол и биотит минерали вулканског порекла поставља се питање области одакле су они могли водити порекло. На основу карактеристика и разматрања распрострањења минерала пореклом од вулканских стена односно туфа, Протић

(1976) претпоставља да је главни принос овог материјала био из области Фрушке горе, а затим притицањем главним воденим токовима из области Шумадије односно Рудничке области, првенствено преко река Љиг и Колубаре. Релативно повишен садржај оваквог материјала у седиментима Аде Међице и Аде Циганлије он везује за локалне изворе тј. непосредне изданке терцијара.

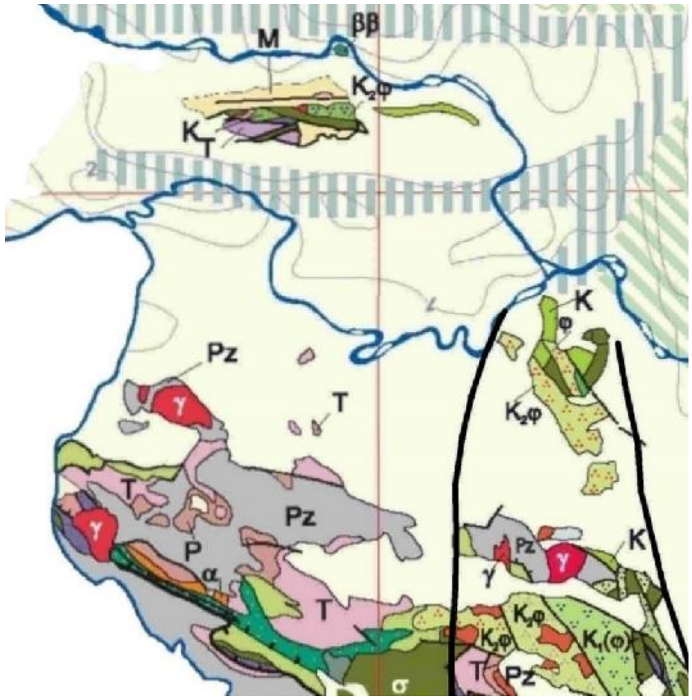
У извештају минералошких анализа и студије тешких метала 2016 и 2017. истакнуто је да висок садржај пироксена, као нестабилног минерала у површинским условима, може да се објасни само близином матичних стена и брзим транспортом. На транспорт са ободних делова београдског рта указују и одломци стена који су значајно заступљени у свим фракцијама, а указују на кратак транспорт седимената.

Порекло серпентинског материјала треба тражити с једне стране у ултрабазитима Шумадијске области, одакле је ерозијом доспевао у долину Саве, а затим, с обзиром на појављивање честица пореклом од ових стена и у седиментима квартара у западном делу испитиваног подручја (Забрежје, Прово), допремање овог материјала могло је да се изврши и приносом преко реке Дрине у Саву.

Повећано присуство микроклина у седиментима квартара на потезу Скела (источно) – Обреновац указује на порекло материјала са планине Цер.

Протић (1976) у свом раду спомиње и често присуство карбонатних конкреција, створених најчешће око фрагмента неке стене (рожнац и др). Наводећи да је њихово порекло аутигено и да нису продукт ерозије околних седимената. На исти начин описује и порекло пирита.

Према резултатима нових анализа најзаступљенији рудни минерали гвожђа (или минерали који садрже гвожђе у значајној мери) у испитиваним узорцима старијих квартарних седимената су: хромит - $FeCr_2O_4$, илменит - $FeTiO_3$, хематит - $Fe_2O_3$, магнетит - $Fe_3O_4$, лимонит - $FeO(OH) \times nH_2O$ (минералоид). Поред ових минерала гвожђа који припадају групи оксида и хидроксида, у испитиваним узорцима су готово редовно присутни, али у мањој мери (као споредни или ретки минерали) и сулфиди гвожђа, неидентификовани Fe-сулфид (највероватније греигит) и пирит $FeS_2$.



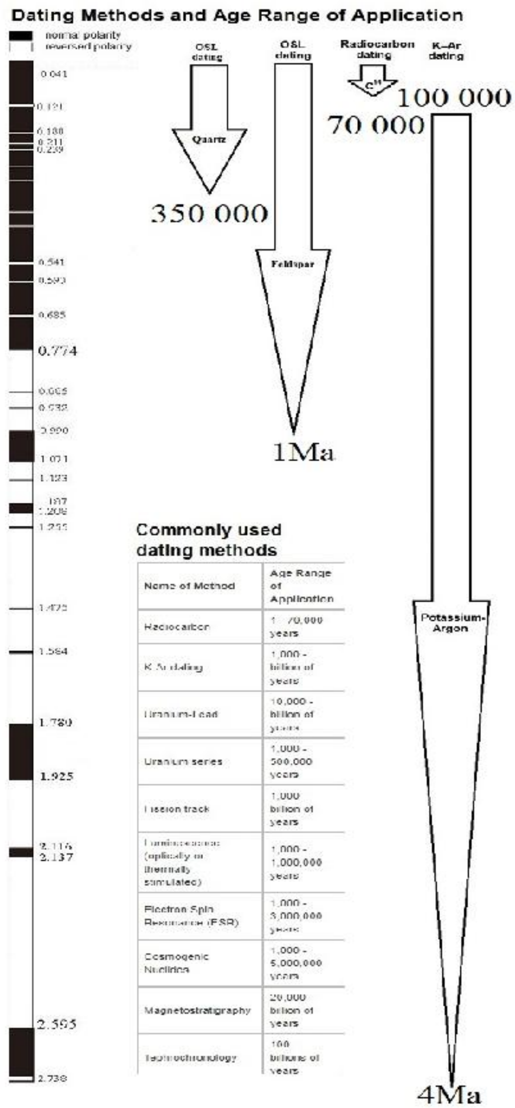

**Слика 126.** Сегмент геолошке мапе са приказом геолошких формација из којих је вршен могући принос материјала према претходно наведеним ауторима у овом поглављу. (Pz- палеозоик уопште, T- тријас уопште , P – перм, γ- Алпски гранитоиди, K- кред уопште, $K_2$φ- горњокредни флиш, $K_1$φ- доњокредни флиш, α- терцијарни вулканити и вулканокластити , σ- ултрамафити, интензивно зелено са белим тачкама – кредни офиолитски меланж)

Након бушења структурно-пијезометарских бушотина и спроведеног обимног програма узорковања и лабораторијских анализа стечена су потпуно нова и драгоцена сазнања о минералошком и елементарном саставу аквифера београдског изворишта, која представљају велики напредак у тачној квантификацији, до нивоа десетог дела масеног промила, минералошког састава седимената од којих је аквифер формиран. Веома је значајно што је притом дефинисан стандардни поступак узорковања седимента, обраде узорка и низ поступака сепарације група минерала и идентификације овако концентрисаних минерала.

Анализа резултата ових истраживања, заједно са резултатима физичко-хемијских и микробиолошких BART тест анализа, и подацима о кинетици локалних хидрауличких губитака и ефектима регенерација, требала би да да одговоре о утицају минералошког и гранулометријског састава материјала аквифера на процесе колмирања бунара.

## 12.5. Утврђивање старости алувијалних седимената на београдском изворишту (резултати датирања)

Датирање квартарних алувијалних седимената врло је карактеристично и комплексно јер не постоји једна метода која би могла да се употреби при детерминисању циклуса седиментације. У питању је период од 2,5 милиона година у ком се смењивало више топлих и хладних фаза (слика 127). У литолошком стубу алувијалних квартарних седимената топле фазе представљене су шљунковитим и песковитим слојевима, док су хладне фазе представљене слојевима финозрних глиновитих и алевритичних материјала.




**Слика 127.** Методе интервала за који је могућа њихова примена датирања квартарних седимената, са временским опсегом

Присуство индекс фосила послужило је при раздвајању слојева старијег и средњег плеистоцена. Позицију слојева са *Corbicula fluminalis* и слојева са *Viviparus boeckhi* у литолошком стубу квартара на београдском изворишту и у панонском басену спомињу још Ласкарев (1938), Ракић (1977), Стевановић (1977), затим Кнежевић (1998), Ненадић (2003) и др. С обзиром да је њихова старост одређена на основу суперпозиције и присуства индекс фосила циљ је био да се датирањем провере ове досадашње тврдње (слика 128).

Уз помоћ методе палеомагнетизма у случају алувијалних полицикличних седимената могуће је дефинисати да ли је неки слој (циклус) старији или млађи од 800 000 година, тј да ли је формиран током периода нормалног поларитета (Brines) или у периоду обрнутог поларитета (Matujama). Палеомагнетном методом могуће је датирати глиновите и алевритичне слојеве.


**Слика 128.** Слојеви са *Corbicula fluminalis* и *Viviparus boechki*, који су по први пут били датирани методом оптички стимулисане луминисценције

Шљунковити и песковити слојеви датирани су помоћу методе оптички стимулисане луминисценције, зрнаца кварца и фелдспата. С обзиром да ова мерења подразумевају одређивање времена када је одређени слој (материјал) последњи пут био изложен светлости врло је битно колики је праг засићења одређеног материјала (минерала). Наиме на дневној светлости зрна кварца и фелдспата бивају осветљена и ресетована. При депоновању седимената оног тренутка када су затрпани они бивају изложени јонизујућој радијацији, која потиче углавном од $^{238}U$, $^{235}U$, $^{232}Th$ и продуката њиховог распадања. Фелдспат има већи праг засићења у односу на кварц, али је потребно дуже излагање светлости за његово потпуно ресетовање (осветљење). То значи да у случају зрнаца фелдспата у седименту не можемо бити сигурни да ли је сигнал у потпуности ресетован пре депоновања седимента у слоју чију старост желимо да датирамо. Кварц је дакле, поузданији али омогућава значајно краћи период датирања у погледу одређивања старости седимената. Са кварцом се могу датирати седименти до 350 000 година старости, док се на основу фелдспата због већег капацитета тј. границе засићења могу датирати седименти и до милион година старости. Из ових разлога извршена су мерења луминисценције и зрнаца кварца и фелдспата.

### 12.5.1. Датирање помоћу оптички стимулисане луминисценције

Стимулисана луминисценција се користи за датирање времена последње изложености минерала сунчевој светлости. На овај начин одређује се време депоновања седимената, након што су транспортовани ваздухом (еолски седименти) или воденим токовима (флувијални седименти). Сви седименти и тла садрже трагове радиоактивних изотопа елемената као што су калијум, уранијум, торијум и рубидијум. Они се полако распадају током времена, емитујући јонизујуће зрачење које се апсорбује у кварцним и калијум фелдспат минералним зрнима у седименту. Зрачење узрокује ослобађање електрона који остају заробљени унутар минерала у структурно нестабилним, такозваним "електронским клопкама". Заробљено зрачење се временом акумулира брзином која је одређена количином околног зрачења на месту где је узорак депонован. Стимулисањем минералних зрна коришћењем плаве или зелене видљиве или инфрацрвене светлости узрокује се емитовање сигнала луминисценције, приликом чега се ослобађа заробљена, накупљена, нестабилна енергија електрона, чији интензитет зависи од количине зрачења које је апсорбовано током времена од када је минерално зрно депоновано – и то се назива еквивалентна доза (De).

Природно излагање дневној светлости током транспорта зрна минерала, узрокује ослобађање прикупљене енергије док је минерал био депонован. На овај начин долази до ресетовања минерала - процес назван *bleaching*. То значи да осветљено зрнце кварца или фелдспата бива осветљено, а његов сигнал ресетован после извесног времена излагања светлости. Из тог разлога седименти за анализу морају бити узорковани тако да не буду изложени дневној светлости (из сржне цеви, директно у непровидне пластичне тубе, које не пропуштају светлост). Количина зрачења средине (D*) потиче од радиоактивног распада $^{238}U$, $^{235}U$, $^{232}Th$ (и њихових продуката) и 40K и представља степен изложености минералних зрна јонизујућем зрачењу током читавог периода од тренутка депоновања до узорковања. Интензитет зрачења се процењује из концентрације 40K, торијума, уранијума и 87Rb, или се директно мери. Највећи део зрачења који се акумулира у зрнцима кварца долази од спољашњег бета и гама зрачења, док калијумски фелдспати примају највише зрачења од 40K. Време када је седимент, тачније датирано зрно кварца или фелдспата депоновано, може се израчунати као De/D*. Ово важи само у случају да је минерално зрно претходно било довољно дуго изложено светлости, тачније да је минерал у потпуности ресетован приликом транспорта, пре његовог депоновања. Што је дуже минерално зрно провело депоновано и прекривено у седименту, емитује више светлости приликом стимулације. За сваки минерал постоји одређени праг засићења. До потпуног засићења минерал прима зрачење средине које потиче од распада радиоактивних елемената. После засићења минерал не прима више зрачења. То значи да за сваки минерал постоји известан опсег старости до ког је могуће вршити датирање.

Главна предност кориштења оптички стимулисане луминисценције кварцних зрна за датирање је да за кварц, кратка изложеност дневном светлу у распону од 10-100 секунди пре депоновања је обично довољна да се минерал ресетује у еолским и флувијалним наслагама. Максимална старост која може бити датирана помоћу OSL методе на кварцу креће се од 100 000 година до 250 000 година.

Инфрацрвеном светлошћу стимулисана луминисценција на фелдспату има потенцијалну предност у омогућавању значајно продужених датабилних распона старости, због много веће дозе засићења у поређењу са кварцом. Мана ове методе је да је потребно дуже време излагања дневној светлости за потпуно ресетовање узорка фелдспата (неколико стотина секунди или више), тако да је потребно знатно више времена за бељење од кварца, што у одређеним околностима таложења доводи до непотпуног бељења и прецењивања старости. Услед непотпуног ресетовања добијена старост је већа од стварне старости депонованог седимента.

Непоузданост резултата старости седимента (зрна) добијена датирањем OSL методом креће се у распону 5-10% процењене старости узорка.

На основу дубине бушења процењено је да старост узорака може премашити границу засићења кварца на неким од узорака. Са друге стране, флувијално порекло седимента доводи у питање потпуно ресетовање сигнала код фелдспата. Сходно томе, и кварцне и фелдспат фракције су екстраховане и подвргнуте датирању. Узорци су осушени и просејани да би се добила фракција песка 150-220 μm. Након третирања киселином (HCl и $H_2O_2$), помоћу тешке течности изолована су зрнца кварца, постављањем густина на 2.68 и 2.62 g / g/cm$^3$. Након тога, из преостале лаке фракције, употребом течности густине 2.58 g/cm$^3$, произведен је екстракт богат К-фелдспатом. Узорци кварца су издвојени са 40% HF у трајању од 45 min, узорци К-фелдспата са 10% HF током 20 min. Узорци су постављени на дискове од нерђајућег челика (кварца) и алуминијума (фелдспат) помоћу силиконског уља (Rütsch) и 2 mm маске за припрему малих аликвота.

Обе фракције сваког узорка подвргнуте су луминисцентном датирању употребом RISO TL/OSL DA-20 луминесцентног читача опремљеног са 90Sr/90Y извором калибрираним на дискове од нерђајућег челика и алуминијума. Стимулација кварца и фелдспата извршена је коришћењем плаве (470 nm) и инфра-црвене (870 nm) светлости. Детекција је вршена преко U-340 филтера (код кварцаа) или комбинацијом BG39 и CN-7-59 филтера (за фелдспат).

Кварцна мерења извршена су према SAR протоколу (Murray and Wintle 2000, Murray and Wintle 2003, Wintle and Murray 2006) без употребе такозваног врућег бличинга на 280°C на крају SAR циклуса (Tóth et al., 2017). На основу комбинованог теста предгревања и повраћаја дозе, примењена температура предгревања је подешена на 200°C или 220°C, доња топлота је одржавана на 160°C. За узорке фелдспата примењен је pIRIR290 протокол (Thiel et al., 2011). За одређивање оптималне прве температуре при оптички стимулисаној луминисценцији, извршен је тест повраћаја дозе, на неколико група аликвота, применом ступњевитог повећања температуре стимулације (Buylaert et al., 2015) од 50°C до 250°C, да би за коначну температуру била усвојена температура од 170°C. Приликом одређивања еквивалентне дозе (De) за кварц и к-фелдспат, изабрано је 48 аликвота који су подвргнути мерењима према SAR протоколу и 6 аликвота за мерење према pIRIR290 протоколу.

У случају узорака кварца De је рачунат коришћењем централног модела старости (CAM) или модела минималне старости (MAM) (Galbraight et al., 1999). У случају К-фелдспат узорака израчуната је средња и стандардна грешка.

Количина зрачења средине D* извршена је помоћу гама спектрометрије високе резолуције проширеног опсега (Canberra XtRa Coaxial Ge detector), помоћу 500 cm$^3$ Маринелијевог суда. Еквивалентне дозе су израчунате помоћу фактора конверзије према Liritzis-у (2013).

Резултати датирања добијени применом наведених метода, протокола и стандарда дати су у табели 46. Датирање је вршила лабораторија за оптички стимулисану луминисценцију, Департмана за физичку географију и геоинформатику, Универзитета у Сегедину (*OSL laborathory, Department of Physical Geography and Geoinformatics of University of Szeged*).

**Table 46.** Резултати датирања помоћу оптички стимулисане луминисценције на кварцу (Q) и фелдспату (F). De – еквивалентна доза, $D^*$ - количина зрачења средине

| **ЗОРАК** | **убина (m)** | **(%)** | **инерал** | **Age model** | **U (ppm)** | **Th (ppm)** | **K (mas.%)** | **D* (Gy/ka)** | **De (Gy)** | **ДАТИРАНА СТАРОСТ у хиљадама год.** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***B-6/P-5d*** | 3-9.6 | 2,87 | Q | CAM | 1,06 ± 0,01 | 3,11± 0,06 | 0,68 ± 0,03 | 1,05 ± 0,07 | 13,80 ± 0,43 | 13,20 ± 0,93 |
| | | | | MAM | | | | | 11,55 ± 0,75 | 11,05 ± 1,0 |
| | | | F | Avg. | | | | 1,668 ± 0,13 | 50,75 ± 2,00 | 30,21 ± 2,61 |
| ***B-6/P-5d*** | 6 - 16.5 | 1,35 | Q | CAM | 0,69 ± 0,01 | 2,27 ± 0,04 | 0,65 ± 0,03 | 0,88 ± 0,07 | 70,94 ± 3,97 | 80,9 ± 7,8 |
| | | | | MAM | | | | | 43,74 ± 3,97 | 49,9 ± 6,0 |
| | | | F | Avg. | | | | 1,51 ± 0,12 | 414,84 ± 22 | 274,3 ± 27.38 |
| ***B-6/P-5d*** | 2.2-22.6 | 1,23 | Q | CAM | 0,72 ± 0,01 | 2,3 ± 0,05 | 0,56 ± 0,02 | 0,80 ± 0,07 | 109,48 ± 6,26 | 137,5 ± 14,1 |
| | | | | MAM | | | | | 81.49 ± 6.8 | 102.3 ± 12.2 |
| | | | F | Avg. | | | | 1,42 ± 0,12 | 672,91 ± 53,00 | 470,8 ± 55,70 |
| ***B-6/P-5d*** | 7-27.3 | .16 | F | Avg. | 0,63 ± 0,01 | 2,06 ± 0,04 | 0,53 ± 0,02 | 1,38 ± 0,12 | >962,47 ± 48 | >693,5±71,90 |
| ***B-6/P-5d*** | 5.9-36.3 | 0,03 | F | Avg. | 0,79 ± 0,01 | 2,22 ± 0,05 | 0,49 ± 0,02 | 1,37 ± 0,12 | >577,96 ± 23 | >420,7±42,05 |
| ***B-1M/P-3d*** | 7.8 - 28 | .06 | Q | CAM | 0,59 ± 0,01 | 1,85 ± 0,5 | 0,47 ± 0,02 | 0,67 ± 0,08 | 131,19 ± 6,74 | 193,38 ± 23,62 |
| ***B-44 /P-4d*** | 3.6 | 4,65 | Q | CAM | 0,94 ± 0,02 | 3,18 ± 0,08 | 0,7 ± 0,02 | 0,98 ± 0,12 | 78,01 ± 4,25 | 79,58 ± 10,91 |
| ***B 44 /P-4d*** | 5.5 - 26.3 | 7,27 | Q | CAM | 0,47 ± 0,01 | 1,6 ± 0,05 | 0,39 ± 0,02 | 0,56 ± 0,07 | 109,58 ± 9,87 | 195,51 ± 30,91 |

### 12.5.2. Палеомагнетне методе (палеостратиграфска анализа)

Магнетни дипол, је мали магнет микроскопских до субатомских димензија. Еквивалентан је магнетном пољу генерисаном струјом електричних набоја око петље. Електрони који кружe око атомских језгара, електрони који се окрећу око својих оса и ротирајућа позитивно наелектрисана атомска језгра, сви они представљају магнетне диполе. Магнетни моменти језгра атома су хиљаде пута мањи од магнетних момената електрона, тако да су занемарљиви у контексту магнетизације материјала.

За највећи број материјала, магнетни момент једног електрона у атому поништава се другим, који потиче од електрона који се креће у супротном смеру. Као крајњи резултат, за највећи број материјала је магнетни ефект, који потиче од орбиталног кретања електрона, или једнак нули или је врло слаб. Ако се не поништи у потпуности, атом је онда стални магнетни дипол, такви су атоми гвожђа. Милиони атома гвожђа спонтано се оријентишу формирајући феромагнетни домен, такође чинећи магнетни дипол.

Снага магнетног дипола, названа магнетни диполни момент, може се сматрати мером способности дипола да се оријентише према датом спољашњем магнетном пољу.

У зависности од својих магнетних особина, сви материјали се могу поделити на три групе: парамагнетици, дијамагнетици и феромагнетици. Атоми материјала парамагнетика и феромагнетика имају сталне магнетне моменте. Атоми дијамагнетика немају сталне магнетне моменте. Феримагнетици су магнетни минерали који су најрелевантнији за палеомагнетизам (магнетит $Fe_3O_4$, илменит и титаномагнетит).

Материјал је феромагнетски ако у присуству спољњег магнетског поља и сам постаје магнет, тако што се његови елементарни магнети (магнетни диполи) оријентишу у правцу спољњег поља тако што на диполе делује момент магнетизације (спољашње магетно поље).

Унутар једног магнетног домена сви елементарни магнети су усмерени у истом правцу. Када материјал није магнетизован, елементарни магнети су усмерени у свим правцима. Када се такав материјал изложи магнетном пољу, магнетни домени се све више оријентишу у правцу спољњег магнетног поља. Када се сви домени усмере у том правцу, даља магнетизација материјала више није могућа. Тада кажемо да је дошло до засићења.

Када се уклони спољно магнетно поље, домени се делом дезоријентишу и магнетизација опада. Као и феромагнетици, феримагнетици задржавају део своје магнетизације као трајну или реманентну магнетизацију када се уклони магнетизација која потиче од спољашњег магнетног поља. Да би се материјал размагнетисао, потребно је применити спољно магнетно поље супротног смера. Магнетно уређење може се пореметити и загревањем. Тада феромагнетни материјали постају парамагнетни. Температура на којој нестаје магнетна уређеност материјала назива се Киријева температура (Киријева тачка).

Детаљно посматрано поље није осносиметрично. Најприближнији дипол оријентације данашњег поља одговара Земљиној оси ротације. Полови овог најбољег дипола, који су познати као "геомагнетски полови", налазе се на 80,0 N, 72,2 W и на 80,0 S, 107,8 E. Оваквом диполском пољу одговара око 90% укупног поља. Остатак од 10%, који представља не-диполно поље, представљају неправилности и аномалије које се виде на глобалним парцелама деклинације, нагиба и интензитета. На пример, магнетни полови, тачке на којима је поље вертикално, не подударају се са геомагнетним половима, већ су померени у односу на њих у зависности од локалног не-диполног поља. Неслагања су различита у две хемисфере, тако да магнетни полови нису антиподални. У 2010. години, северни магнетни пол био је у северној Канади (85,0 N, 132,6 W), док се јужни магнетни пол налазио јужно од Аустралије у близини обале Антарктика (64,4 S, 137,3 E).

Постоје три основна типа или начина реманентне магнетизације (NRM), зависно од механизма оријетисања магнетног сигнала: TRM, CRM и DRM.

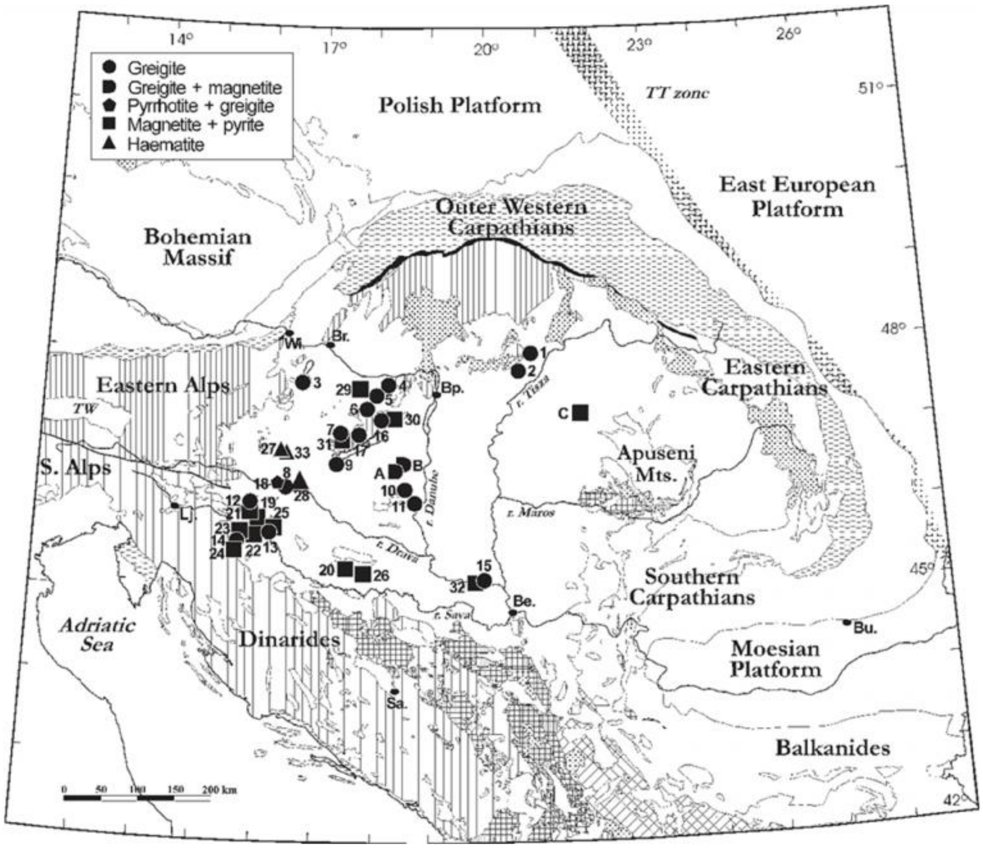
Термореманентна магнетизација (TRM) је магнетизација која се добија када се стена охлади испод температуре Киријеве тачке својих магнетичних минерала, чиме се "закључавају" магнетни домени дуж положаја који су усклађени са амбијенталним пољем и стварају магнетну реманенцију која на собној температури може бити стабилна.

Хемијска реманентна магнетизација (CRM) је магнетизација која се добија када магнетни минерал расте кроз критични "блокирајући волумен" или величину зрна на којем је поље закључано, а стечена реманенција може поново бити стабилна током милијарди година. Детритална реманентна магнетизација (DRM) је магнетизација која се добија када се депонују магнетна зрна детриталног порекла. Магнетна зрна одговорна за DRM могу се директно формирати у воденом стубу као магнетосоми: интра-целуларни ланци магнетних минерала направљени магнетотактичким бактеријама. Детритална магнетна зрна статистички се усклађују са амбијенталним пољем све док су у воденом стубу или у меком засићеном воденом слоју седимента. Приликом збијања и одводњавања, зрна се механички компактирају и чувају смер амбијенталног поља.

Укупни NRM је векторска сума различитих магнетних компоненти. То је зато што примарни NRM и магнетизација која је настала у време формирања стене, може бити прештампана магнетним компонентама које се касније добију у геолошкој историји кроз реакције које се одвијају при собној температури или термохемијске реакције повезане са процесима тектонских или седиментационих процеса. Компонента која је накнадно настала и прештампала (маскирала) примарну информацију (запис), може се уклонити техникама "магнетног чишћења". Магнетна осетљивост (магнетна сусцептибилност) је однос индуковане магнетизације према индуктивном магнетном пољу. Магнетна сусцептибилност је физичка величина којом се описује својство материје да може да буде магнетизована у магнетном пољу.

У седименту се може јавити аутигено или дијагенетско формирање магнетних минерала који такође бележе поље. Ово се може десити у раној фази, али и након депоновања, дубље у седименту. У овом другом случају, то може изазвати очигледно кашњење у погледу формирања реманентне магнетизације, па сигнал може бити различит у оквиру магнетичних минерала код којих је накнадно формиран, тј. оријентисан магнетни сигнал. Ово може да доведе до конфузије приликом тумачења магнетног записа минерала у истом слоју (слика 129).

Интересантно је да је приликом ранијих истраживања миоценских седимената панонских лапораца и лапоровитих глина у Панонском басену очекивани носилац магнетизма био минерал магнетит. Међутим, истраживања су показала да је примарни носилац NRM-а греигит, као најчешћи магнетични минерал у седиментима Панонског језера. Магнетит се јавља ређе и то увек уз пирит, док је хематит врло редак (он је и слабо магнетичан).




**Слика. 129.** Карта заступљености минерала, носилаца палеомагнетног сигнала у седиментима панона на територији панонског басена (Babinszki, 2007)

Изучавани су узорци три групе седимената: 11 – 9,3, 8 – 7 и 6 – 4 милиона година старости.

У седиментима старости од 11 до 9,3 милиона година старости, греигит се појављује као оригинални (рано дијагенетски) магнетични минерал. Током овог периода клима је била топла и хумидна, језеро дубоко, а продукција велике количине органске материје довела је до потрошње кисеоника и стварања анаеробних услова средине на дну. Ерозија са околних планина је била брза и вршен је велики принос материјала, па је депоновање седимената било брзо. Ови седименти садрже и магнетит, али он носи другачији магнетични сигнал у односу на минерале греигита, што указује да је он касније формиран, (Babinszki, 2007).

Седименти старости 8 – 7 милиона година депоновани су у сублиторалним, горњим равницама делти и мочварним срединама, у влажним условима. Носилац палеомагнетног записа и код њих је греигит (Babinszki, 2007).

Током трећег истраживаног временског периода (6 – 4 милиона година), клима је била сува, језеро је било ниског салинитета и било је ограничено на јужни део Панонског басена. Ови седименти су депоновани у дисталном окружењу (спора седиментација). Карактеристични магнетни минерал овог периода је магнетит, који највероватније има детритално порекло (Babinszki, 2007).

Приликом издвајања палудинских слојева, у подножју северних обронака Фрушке горе (Рундић и др., 2016) извршен је и одређени обим анализа магнетичних минерала. У закључцима студије наводи се да је почетак плеистоцена обележила регионална промена копнених услова седиментације, под утицајем семиаридне климе. У таквим условима изгледа да је дошло до промене окружења подземних вода у оксичне услове, што је изазвало дијагенетску трансформацију примарног минерала греигита у магнетит, на дубљим нивоима. Примарно формирани греигит, који је сулфид гвожђа, створен је највероватније под утицајем сезонских варијација физичко-хемијских услова језерске воде, услед дејства сулфато-редукулућих и магнетотактилних бактерија (Anthony et al., 1990; Sagnotti et al., 2010). Магнетит је потом стваран дијагенетском деградацијом греигита у оксичним условима изданске средине подземних вода (Krs et al., 1992).

Веома распрострањени греигит, увек је дијагенетског порекла и када се јавља са магнетитом, указује на неоформирање (касније формирање) магнетита у старијим седиментима језера. Ова два минерала су из тог разлога, понекад и супротног поларитета у оквиру седимената, што је веома важно за магнетостратиграфску интерпретацију. Ово указује да су детаљна магнетска и минералошка истраживања и потврда конзистентности NRM од суштинског значаја при магнетостратиграфским истраживањима седимената.

Закључак ове студије био је да је најбоље радити на потпуно оријентисаним узорцима. Међутим, већ приликом минералошких анализа седимената на београдском изворишту од магнетичних минерала издвојени су: хромит - $FeCr_2O_4$, илменит - $FeTiO_3$, хематит - $Fe_2O_3$, магнетит - $Fe_3O_4$, лимонит - $FeO(OH) x nH_2O$ (минералоид), док су у испитиваним узорцима готово редовно присутни, али у мањој мери (као споредни или ретки минерали) и сулфиди гвожђа, неидентификовани Fe-сулфид (највероватније греигит) и пирит $FeS_2$. Ово запажање битно је из разлога што на великом делу савског басена и самог београдског изворишта подину полицикличних седимената чине лапорци и лапоровите глине миоцена, док су као друга формација која се јавља у подини издвојене такозване шарене глине плио-плеистоцена. Приликом дефинисања и даље анализе резултата палеомагнетних истраживања треба узети у обзир ова претходна сазнања о карактеристикама миоценских лапоровитих глина.

Узорци за палеомагнетско тестирање на београдском изворишту узимани су сржном цеви приликом бушења, водећи рачуна да нема прекида дуж узорка језгра, дужине око 1,5 m. Након вађења из сржне цевие бушаће гарнитуре, узорци су одлагани у сандуке и на језгру је уцртан жљеб са стрелицом према доле ради оријентације, а језгро је узорковано у сегменту најситније гранулације (глиновити део). Узорци су потом умотани у најлон, обележени и одложени у фрижидер на $5^{o}$C како би било спречено исушивање.

За палеомагнетне анализе узето је 10 узорака језгра. Анализе су вршене на Геофизичком институту у Будимпешти (*Hungarian Geophysical Institute in Budapest, Department of Geophysics, Paleomagnetism Laboratory*).

Приликом анализа коришћена је следећа опрема:

- За мерење магнетног сусцептибилитета – KLY-2 Kappabrides (AGICO, Brno, Czech Republic)
- За мерење реманентног магнетизма – JR-4 magnetometers (AGICO, Brno, Czech Republic)
- За термалну демагнетизацију – TSD-1 thermal demagnetizer (Schonstedt Instruments Company, Reston, USA)
- За демагнетизовање променљивим магнетним пољем – LDA3A and DEMAG0179 demagnetizers (AGICO, Brno, Czech Republic and Technical University of Budapest, Hungary, respectively)
- За одређивање Киријеве тачке – CS-3 instrument (AGICO, Brno, Czech Republic).

У првој фази истраживања на магнетостратиграфску анализу послато је 10 узорака језгра (табела 47) набушеног материјала из бушотине RB-6/P-5d. Прва етапа подразумевала је прелиминарна мерења на основу којих би се утврдила подобност узорака за мерење палеомагнетног сигнала. Овом приликом тестирано је више узорака са различитих дубина језгра бушотине RB-6/P-5d. Друга фаза подразумевала је избор 10 узорака који су се показали погодним за палеомагнетну анализу у првој фази (код којих је регистрован добар тј. довољно јак сигнал и код којих постоје назнаке могућег обрнутог поларитета.

**Табела 47.** Узорци језгра послати на палеомагнезну анализу

| RB-6/P-5d<br>Узорци са дубине од | КОД | Анализираних сегмената |
|---|---|---|
| 18,10-18,40 m | I | |
| 18,40-18,70 m | II | |
| 27,35-27,65 m | 1 | 1 |
| 27,65-27,85 m | 1x | |
| 30,30-30,55 m | 3x | |
| 38,15-38,50 m | 11 | |
| 38,80-39,20 m | 12 | 2 |
| 39,20-39,50 m | 13 | |
| 39,75-40,00 m | 14 | 3 |
| 40,30-40,60 m | 15 | 4 |

Након прелиминарног прегледа, изабрана су четири сегмента језгра, из горњег и доњег дела такозваних шарених глина из подине полициличних алувијалних седимената. За ове слојеве се раније сматрало да су подина полицикличних седимената, па чак и да представљају кору распадања панонских лапораца. Међутим, дубоким бушотинама на београдском изворишту утврђено је значајно учешће зрна песковите и шљунковите фракције у доњој зони формације, што је створило потребу за додатним анализама и покушајем дефинисања старости и генезе ових слојева.

Издвојено је 28 узорака из сегмената језгра, за мерење магнетне сусцептибилности, одређивање Киријеве тачке, како би након термичке демагнетизације или демагнетизације променљивим магнетним пољем, био одређен правац, тачније оријентација и интензитет природне реманентне магнетизације (NRM). Природна реманентна магнетизација није могла бити одређена за 2 узорка. За преостала 2 узорка језгра (интервали са 27,35-27,65 m и 38,80-39,20 m дубине) на основу оријентација минералних кристала, носилаца природног реманентног магнетизма (највероватније минерала магнетита), добијена је нормална поларизација Земљиног магнетног поља. Поузданост одређеног правца и интензитета NRM је била задовољавајућа.

Пошто резултати нису у потпуности дали одговор о старости јер нису сви сегменти успешно датирани, одлучено је да се аналлизирају и узорци друге дубоке бушотине која се налази на супротној обали реке Саве (RB-36/P-4d).

Предато је укупно 20 узорака језгра са различитих дубина бушотине RB-36/P-4d за магнетостратиграфску анализу. У првој етапи извршена су палеомагнетна мерења на 20 узорака из различитих сегмената језгра (Табела 48) и одређена је Киријева тачка на два узорка. Како је обрнути поларитет очекиван у дубљим зонама језгра, тако су и узорци за даље анализе изабрани из сегмената језгра испод 43 m дубине. У лабораторији је узето 26 узорака стандардне дужине (пречника 1 inch, дебљине 2 cm). Узорци се узимају бушењем узорака језгра. У табели 48 је приказано из којих су сегмената језгра узети узорци. Током припреме узорака и узорковања, мањи и већи облутци шљунка и песка су уочени у првом, другом, трећем, четвртом, петом, осмом и деветом интервалу дубине. Шести сегмент језгра са дубине 49,85-50,10 m указује на преталожени слој глине са облутцима. Сав материјал је до анализа и након вађења узорака чуван у фрижидеру и вен контакта са ваздухом.

**Табела 48.** Анализирани узорци друге дубоке бушотине

| RB-36/P-4d<br>Дубина узорка | КОД | Анализирани<br>сегменти језгра |
|---|---|---|
| 32,00-32,25 m | 3 | 1 (3) |
| 43,40-43,65 m | 17 | 2 (4) |
| 46,50-46,75 m | 20 | 3 (1) |
| 46,75-47,00 m | 22 | 4 (2) |
| 49,60-49,85 m | 24 | 5 (3) |
| 49,85-50,10 m | 25 | 6 (2) |
| 53,40-53,65 m | 29 | 7 (5) |
| 56,50-56,75 m | 32 | 8 (1) |
| 58,30-58,55 m | 34 | Disintegrated<br>during drilling |
| 60,80-61,00 m | 38 | 9 (5) |

С обзиром да су у оквиру истог сегмента језгра, једни узорци имали позитивну оријентацију магнетног поља, док су други имали негативну, поставило се питање могућности дефинисања оријентације магнетног поља. У циљу утврђивања поузданости добијених резултата размотрени су следећи параметри:

- Стабилност магнетичног сигнала приликом лабораторијске демагнетизације узорака;

- Конзистентност (униформност) оријентације у оквиру узорка из ког је добијен релативно стабилан сигнал реманентног магнетизма;
- Као и исти поларитет дуж сегмента језгра, узимајући узорке тако да иду један за другим дуж језгра.

Стабилност палеомагнетног сигнала са јасном тенденцијом ка опадању, није била општа карактеристика (пет од девет примерака је показало такво понашање). Палеомагнетски правац у оквиру сегмента језгра није униформан (конзистентан). Коначно, узорци са нормалним и обрнутим поларитетима су измешани унутар истог сегмента језгра.

На основу наведених карактеристика узорака дефинисање поларитетних зона у језгру бушотине није могуће. Међутим, врло честа појава негативне оријентације магнетног поља у нижим деловима језгра вероватно указује да је поларитет земљиног поља био обрнут током њиховог депоновања, што нарочито важи за матреријал у зони испод 40 m дубине. Према извештају лабораторије, појава супротног поларитета у оквиру узорака вероватно указује на услове редепоновања у којима се јављао такав микс материјала (re-deposited in the form of “mudcakes”).

## 13. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА

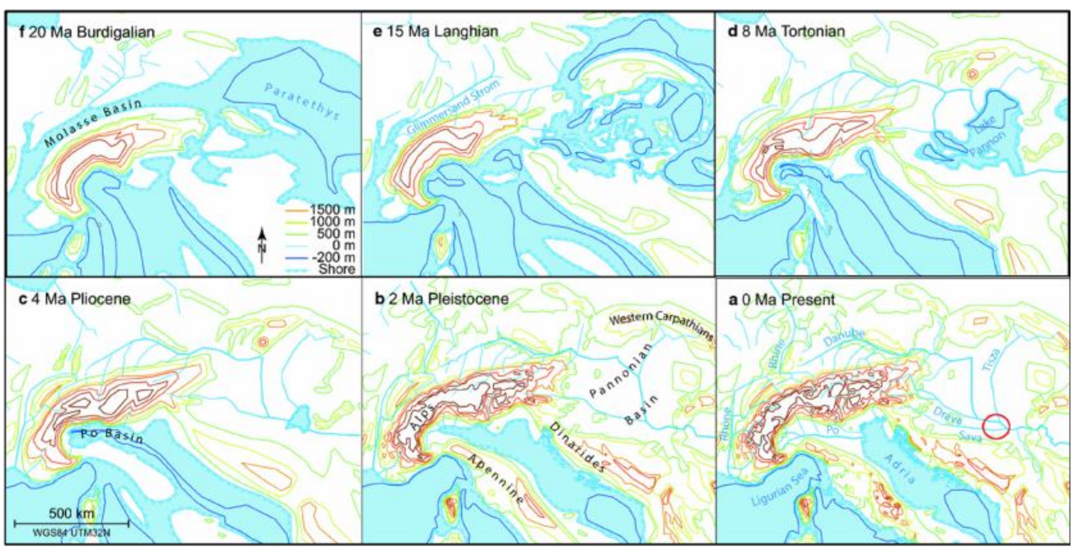
Према савременој климатостратиграфској подели, квартар је рашчлањен према морским изотопским стадијумима (MIS), који су дефинисани на основу варијација изотопа кисеоника у дубокоморским седиментима (Emilliani, 1955; Shackleton & Opdyke, 1973; Cita, 2008). Овај модел већ је успешно примењиван при корелацији лесних серија на простору Војводине са лесно-палеоземљишним профилима Евроазијског копна, дубокоморским седиментима и леденим језгрима Антарктика и Гренланда (Antoine et al., 2009; Buggle et al., 2009; Hambach et al., 2008; Marković et al., 2005, 2007, 2008, 2009). Циљ ове дисертације је да се оваква корелација изврши и са квартарним творевинама алувијалних полицикличних седимената Саве.

Резултати наменских истраживања на београдском изворишту током 2016. и 2017. године послужили су као основ за дефинисање квартарних седимената на београдском изворишту према морским изотопским стадијумима (MIS), као и њихову корелацију са старошћу одговарајућих генерација морена на Дурмитору и испраним материјалом ледничке ерозије у карстним пољима у подножју Орјена, као и суперпозиције са лесним квартарним творевинама ободног дела Панонског басена. Поред тога, анализирана је и веза климе и тектонике током плеистоцена, као фактора седиментације полицикличних алувијалних седимената, и њихових карактеристика (дистрибуција величине зрна по слојевима, заступљеност појединих минерала, оксидо-редукциони услови и друге карактеристике) које одређују природни капацитет издани и детрминишу процесе који прате експлоатацију подземних вода.

### 13.1. Клима и тектоника као главни фактори седиментаије на простору ободног дела Панонске низије

Рано и средње миоценски седименти панонског басена указују на транзицију од континенталних, речно-језерских услова до потпуно морског окружења (Ter Borgh et al., 2013). Најјача екстензиона тектоника активност постигнута је током баденијско-сарматске рифтне фазе, пре око 15–11 милиона година, на простору панонске низије по ободу Фрушке горе (Fodor et al., 1999). Панонско језеро формирано је крајем средњег и почетком горњег миоцена пре око 11,6 милиона година издизањем Карпата, који су језеро одвојили од мора (Magyar et al., 1999; Ter Borgh et al., 2013; Sztanó et al., 2015). Од формирања језера, више од 7 милиона година трајала је седиментација и запуњавање панонског басена језерским и флувијалним седиментима (од река које су се уливале у језеро) и материјалом који је еродован и доношен са околних орогених формација које су опкруживале језеро (Magyar et al., 2013; Радивојевић и др., 2014).

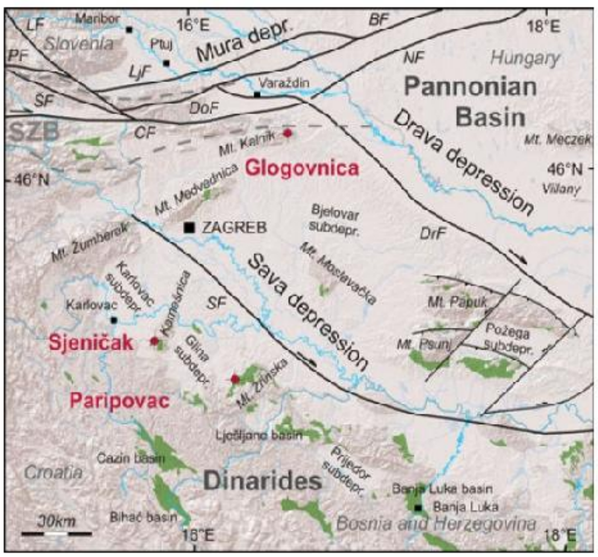
Почетком плиоцена, велико каспи-бракично панонско језеро, бива смањено на значајно мање, слатководно Палудинско језеро (познато и под називом - Језеро Славонија), (Magyar et al., 1999; Harzhauser and Mandic, 2008; Sztanó et al., 2015). У овом језеру гребен Фрушке горе издизао се као острво, по чијем ободу су уз језерску линију формиране мочваре. Неотектонским покретима и реактивацијом старих раседа на прелазу плиоцен-квартар, палудински слојеви су раслојени и изгубили су бочни континуитет (Тољић и др., 2013). На тај начин палудински слојеви су остали откривени на различитим хипсометријским висинама, северних и јужних обронака Фрушке горе. У повлати палудинских слојева на хипсометријски издигнутим теренима падина Фрушке горе, налазе се углавном лесне, квартарне творевине.




**Слика 130.** Палео-географска шема еволуције Алпа и Панонске низије (Winterberg and Willett, 2019).

Постнеогена тектоника довела је до издизање планинских масива у плеистоцену, непосредно пред велике глацијације, што је условило формирање већих ледничких покривача и интензивнија отапања у интерглацијалним периодима, који су се смањивали са хладним глацијалним фазама. Оваква запажања изнео је Цвијић још 1906. године, наводећи да многе балканске планине не би прешле границу вечитог снега, знатним делом својих масива, да није било тектонских покрета непосредно пре глацијалне епохе.

Читав плеистоцен, почевши од периода од пре 2,5 милиона година, обележен је сменама топлих (интерглацијалних) и хладних (глацијалних) фаза. Међутим, велика и брза отапања, тачније нагле промене од потпуно глацијалних до потпуно интерглацијалних прилика (Broecker and van Donk, 1970) називају се терминацијама. У последњих 620 000 година идентификовано је седам терминација које ограничавају шест глацијалних циклуса. Обележене су римским бројевима, од I, на прелазу из MIS 6 у 5, до VII на граници између MIS 16 и 15. Терминације су омогућиле брза и интензивна отапања ледника, чиме су формирани снажни речни токови и омогућено усецање пра-корита данашњих речних токова.




**Слика 131.** Положај савског (SF -Sava fault) и дравског (DrF – Drava fault) раседа (Mandić et al., 2011).

На шеми на 130 под (б) Може се уочити да у старијем плеистоцену ток Саве још није постојао. Са шеме се може уочити да је Дунав формиран као лонгитудинални басен у подножју Алпа, који се линијски пружа ка истоку пратећи некадашњу обалску линију Паратетиса, који је еволуирао у Црно море. Ток Саве формиран је много касније, предиспониран је пружањем савског раседа (слика 131), док је формирање самог речног тока било условљено ледничким отапањем са орогених формација које опкружују данашњи ток.

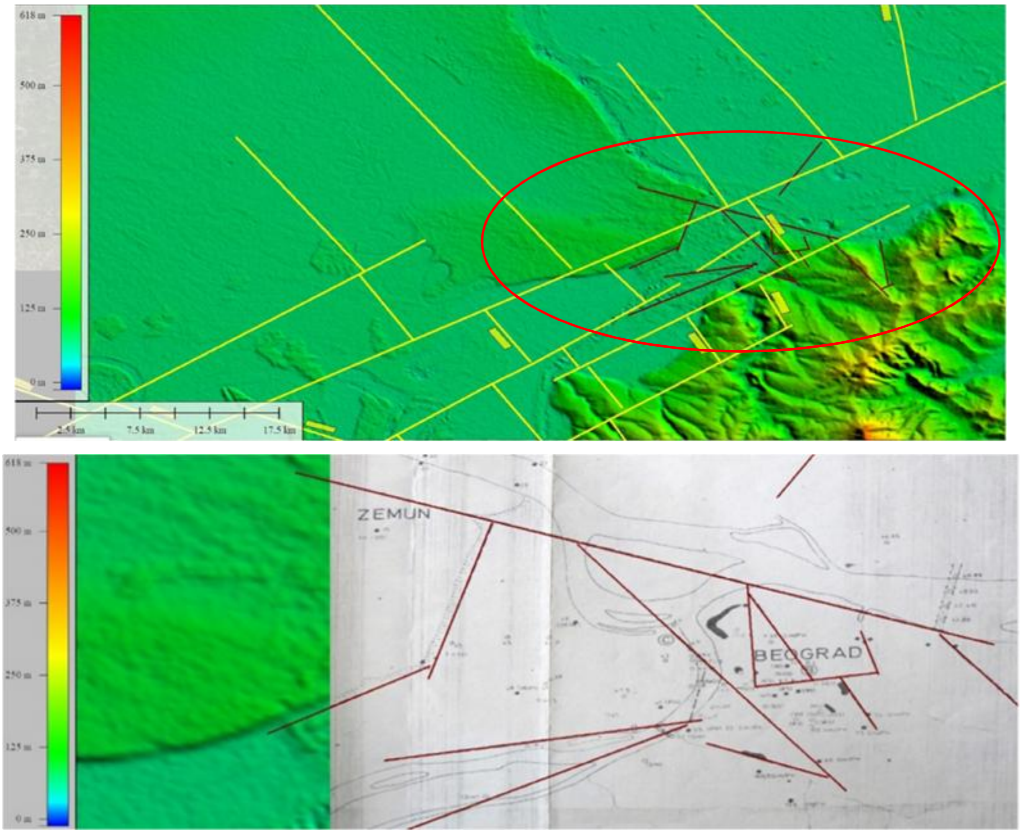
## 13.2. Тектоника и локални услови седиментације током квартара

При анализи услова формирања и суперпозиције алувијалних седимената, потребно је узети у разматрање и услове седиментације других квартарних творевина, као и њихов међусобни положај. Лесни седименти последњих деценија добро су изучени на подручју Војводине и у знатној мери датирани и корелисани према новој глобалној хронолошкој скали како је приказано у поглављу 7.2. Код лесних одсека периоди навејавања леса везују се за хладне периоде, док су током топлих и влажних интерглацијалних фаза формирани палеоземљишни слојеви.

Интересантно је да се на неким локацијама, на подручју југоисточног Срема, у подини лесних седимената налазе алувијални речни полициклични седименти са *Corbicula fluminalis*. С обзиром да је датирањем полицикличних седимената две дубоке бушотине на београдском изворишту утврђено да припадају фазама MIS 7 и MIS 5, поставило се питање како се ови речни седименти могу налазити у подини леса.


**Слика 132**. Положај бушотина Rb-6/p-5d и Rb-1m/p-3d на чијим седиментима је вршено датирање помоћу OSL методе, између црвених линија налази се простор алувијалних равни и речних тераса Саве, а северно и западно од зелене линије простире се лесни плато, у чијој подини се налазе алувијални седименти

Оно што је врло уочљиво приликом анализе положаја лесних одсека на овом подручју, јесте њихов положај у односу на утврђене, локалне раседне структуре (слика 132).



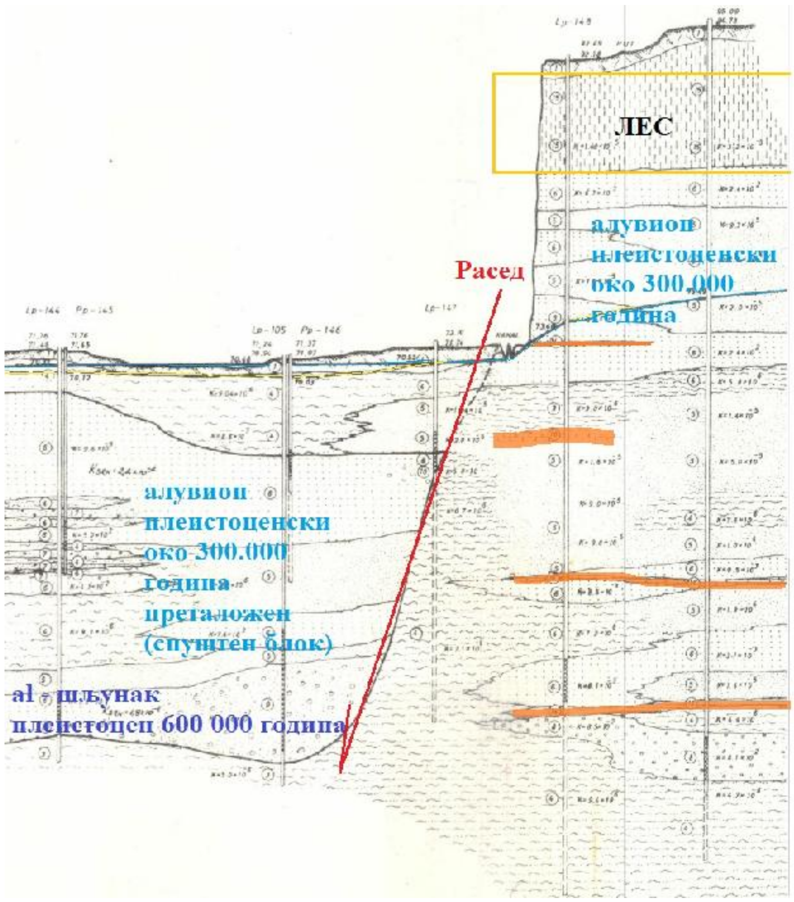

**Слика 133.** Доњи ток реке Саве, морфологија терена (SRTM, GLOBALMAPER фајл) преклопљена са тектонским структурама урбанистичког плана територије Београда (бордо) и расeдним структурама са карте нео-алпске тектонике (жуто)

Утицај тектонике уочљив је и на два веома блиска лесна платоа, Батајница и Земун, који се налазе на свега 10 km удаљености. Батајнички профил је узводно дуж тока Дунава у односу на Земунски.

На подручју Земуна вршено је датирање лесног платоа на основу магнетне сусцептибилности. Утврђено је да је најстарији палеоземљишни слој овог лесног профила (S3) формиран пре око 303 000 и 339 000 година, што одговара MIS 9 интерглацијалној фази (Рундић, 2018). Лесни профил у Земуну има дебљину око 20 m.

Батајнички лесни профил датиран је на основу слоја V-S5 чија је старост одређена на око 621 000 што кореспондира MIS 15 глацијалној фази. Датирање доњег (старијег) хоризонта лесног профила у Батајници није било могуће, примарна морфологија и палеомагнетни запис седимената измењени су услед пост-депозиционих процеса (Марковић, 2012). Дебљина Батајничког леса је преко 40 m.

Објашњење би могло да лежи у времену када је дошло до тектонских активности и спуштања одређених блокова. Очигледно је да су се на подручју Земуна таложили речни седименти, истовремено са најстаријим слојевима батајничког леса.
До пре око 300 000 година алувијална раван на којој се сада налази Земунски лесни плато, допирала је до Батајнице, где је постојала, вероватно оштра и нагла граница између алувијума и леса.




**Слика 134.** Шематски приказ квартарних творевина у залеђу Доњег поља (фондовска документација, профил - Енергопројект, 1967)

Истим принципом, могло би се рећи да је пре око 600 000 година постојала широка алувијална раван која је обухватала и Земун и Батајницу, пре него што је тектонски блок (или блокови) под Батајницом заустављен или је његово спуштање знатно успорено. Из тог разлога граница реке померила се ка Земуну. Престанком тоњења блока испод Земуна пре око 300 000 година алувијална раван сужена је на још мањи простор.

Из наведених разлога могло би се сматрати и да су седименти на локалитетима бушотина Rb-6/p-5d и Rb-1m/p-3d на левој обали Саве који су датирани, таложени током истог периода када и земунски лес (слика 132). Наслаге навејаног леса на подручју Земуна заштитиле су од ерозије и прекриле алувијалне седименте у својој подини, док се речни ток померао у правцу тонућег блока, таложећи преко старијих седимената, нове слојеве (нови цилус) речних седимената.


**Слика 135.** Детаљ војне мапа из 1869. године са приказом истрачног подручја у периоду Хабзбуршке монархије. Терен између села Јаково, Сурчин и Доња Бежанија пре спровођења мелиоративних радова и изградње канала, прекривен барама и мочварама

У залеђу Доњег поља, на самом прелазу ка бежанијском лесном одсеку истражним бушењем за потребе израде ђердапских пијезометара утврђено је да лесни седименти леже преко дебелог пакета алувијалних шљунковитих пескова, добрих филтрационих карактеристика, док је терен (блок) од Галовице до Саве хипсометријски спуштен. Бројне баре и мртваје на овом терену последица су померања тока Саве услед неотектонске активности (слика 135). Део профила нацртаног на основу бушотина првих ђердапских пијезоматара из 1971. године, дат је са слици 134, са шематском назнаком положаја плеистоценских алувијални седимената, спуштеног блока и плеистоценских седимената у подини леса, заосталих на вишој коти.

Стратификација слојева до сада је вршена искључиво на основу фосилних остатака, из тог разлога сматрано је да седименти холоцена леже директно преко седимената средњег плеистоцена, док је читав пакет горње плеистоценских седимената еродован. Повећана дебљина полицикличних седимената објашњава се сталним ритмичким потањањем седиментационог базиса и интензивним приносом материјала. Чак и у тектонски релативно мирним условима, тешко је очекивати да неколико циклуса седиментације у потпуности буду еродовани. У предстојећим истраживањима требало би извршити и датирање седимената алувијалних тераса, у долини Саве, што би додатно дало одговоре о времену и механизму седиментације.

Још један интересантан резултат добијен је на основу датирања подинског комплекса такозваних шарених глина плио-плеистоцена. Ови седименти анализирани су помоћу палеостратиграфске методе, како је приказано у поглављу 12.5.

На основу истражних радова на локацијама дубоких бушотина Rb-6/p-5d и Rb-36/p-4d констатовано је следеће:

- Дебљина ових седимената на десној обали на бушотини Rb-6/p-5d (Макишко поље) је 10 m, док је на супротној обали (са друге стране раседа који се простире практично паралелно са десном обалом Саве) на локацији дубоке бушотине Rb-36/p-4d њихова дебљина преко 30 m (на 60-ом метру дубине бушотина још није изашла из слоја ових барско-терестричних седимената).

Ранијим истраживањима утврђено је да пакет ових седимената на подручју Земуна прелази 100 m дебљине, док се њихова смањена дебљина на подручју београдског изворишта објашњавала речном ерозијом за време старијег плеистоцена. Услед одсуства фосилних остатака, старост им није са сигурношћу детерминисана, већ је на основу суперпозиције, пошто углавном леже преко миоценских лапораца панона и понта, а испод плеистоценских полицикличних седимената, старост одређена као плио-плеистоценска (плиоцен и старији плеистоцен).

На основу палеостратиграфске анализе седимената из две дубоке бушотине утврђено је следеће:

- На бушотини Rb-6/p-5d добијен је нормални поларитет код свих анализираних узорака што би значило да су таложени пре мање од 780 000 година. Према лабораторијском извештају носилац магнетизма је највероватније магнетит.

На основу ранијих истраживања барско терестрични седименти сматрани су седиментима плио-плеистоценске старости. За овај период карактеристична је интензивна тектонска активност која се огледа у константном издизању београдског рта и тоњењу Панонског басена по његовом ободу. У савском басену на подручју Макишког поља, делу Аде Циганллије и на левој обали са Новобеоградске стране ови седименти леже преко миоценских седимената, најчешће панонских лапораца, док идући ка Земуну улазимо у зону простирања палудинског језера, где у подини леже палудински слојеви.

Тектоника је била свакако предуслов за формирање ових слојева. Њихова старост и дебљина могу бити објашњени на више начина са аспекта тектонике.

- Да су седименти десне обале најмлађи и да су таложени последњи, те да је њихова старост из тог разлога мања од 780 000 година, док идући ка левој обали Саве и Бежанијској коси расте дебљина и старост ових седимената, јер је њихова седиментација на том блоку раније почела.
- Оно што је навођено као могућа хипотеза о постанку ових слојева у ранијој литератури је да су ови слојеви настали од еродованих панонских и понтских седимената, који су еродовани приликом издизања блока десне обале Саве и преталожени на леву обалу.

Приликом нових истраживања уочене су зоне интеркалираног крупног песка и шљунка у оквиру барско терестричног комплекса. С обзиром да је код хоризоната са учешћем материјала шљунковите и песковите фракције уочена извесна цикличност у литолошком стубу бушотине Rb-6/p-5d, послати су на анализу и узорци из бушотине Rb-36/p-4d.

Палеостратиграфском анализом узорака из бушотине Rb-36/p-4d утврђени су сегменти нормалног и обрнутог магнетизма помешани у оквиру истог слоја

- Ово може указивати на прелазну зону магнетизма, прелазак из обрнутог у нормални поларитет.

- Такође, може указивати на преталожавање седимената при чему је дошло до мешања седимената нормалног и обрнутог поларитета.

Треба узети у обзир и да је приликом минералошких анализа утврђено присуство неидентификованог сулфида гвожђа, који би према магнетичним својствима одговарао греигиту. У наведеној студији анализе магнетичних минерала носилаца магнетизма у седиментима панонске старости уочен је управо греигит обрнутог поларитета, са касније формираним магнетитом нормалне поларизације.

Имајући у виду услове потребне за формирање греигита, барско терестрична средина и речна седиментација не могу створити погодне услове за његово формирање. Уколико би се додатним анализама утврдило да неидентификовани сулфид гвожђа јесте греигит, формирање овог до сад нејасно дефинисаног комплекса могло би бити објашњено усвајањем идеје о преталожавању панонских седимената еродованих са десне обале, паралелно са приносом речних седимената (који су уочени у доњим зонама као цикличне појаве у овој серији).

Ови слојеви би дакле, могли бити продукт ранијих фаза глацијације у плеистоцену које су дале крупан шљунковити материјал. С обзиром да и поред датирања путем две методе није могуће са сигурношћу утврдити време седиментације, анализа гранулометријског састава слојева и њихова цикличност главни су основ за постављање хипотеза у циљу објашњења генезе седимената на београдском изворишту. С обзиром да су се лабораторијске методе показале као врло непоуздане у случају датирања ових седимената, резултате датирања треба разматрати уз резултате свих спроведених истраживања и у контексту шире слике тектонске активности и климатских услова током квартара.

### 13.3. Корелација резултата гранулометријске анализе, оптички стимулисане луминисценције (OSL) и палеомагнетних анализа (PM) узорака из бушотине Rb-6/p-5d и Rb-1m/p-3d са истраживањима распростирања ледника у деловима слива реке Саве и Јадранског слива

На основу гранулометријских анализа и картирања језгра, издвојено је укупно шест циклуса седименатације на локацији дубоке бушотине Rb-6/p-5d, док су на основу седимената из бушотине Rb-1m/p-3d (која је остала у квартарним алувијалним седиментима) издвојена четири седиментациона циклуса. Циклуси подразумевају холоценске речне седименте савременог тока Саве, плеистоценске полицикличне седименте главне изданске зоне београдског изворишта и такозване барско терестричне седименте у њиховој подини. Код плитке бушотине Rb-1m/p-3d циклуси обухватају холоценске и плеистоценске речне седименте. За границе циклуса узимани су глиновити слојеви и прослојци који се јављају између два песковита или песковито шљунковита циклуса.

Три најмлађа циклуса алувијалних седимената према резултатима датирања методом оптички стимулисане луминисценције (ОСЛ) на кварцу, припадају почетку фазе MIS 1 (холоцен), MIS 5b (што је према алпској хроностратиграфској подели вирмски стадијал – табела 49) и крај фазе MIS 6 (што је према алпској хроностратиграфској подели крај риске глацијације – табела 49, слика 135). Резултати гранулометријских анализа и апсолутног датирања узорака језгра Rb-6/p-5d потврђују везу између морена и флувио-глацијалног материјала из карстних поља у региону Динарских Алпа, са три најмлађа циклуса седиментације на београдском изворишту (слика 135).

Узорци са највећих дубина (Table 46, поглавље 12.5.1.) нису успешно датирани методом OSL на кварцу, јер узорци показују засићење, што указује да су старији од 15 000 година (што је ограничење старости седимената који се могу датирати овом методом услед засићења кварца). На основу гранулометрије и присутног фосилног садржаја претпоставка је да се ради о два издвојена циклуса седиментације, па је њихова старост претпостављена корелацијом са узорком 1625 из бушотине Rb-1m/p-3d, који је узет са приближно исте дубине и у оквиру истог седиментационог циклуса издвојеног на основу гранулометријске анализе. Корелација је потом извршена и са седиментима испраног материјала карстног поља у подножју планине Орјен, такође формираног у топлој интерглацијалној фази MIS 7, при отапању ледника.

На основу гранулометријских анализа и картирања језгра дубоке бушотине Rb-6/p-5d, идентификована су три циклуса унутар полигенетских седимената који су у основи полицикличних плеистоценских слојева. Старост им је претпостављена на основу корелације са моренама и испраним материјалом карстних поља.

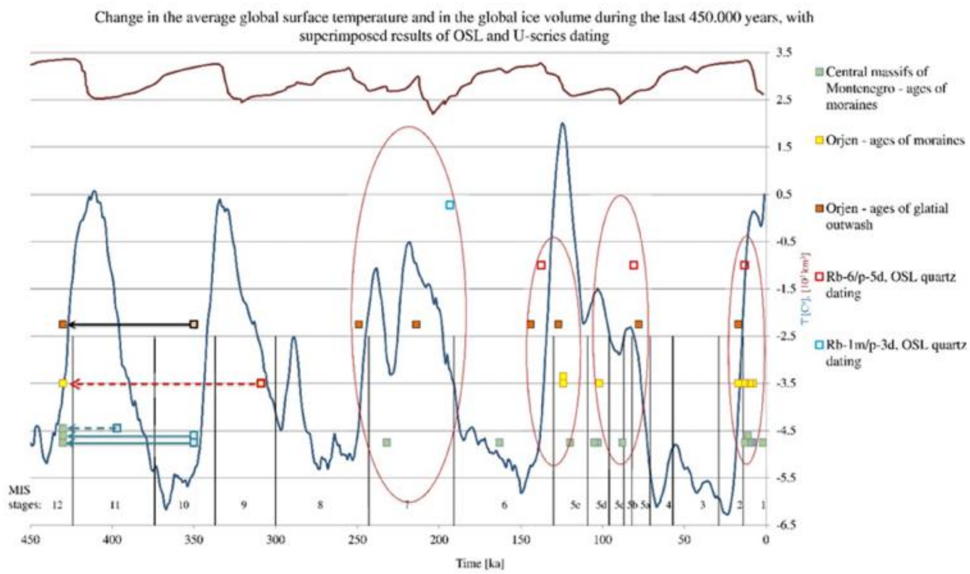
Процењено је да би ови циклуси могли одговарати интерглацијалним фазама MIS 9, MIS 11 и MIS 13 (слика 137). Као таква, старост најстаријих полигенетских слојева могла би бити 533 000 година. Основа за то је претпоставка да су површински трагови глацијација MIS 8 и MIS 10 у динарским планинама, скоро потпуно избрисани глацијацијом MIS 6, док су сачувани у циклусима таложења седимената у доњем току Саве на београдском изворишту. Циклуси дефинисани на основу резултата анализе расподеле и учешћа фракција различите величине зрна и OSL датирања у бушотинама Rb-6/p-5d и Rb-1m/p-3d раздвојени су црвеним линијама на сликама 136 и 137.

**Табела 49.** Однос између хроностратиграфских фаза алпске поделе и изотопа седимената океанског дна, према Heghes (2011) и Imbrie (1984).

| Старост (год) | MIS фаза | Алпска подела |
|---|---|---|
| 11,500 - 110,790 | MIS 5d – MIS 2 | Würmian |
| 110,790 - 129,840 | MIS 5e | *Rissian-Würmian* |
| 129,840 - 362,000 | MIS 6 – MIS 10 | Rissian |
| 362,000 - 423,000 | MIS 11 | *Mindelian-Rissian* |
| 423,000 - 478,000 | MIS 12 | Mindelian |

Старост већа од 400 000 година не може бити датирана помоћу OSL, IRSL и изотопских метода, па је за старије седименте примењена метода палеомагнетизма. Седименти анализирани овом методом поред тога што треба да су ситнозрни, требало би да буду депоновани у врло мирним условима седиментације. Такође при узорковању потребно је обележити оријентацију узорка. Једино под тим условима могуће је са сигурношћу утврдити оријентацију (поларитет) магнетног поља коју носи узорак седимента. У случају полигенетских седимената у подини квартарних речних седимената, услови седиментације нису били мирни, што се може закључити по хетерогености материјала. Покушај анализе глиновитих прослојака овом методом, није био успешан, али су седименти полигенетске глиновите серије анализирани на основу више сегмената језгра, како је описано у поглављу 12.5.2.

Услови таложења нису били довољно мирни да би се минерални кристали, носиоци нормалног реманентног магнетизма, оријентисали према Земљином магнетном пољу у то време, тако да је код ових седимената највероватније у питању хемијска реманентна магнетизација, тј. носиоци реманентног магнетног сигнала су минерали који су створени у седиментима после њиховог депоновања. Растом минералних кристала, достигавши одређену величину, оријентација њиховог магнетног записа формирана је у односу на магнетно поље какво је било у време њиховог формирања. Под претпоставком да се то догодило у периоду од неколико хиљада година након таложења, резултати палеомагнетског тестирања указали су да је старост полигенетских седимената мања од 780 000, јер њихов најдубљи сегмент, који лежи на дну формације има нормалну поларизацију.




**Слика 136** Промена средње глобалне температуре и глобалне запремине леда у протеклих 450 000 година, са суперпонираним резултатима датирања узорака на београдском изворишту и резултатима глациолошких истраживања централних црногорских планина и планине Орјен.

На сликама 137 и 138 дат је паралелни приказ резултата OSL датирања узорака прикупљених из бушотина Rb-6/p-5d и Rb-1m/p-3d на београдском изворишту, као и анализа величине и дистрибуције зрна по дубини бушотине, као и резултати глациолошких и геохронолошких истраживања на централним црногорским планинама са пратећим карстним пољима. Резултати датирања на београдском изворишту приказани су на слици 136 заједно са резултатима датирања морена и карстних поља (Hughes et al., 2011; Adamson et al., 2015), на скали глобалних температурних промена и промена у глобалној запремини леда током последњих 450 000 година.

При својим истраживањима цемента морена Hughes et al., (2011) базирају се искуствено на претходним истраживањима глацијалних облика југозападне Грчке и Албаније. Сви седименти датирани на основу цементног везива на преко 350 000 година смештени су у MIS 12 фазу, под претпоставком да је цементација материјала настала касније (приказано испрекиданом линијом на слици 135).

На сликама 137 и 138 приказани су литолошки стубови бушотина Rb-1m/p-3d и Rb-6/p-5d, заједно са интервалима узорковања за OSL и IRSL датирање и палеомагнетска испитивања, резултати анализе величине зрна, и резултати датирања, паралелно са горе наведеним резултатима глациолошких студија.

Старост алувијалних седимената из бушотина Rb-6/p-5d и Rb-1m/p-3d на основу OSL датирања на кварцу, веома се добро корелише са моренама на централниом планинском масиву Црне Горе и на планини Орјен, као и са глацијалним материјалом депонованим у крашким пољима у подножју планине Орјен (слике 136, 137 и 138). За узорке седимената који нису могли бити датирани због засићења кварца, претпостављено је да је старост циклуса њиховог таложења усклађена са завршетком узастопних старијих глацијација (слика138).

Први узорак из бушотине Rb-6/p-5d са дубине 9,3-9,6 m датиран је на 13,2 ± 0,9 хиљада година. Припада почетку фазе MIS 1 и може се корелисати са моренама датираним на крај фазе MIS 2 и фазу MIS 1 (узорци датирани на 17,3, 13,9, 12,5, 12,5, 10,9, 10,5, 9,8, 9,6, 9,1, 8,0, 7,9 хиљада година), и са седиментима карстних поља из фазе MIS 2 старости 16,6 хиљада година.

Други узорак из бушотине Rb-6/p-5d са дубине од 16,0-16,5 m датиран је на 80,9 ± 7,8 хиљада година, припада фази MIS 5b, и може се корелисати са моренама датираним на MIS 5d и 5b (узорци датирани на 105,4, 104,1, 102,4, 88,1 хиљада година) и са седиментима карстних поља из фазе MIS 5b старости 80,3 хиљада година.

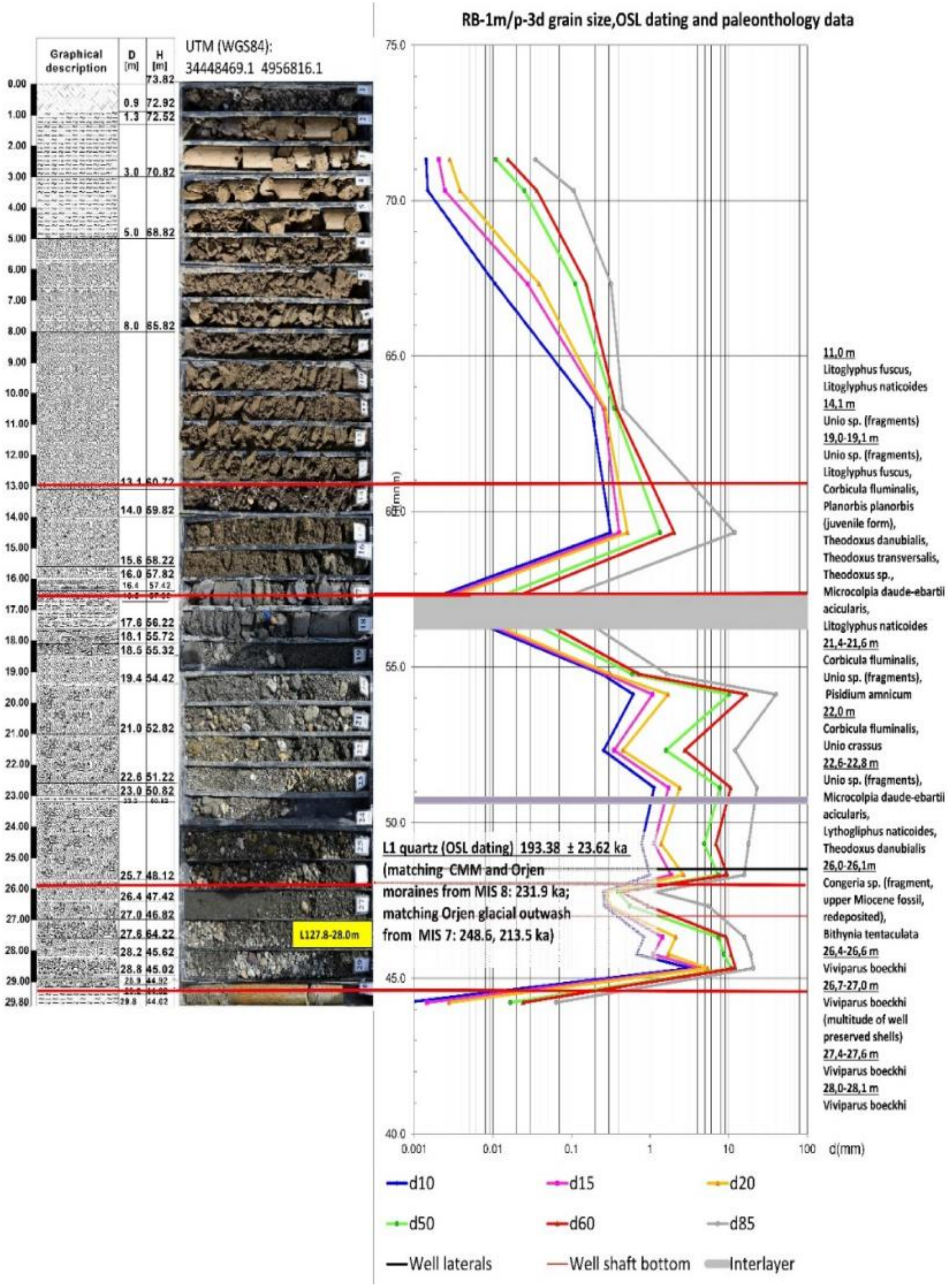
Трећи узорак из бушотине Rb-6/p-5d са дубине 22,2-22,6 m датиран је на 137,5 ± 14,1 хиљада година, припада крају фазе MIS 6 и може се корелисати са моренама датираним на MIS 6 и почетак MIS 5e фазе (узорци датирани на 162,7, 120,2, 124,6, 124,5, 124,0 хиљада година), и са седиментима карстних поља из фазе MIS 6 и са почетка MIS 5e фазе (старсти 144,2 и 126,6 хиљада година).

Четврти узорак Rb-6/p-5d са дубине од 27,0-27,3 m није могао бити датиран помоћу кварца, због засићења. Претпоставља се да би овај материјал могао да се корелише са моренама из фазе MIS 8 (датирани материјал на 231,9 хиљада година) и материјал карстних поља датиран на 248,6 и 213,5 хиљада година, што припада фази MIS 7. Једини узорак из Rb-1m/p-3d, узет је са интервала дубине 27,8-28,0 m, датиран је на 193,38 ± 23,62 хиљада година, што је узимајући у обзир близину Rb-6/p-5d, сличан интервал дубине као за четврти узорак и сличност литолошких и гранулометријских карактеристика (слике 137 и 138) потврђује горе наведене претпоставке.

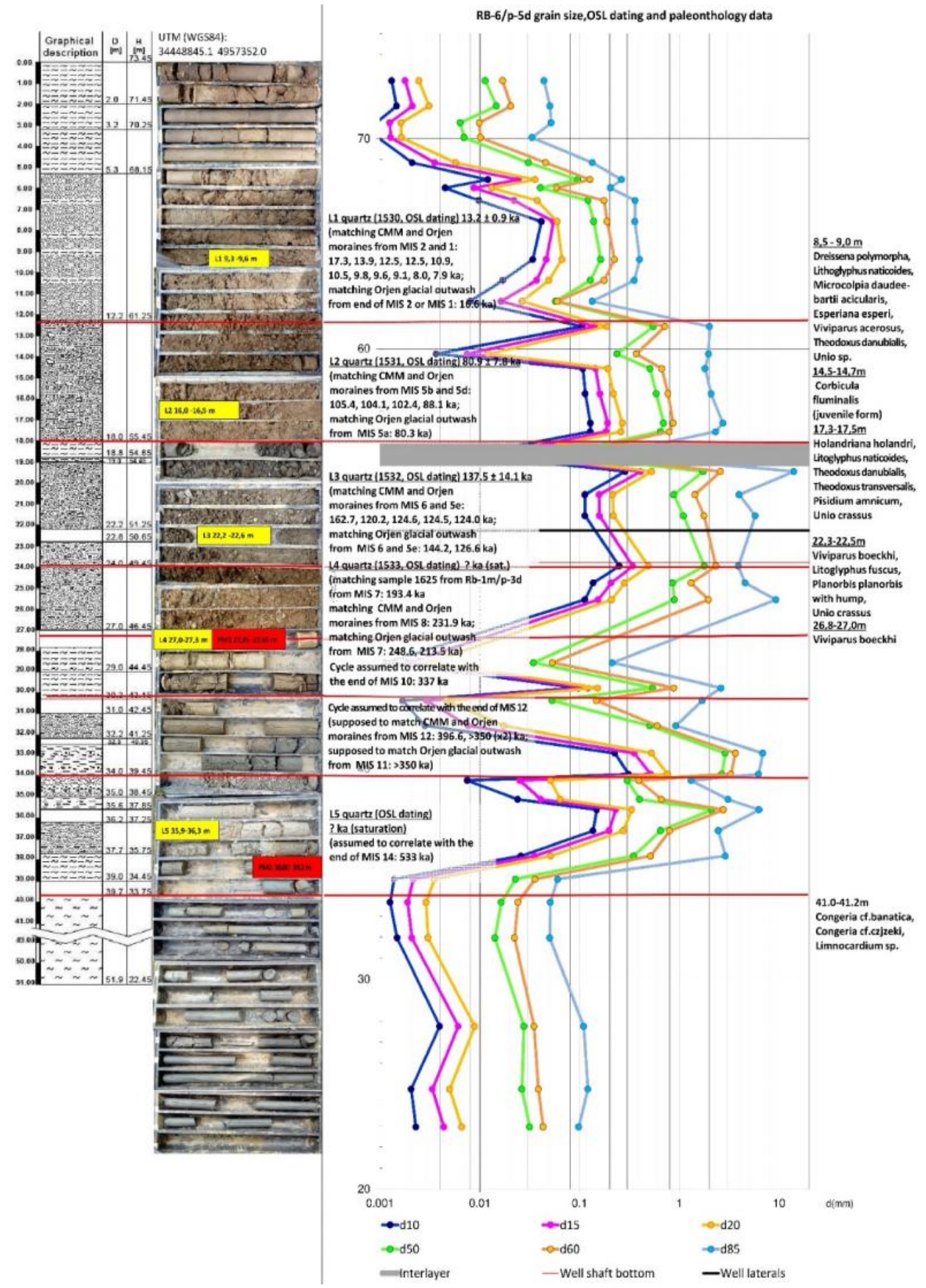
За два подинска циклуса који леже испод полицикличних речних седимената (Слика 138) претпоставља се да су таложени током фаза MIS 10 и MIS 12. Старији би у том случају могао одговарати моренама фазе MIS 12, датираним на 396,6 и два узорка датирана на преко 350 хиљада година, као и материјал карстног поља планине Орјен, који припада MIS 11 фази и датиран је на >350 хиљада година.

Пети узорак са дубине од 35,9-36,3 m није могао бити датиран помоћу кварца због засићења. По аналогији са претходним резултатима могло би се претпоставити да је у корелацији са завршетком фазе MIS 14.

Смена хладних и топлих фаза током плеистоцена довела је до цикличног таложења седимената различите величина зрна и сортираности. Правци приноса материјала и формације које су обезбедиле материјал депонован у савском басену и на београдском изворишту резултирали су различитим минералошким и петролошким саставом седимената.




**Слика 137.** Литолошки стуб бушотине Rb-1m/p-3d, са приказом интервала узорковања језгра за датирање помоћу OSL методе, резултатима гранулометријских анализа и датираном старошћу узорака.




**Слика 138.** Литолошки стуб бушотине Rb-6/p-5d, са приказом интервала узорковања језгра за датирање помоћу OSL методе, резултатима гранулометријских анализа и датираном старошћу узорака.

Слика 138 приказује типичну ситуацију у погледу величине зрна и сортираности материјала. Идући од површине, постоји јасан прелаз од холоцена до плеистоценских слојева. Рани холоцен карактерише финија гранулација са бољом сортираношћу, него код старијих слојева, такође карактеристично је одсуство шљунковите фракције. Ови седименти простиру се оквирно до коте 60 m н.м. У случају полицикличних седимената плеистоцена, на почетку интерглацијала бујичним токовима еродовани су и транспортовани седименти грубог песка и песковитог шљунка, док су у периодима хладних фаза и слабијих протицаја формирани глиновити и прашинасти слојеви, знатно ситније гранулације.

Као што се може видети на слици 138, величина зрна (посебно највећих фракција) расте са старошћу циклуса седимената, посебно када се седименти у доњем делу најмлађих холоценских наслага упореде са горњим делом плеистоценских полицикличних наслага.

Када се упоређује интензитет глацијације током MIS 2 до 5d (Würm) - слика 52, на чијем се крају формирају холоценске наслаге (слике 136, 137 и 138), са интензитетом глацијације током MIS 6 (Riss) - слика 52, на чијем су крају настале најмлађе плеистоценске наслаге (слике 137 и 138), очигледно је да величина зрна корелира са интензитетом претходне глацијације и количином воде која се ослобађа на почетку интерглацијала. Још једно повећање у величини зрна уочено је испод прослојка прашинастих глина (дебљине 1 m) на дубини од 18 m.

Приказани резултати OSL датирања и анализе дистрибуције величине зрна алувијалних седимената, и резултати глацијалних студија спроведених од стране других истраживача (Hughes at al., 2011 и Adamson et al., 2015) показују добру корелацију у погледу времена и интензитета заглечеравања/отапања ледника. Из овог разлога треба размотрити досадашње литературне наводе, изведене на основу палеонтолошких налаза, да су слојеви млађег плеистоцена у потпуности еродовани на београдском изворишту и да холоценски седименти леже директно преко седимената средњег плеистоцена. Поред климе као једног од главних фактора седментације, потребно је узети у обзир и интензивну тектонску активност на подручју београдског изворишта која је свакако утицала на услове седиментације и ерозије ових слојева током квартара.

### 13.4. Дефинисање експлоатационог капацитета бунара у складу са одрживом експлоатацијом подземних вода алувијалне издани и очувањем подземног водног ресурса

Разликујемо 3 фазе у погледу развоја капацитета бунара београдског изворишта.

- У првом периоду интергрануларна алувијална издан је засићена водом а експлоатациони капацитети дренова су велики, при чему се врши експлоатација статичких резерви подземних вода (природни капацитет изворишта).
- У другом периоду доминантан је процес колмирања речног дна, тачније корита реке, услед рада бунара и опадање капацитета на читавом подручју београдског изворишта. Мењају се услови у издани услед експлоатације и потребно је одредити капацитет сваке локација бунара у условима експлоатације.
- После колмирања речног корита, иако је процењени капацитет изворишта око 5 $m^3/s$, експлоатација износи око 3 $m^3/s$. Ово је последица корозије старих дренова и инкрустација које се одвијају на дреновима бунара (као последица процеса који се одвијају у условима издани насталим услед експлоатације) и доводи до опадања експлоатационог капацитета бунара због пропадања и колмирања дренова.

При одржавању изворишта, а због подизања капацитета, предузимају се различите мере које подразумевају регенерације или санације (утискивање нових дренова) на постојећим бунарима изворишта, за које се покаже да услови средине на локацији бунара обезбеђују довољан капацитет експлоатације подземних вода уз такав развој процеса који доводе до старења бунара, који ће обезбедити довољно дуг радни век бунара до следеће санације, да је то економски исплативо. За београдско извориште узима се период од 10 година као економски исплатив век рада бунара између две овакве интервенције.

Након утискивања нових дренова или регенерације дренова бунара, врло је битно одредити дозвољени експолатациони капацитет како не би дошло до брзог пораста локалних хидрауличких отпора (услед великих улазних брзина на филтру) и до опадања капацитета бунара. Приликом дефинисања експлоатационог капацитета бунара предлаже се следећи методолошки приступ.


***Деоница тока где је формирано извориште и дефинисање слојева (геолошки стуб)***

- Мониторинг нивоа и параметара квалитета подземних вода у оквиру издвојених издани или изданских зона.
- Дефинисање хидрогеолошких параметара слојева (Kf – на основу гранулометрије и тестова црпења).
- Дефинисање минералошког и петролошког склопа слојева .

Алувијална изворишта разликују се у зависности од комбинације фактора који су утицали на формирање и принос седимената. Оно што је универзално и карактеристично код алувијалних издани, је то да се најкрупнији материјал ношен речним током депонује у горем делу тока што има за последицу веће коефицијенте филтрације и оксичне услове средине. У зони ушћа, због дугог транспорта и успора, одлаже се ситнији материјал, средина је анаеробна и мања је брзина филтрације подземних вода кроз издан. Поред Kf и оксичности, ситне честице имају битну улогу у погледу биохемијских процеса који се одвијају у издани.

У широј зони Загреба, просечни коефицијен филтрације подземних вода у алувијалној издани Саве достиже скоро 4 x $10^{-2}$ m/s, источно од Загреба опада на просечних 2 x $10^{-2}$ m/s, док у зони Сисачког прага, коефицијент филтрације износи испод 6 x $10^{-4}$ m/s. У овом делу тока појављују се и слабопропусни прослојци у оквиру изданске зоне (Бркић, 2017).

На делу тока кроз Србију вредност коефицијента филтрације алувијалних седимената на изворишту "Мартинци" креће се од 1,4 x $10^{-4}$ до 5,1 x $10^{-4}$ cm/s, док је коефицијент филтрације на "Старом изворишту" у распону 1,6 x $10^{-4}$ до 1,8 x $10^{-4}$ cm/s. Средња вредност коефицијента филтрације алувијалних шљункова на изворишту "Сава 1" ("Јарак") креће се у границама од $10^{-1}$-$10^{-3}$ cm/s, док је коефицијент филтрације пескова реда $10^{-3}$ cm/s. На изворишту "Јарак" обрадом резултата тестова црпења (методама Kuper-Džekoba, Tajsa, Hantuš-Džekoba и Nojmana) 2005. године, добијени су резултати коефицијената филтрације у распону од 3 x $10^{-5}$ до 3 x $10^{-3}$ m/s.

Што се тиче параметара оксичности, на сликама 139 до 142 приказани су неки од *in situ* мерених параметара.

На извориштима Сремске Митровице, може се уочити да је концентрација раствореног кисеоника у осматраним објектима ниска, а да се концентрација раствореног гвожђа повећава ка залеђу. Електропроводљивост у пијезометрима већа је од речне воде, што могуће указује на дотицај из залеђа.

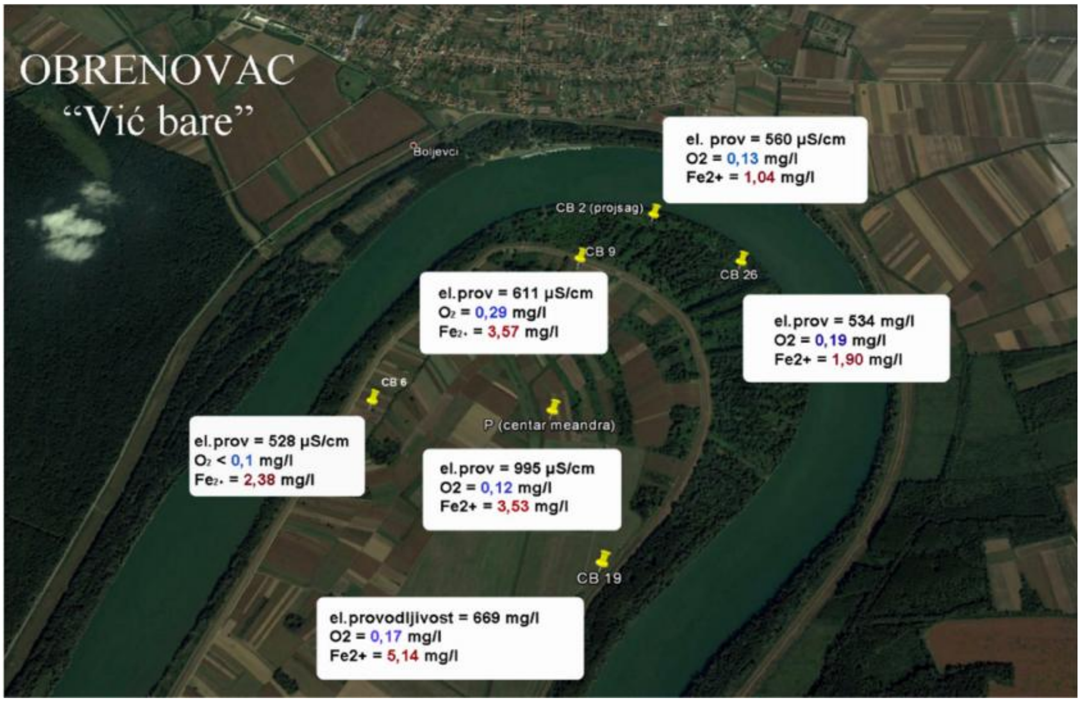

**Слика 139.** Сателитски снимак изворишта – Старо извориште, са локацијама бунара на којима су вршене две кампање *in situ* мерења и узорковања подземних вода за хемијске анализе (2016. и 2017. године)


**Слика 140.** Сателитски снимак изворишта – Мартинци, са локацијама бунара на којима су вршене две кампање *in situ* мерења и узорковања подземних вода за хемијске анализе (2016. и 2017. године)

Код изворишта Јарак у Руми уочавамо аномалију или могућу техничку грешку при мерењу на објекту OB1(P). Електропроводљивост је као у реци, што би могло да указује и на то да је главни дотицај у овој зони издани, из правца реке. Међутим, на овом старом бунару концентрација раствореног Fe износи 18,2 mg/l. Код осталих мерених објеката електропроводљивост опада идући ка реци због утицаја речне воде, а концентрација раствореног Fe опада. На објекту P1 сонда није могла да измери електропроводљивост, тако да је накнадно измерена у лабораторији на узорку подземне воде. Података о дубини и конструкцији овог пијезометра нема, како би евентуално могли објаснити ову појаву.


**Слика 141.** Сателитски снимак изворишта – Јарак, са локацијама бунара на којима су вршене две кампање *in situ* мерења и узорковања подземних вода за хемијске анализе (2016. и 2017. године)

Извориште Вић баре, налази се у холоценском меандру рецентног тока Саве. Алувијални седименти представљени су холоценским песковима, слабијих филтрационих карактеристика, штто се у многоме одражава на услове експлоатације подземних вода. Водоносни хоризонт је свега 5 - 15m дебљине, а његову подину чине лапоровите глине које се налазе око коте 55 m н.м, на овом делу тока Саве. Највећа дебљина водоносног хоризонта је у зони врха меандра. У брањеној зони и уз реку, налази се 30 цевастих бунара (19 - 24 m дубине) и два бунара са хоризомталним дреновима (један бушен методом Preussag и један Renney). За подземне воде ових бунара карактеристичне су високе концентрације гвожђа, док оксичност и електро проводљивост зависе од локалних услова и удањеност од реке. Поред мањих капацитета бунари овог изворишта одликују се и бржим старењем, у односу на друга анализирана изворишта, која каптирају плеистоценску алувијалну издан Саве.




**Слика 142.** Сателитски снимак изворишта – Вић баре, са локацијама бунара на којима су вршена *in situ* мерења и узорковање подземних вода за хемијске анализе у оквиру једне кампање (2016. године).

Утицај притока такође је значајан у погледу резерви подземних вода. Квартарни нанос Дрине и Саве у пределу Мачве обухвата око 850 km$^2$, дебљина наноса је од 20 до близу 100 m фосилног корита Дрине од Бадовинаца и Прњавора, на југу, па до Црне Баре и Равња, близу ушћа Дрине у Саву.

Алувијални нанос Дрине узводније од Мачванске равнице веће пространство достиже само у пределу Лозничког поља. Овде су формирана три изворишта. Ново извориште Лознице "Тополник - Горње поље", са дебљином шљунковито-песковитог слоја од 15 do 20 m, одликује се врло високом пропусношћу, оптималним капацитетом копаних бунара великог пречника (7 објеката) од 50 do 120 l/s и укупним експлоатационим резервама изворишта око 240 l/s. На сличан начин формирано је извориште ''Вискозе'', са захватаних 200 l/s воде. На старом изворишту Лознице "Зеленица" захвата се око 260 l/s воде, од близу 400 l/s колико износе обнављајуће резерве изворишта (Коматина, 2015).

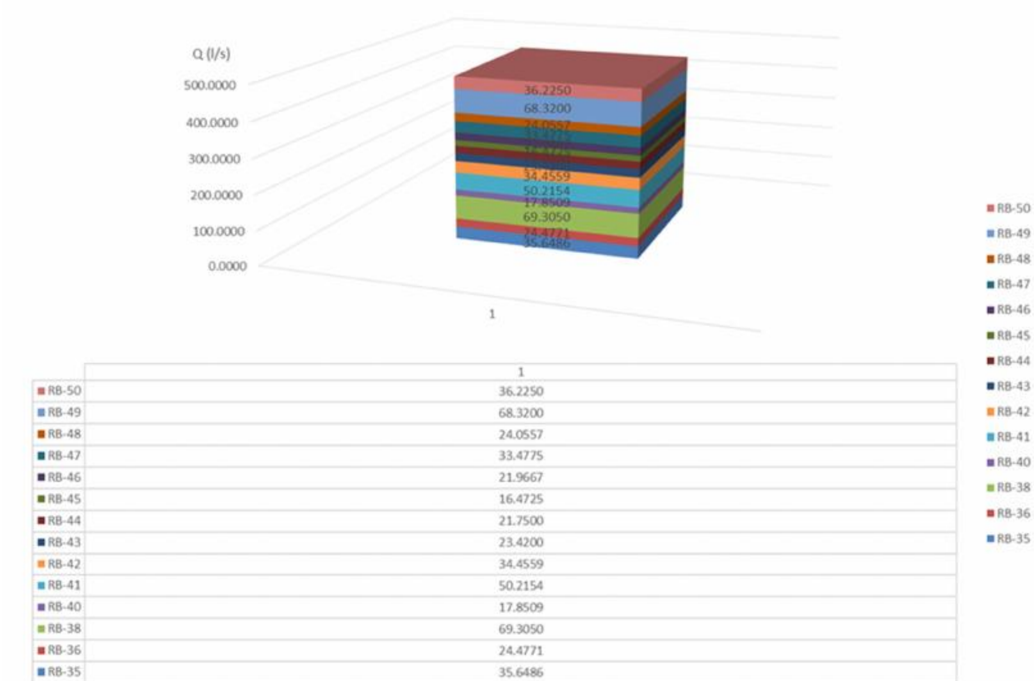
Укупан капацитет изворишта града Шапца и његове индустрије је око 1050 l/s, капацитет изворишта града Богатића је око 110 l/s, а за  за потребе сеоских насеља црпи се до 360 l/s, све из алувијалне издани Дрине.

Дрински алувион у зони Мачве, карактеришу добре филтрационе карактеристи и повољни услови експлоатације алувијалне издани. Изузетак је само извориште Велики Забран код Шапца. Ово извориште напуштено је због присуства Fe и Mn у подземним водама. Извориште се налази на рубу језерске терасе, што је могући узрок порекла повишеног садржаја Fe. Изворишта која се налазе у дринском алувиону немају овај проблем. Из тог разлога, формирано је ново извориште, „Мали Забран”, које је удаљено око 1,1 km од града Шапца и 4 km од реке Саве, које је у почетку радило са капацитетом око 240 l/s. Тренутно се на изворишту „Мали Забран” налази 12 бунара, а њихов капацитет износи преко 100 l/s.


**Слика 143.** Приказ зона Београдског изворишта, са бунарима и зонама санитарне заштите

Београдско извориште налази се на доњем току Саве и обухватаи саму зону ушћа Саве у Дунав.  Извориште се не простире континуално дуж тока Саве левом и десном обалом, већ само у деловима где је алувијална издан представљена плеистоценским седиментима. Из тог разлога бунари београдског изворишта не налазе се у зони савског амфитетатра, као ни на десној обали Саве узводно од Макишког поља (слика 143).

Велика фацијална променљивост у плану и профилу у оквиру квартарних наслага, последица је тектонске активности и меандрирања токова уплатених река, карактеристичних за плеистоцен. У оваквим условима средине карактеристике издани су променљиве, не само од бунара до бунара, који су на међусобном растојању од 500 m, већ су приметне разлике картираних јединица у оквиру профила пијезометара у непосредној близини истог бунара.




**Слика 144.** Приказ средњих експлоатационих капацитета бунара на подручју Доњег поља

Ова карактеристика се може уочити поређењем капацитета бунара који се налазе у непосредној близини један другом. На слици 144. дат је приказ средњих капацитета бунара на подручју Доњег поља, од најнизводнијег (Rb-35) до најузводнијег (Rb-50). Са дијаграма се може уочити да на око 1 km удаљености од бунара до бунара, капацитет може варирати од око 70 до само 17 l/s (пример Rb-38 и Rb-40).

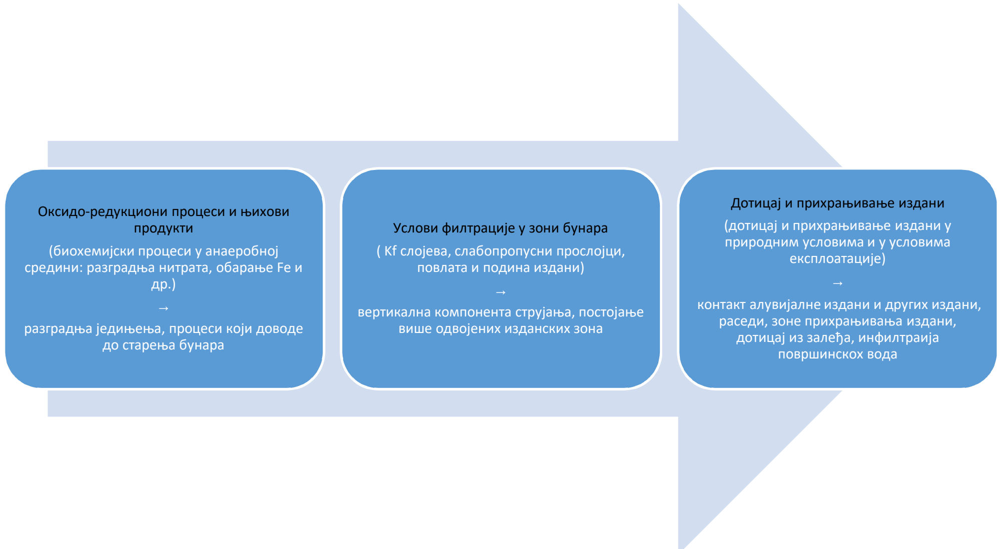
На основу свих истраживања и истражних радова, за подручје Београдског изворишта дат је синстетски стуб квартарних седимената, са оквирним литолошким и палеонтолошким описом слојева, као и њиховим залегањем и положајем у профилу (слика 145).

| starost | Dubina (m) | Kota (m) | Materijal | Litološki sastav | Fosili |
|---|---|---|---|---|---|
| $Q_2$ holocen | ≈ do 15 | ≈ 75 |  | **al** (sedimenti savremenog toka Save)<br><br>Sedim. **povodnja**, starača – sivosmeđi alevriti, gline, peskovite gline<br><br>Sedim. **korita** –pesak, alevritični pesak, šljunkoviti pesak, proslojci peskov. alevrita | *Dreissena polimorpha*<br>*Litogliphus naticoides*<br>*Fagotia acicularis,*<br>*Unio i dr.* |
| $Q_1$ pleistocen | ≈ do 30 | ≈ 65 | | **Policiklični rečni sedimenti** (paleo toka) – šljunkoviti pesak, peskoviti šljunak, proslojci alevrita<br><br>**Jevremovićev sloj** do 20m dubine | ***Corbicula fluminalis***<br>*Unio crassus, Fagotia accicularis, Litogliphus naticoides, Theodoxus transversalis, Th. Danubialis, Amphimelania holandrei, Pissidium amnieum,*<br>***Viviparus boeckhi*** |
| $PlQ_1$ | ≈ do 60 | ≈ 45 | | jezersko – barsko – terestički sedimenti<br><br>Šarene i sivoplavičaste gline, alevriti, sa oolitima Fe i Mn, glinovito-šljunkoviti pesak<br><br>Debljina im varira | Bez fosila |
| $M_3$ panon | ≈ | ≈ | | Sivi lapori, laporovite gline i laporovit alevriti - **Ostrakodski laporci**<br>*U genetskom pogledu ovo su sedimenti nekadašnjeg slankastog jezera Panon nastalog nakon izolacije Panonskog morskog basena u mlađem miocenu* | *Ostrakode, Congeria cejzeki, C. Bonetica, Limnocardium i dr.* |

**Слика 145.** Синтетски стуб квартарних седимената на подручју Београдског изворишта, са приказом и описом литолошких чланова.

Дефинисање капацитета локације бунара у условима експлоатацијеу
(у ƒ услова средине и процеса који прате експлоатацију)

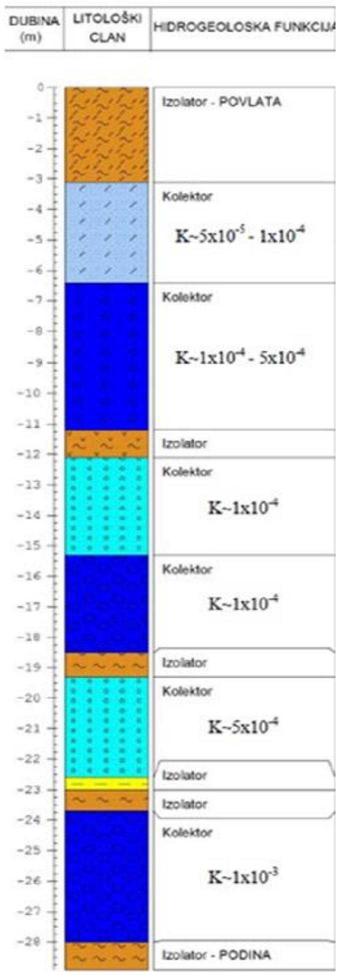
→ *избор повољне локације бунара или бунара перспективног за санацију или регенерацију*




***Дефинисати природни капацитет локације***

- На основу гранулометријских анализа репрезентативних узорака, резултата обраде пробних црпења и уз резултате калибрације математичких модела струјања подземних вода, одредити Kf каптираног слоја и водопропусност слабопропусног прослојка.
- Дефинисати хидродинамичку везу појединих слојева и пропусност слабопропусних слојева, на основу осматрања нивоа подземних вода на батеријама пијезометара у зони дренова бунара.
- На основу минералошко петролшког склопа средине и физичко-хемијских параметара подземних вода (утврдити садржај Fe, редокс потенцијал и оксичност – као последице хемијских и биохемијских процеса и минералошке потрошње кисеоника у издани. Анализирати их и протумачити у контексту са резултатима *in situ* мерења раствореног $O_2$ у подземним водама, редокс потенцијала, pH и резултатима хемијских анализа подземних вода).
- Дефинисати хидродинамичке услова истражног подручја или границе хидродинамичког модела локације бунара (утврдити какав је контакт са реком и колика је филтрација кроз колмирано речно дно, као и дотицај из залеђа).

Сложени геоморфолошки и тектонски услови довели су до велике диверсификације квартарних седимената у погледу различитих фација и седимената различитог гранулометријског и минералошко-петролошког склопа на београдском изворишту.




**Слика 146.** Карактеристични литолошки стуб квартарних седимената на београдском изворишту – шематизован за потребе израде хидродинамичког модела (Димкић, 2012).

Приликом израде хидродинамичког модела изворишта 2010. године шематизован је и усвојен следећи литолошки стуб квартарних слојева на београдском изворишту (слика 146).

Издвајање литолошких слојева врши се на основу картирања језгра, резултата палеонтолошких и гранулометријских анализа. Водоносна средина алувијалне издани београдског изворишта представљена је вишеслојном средином, где су водоносни хоризонти представњени песковима и шљунковима, а између њих налазе се слабије пропусни или условно непропусни слојеви и прослојци глина и алеврита. Дренови су утиснути у најдубљи и најшљунковитији слој. Разлика пијезометарских нивоа у слоју изнад и испод водонепропусног прослојка, може бити и преко 10 m. Поред тога, уочена је и разлика у хемијском саставу и параметрима квалитета плитких и дубоких пијезометара на локацијама неких бунара београдског изворишта.

Слабопропусни слојеви раздвајају плиће и дубље делове издáнске зоне и могу да утичу на филтрацију подземних вода. Њихова функција је двојака. Са једне стране штите издан од инфилтрације са површине терена и из плићих делова идани, али могу да буду ограничавајући у погледу капацитета.

Са аспекта капацитета бунара битно је утврдити филтрационе карактеристике каптираног слоја у ком су утиснути дренови и карактеристике слабопропусног слоја или прослојака у циљу дефинисања вертикалне компоненте струјања подземних вода. Највећи хидраулички отпори, или највећи губитак енергије, јавља се на колмираном кориту реке и при филтрацији на слабопропусним прослојцима. Брзина и вертикална компонента филтрације одређују капацитет бунара и директно зависе од водопропусности прослојка и његовог континуалног простирања у плану. Из тог разлога у непосредној билизини дренова потребно је израдити батерије пијезометара са кратким филтрима (не дужи од 0,5 m) у сваком сегменту водоносне средине која се налази одвојена водонепропусним слојем. Приликом тестирања и рада бунара потребно је вршити мониторинг пијезометарских нивоа на израђеним пијезометрима. Хемијски састав, електропроводљивост, температура и други параметри подземних вода који се осматрају на батеријама пијезометара, могу бити добар индикатор режима подземних вода и услова прихрањивања издани.

**Табела 50.** Класе бунара на београдском изворишту према параметрима оксичности (Димкић, 2012).

| Класа | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Укупно гвожђе у води бунара, *Fe* (mg/l) | <1 | 1- 2 | 2 - 4 | > 4 |
| Редокс потенцијал, *Eh* (mV) | >150 | 120 - 150 | 90 - 120 | < 90 |
| Број потенцијално активних IRB и SLYME бактерија, *B* | $< 2 \cdot 10^2$ | $2 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^2$ | $2 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^3$ | $> 2 \cdot 10^4$ |

Биохемијски процеси који доводе до старења бунара и опадања капацитета, одвијају се увек у аноксичним условима средине, али њихов ефекат зависи од конкретних параметара средине и геолошке грађе слојева на датој локацији. На основу анализе ових параметара дата је класификација бунара на београдском изворишту према бонитету (табела 50).

Пијезометарски ниво и промена пијезометарског нивоа зависе од капацитета експлоатације, али су одређени и природним карактеристикама локације. Такође и учешће ситне фрације, појава двовалентног Fe и разлика у редокс потентцијалу, последица су природних карактеристика локације и услова генезе. Сви ови фактори утичу на природни капацитет локације у погледу погодности за експлоатацију подземних вода алувијалне издани и представљају факторе на основу којих се димензионишу дозвољене улазне брзине и експлоатациони капацитет бунара.

Иако се на подручју београдскох изворишта бунари и дренови налазе на самој обали, утиснути испод корита реке, контакт са другим изданима може значајно мењати струјну слику и услове филтрације и прихрањивања издани током године. Такав је случај са контактом карстне и фреатске издани на подручју Савског амфитеатра и Макишког поља, или пак пример дифузног дотицаја из правца лесних платоа у залеђу сурчинског поља на левој обали Саве.

Хидродинамички модел представља моћну алатку при предстрављању и шематизацији услова струјања подземних вода. Међутим, за израду и постављање модела врло је битно добро изучити и дефинисати услове филтрације и процесе који прате експлоатацију подземних вода, како би и они били предвиђени израдом модела. Још један фактор битан за правилно постављање граничних услова средине је дотицај и услови у залеђу издани.

За дефинисања дотицаја из залеђа и дефинисања граничних услова при изради хидродинаичког модела, потребно је спровести режимска осматрања којима ће бити утврђен режим нивоа подземних вода издани у односу на режим водостаја у реци и интензитет падавина на истражном подручју.

Веће сезонске осцилације нивоа подземних вода на ширем подручју изворишта, могу бити и последица контактна алувијалне и карстне издани у залеђу, па тако карстна издан може прихрањивати алувијалну издан у једном периоду, а дренирати је у другом периоду године.

При анализи режима подземних вода, поред мерења нивоа, *in situ* мерења електропроводљивости, pH, температуре, раствореног кисеоника или пак хемијске анализе подземних вода (минерализација, TOC и др), могу бити врло индикативни при интерпретацији дотицаја из реке или из залеђа. Поред тога појаве калцификованих слојева и прослојака такође могу указивати на дотицај вода богатих карбонатима из залеђа, који се таложе и везују седименте у зонама осцилација нивоа подземних вода.

Приликом шематизације средине потребно је што боље дефинисати и раздвојити слојеве и за њих задати адекватне параметре. Сваки слој представља хидрогеолошку и хидрауличку јединицу која је настала као резултат седиментације у специфичним условима у одређеном временском раздобљу. Услови генезе при седиментацији сваког циклуса утицали су на његове филтрационе карактеристике, као и на биохемијске услове, минералошки и петролошки склоп, гранулацију и сортираност зрна.

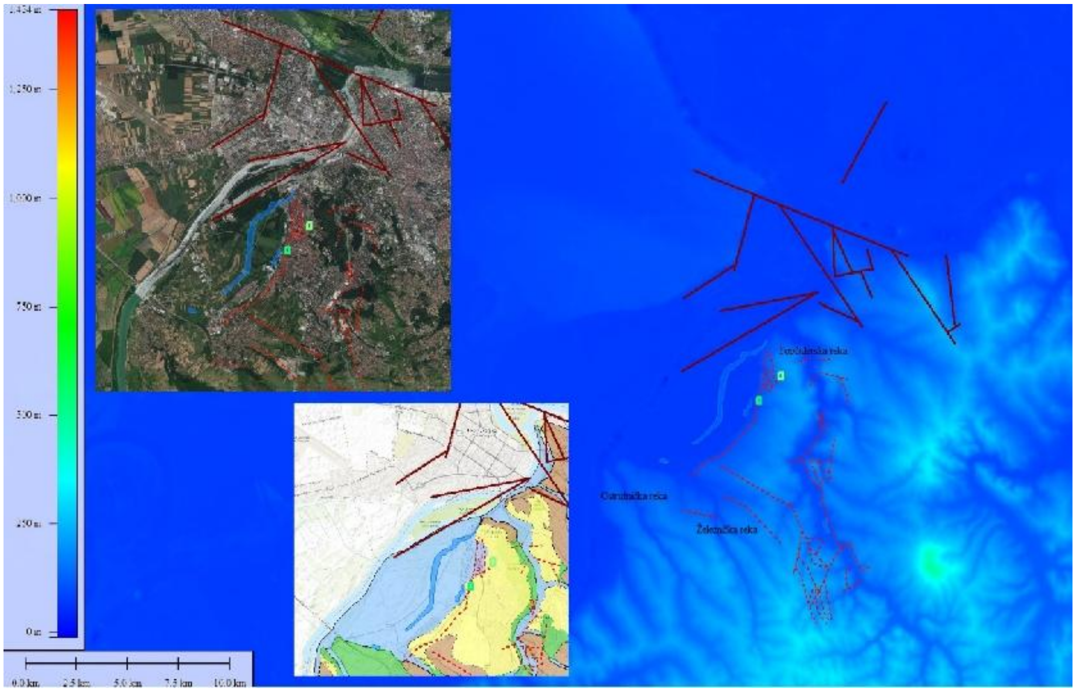
Слојеви (циклуси седиментације) се прво издвајају приликом истражног бушења на основу картирања језгра, потом се из сваког издвојеног слоја узимају узорци за гранулометријске, минералошке, петролошке и палеонтолошке анализе, на освоцу којх се потом дефинишу слојеви и њихове карактеристике.

Када је литолошки стуб у потпуности дефинисан за дату локацију, може се извршити шематизација геолошке средине. Хидраулична веза између слојева може се посматрати на основу пијезометарских нивоа, мерених на пијезометрима са кратким филтрима који се налазе у оквиру појединачних слојева. Коефициенти филтрације за сваки слој одређују се на основу резултата гранулометријских анализа и на основу резултата опита црпења. На основу резултата опитних црпења врш се и калибрација модела и усваја се коначни модел са одређеним бројем издвојених слојева.

За добијени модел се врши симулација брзине дотицаја из реке и из залеђа, на основу задатих параметара граничних услова и параметара средине, тачније дефинисаних слојева. У конкретном случајуи београдског изворишта посебна пажња се придаје дефинисању ефеката филтрације кроз полупропусни прослојак и кроз колмирано корито реке. Слабоппропусни слојеви имају ограничавајући ефекатр на капацитет бунара, али имају и заштитну функцију у погледу очувања квалитета подземних вода и њихове заштите у односу на површинске воде и инфилтеацију вода са површине терена.

За формирани математички модел, затим се задају коефицијенти филтрације у одређеним зонама модела, на основу регистрованих нивоа подземних вода у тој зони издани. Међутим, пре него што се приступи тарирању хидродинамичког модела, потребно је на бази анализе свих геолошких и хидрогеолошких подлога детерминисати и дефинисати услове прихрањивања и дотицај подземних вода у алувијалну издан.

Различите формације у залеђу детерминишу тип дотицања. Код Макишког поља у залеђу се налазе издигнуте формације кредног флиша и сарматског кречњака. У овој зони дотицај се може очекивати у виду зона истицања подземних вода пунктуално, као што су то извори означени зеленим квадратима на слици 147, или пак зоне дотицаја у виду већих површинских или подземних токова, као што је то у зони Железничка река.



**Слика 147.** Морфолошки приказ терена доњег тока Саве, сателитски снимак подручја и дигитализована ОГК за подручје Макишког поља, са приказом раседних структура (црвена пуна линија – према урбанистичком плану територије Београда, црвена испрекидана линија – према ОГК 1:25 000 лист Београд, плаве површине - фација барских седимената (према ОГК 1:25 000 лист Београд), зелени квадрати – ХГ појава 1-10 l/s (Хидрогеолошка карта територије Београда, Геокарта, 1976)

Железничка река каналисана је са површине терена у канализацију, али је на површини терена уочљива фација барских седимената у окви квартарних творевина, која својом издуженом формом указује на простирање рецентног тока.

За режимка осматрања нивоа у циљу димензионисања дотицаја у овој зони потребно је израдити батерије пијезометара у зони дотицаја. Један филтер треба позиционирати у зони алувијалних седимената, а други у кречњачкој формацији.

За разлику од десне обале Саве, где се по ободу савског басена и београдског рта дотицаји јављају у виду зона дотицања и токова, из пукотинске издани. На левој обали терен је представљен алувијалном равни која се простире између лесног платоа и обале Саве. Лесни седименти у зони Бежанијске косе и Земуна, леже директно преко алувијалних плеистоценских седимената, јасно ограничени раседним структурама (слика 147).

Високи нивои подземних вода у залеђу, као и на читавом подручју поља указују на могуће дифузно дотицање подземних вода из плеистоценских алувијалних седимената у подини леса и са ободних виших теренаа. Лес је врло порозан па је у том случају могућа филтрација вода из повлате у алувијалну издан и дотицај са лесних платоа. Са друге стране, залегање плеистоценских седимената испод леса и зона њиховог простирање у плану (ка северу и северозападу) нису у потпуности дефинисана. Појединим бушотинама утврђено је њихово присуство у подини леса, али граница простирања на северу није дефинисана.

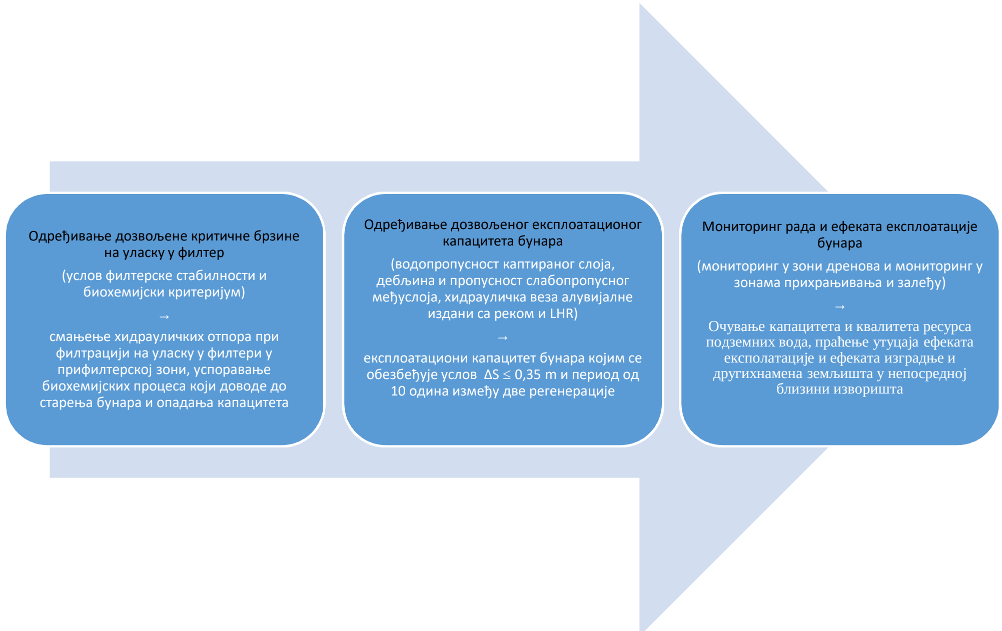
Дотицаји токова са Фрушке горе и меандрирање тока Саве у плеистоцену имали су велики утицај при формирању плеистоценских седимената. Из тог разлога зоне прихрањивања дубљих хоризоната алвијалне издани могу бити и северно од зоне простирањ лесних платоа, у зони токова који су некада дотицали са Фрушке горе.

Димензионисање експлоатационог капацитета бунара

(у ƒ очувања ресурса и економски оправдане експлоатације подземних вода, у условима просторног планирања и развоја града и земљишта предвиђеног за друге намене)

→ *пророчун оптималног експлоатационог капацитета бунара, којим се обезбеђује довољна количина воде, уз економски исплатив век рада објекта између две регенерације или санације*

→ *позиционирање водозахватних објеката и димензионисање експлоатационих капацитета уз услов задовољења потребне количине и квалитета воде за воодоснабдевање и одржавање нивоа подземних вода за потребе изградње.*




***Дозвољена критична брзинана на уласку у филтер.***

- Одређују се у зависности од биохемијских параметара. Брзине одређене на овај начин вишеструко су мање у односу на брзине које се добијају на основу задовољења критеријума филтрационе стабилности, али се на тај начин продужава век експолатације и рада бунара између две регенерације, што смањује трошкове одржавања.

За дефинисање експлоатационог капацитета бунара треба дефинисати максималне улазне брзине на филтру, што подразумева и дефинисање експлоатационог капацитета тачније протока по дрену. Пропусност филтра дуж дрена дефинише се преко коефицијента локалних хидрауличких отпора (LHR) и променљива је по дужини дрена и током времена (KLHR).

У циљу дефинисања максималних улазних брзина морају бити задовољена два критеријума. Први критеријум подразумева филтрациону стабилност у непосредној зони око дренова, која се за бунаре београдског изворишта углавном одређује искуствено на основу гранулометријског састава тла и засипа, као и на основу величине отвора на филтру (критеријум Зихарта, Абрамова, Ковача или преко Рејнолдсовог броја).

**Tabela 51.** Критеријуми за одређивање дозвољених улазних брзина на основу филтрационе стабилности у непосредној зони око дренова (Димкић, 2012)

| | | |
|---|---|---|
| Критеријум дозвољених брзина (m/s) | Sichardt | $v_d = \sqrt{k}/15$ |
| | Huisman | $v_d = \sqrt{k}/15$ <br> $v_d = \sqrt{k}/30$ |
| | Abramov | $v_d = \sqrt{k}/30$ <br> $v_d = \sqrt{k}/30$ |
| | Kovač | $v_d = \sqrt{k}/30$ <br> $v_d = \sqrt{k}/110$ |
| Критеријум Reynolds-ovog броја | $Re = \frac{v_{doz} \cdot d_{10\%}}{\nu} < 6$ <br> (d10 – се односи на засип) | $v_{doz} = \frac{Re \cdot \nu}{d_{10\%}}$ |

Други критеријум односи се на старење бунара и зависи од природе процеса који се одвијају на филтру и у прифилтарској средини. Код старих дренова то су корозија и инкрустација, док се у случају нових прохромских дренова јавља само процес инкрустације који доводи до старења дренова и опадања капацитета. Ови процеси одвијају се разиличитом брзином и интензитетом зависно од карактеристика саме локације и променљиви су током времена. Процеси који доводе до старења и опадања капацитета бунара су у функцији гранулометријских, петролошких, минералошких и геохемијских карактеристика тла, тачније слојева. Хидраулички отпори расту идући од бунара дуж дренова, тако да се функционални део дренова током времена смањује све док се потпуно не колмирају и изгубе своју функцију. На основу вишедеценијског праћења рада буна београсдког изворишта утврђена је веза процеса који доводе до старења бунара и експлатационих капацитета дренова , тачније максмималних дозвољених улазних брзина и то преко два параметра, редокс потенцијала - Eh (mV) и концентрације раствореног гвожђа - $Fe^{2+}$ (mg/l). Веза ова два параметра подземних вода, са максималним дозвољеним улазним брзинама на филтру успостављена је емпиријски и квантификована као мера пораста локалних хидрауличких отпора. Други критеријум је значајно стриктнији и у већој мери ограничава експолоатациони капацитет бунара, тачније дозвољене улазне брзине на филтру.

***Одређивање дозвољеног експлоатационог капацитета бунара***

- Параметри релевантни за одређивање експолоатационог капацитета бунара су водопропусност каптираног слоја у ком су утиснути дренови, дебљина и пропусност слабопропусног међуслоја, хидраулична веза алувијалне издани са реком и локални хидраулички отпори који се јављају на филтру дренова.

На основу наведених критеријума са аспекта старења бунара, емпиријски је утврђено да дозвољени експлоатациони капацитет бунара, у зони београдског изворишта, мора да обезбеди спуштање нивоа у бунару не веће од 0,35 m годишње. Ова величона промене депресије износи 35 m за 10 година, што се сматра прихватљивим и оптималним временом између две регенерације бунара. Приликом дефинисања дозвоњеног експлоатационог капацитета бунара, врши се и упоредна анализа ефеката експлоатације у случају различитог броја дренова и протицаја по дрену.

***Мониторинг рада и ефеката експлоатације бунара након регенерације или санације.***

- Потребно је спроводити континуалан мониторинг нивоа и квалитета подземних вода и дефинисање биохемијских услова средине и пораста локалних хидрауличких отпора током времена на пијезометрима који се налазе у непосредној близини бунара. Као и спровести адекватан мониторинг у залеђу изворишта, у зонама дотицаја.

Потребно је пратити ефекте рада бунара и утицаја на пијезометарске нивое у зони дренова, изнад и испод слабопропусног прослојка. Филтре пијезометара треба тако поставити да у сваком слоју који је одвојен слабопропусним прослојком постоји пијезометар чији филтер се налази само у оквиру тог слоја. Пожељно је да постоји више оваквих батерија пијезометара на различитој удаљености од дренова ради што бољег мониторинга и дефинисањеа ефеката рада бунара.

Спроведене регенерације делимично успоравају генерални тренд опадања издашности, са временски ограниченим ефектима. Уобичајена је пракса да се повољни ефекти регенерација оцењују на основу мерених протицаја непосредно пре и после регенерације. Без додатних мерења и комплексније анализе, није могуће оценити стварни допринос регенерације бунара у раду изворишта. Неопходно је да се бунари тестирају пре и после регенерације у приближно истим хидрауличким условима.

Након регенерације бунара рачуна се повећање издашности бунара, на основу промене локалних хидрауличких отпора. Добијене вредности представљају реалну величину, у колико су бунари тестирани у експлоатационим условима рада, а не непосредно по завршетку регенерација.

У оквиру предлога потребног мониторинга, односно праћења ефеката регенерација бунара, треба вршити периодична тестирања бунара. Утврђивање ефеката регенерације преко локалног хидрауличког отпора се препоручује као рутински поступак на извориштима подземних вода. Истовремено, на овај начин је могуће пратити процес старења бунара (преко повећања LHR), што представља поуздану подлогу за оцену степена његове експлоатационе функционалности, као и потребу и динамику спровођења мера за одржање и повећање издашности изворишта.

Поред мониторинга у зони бунара, потребно је спроводити известан обим осматрања и у претходно дефинисаним зонама дотицаја подземних вода. Ове зоне као што је претходно истакнуто не морају бити у непосредној близини и залеђу бунара, али могу имати значајан утицај на нивое подземних вода у зони изворишта.

***Прилагођавање услова изградње и развоја града, условима експлоатације подземних вода за водоснабдевање.***

- Ово питање је посебно значајно у условима колизије потреба за развојем градских насеља у непосредној зони изворишта и потребе за експлоатацијом подземних вода и очувањем подземних водних ресурса.

Приликом дефинисања услова изградње за потребе планираних урбанистичких пројеката, питању уређења режима подземних и површинских вода мора се приступити плански, а не парцијално у складу са захтевима појединих пројеката. Подземне воде које представљају проблем при изградњи објеката, представљају основни ресурс који користимо за водоснабдевање. Правилни каптирањем и позиционирањем водозахватних објеката подземне воде се могу користити за разлишчте намене, од воде за пиће о техничке воде, али свакако не смеју представљати ресурс који се због урбанистичких објеката непландски прецрпљује и баца, правећи на тај начин додатне проблеме. Управљање ресурсима подземних вода из то разлога мора бити планско и свеобухватно.

Питања одводњавања терена у широј зони залеђа изворишта не сме бити руковођено потребама појединачног пројекта, већ планским управљањем ресурса које подразумева његову заштиту, експолатацију и очување.

Подручје Макшког поља, поред тога што припада београдском изворишту, предвиђено за изградњу више подземних и надземних објеката (метро станица, Тесла град и друго). У случају потребе за одводњавањем терена, тачније обарањем нивоа у зони предвиђених објеката за изградњу, уместо одбране у зони поља, трба размотрити могућност израду бунара у залеђу, у самој зони дотицаја. С обзиром на миоценску повлату сарматских кречњака постоје индиције да би ове воде могле бити доброг квалитета и користити се за водоснабдевање планираних насеља, или као техничка вода, у колико се покаже да су незадовољавајућег квалитета за пиће. У том случају моделским симулацијама, а касније режимским осматрањима на пијезометрима БВК, треба утврдити утицај експлоатације подземних вода у залђу, на ниовое подземних вода у зони бунара. Обарање нивоа у зони бунара проузроковало би велике проблеме у погледу опадања капацитета бунара и убрзаног процеса старења објеката. У том случају може се размотрити могућност растерећена, већ преоптерећених бунара БВК, евентуалним искључењрм из рада оних бунара који су се показали као лоши за санацију и регенерацију и који раде малим капацитетима, а да се задрже само бунари чије локације омогућавају веће капацитете и показали су спорији тренд старења. У колико би овај дефицит узрокован искључењем лоших бунара из употребе, могао бити надомештем водом каптираном у залеђу поља, то би значило решење два проблема истовремено. Решење проблема обарања нивоа у зони предвиђеној за изградњу и проблема одржавања експолатационог капацитета подземних вода за потребе водоснабдевања.

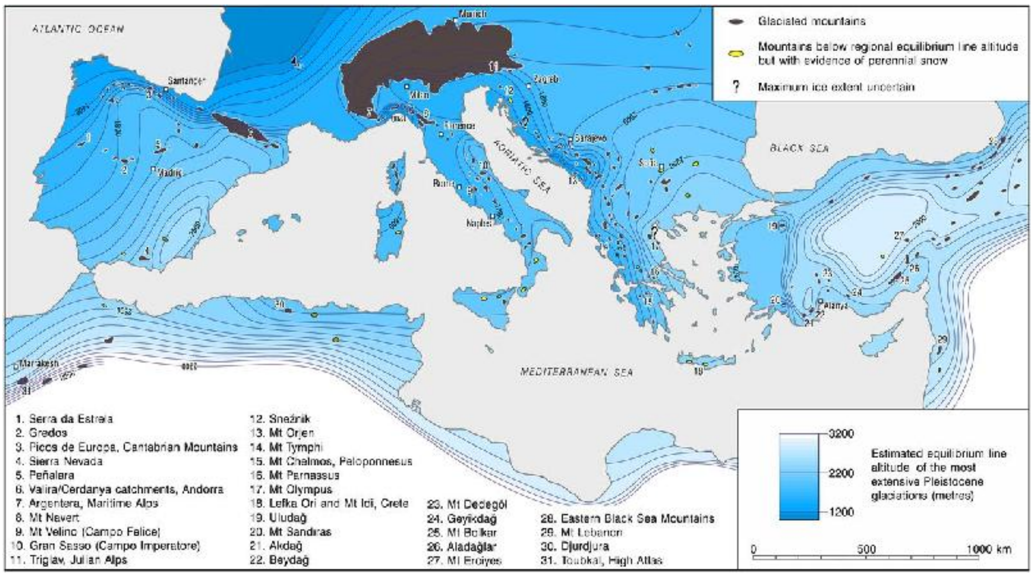
Овакав приступ могућ је и у зони Савског амфитеатра, где нема бунара БВК, а алувијални седименти представљени су искључиво холоценским творевинама. У централном делу амфитеатра налази се зона предиспонираног дотицаја у зони Мокролошког потока. У залеђу, на скоро читавом подручју амфитеатра миоценске лапоровите глине прекривају сарматске кречњаке. То значи да су воде карстне сарматске издани вероватно доброг квалитета и антропогено неконтаминиране. Њиховим каптирањем у залеђу у зони Мокролушког потока могао би се спречити дотицај на подручје изградње Београда на води, а воде би се могле користити у зависности од квалитета у различуте сврхе. Бунарима који тренутно испумпавају подземне воде уз обалу Саве, са циљем обарања нивоа подземних вода у зони изградње постоји могућност да се вода додатно "навлачи" из залеђа, тачни да се обарањем нивоа у хипсометријски нижој зони Савског амфитеатра повећава дотицај из виших терена у залеђу. Режимским осматрањима нивоа подземних вода на батеријама пијезометара са одвојеним филтрима у оквиру алувијалне издани и кречњака, треба утврдити дотицај у зони Мокролушког потока као предиспонираног правца кретања и дотицаја подземних вода на ободу Савског амфитеатра. С обзиром да зоне прихрањивања карстне издани, као ни брзина пропагације подземних вода нису познати, осматрања треба извршити у оквиру једне хидролошке године како би утврдили колики су дотицаји у одређеним периодима.

Лева обала је данас испресецана мрежом мелиоративних канала који служе за одводњавање терена, а земљиште се углавном користи за пољопривреду. Међутим, у плану је израда Мастер плана којим треба да буду дефинисани услови будуће изградње на подручју Доњег поља. Високи нивои подземних вода, који су скоро на површини терена у залеђу, свакако ће представљати проблем. Обарање новоа у залеђу могло би да узрокује опадање нивоа подземних вода у зони бунара. Из тог разлога потребно је првенствено батеријама пијезометара дефинисати везу горње и доње издаске зоне, а затим и услове режима подземних вода. Анализа нивоа подземних вода плиће и дубље зоне алувијалне издани, уз анализу режима водостаја Саве и падавина на подручју Доњег поља, није био довољан за дефинисање режима, већ је потребно утврдити и карактер контакта леса и алувијалне издани и дотицај са виших терена по ободу поља. Поред тога треба дефинисати простирање плеистоценских алувијалних седимената у плану и њихово залегање у зони других квартарних творевина, како би било утврђено сливно подручје са ког подземне воде гравитирају ка Сави, у зони Сурчинског поља. За потребе израде Мастер плана и будуће изградње на овом подручју биће потребно јасно дефинисати услове режима подземних вода и прихрањивање издани, како евентуално обарање нивоа подземних вода или насипање трена у залеђу бунара

БВК, не би угрозили режим експолатације и капацитет и квалитет ресурса подземних вода.

## 14. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

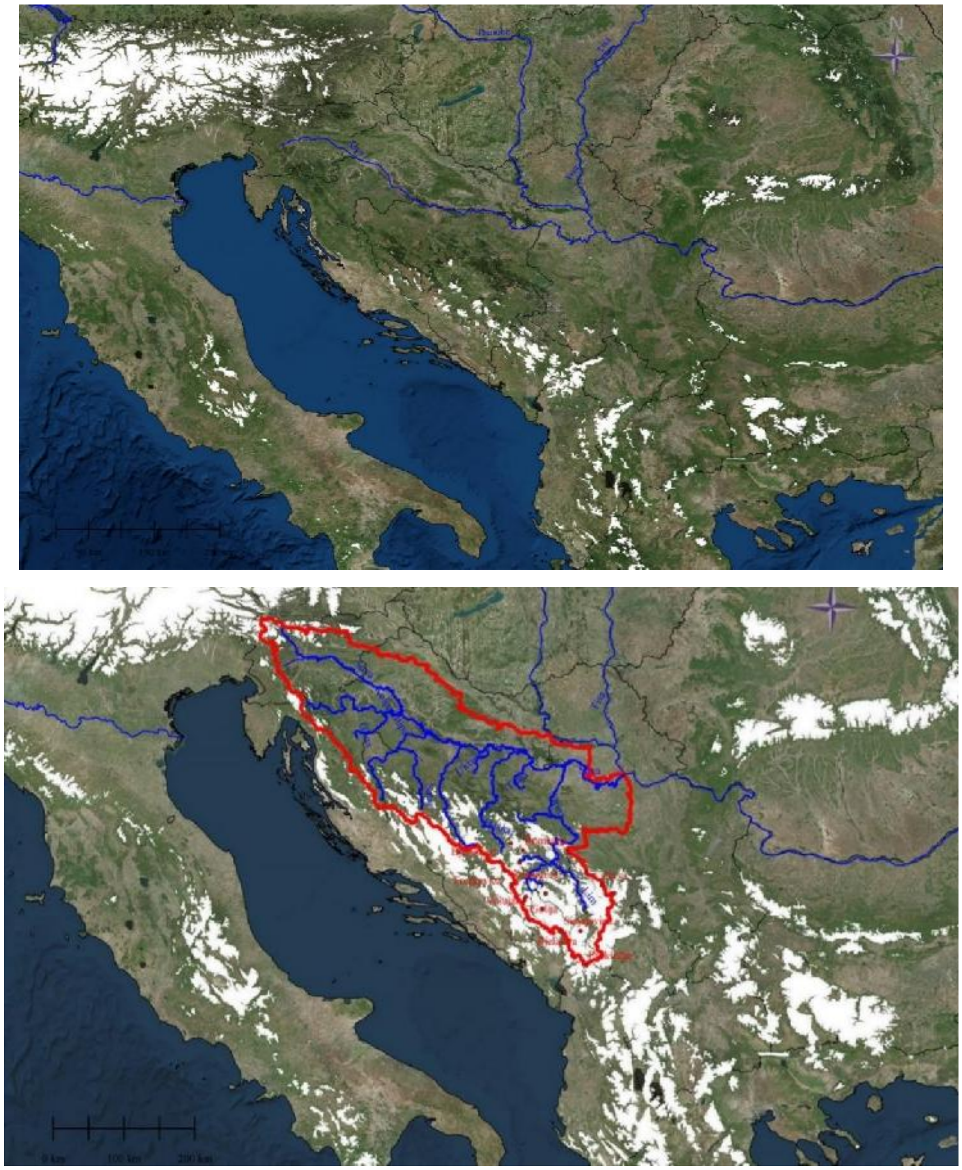
Савремени површински токови предиспонирани су миоценском тектоником, у врхунцу Алпске орогенезе и отварања северног Атлантика. Током миоцена и плиоцена речни пра-токови транспортовали су и депоновали, хемијски отпорне минерале и седименте, као што су кварцити, отпорни на распадање услед дуготрајног транспорта у влажним и топлим климатским условима какви су тада владали. Реке су текле плитким каналима, усецима и меандрима, без значајнијег усецања токова. Сезонских колебања је било, али не и драстичних температурних и климатских промена.




**Слика 148.** Распростирање плеистоценских ледника на Медитеранским планинама, са представњеном границом леда (equilibrium line altitudes - ELAs) у најјачој фази глацијације. (Hughes, 2016)

Почетак хладне климе везује се за плеистоцен. Овај период у погледу карактеристика седимената оставио је јасан траг. У почетку (током старијег плеистоцена), шљункови и пескови плиоцена, бивају еродовани и редепоновани токовима уплетених речних токова наслеђеним из плиоцена. Велика неогена језера нестају са подручја панонске низије, остављајући за собом заостала мања језера, баре и мочваре, које заједно са мрежом широких уплетених речних токова представљају пространу област седиментације. Читав терен ободог дела панонске низије, укључујући и Савски ров на њеном самом ободу, наставља да тоне током плеистоцена, док се планински делови по ободу издижу, формирајући на тај начин пространу седиментациону област у којој су таложени седименти налик језерским.

И поред тога што ови седименти имају велико распрострањење у плану, бочна фацијална промењљивост седимената, прстасто залегење фација и прослојавање, указују да је у питању речна седиментација.



**Слика 149**. Области под ледницима на простору Динарских Алпа током максимума заглечеравања током плеистоцена, у случају ледничке границе (ELA) изнад 1 000 m н.м. (доле) и 1 500 m н.м. (горе), црвеном линијом означена је контура слива реке Саве

У плеистоцену долази и до глацијације на Алпима (такозвана фаза Preatiglian траје од пре 2,588 милиона година до пре 2,4 милиона година и обухвата MIS 100 до MIS 96), ове глацијације нису имале већи утицај на терене Балканског полуострва, нити на глацијацију у Динарским Алпима. Заробљавање велике количине воде у ледницима, међутим, одразило се на опадање нивоа светског мора, као и на падање протицаја и количине воде у површинским водотоцима. Тренд флуктуације нивоа светског мора настављен је током читавог плеистоцена. Периоди топлих интерглацијалних фаза подразумевали су климатске прилике сличне данашњим, као и виши ниво светског мора и веће протицаје у рекама (тренутно се налазимо у интерглацијалном периоду).

За доњу границу простирања ледника данас се узима 2 500 m н.м, док је током плеистоцена ова граница била значајно ниже. На основу резултата ранијих истраживања (Миливојевић, 2004 и 2008; Kuhlemann et al., 2009; Ђуровић, 2009, Петровић, 2014) усвојено је да је најнижа граница спушања линије вечитог леда (ELA), током плеистоцена, била 1 500 m н.м. (слика 148). Као што је већ наведено на планинама Алпских Динарида постоје докази о спуштању снежне границе и испод 1 000 m н.м.

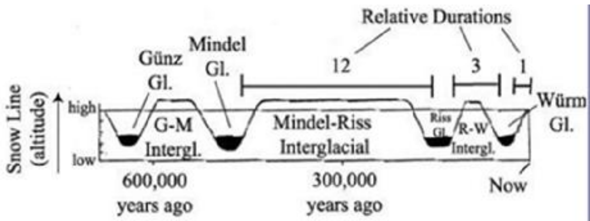
С обзиром да у области Савског слива нема много планинских врхова чија висина данас прелази 1 500 m урађена је упоредна карта распростирања ледника у плеистоцену у случају доње границе од 1 000 m н.м. и 1 500 m н.м. (слика 149). Количина леда значајна је са аспекта ледничке ерозије и формирања материјала периглацијалних области који су речним токовима ношени и депоновани тамо где је снага токова слабила, формирајући седименте у којима се данас налазе моћне издани подземних вода. Из тог разлога, као и на основу резултата новијих истраживања морена на Друрмитору и Орјену, требало би размотрити да се за средњу границу простирања ледника у плеистоцену, током најинтензивније глацијације узме 1000 m н.м.

Оно што је такође веома битно са аспекта ледничке ерозије и транспорта еродованог материјала, је чињеница да су климатске промене веома брзе и интензивне. Последња климатска промена на прелазу између последњег леденог доба и интерглацијала у ком данас живимо десила се за мање од 100 година. О астрономским факторима смене хладних и топлих фаза, као и о истраживањима дубокоморских седимената на основу којих је извршена глобална реконструкција климе и израђена геохронолошка скала квартара, било је речи у претходним поглављима (поглавље 6). Овде ћемо истаћи огроман значај копнених доказа у виду квартарних седимената, који иако су фрагментовани и доста измењени различитим утицајима, носе информације које су много детаљније и од већег локалног значаја за реконструкцију палеоклиматских, палеотектонских и палеогеолошких услова седментације и формирања квартарних седимената и издани у оквиру њих.

Почетком 70-тих година граница квартара спуштена је са 800 000 година на 1 600 000 година. Према старој номенклатури понтски кат спадао је у плиоцен, али је потом пребачен у горњи миоцен. На тај начин створен је "простор" од скоро милион година између фазе седиментације у реликту панонског језера, до почетка речне седиментације. У овим условима из литературе СССР-а привремено је усвојен термин еоплеистоцен. Употреба овог термина није била јасно дефинисана и варирала је према интерпретацијама различитих аутора. Новим спуштањем границе квартара на 2,58 милиона година, овај термин изашао је из употребе. Хрватски аутори усвајају горњи миоцен и почетак плиоцена као јединсвен период под називом панонски кат (Pannonian), док је за период постојања језера Славонија (Палудинско језеро) уведен нови кат под називом Cernikian. Према реконструкцијама простирања палудинског језера, оно се повукло са подручја наше земље почетком плиоцена (према Neubauer et al., 2015 и Magyar et al., 1999). Са друге стране, новијим истраживањима у подножју Фрушке горе (Рундић у др., 2016), утврђени су доњо и средње палудински слојев, а постоје и извесне назнаке постојања горњо палудинских слојева. Ови аутри сврставају их у плиоцен и наводе да леже преко горњо миоценских седимената Панонског језера.

У том случају поставља се питање услова седиментације, као и механизама приноса материјала од краја језерске седиментације, до прве терминације (током читавог раног, до средњег плеистоцена). Овде треба узети у обзир и то да је пра-ток Саве формиран значајно касније (вероватно тек у плеистоцену), у односу на ток Дунава (поглавље 13.1).

У последњих 620 000 година идентификовано је седам терминација. Терминација која се десила пре око 600 000 година, позната је у литератури, према алпској подели, као Гинц-Минделски интерглацијал (слика 150). Четири глацијала који су потврђени на подручју слива Саве на основу речних тераса (према Penck & Brückner) данас се корелишу са MIS фазама и представљају период седиментације речних полицикличних седимената. Ови седименти представљају главну алувијалну издан на подручју савског слива. У оквиру ових седимената формирано је београдско извориште, док су холоценски седименти рецентног тока, значајно лошијих карактеристика са аспекта водоснабдевања, што се може видети на примеру изворишта Вић баре које каптира алувијалну издан, холоценског меандра, рецентног тока Саве.




**Слика 150.** Глацијални и интерглацијални периоди према алпској подели (Penck & Brückner, 1909).

Ако упоредимо данашње речне токова са дубоко усеченим долинама, са палеотоковима плитких меандрирајућих уплетених река, долазимо до закључка да су наизменичним таложењем седимената и усецањем речних токова, праћеним ерозијом, речне долине стваране и то као директна последица брзих климатских промена током квартара. Фреквентно усецање и седиментација, чак и у деловима терена у којима није било тектонске активности током плеистоцена, последица су појаве хладних фаза и приноса свеже еродованог материјала из периглацијалних области. Седименти таложени током хладних фаза речне рецесије, као што је више пута наглашено, представљени су финозрним неорганским или органским материјалом. Данас их у литолошким стубовима и профилима региструјемо у виду прослојака и слојева у оквиру шљунковитих и песковитих седимената. Ови седименти имају мали потенцијал да буду очувани и генерално гледано представљају мање од 10 % целокупних флувијалних седимената, махом су еродовани сваком наредном интерглацијалном фазом, радом токова отопљеених ледника. Њихово присуство на великом делу Београдског изворишта, у виду континуаланог прослојка који се јавља око коте 55 m н.м, или пак у делу тока Саве од Засавице (зона изворишта Мартинаци, на левој обали Саве) до Јарка, могло би се објаснити њиховим брзим затрпавањем грубокластичним седиментима услед тоњења ободних делова басена.

Дакле, поред глобалне климе и тектонике која је била предуслов глацијације и формирања данашњег рељефа, врло су битни и локални услови. О локалним условима седиментације, највише можемо сазнати управо из флувијалних, еолских и других квартарних копнених седимената. Дуж тока Саве, нарочито у зони ушћа њених великих притока, ови утицаји уочљиви су на основу литолошких, минералошких, гранулометријских и фацијалних разлика у погледу карактеристика и простирања квартарних речних седимената тока Саве и седимената њених притока.

Различити динамички стадијуми главних речних долина на уздужним профилима, такође упућују на карактер тектонских процеса у квартару. Сталним спуштањем дна савског рова седиментација у долини Саве и у доњим токовима њених притока се одвија у виду циклуса због којих речни седименти имају полициклични карактер (циклично се смењују седименти корита и поводња), док у долинама њених притока моноцилични карактер седимената палеотокова Тамнаве и Колубаре указује на то да су се њихове долине налазиле у перстративној фази.

Поред морфологије речних токова, неотектонска активност утицала је и на начин седиментације, минералошки и гранулометријски склоп седимената. Позиција и област денудације у односу на област акумулације седимената условили су да је материјал који се таложи у зони утицаја Саве крупнији и разноврснијег састава, у односу на материјал од ког су изграђени квартарни седименти у долини њених притока.

Меандрирање река и померање речних токова у плеистоцену, током великих отапања у интерглацијалним фазама, имало је утицај на таложење најперспективнијих слојева за формирање издани, који су данас погодни за експолоатацију подземних вода и позиције изворишта. Терени где су данашњи токови измеандрирали тек крајем плеистоцена и током холоцена, нису толико погодни са аспекта водоснабдевања. Дуж ових делова тока налазе се алувијални седименти лошијих филтрационих карактеристика и мање водоносности у односу на плеистоценске полицикличне седименте.

Најперспективнија изворишта су она која се налазе у зонама тока где је тектонско спуштање басена било интензивно током плеистоцена. То је омогућило таложење материјала који су Сава и њене притоке доносиле у савски басен и стварање слојева повећане дебљине у односу на тектонски статична подручја. Спуштање басена спречило је и ерозију глиновитих слојева, који су таложени током хладних фаза и који су очувани на великој површини београдског изворишта.

- На подручју Мачве налазе се дебели слојеви шљунка и песка које је доносио и депоновао ток реке Дрине током плеистоцена. Квартарни нанос Дрине и Саве у пределу Мачве обухвата око 850 $km^2$, дебљина наноса је од 20 до близу 100 m фосилног корита Дрине од Бадовинаца и Прњавора, на југу, па до Црне Баре и Равња, близу ушћа Дрине у Саву. Због померања тока Дрине дебљина им варира у плану. У зони померања тока Дрине у централном делу Мачве углавном нема континуалних водонепропусних слојева у оквиру квартарних седимената.

- Посаво-Тамнава (слив Колубаре) представља део тока од Шапца до Обреновца. Сава је у овом делу значајно меандрирала депонујући материјал на широком простору. Ови седименти раније су сматрани седиментима језерског дна, у ком је река Сава усекла свој ток (Милојевић, 1951). Каснијим истраживањима утврђено је да су у питању речни седименти представљени са неколико нивоа речних тераса плеистоценске старости (Јовановић, 1965).
- Код Обреновца ток Саве наилази на природну препреку у виду чврстих стена београдског побрђа, при чему ток Саве скреће ка северу. Идући низводно, на десној обали Саве налази се зона такозваног *Малог макиша*. Ова зона представљена је алувијалним седиментима плеистоцена и холоцена.
- Између ушћа Остружничке реке и Топчидерске реке налази се зона *Макишког поља* која припада београдском изворишту. По ободу макишког поља издижу се формације кредног флиша у зони Остружничке реке, и сарматског кречњака од централног дела ка Топчидерској реци. Подручје Макипког поља прекривају алувијални седименти плеистоцена који ка централном делу поља исклињавају. У њиховој подини леже шарене глине плио-плеистоцена, чија дебљина опада и које исклињавају, идући од Саве ка залеђу поља. У повлати плеистоценских алувијалних седимената, леже холлоценски седименти рецентног тока Саве. У залеђу поља у зони исклињавања подинских глина алувијални седименти леже директно преко сарматских кречњака.
- Од ушћа Топчидерске реке до ушћа Саве у Дунав налази се зона такозваног београдског амфитеатра. Ова зона није перспективна са аспекта експлоатације подземних вода алувијалне издани, с обзиром да се издан налази у оквиру холоценских пескова, при чему нису констатовани слојеви са *Corbicula fluminalis*. Са аспекта коришћења подземних вода, у овој зони врло је интересантан контак алувијалне издани и карстно пукотинске издани у оквиру сарматских седимената, који се налазе у залеђу амфитеатра и у подини седимената млађег квартара. На једном делу терена у повлати сарматских, врло

порозних и водоносних кречњака (тзв. кречњак пужарац), налазе се водонепропусни панонски лапорци, док у једном делу амфитеатра алувијални седименти леже директно преко сармата.

- Лева обала, узводног дела тока Саве кроз Србију, формирана је приносом материја са Фрушке горе и такозване сремске серије, по ободу издизања хорста Фрушке горе. У зони обода Фрушке горе дуж леве обале Саве и северног дела Мачве на десној обали, јавља се слој глине који одваја доње алувијалне седименте од горњег циклуса, на изворишту Мартинци јављају се прослојци, а на подручју Старог изворишта јавља се континуални слој глине. Утицај токова са Фрушке горе у погледу седиментације допирао је и даљњ, према југоистоку, све до ушча Саве у Дунав. Бројни мањи токови и ток Галовице, који су гравитирали са свера ка Сави формирали су на подручју Сурчинског поља и Новог Београдсд пространe баре и мочваре. Данас се ови терени одводњавају бројним мелиоративним каналима, а мочварно подручје Новог Београда насуто је рефулираним песком. Високи нивои подземних вода на читавом подручј Сурчинског поља, као простирање алувијалних седимената испод лесног платоа Бежаније и Земуна, указују на везу и потенцијалну зону прихрањивања плеистоценске алувијалне издани Саве из правца севера и северо-запада.
- На левој обали зона београдског изворишта обухвата деонице – Купиново, Прогар, Бољевци, Јаково, Доње поље и Ушће. У овим зонама налазе се бунари београдског изворишта. На подручју сектора Сурчинског поља (Доње поље) квартарни слојеви залежу у правцу северо-запада ка централном делу панонског басена, у правцу Фрушке горе. Истражним бушењем утврђена је и повећана дебљина подинских шарених глина, које ка десној обали у правцу Чукаричке падине потпуно исклињавају. Ове глине јављају се и у подини лесних платоа у залеђу Сурчинског поља, а њихова дебљина и дистрибуција у плану врло су заначајни у контексту интерпретације постнеогене тектонике и услова седиментације на прелазу плиоцен-квартар и у старијем плеистоцену. Поред тога лесни, одсеци који се стрмо издижу у залеђу Сурчинског поља битни су због инфилтрације површинских вода, које се брзо филтрирају кроз порозни лес, а у директном су контакту са алувијалним седиментима у својој подини и по ободу лесних платоа. Простирање плеистоценских алувијалних седимената

у подини леса врло је битно због утицаја на режим подземних вода на подручју Доњег поља. Високи нивои подземних вода до сада су решавани површинским каналима, с обзиром да је намена земљишта била превасходно у пољопривредне сврхе. Појавом идеје о развоју Мастерплана за потребе планирања и изградњу на овом подручју, захтева додатну анализу и утврђивање стварног режима подземних вода плиће и дубље издани, нарочито контакта и дотицај у залеђу, на подручју лесног платоа.

У погледу природног квалитета подземних вода, током филтрације од водотока и од залеђа ка водозахватним објектима долази до деградације и сорпције растворене органске материје, јона тешких метала, редукције нитрата и других процеса који се дешавају при филтрацији подземних вода кроз порозну средину интергрануларних издани. Поред тога у алувијалној издани може доћи и до опадања концентрације одређених једињења услед разблаживања, тј дотицаја и мешања вода на контакту две издани, или пак услед инфилтрације вода са површине терена.

Услови експлоатације на београдском изворишту доста варирају локално (од бунара до бунара), услед фацијалне промењљивости слојева, које су последица локалних услова седиментације, а за последицу имају различит гранулометријски састав шљунковито-песковитих слојева. Присуство глиновитих прослојака, учешће ситне фракције у оквиру каптираног слоја, дистрибуција гвожђа у седиментима издани и друге карактеристике које одређују природни капацитет локације бунара, а затим током експлоатације утичу на процесе који се одвијају у издани и доводе до опадања капацитета бунара. Индикатори колмирања су параметри који помажу при пројектовању, или при детектовању узрока старења бунара и начина његове регенерације. Препоруке за избор локације бунара, бунара перспективних за санацију и димензионисање капацитета бунара у зависности од услова филтрације, оксичности, редокса и других параметара средине, дат је у поглављу 10. Генеза и карактеристике алувијалних седимената директно условљавају хидрауличке услове, степен оксичности и биохемијске процесе који се одвијају у издани и у прифилтерској зони бунара са хоризонталним дреновима.

Филтрациона својства и цикличност слојева алувијалних издани су веома битни за одређивање зона повољних за утискивањ дренова бунара у зависности од брзине филтрације подземних вода у прифилтарској зони, тачније улазних брзина у зони филтра и хидрауличких отпора и њихове варијације у времену. Са друге стране честице фине фракције водоносног хоризонта главни су носиоци гвожђа, тако да поред водопропусности слојева утичу на биохемијске процесе у издани због којих долази до обарања гвожђа на филтрима бунара и опадања капацитета бунара.

Код мањих изворишта са цевастим бунарима, код којих бунари раде много мањим капацитетом од пројектованих, тренд опадања капацитета услед биохемијских процеса и старења бунара није уочен (изворишта Сремске и Митровице и Руме). Биохемијски и хемијски процеси се свакако одвијају у издани и у прифилтарској зони, али капацитет експолоатације омогућава да у издани има простора за флуктуације нивоа подземних вода. Исто тако за услове преласка у више аеробне средине, за одређивање дозвољених критичних улазних брзина, све су релевантнији механички и хидраулички услови. За београдско извориште, критичне брзине произилазе из услова за споро биохемијско колмирање бунара, а не из механичких и хидрауличких услова, с обзиром да су за услове анаеробних средина, за формулисање критеријума за улазне брзине меродавни биохемијски индикатори. Ово је веома важно за београдско извориште, али може имати и велики значај при пројектовању бунара на другим извориштима подземних вода у алувијалним срединама.

Концентрације раствореног кисеоника у подземним водама великих изворишта у доњим токовима великих река је мала (као на Београдском изворишту). Слабопропусни прослојци између водоносних шљунковито-песковитих хоризоната, поред своје заштитне функције у погледу хемијског и микробиолошког загађења издани, условљавају низак степен оксичности. Овакви услови иду у прилог природној деградацији одређених једињења, као што је то случај са нитратима који се када настану анаеробни услови, први троше у случају постојања извора угљеника. Негативан ефекат ових процеса су биохемијски процеси који се у анаеробним условима одвијају на филтру и у прифилтерској зони издани, посебно процеси оксидације двовалентног гвожђа, ређе мангана и редукције сулфата, при чему се услед продуката минералних једињења стварају инкрустације на бунарском филтру. Ови процеси су најинтензивнији у зони филтра због мешања воде различитог редокс потенцијала и различитог садржаја гвожђа, мангана и кисеоника.

Минерали гвожђа који су врло битни за биохемијске процесе због којих долази до старења бунара и опадања капацитета, углавном су везани за најситније фракције седимента. Код бунара са повољним филтрационим карактеристикама, примећена је мања заступљеност гвожђа код седимената у зони филтра. Радом бунара најситније честице се делимично испирају, тиме се повећава брзина филтрације и кретања подземних вода, а смањује контактна површина.

Код холоценских издани где бунари каптирају интергрануларне издани неповољних филтрационих карактеристика, филтрација је успорена, зона контакта честица средине при току подземних вода продужава време за одвијање биохемијских процеса, што има за резултат много брже старење објеката и опадање капацитета бунара. Зоне холоценских меандара Саве, као што је случај код извошта "Вић баре", врло је неповољан са аспекта одржавања и занављања[20] бунара.

Највећи допринос ових истраживања дат је у оквиру изучавања седимената на београдском изворишту, посебно на локацијама две дубоке бушотине на Макишком пољу и Доњем пољу.

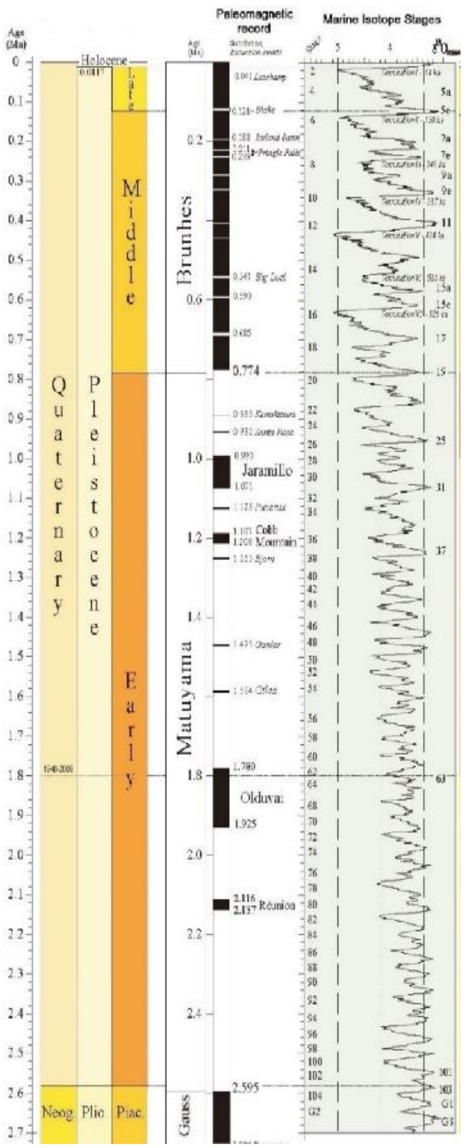
Као што је приказано у поглављу 13.3, резултати датирања OSL и IRSL методама на бушотинама Rb-6/p-5d и Rb-1m/p-3d и резултати палеомагнетних анализа на две дубоке бушотине на београдском изворишту добро се корелишу са резултатима датирања и испитивања морена и глацијалних облика планина централног масива Црне Горе и планине Орјен, као и са резултатима гранулометријских анализа бушотина на београдском изворишту. Ово подржава и полазну хипотезу да је крупнозрни материјал махом депонован у периодима прелаза хладних глацијалних у топле интерглацијалне периоде (терминација).

С обзиром да су терминације релативно брзи преласци глацијалне у потпуно интерглацијалну климу, за њих је карактеристично брзо и интензивно отапање ледника и формирање снажних бујичних токова. У хладним периодима, ледници задржавају велике количине воде, па снага токова опада, таложи се ситнозрни материјал који транспортују знатно слабији речни токови и материјал који навејава ветар. Ови седименти често изостају у литолошком стубу квартарних седимената јер обично бивају еродовани наредном фазом интерглацијалног отапања са

[20] Израда нових бунара у непосредној близини постојећих, који су искључени из експлоатације изворишта услед опадања капацитета. На изворишту "Вић баре" на појединим локацијама бунара постоји и по 5 – 6 оваквих (напуштених) бунара.

наиласком бујичних таласа. Међутим, њихова очуваност на великом делу београдског изворишта вероватно указује на тектонску активност, услед које је дно савског басена заједно са ободним делом панонске низије тонуло, а слојеви су затрпани новим седиментима. На тај начин, тоњењем ободних делова панонског басена сачувани су скоро сви циклуси седиментације, неки су “скраћени” (делимично еродовани), у зависности од брзине тоњења блокова, интензитета токова и приноса материјала из ободних терена од којих су формирани нови циклуси (повлатних седимената).

Уочена је и извесна корелација пречника највећих зрна одређеног цилуса седимената, са интензитетом заглечеравања претходне глацијалне фазе. Тако су најстарији циклуси алувијалних плеистоценских седимената најкрупније гранулације (са највећим учешћем шљунковите фракције зрна), што се корелише са најјачим глацијалним периодима на планинама Динарских Алпа на подручју Црне Горе, утврђеним на основу глацијалних облика (морена и испраног материјала карстних поља).




**Слика 151.** Глобална хроностратиграфска скала за последњих 2,7 милиона година (према Cohen & Gibbard, 2011)

На основу изучавања алувијалних седимената доњег тока реке Саве, са акцентом на резултате истражних радова на Београдском изворишту, учињен је и известан корак и допринос у разумевању глобалне слике палеоклиматских и регионално геолошких услова седиментације у сливу Саве. Извршен је и покушај корелације алувијалних седимената са другим квартарним седиментима (лесом, моренским материјалом и испраним материјалом карстних поља) на основу чега су изнете извесне индиције и нова тумачења.

Положај алувијалних полицилкичних седимената у односу на лесне платое, сагледан је са аспекта суперпозиције утврђених слојева на основу фосила, али је при томе укључен и аспекат климатских промена и тектонике као главних фактора генезе, тачније услова седиментације ових слојева током квартара. Ове творевине таложене су вероватно синхронично иако су многи досадашњи аутори наводили лес као млађу творевину од алувијалних плеистоценских седимената Саве и Дунава (Марковић и др., 1985). Разлог и главни аргумент за то, је појава слојева са *Corbicula fluminalis* у подини лесних платоа на територији Земуна. Овде међутим треба узети у обзир тектонику као битан фактор који је у појединим фазама плеистоцена омогућио спуштање или пак издизање појединих блокова што је утицало да седиментација леса у неким деловима терена почне значајно касније, на шта указују и број лесних циклуса, дебљина лесних одсека, као и резултати датирања лесних и палеоземљишних хоризоната како је описано у поглављу 13.

И поред тога, и даље постоје извесна неслагања у погледу старијих литературних извора који се баве старошћу, условима седиментације и ерозије полициличних седимената и нових резултата датирања седимената на београдском изворишту презентованих у оквиру ове дисертације. Према литературним наводима ранијих аутора, најстарији циклуси полициклилчних седимената представљени су слојевима са индекс фосилом *Viviparus boeckhi* који припадају старијем плеистоцену, преко којих се налазе слојеви са *Corbicula fluminalis* који припадају средњем плеистоцену. Исти аутори наводе и да преко слојева са *Corbicula fluminalis*, које још називају и Макишки слојеви, дискордантно леже холоценски седименти рецентног тока Саве (Ласкарев, 1938; Стевановић, 1977).

По свим ауторима савремени алувијални седименти Саве депоновани су након последње хладне фазе (углавном током холоцена), док се мишљења о старијим циклусима плеистоценских полицикличких седимената разликују. Према Ласкареву (1938) и Стевановићу (1977), они потичу из минделско-риског интерглацијала у средњем плеистоцену. Ракић (1977) сматра да су они старији и формирани у интерглацијалу гинц-миндел. Кнежевић и др. (1998) сматра да ти слојеви припадају старијем еоплеистоцену, док их Ненадић и др. (2016) представља као "млађу фазу нижег средњег плеистоцена". Поред резултата добијених датирањем, тешко би се могло очекивати да ће у једном тренутку бити потпуно еродовано неколико циклуса седиментације, посебно имајући у виду интензитет риске глацијације и седиментацију у условима спорог, али константног тоњења ободног дела панонског басена.

Читав старији плеистоцен све до прве (VII) терминације пре 621 000 година није се одликовао драстичним променама климе, па стога ни интензивним отапањем (слика 151). У условима рецесије заосталих језера и широкох токова уплетених река могло је доћи до таложења слојева који се налазе у подини полицилчних седимената, а називани су до сада седиментима плиоплеистоцена. Интеркалације материјала шљунковите фракције у оквиру овог глиновито-прашинастог комплекса такозваних шарених глина, могле би да указују на фазе приноса материјала у фазама интерглацијала због пораста протицаја у речним токовима услед отапања ледника. Варијације у погледу дебљине и фацијалне диференцијације ових седимената могу бити последица тектонике и услова седиментације у зависности да ли се седиментација одвијала у језерској, барској, или копненој фази развоја терена.

На основу свега изложеног, питање старости седимената и извесних цилуса плеистоценских седимената, као и постојање дискорданције између седимената холоцена и плеистоцена, остаје отворено питање и смерница при даљим инстраживањима.

Побољшање и теоријских и практичних знања о настанку флувијалних и алувијалних наслага у којима се формирају издани, поред релевантности за геоморфолошке, палеомагнетне, палеоклиматолошке и хидрогеолошле студије уопште, важно је за одрживи развој не само београдског изворишта, већ и алувијалних изворишта за водоснабдевања уопште. Настанак и карактеристике ових седимената директно утичу на хидрауличка својства, аеробност и биохемијске процесе који се одвијају у прифилтарској зони. Из свих наведених разлога, будућа истраживања у овој области треба усмерити ка практичној примени нових сазнања и препорука у циљу побољшања практичних резултата очувања ресурса и експлоатације подземних вода.

ЛИТЕРАТУРА


1. Adamson, K.R., Woodward, J.C., Hughes, P.D. 2015. Middle Pleistocene glacial outwash in poljes of the Dinaric karst. The Geological Society of America, Special Paper, 516.
2. Anthony, J. W., Bideaux, R. A., Bladh, K. W. & Nichols, M. C.(eds), 1990. Handbook of Mineralogy, Volume I: Elements, Sulphides, Sulphosalts. Mineralogical Society of America, Chantilly, 265 pp.
3. Antoine, P., Rousseau, D.-D., Fuchs, M., Hatté, H., Gauthier, C., Marković, S.B., Jovanović, M., Gaudenyi, T., Moine, O., and Rossignol, J., 2009. High-resolution record of the last climatic cycle in the southern Carpathian Basin (Surduk, Vojvodina, Serbia). Quaternary International 198: 19-36.
4. Babac, D., 2005. Beogradsko izvorište podzemnih voda, bunari sa horizontalnim drenovima. Balby international, ISBN 8690780505, 9788690780501
5. Babinszki, E., Márton, E., Márton P., Ferenc, K. L., 2007. Widespread occurrence of greigite in the sediments of Lake Pannon: Implications for environment and magnetostratigraphy Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology 252(3):626-636, DOI: 10.1016/j.palaeo.2007.06.001
6. Birkeland, P.W., 1984. Soils and Geomorphology, Oxford University Press
7. Bourdier, F., 1957. Quaternaire. In: Lexique stratigraphique international. Vol. 1 Europe. Ed. Pruvost, Pierre Paris: Centre National de la Recherche Scientifique. 99- 100.
8. Bowen, D.Q. and Gibbard, P.L. 2007. The Quaternary is here to stay. Journal of Quaternary Science 22, 3-8.
9. Božović, Đ., Polomčić, D., Bajić, D., 2016: Hidrodinamička analiza opravdanosti sanacije bunara sa horizontalnim drenovima na beogradskom izvorištu podzemnih voda utiskivanjem novih drenova na većoj dubini. Geološki anali Balkanskoga poluostrva, Submitted.
10. Brkić, Ž., 2017. The relationship of the geological framework to the Quaternary aquifer system in the Sava River valley (Croatia). Journal of the Croatian Geological Survey and the Croatian Geological Society, doi: 10.4154/gc.2017.12.

11. Broecker, W. S., Van Donk, J. 1970. Rev. Geophys. Space Phys. 8, 169–197.
12. Buggle, B., Glaser, B., Zöller, L., Hambach, U.F., Marković, S., Glaser, I., 2008. Geochemical characterization and origin of Southeastern and Eastern European loesses (Serbia, Romania, Ukraine). Quaternary Science Reviews 27(9):1058-1075, DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.01.018
13. Buggle, B., Hambach, U., Glaser, B., Gerasimenko, N., Marković, S.B., Glaser, I. and Zoeller, L., 2009. Stratigraphy, and spatial and temporal paleoclimatic trends in Southeastern/Eastern European loess paleosol sequences. Quaternary International, 196, 86-106.
14. Buggle, B., Hambach, U., Kehl, M., Markovic, S., Zöller, L., Glaser, B., 2013. The progressive evolution of a continental climate in southeast-central European lowlands during the Middle Pleistocene recorded in loess paleosol sequences, Geology 41(7).
15. Bukurov, B., 1982. Sintetička razmatranja geomorfoloških problema na teritoriji Vojvodine. Novi Sad: VANU
16. Candy, I., Rose, J., Lee, J.R., 2006. A seasonally ‘dry’ interglacial climate in eastern England during the early Middle Pleistocene: palaeopedological and stable isotopic evidence from Pakefield, UK. Boreas 35, 255-265.
17. Vandenberghe, J., Lu, H.Y., Sun, D., Huissteden, J, Konert, M., 2004. The late Miocene and Pliocene climate in East Asia as recorded by grain size and magnetic susceptibility of the Red Clay deposits (Chinese Loess Plateau). Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeocl 204:239–255.
18. Vujasinović, S., 1985. Zaštita podzemnih voda u aluvijalnim nanosima sa posebnim osvrtom na izvorište Beograda, doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
19. Ganić, M., Knežević, S., Rundić, Lj., Milutinović, A., Ganić, A., 2011. Neogene geodynamics in the light of 3D visualization – an example along the Sava River (Belgrade). Proceedings of the 17 th Meeting of the Association of European Geological Societies, MAEGS - 17: Geology and Digital Age 2011
20. Gaudenyi, T., Jovanović, M., 2012, Quaternary stratigraphy – Recent changes, Glasnik SGD 92(4), 1-16.

21. Gaudenyi, T., Nenadić, D., Stejić, P., Jovanović, M., Bogićević, K., 2014a. The stratigraphy of the Serbian Pleistocene Corbicula beds. Quaternary International, 357, DOI: 10.1016/j.quaint.2014.07.050
22. Gaudenyi, T., Nenadić, D., Jovanović, M., Bogićević, K., 2014b. The stratigraphical position and the use of the term Eopleistocene in Serbian geological literature. Quaternary International, 319, 150-159.
23. Gibbard, P.L., Boreham, S., Cohen, K.M. & Moscariello, A., 2005. Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years. Boreas 34 (1) (inclusion).
24. Gibbard, P., Cohen, K.M., 2008. Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years, Subcommission on Quaternary Stratigraphy, International Commission on Stratigraphy: Cambridge. http://quaternary.stratigraphy.org/wpcontent/uploads/2018/04/episodes2008-243-247.pdf
25. Gibbard et al., 2009, http://www.stratigraphy.org/upload/IUGS Ratification_Q & Pleistocene.pdf;
26. Gorjanović-Kramberger, D., 1921. Morfološke i hidrigrafske prilike srijemskog lesa. Glasnik Geografskog društva, Beograd.
27. Dimitrijević, M.D., 1995. Geologija Jugoslavije. Geoinstitut, Spec. Publ., 1-205, Beograd.
28. Dimitrijević, M.D., 2001. Dinaridi and the Vardar Zone: a short review of the geology. Acta Vulcanology, 13, 1-8.
29. Dimkić, M., Krstić, M., Filipović, N., Stojanović, B., Ranković, V., Otašević, L., Ivanović, M., Nedeljković, M., Tričković, M., Pušić, M., Boreli–Zdravković, Đ., Đurić, D., Kojić, M., 2007. Comparison of Different Configurations of Ranney Wells Using Finite Element Modeling. Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, 1 (1), 144–153.
30. Dimkić, M., Heinz-Jurgen, B., Kavanaugh, M., 2008a. Groundwater management in large river basins. IWA Publishing, London, 2008.
31. Димкић, М., Пушић, П., 2008b. Препоруке за пројектовање бунара узевши у обзир колмирање гвожђем на основу искуства београдског изворишта, Грађевински календар, 40, 430-496

32. Dimkić, M., Pušić, M., Vidović, D., Isailović V., Majkić B., Filipović N., 2010. Numerical Model Assessment of Radial-Well Ageing Journal of Computing in Civil Engineering, 25(1):43–49, 2010, DOI 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000063.
33. Dimkić, M., Pušić, M., Majkić-Dursun, B., Obradović, V., 2011a. Certain Implications of Oxic Conditions in Alluvial Groundwater, Journal of Serbian Water Pollution Control Society „Water Research and Management“, ISSN 2217-5237, 1 (2), 27-43.
34. Dimkić, M., Pušić, M., Petković, A., Boreli-Zdravković, Đ., 2011б. Several natural indicators of radial well ageing at the Belgrade Groundwater Source - Part 1, Water Science and Technology, IWA Publishing, London, ISSN 0273–1223, vol. 63, no. 11, 2560–2566. doi:10.2166/wst.2011.590.
35. Dimkić, M., Pušić, M., Obradović, V., Đurić, D., 2011ц. Several natural indicators of radial well ageing at the Belgrade Groundwater Source - Part 2. Water Science and Technology, 63(11), 2567-2574. DOI:10.2166/wst.2011.590.
36. Димкић, М., 2012. Студија - Београдско извориште подземних вода, стање и правци развоја (Института за водопривреду Јарослав Черни); Старење бунара и одржавање објеката (2008-2012).
37. Dimkić, M., Ranković, V., Filipović, N., Stojanović, B., Isailović, V., Pušić, M., Kojić M., 2013. Modeling of radial well lateral screens using 1D finite elements. Journal of hydroinformatics, 15 (2), 405–415.
38. Dimkić, M., Pušić, M., 2014. Correlation Between Entrance Velocities, Increase in Local Hydraulic Resistances and Redox Potential of Alluvial Groundwater Sources. Journal of Serbian Water Pollution Control Society „Water Research and Management", 4 (4), 3-23, ISSN 2217-523.
39. Dimkić, M., 2017. Several aspects of the influence of ice ages in Serbia on the formation of the Sava alluvion and water source processes. Conference organized by Serbian Academy of Sciences and Arts, Earth’s Climate Change: Science and Impacts, Belgrade, 11-13 October 2017.
40. Dimkić, M., Pušić, M., 2018. A new approach to the definition of design criteria for radial collector wells in anoxic settings. Geološki anali Balkanskog poluostrva, 79 (1), 31-45, DOI: 10.2298/GABP1879031D

41. Dimkić, M., Mitrinović, D., Slimak, T., Zarić J., Kovačević S., Čalenić A., Jelovac, M., Urban development VS. alluvial groundwater sources – Belgrade example, e-FoC proceedings, Belgrade, October 2019.
42. Đurović, P., Petrović, A., 2007. Large Canyons in Dinaric and Prokletije Mountains Region of Montenegro. Geologica pannonica, Vol.11.
43. Đurović, P., 2009. Reconstruction of the Pleistocene glaciers of Mt. Durmitor in Montenegro. Acta Geographica Slovenica 49-2, 263–289.
44. Emiliani, C., 1955. Pleistocene temperatures. Journal of Geology 63: 538-575.
45. Живковић Ј., 1976. Докторска дисертација - Формирање хидрогеолошких колектора у доњем току Саве као изворишта за водоснабдевње Београда. Рударско-геолошког факултета Униврзитета у Београду, Београд, 234 пп.
46. Живковић Ј., 1997. Хидрогеолошке карактеристике Макишке издани код Беогрда са приказом каптираних изданских вода помоћу ренибунара. Весник Геозавода, књига ИХ, Београд.
47. Zarić, J., Mitrinović, D., Anđelković, O., Božović, Đ., Dimkić, M., 2018. Comparative analysis of grain-size distributions based on two methods of drilling on the location of well RB-44 at Belgrade Groundwater Source. 17th Serbian Geological Congress, Vrnjačka Banja.
48. Zarić, J., Nenadić, D., Mitrinović, D., Knežević, S., M., 2019a. Genesis Conditions and Characteristics of Pleistocene Alluvial Deposits in the Lower Sava River Basin. Comptes rendus de l'Acadéemie bulgare des Sciences, 72(7) 916-924, ISSN 1310-1331 (Print), ISSN 2367-5535 (Online).
49. Zarić, J., Mitrinović, D., Anđelković, O., Perović, M., Dimkić, M., 2019b. Polyciclic strata forming along the cross section from Rb-1M to Rb-36 well at the Belgrade water source, with retrospect on local tectonics. 48. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda “VODA 2019“, 04.-06. jun 2019., Zlatibor. Izdavač: Srpsko društvo za zaštitu voda, Beograd, ISBN 978-86-916753-5-6, 231-242.
50. Zarić, J., Knežević, S., Nenadić, D., Radulović, B., Bogićević, K., 2020. Genetic connection between Quaternary alluvial sediments at Belgrade Groundwater Source (Serbia) and moraine deposits from high mountain systems, accepted for publication in Stratigraphy and Geological Correlation, issue 3, 2020.

51. Imbrie, J.D., Hays, J.D., Martinson, D.G., McIntyre, A., Mix, A.C., Morley, J. J., Pisias, N.G., Prell, W.L., Shackleton, N.J., 1984. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine $^{18}O$ record. In: Berger, A L, et al. (eds.), Milankovitch and Climate, 1: Dordrecht (D. Reidel Publishing Company), 269-305, hdl:10013/epic.48655.d001

52. Jouzel, J., Koster, R.D., Suozzo, R.J., Russell, G.L., 1994. Stable water isotope behavior during the last glacial maximum: A general circulation model analysis. Journal of Geophysical Research, 99: 25791-25802.

53. Karamata, S., Olujić, J., Protić, Lj., Milovanović, D., Vujnović, L., Popević, A., Memović, E., Radovanović, Z., Resimić-Šarić K., 2000. The Western Belt of the Vardar Zone - the remnant of a marginal sea. In: Karamata, S., Janković, S. (eds.), Proc. Int. Symp. “Geology and Metallogeny of the Dinarides and the Vardar Zone”, Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Collect. Monogr., I, Dept. Nat., Math. Tech. Sci., 1, 131-135, Banja Luka – Serbian Sarajevo.

54. Кнежевић, С., Ненадић, Д., Стејић, П., 1998. Прелесни квартарни и плиоценски седименти Земуна и Новог Београда. Геолошки анали Балканскога полуострва, 62: 57-73.

55. Knežević, S., Draženko, N., Radulović, B., Bogićević, K. and Zarić. J., 2018. Stratigraphic Characteristics of Quaternary Deposits on the Left Bank of the Sava River Near Belgrade, Geološki Anali Balkanskoga Poluostrva, 79 (1), (21-30), DOI: 10.2298/GABP1879021K

56. Knežević, S., Zarić, J., Nenadić, D., Radulović, B., Bogićević, K., 2018. Influence of climate change in Quaternary on formation of sediments of the Belgrade groundwater source. XVII Kongres geologa Srbije 17-20. maj, 149-154, Vrnjačka Banja.

57. Komatina M., 2015. Podzemne vode Srbije. AGES, Asocijacija geofizičara i ekologa Srbije, 566 pp

58. Köppen, W.A., Wegener, A., 1924. Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin.

59. Košćal, M., Menković, Lj., Knežević, M., 2008. Kako je Titelski breg iz Srema doplovio u Bačku. Zaštita prirode, 59(1-2)5-17.

60. Krs, M., Novak, F., Krsova, M., Pruner, P., Koulikova, L. & Jansa, J., 1992. Magnetic properties and metastability of greigite-smythite mineralization brown-coal basins of the KrusnaHory Piedmont, Bohemia. Physics of the Earth and PlanetaryInteriors, 70: 273–287.

61. Kuhlemann, J., Milivojević, M., Krumrei, I., Kubik, P.W., 2009: Last glaciations of Šara range (Balkan peninsula): increasing dryness from the LGM to the Holocene. Austrian journal of Earth science, 102(1):146-158, January 2009.

62. Kukla, G., 1977, Earth-Science Reviews, Pleistocene land—sea correlations I. Europe, Volume 13, Issue 4, December 1977, Pages 307-374.

63. Kukla, G. and An, Z., 1989. Loess stratigraphy in central China. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 72, 203–225.

64. Ласкарев, В., 1938. Трећа белешка о квартарним наслагама у околини Београда. Геолошки анали Балканскога полуострва, 15: 1–35.

65. Ласкарев, В., 1951. О стратиграфији квартарних наслага Војводине. Геолошки анали Балканског полуострва, 19, 1-19.

66. Laskar, J., et al. 2004. A longterm numerical solution for the insolation quantities of the Earth, Astron. Astrophys., 428, 261 – 285, doi:10.1051/0004-6361:20041335.

67. Liedtke, H., 1962. Eisrand und Karstpoljen am Westrand der Lukavica-Hochfläche. Erdkunde XVI, 289–298.

68. Lisiecki, E.L., Raymo, E.M., 2005. A Plio-Pleistocene Stack of 57 Globally Distributed Benthic $^{18}$O Records, Paleoceanography and Paleoclimatology, 20(1), doi:10.1029/2004PA001071.

69. Lóczy, D., 2008. The Changing Geomorphology of Danubian Floodplains in Hungary. Hrvatski Geografski Glasnik, 69(2), DOI: 10.21861/HGG.2007.69.02.01

70. Lukić, T., 2015. Boja lesno-paleozemljišnih sekvenci kao pokazatelj paleoklimatskih i paleoekoloških procesa”, doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu.

71. Magyar, I., Geary, D.H., Müller, P., 1999. Paleogeographic evolution of the Late Miocene Lake Pannon in Central Europe. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 147, 151–167.

72. Magyar, I., Radivojević, D., Sztanó, O., Synak, R., Ujszászi, K., Pócsik, M., 2013. Progradation of the paleo-Danube shelf margin across the Pannonian Basin during the Late Miocene and Early Pliocene. Global and Planetary Change, 103:168– 173.
73. Mandić, O., Kurečić, T., Neubauer T A., Harzhauser, M., 2015. Stratigraphic and paleogeographic significance of lacustrine mollusks from the Pliocene Viviparus beds in central Croatia, Geologia Croatica, 68(3),179-207, DOI: 10.4154/GC.2015.15
74. Marković-Marjanović, J., 1950. Prilog za geološku građu Titelskog brega. Zbornik radova Geološkog instituta SAN, Beograd, III (1)91-121.
75. Марковић, Б., Веселиновић, М., Анђелковић, Ј., Стевановић, П., Роглић, Ч., Обрадиновић, З., 1985. Тумач за ОГК 1:100 000, лист Београд (К 34-113). Савезни геолошки завод, Београд
76. Marković, S.B., Kukla, G., Sûmegi, P., Miljković, L.J., Jovanović, M. & Gaudenyi, T., 2000. The last glacial cycle paleoclimatic record of Ruma loess section (Vojvodina, Yugoslavia). Zbornik radova Instituta za geografiju, 30, 5-13.
77. Marković, S.B., Kostić, N., Oches, E., 2004. Paleosols in the Ruma loess section (Vojvodina, Serbia). Revista Mexicana de Ciencias Geologicas 21, 1, 79-87.
78. Marković, S.B., McCoy, W.D., Oches, E.A., Savić, S., Gaudenyi, T., Jovanović M., Stevens, T., Walther, R., Ivanišević, P., Galović, Z., 2005. Paleoclimate record in the Late Pleistocene loess-paleosol sequence at Petrovaradin Brickyard (Vojvodina, Srbija). GEOLOGICA Carpathica 56, 545-552. Eistocene.
79. Marković, S.B., Oches, E., Sümegi, P., Jovanović, M., Gaudenyi, T., 2006. An introduction to ther Upper and Middle Pleistocene loess-paleosol sequences of Ruma section (Vojvodina, Yugoslavia). Quaternary International 149, 80-86.
80. Marković, S.B., Oches, E.A., McCoy, W.D., Frechen, M., Gaudenyi, T. 2007. Malacological and sedimentological evidence for „warm“ glacial climate from the Irig loess sequence (Vojvodina, Serbia). Geochemistry Geophysics Geosystems 8, Q09008. doi: 10.1029/2006GC001565.
81. Marković, S.B., Bokhorst, M.P., Vandenberghe, J., McCoy, W.D., Oches, E.A., Hambach, U., Gaudenyi, T., Jovanović, M., Stevens, T., Zöller, L., Machalett,

B. 2008. Late Pleistocene loess-paleosol sequences in the Vojvodina region, North Serbia. Journal of Quaternary Science 23, 73-84.

82. Marković, S.B., Hambach, U., Catto, N., Jovanović, M., Buggle, B., Mashalett, B., Zöller, L., Glaser, B., Frechen, M., 2009. The middle and late Pleistocene loess-paleosol sequences at Batajanica, Vojvodina, Serbia. Quaternary International, 198, 255-266.

83. Marković, S.B., Hambach, U., Stevens, T., Kukla, G., Hellere, F., McCoy, W.D., Oches, E.A., Buggle, B., Zöller, L. 2011. The last million years recorded at the Stari Slankamen (Northern Serbia) loess-paleosol sequence: revised chronostratigraphy and long-term environmental trends. Quaternary Science Reviewe, Volume 30, Issues 9-10, 1142-1154.

84. Marković, S.B., Hambach, U., Stevens, T., Jovanović, M., O’Hara-Dhand, K., Basarin, B., Lu, H., Smalley, I., Buggle, B., Zech, M., Svirčev, Z., Sümegi, P., Milojković N. and Zöller, L., 2012. Loess in the Vojvodina region (Northern Serbia): an essential link between European and Asian Pleistocene environments. Netherlands Journal of Geosciences, 91, pp 173-188 doi:10.1017/S0016774600001578).

85. Marković, S., Stevens, Thomas., Kukla, J.G., Hambach, U., Fitzsimmons E.K., Gibbard, P., Buggled, B., Zechd, M., Guo, Z., Hao, Q., Wu, H., O'Hara, D.K., Smalley, J.I., Újvári, G., Sümegi, P., Timar, A.G., Veres, D., Sirocko, F., Vasiljević, Dj., Jary, Z., Svensson, A., Jović, V., Lehmkuhl, F., Kovács, J., Svirčev, Z., 2015. Danube loess stratigraphy — Towards a pan-European loess stratigraphic model. Earth-Science Reviews, Volume 148, pp 228-258.

86. Marović, M., Marković, M., 1972. Glacijalna morfologija šire oblasti Durmitora. Geološki anali Balkanskog poluostrva, 37-2.

87. Marović, M., Đoković, I., Pešić, L., Radovanović, S., Toljić, M., Gerzina, N., 2002. Neotectonics and seismicity of the southern margin of the Pannonian basin in Serbia. EGU Special Publication, 277–295.

88. Marović, M., Toljić, M., Rundić, L., Milivojević, J., 2007. Neoalpine Tectonics of Serbia. Serbian Geological Survey, Belgrade, 87 pp.

89. Menković, M., Marković, M., Čupković, T., Pavlović, R., Trivić, B., Banjac, N., 2004. Glacial morphology of Serbian, with comments on the Pleistocene

Glaciation of Monte Negro, Macedonia and Albania. Quarternary Glaciations – Extent and Chronology. Amsterdam.
90. Milojević, B.Ž., 1948. Titelska lesna zaravan. Glasnik Srpskog geografskog društva, Beograd, Sv. XXVIII (1) 20-31.
91. Milojević, B. Ž., 1951. Durmitor, regionalno-geografska istraživanja. Zbornik radova SAN 9-2. Beograd.
92. Milivojević, M., 2004. Glacijalna morfologija Komova. Glasnik Srpskog geografskog društva, 84-2.
93. Milivojević, M., Menković, Lj., Ćalić, J., 2008. Pleistocene glacial relief of the central part of Mt. Prokletije (Albanian Alps). Quaternary International 190(1):112-122, DOI: 10.1016/j.quaint.2008.04.006.
94. Mitrinović, D., Pušić, M., Anđelković, O., Zarić, J., Dimkić, M., 2018. Novel Method for Selection of Ranney Wells for Regeneration Based on Hydraulic Modeling. Journal of Serbian Water Pollution Control Society „Water Research and Management“. ISSN 2217-5237. Izdavač: Srpsko društvo za zaštitu voda, 8(1)35-58.
95. Mitrinović, D., Zarić, J., Anđelković, A., Sipos, G., Polomčić, D., Dimkić, M., 2019. Dating of alluvial sediments from borehole at the lower course of the Sava River and indications of the connection between their genesis and climate changes in the Pleistocene. Quaternary International, available online 18 September 2019, doi.org/10.1016/j.quaint.2019.09.028
96. Moineo, O., Rousseau, D., Antoine, P. & Hatté, C., 2002. Mise en évidence d’événements climatiques rapides par les faunes de mollusques terrestres des lœss weichséliens de Nussloch (Allemagne). Quaternaire, 13, 209-217.
97. Mutić, R., 1993. Korelacija kvartara istočne Slavonije na osnovu podataka mineraloško–petrografskih analiza (Istočna Hrvatska), Slavonsko–srijemska potolina. Acta Geologica 23, 89–119.
98. Nenadić, D., 1997. Paleogeographic and tectonic characteristics of Quarternary of Belgrade and the surrounding area, Magistarski rad, nepublikovano, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, 71 pp, Beograd.

99. Nenadić, D., 2003. Palaeogeographic features of preloess Quaternary deposits in the area of eastern Srem. Bulletin – Geologie, Hydrogeologie et Geologie d'Ingenieur 53, 15-33.

100. Nenadić, D., Knežević, S., Bogićević, S., 2009. Stratigraphical and palaeogeographical characteristics of Pleistocene series in the Sava riparian area at Belgrade (Serbia). Bulletin of the Natural History Museum, 2, 63-80.

101. Nenadić, D., Bogićević, K., Lazarević, Z., Milivojević, J., 2010. Lower and Middle Pleistocene sediments of Eastern Srem (northern Serbia) - paleogeographical reconstruction. Bulletin of the Natural History Museum, 3, 7-25.

102. Nenadić, D., Gaudenyi, T., Bogićević, K., Gulan, Z., 2011. The lower boundary of Quaternary in the area of the southeastern Srem (north Serbia). Bulletin of the Natural History Museum, 4, 23–36.

103. Nenadić, D., Gaudenyi, T., Bogićević, K., Tošović, R., 2016. Stratigraphic and Lithologic characteristics of Pleistocene Fluvial Deposits in the Danube and Sava Riparian area near Belgrade (Serbia). Stratigraphy and Geological Correlation, 24 (4), 427-437.

104. Neubauer, T.A., Harzhauser, M., Kroh, A., Georgopoulou, E., Mandic, O., 2015. A gastropod based biogeographic scheme for the European Neogene freshwater systems. Earth-Sci. Rev., 143, 98–116. DOI: 10.1016/j.earscirev.

105. Obreht, I., Zeeden, C., Hambach, U., Veres, D., Marković, S., Bösken, J., Svirčev, Z., Bačević, N., Gavrilov, M. & Lehmkuhl, F., 2016. Tracing the influence of Mediterranean climate on Southeastern Europe during the past 350,000 years. Scientific Reports, 6(36334). https://doi.org/10.1038/srep36334

106. Oches, E.A. McCoy, W.D. 2001. Historical developments and recent advances in amino acid geochronology applied to loess research: examples from North America, Europe and China. Earth Sci. Rev. 54, 173-192.

107. Partridge, T.C., 1997. Reassessment of the position of the Plio-Pleistocene boundary: is there a case for lowering it to the Gauss-Matuyama Palaeomagnetic reversal? In: Partridge, T.C. (ed.) 1997 The Plio-Pleistocene boundary. Quaternary International 40, 5-10.

108. Penck, A. and Bruckner, E., 1909. Die Alpen im Eiszeitalter, 3 Vols. Tauchnitz, Leipzig, 1199 p.

109. Perić, Z., Fischer, P., Buylaert, J.P., Stevens, T., Hambach, U., Marković, S., 2017. High detailed luminescence dating of the Titel loess core. Poster, October 2017. DOI: 10.13140/RG.2.2.29247.61609

110. Petronijević, N., Nikolić, N., Zarić, J., Mitrinović, D., Kamberović, Ž., Dimkić, M., 2018. Sadržaj i distribucija gvožđa u sedimentima u bušotini RB-6/p-5d na beogradskom izvorištu. 17. Kongres geologa, Vrnjačka Banja, 63-69, ISBN 978-86-86053-19-0.

111. Petrović, S.A., 2014. Reconstruction of the Pleistocene Glacial Maximum in the Žijovo Range (Prokletije Mountains, Montenegro). Acta geographica Slovenica, 54-2, 255–269, DOI: 10.3986/AGS54202

112. Pillans, B. and Naish, T., 2004. Defining the Quaternary. Quaternary Science Reviews, 23: 2271-2282.

113. Polomčić, D., 2000. Contaminant problems during the exploitation of groundwater sources. hydrogeological Researc of Litospere In Serbia, Project 1996–2000., Institute of hydrogeology, Faculty of Mining and Geology, Belgrade, 197–207.

114. Polomčić, D., Božović, Đ., Bajić, D., 2016. Hydraulic characterization of laterals as applied to selected radial collector wells at Belgrade Groundwater Source. Geološki anali Balkanskoga poluostrva, 77. DOI: 10.2298/GABP

115. Popov, S.V., Shcherba, I.G., Ilyina, L.B., Nevesskaya, L.A., Paramonova, N.P., Khondkarian, S.O., Magyar, I., 2006. Late Miocene to Pliocene palaeogeography of the Paratethys and its relation to the Mediterranean. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 238 (1–4), 91–106.

116. Preece, R.C., Parfitt, S.A., Bridgland, D.R., Lewis, S.G., Rose, P., Atkinson, T.C., Candy, I., Debenham, N.C., Penkman, K.E.H., Rhodes, E.J., Schwenninger, J.-L., Griffiths, H.I., Whittaker, J.E., Gleed-Owen, C., 2007. Terrestrial environments during MIS 11 evidence from the Palaeolithic sites at West Stow, Suffolk, UK. Quaternary Science Reviews 26, 1236e1301.

117. Протић, М., Обрадовића, Ј., Живковић, Ј., 1976.Састав и порекло квартарних седимената реке Саве у широј околини Београда, Зборник радова II скуп седиментолога Југославије, 19-31

118. Pušić, M., Dimkić, M., Vidović, D., Dotlić, M., Oparušić, I., 2012a. Analiza uticaja nekih hidrogeoloških parametara na početni kapacitet bunara sa horizontalnim drenovima. Vodoprivreda, Beograd, 175–180.

119. Pušić, M., Dimkić, M., Vidović, D., Dotlić, M., Oparušić, I., 2012b. Hidrodinamička analiza kapaciteta bunara sa horizontalnim drenovima na primeru beogradskog izvorišta. XIV Srpski hidrogeološki simpozijum sa međunarodnim učešćem, Zlatibor, 21–25.

120. Pušić, M., Dimkić, M., 2017. Comparative assessment of radial collector well elements with a new approach. Geološki anali Balkanskoga poluostrva, 78, 37-45, DOI: 10.2298/GABP1778037P

121. Radivojević, D., Magyar, I., Ter Borgh, M. & Rundić, L., 2014. The Lake Pannon – Serbian side of the story. In: Proceedings of XVI Serbian Geological Congress. Serbian Academy of Sciences, Belgrade, pp. 54–60.

122. Rajčević, D., 1983. Tumač za osnovnu geolosku kartu SFRJ. List Šabac, L 34-112, Osnovna Geološka Karta SFRJ 1: 100000. Savezni Geološki Zavod, Beograd.

123. Ракић, М., 1973. Прилог познавању плеистоцена на јужним падинама Фрушке горе. Записници СГД за 1972. годину, 27-33, Београд.

124. Ракић, М., 1977. Плеистоцен Срема и Баната. Геологија Србије, ИИ-3, Стратиграфија (Кенозоик). Завод за Регионалну геологију и палеонтологију Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, Београд, 399–405.

125. Rakić, M., Simonović, S., Stejić, P., 1998. Pliocene and Quaternary sedimentary cycles of the Southernparts of Pannonian Basin. XIII Kongres geologa Jugoslavije, Regionalna geologija, stratigrafija i paleontologija 2, 415-427. Herceg Novi

126. Rakić, M., 1990. Regional survey of Quaternary deposits in depressions and a part of the Pannonian Basin in Serbia. Geoloski anali Balkaskoga poluostrva (Annales Geologiques de la Peninsule Balkanique), 53 (1), 315-327

127. Rakić, M., Stejić, P., Simonović, S., 2002. Paleogeography of Southeastern part of Pannonian basin during Pliocene and Quaternary. Proceedings of the 12th Congress of Carpathian-Balkan Geological Association, Bratislava, Slovakia, September 1st-4th, 2002. – Geologica Carpathica (special issue) 53, 6 pp. [electronical form].

128. Riebeek H., 2005. Paleoclimatology, the Oxygen Balance. W: Earth Observatory NASA (on-line).

129. Rousseau, D.D., Gerasimenko, N., Matviischina, Z. and Kukla, G., 2001. Late Pleistocene environments of the Central Ukraine. Quaternary Research 56(3): 349–356.

130. Rundić, Lj., Ganić, M., Knežević, S. & Soliman, A., 2011. Upper Miocene Pannonian sediments from Belgrade (Serbia): new evidence and paleoenvironmental consideration. Geologica Carpathica, 62/3, 267–278.

131. Rundić, Lj., Vasić, N., Živitić, D., Bechitel, A., Knežević, S., Cvetkov, V., 2016. The Pliocene Paludina Lake of Pannonian Basin: new evidence from northern Serbia, Annales Societatis Geologorum Poloniae 86(2), DOI: 10.14241/asgp.2016.003

132. Rundić, Lj., Jovanović, M., Gaudenji, T., Gajić, V., 2018. Prvi rezultati istraživanja zaštićenog lesnog („Laskarevog") profila u Zemunu. Naučni skup 150 godina od rođenja akademika Vladimira Laskareva, Srpska akademija nauka i umetnosti, SGD.

133. Saftić, B., Velić, J., Sztanó, O., Juhász, G., Ivković, Ž., 2003. Tertiary Subsurface Facies, Source Rocks and Hydrocarbon Reservoirs in the SW Part of the Pannonian Basin (Northern Croatia and South-Western Hungary). Geol. Croat., 56/1, 101–122.

134. Sagnotti, L., Cascella, A., Ciaranfi, N., Marc, P., Maiorano, P., Marino, M., Taddeucci J., 2010. Rock magnetism andpalaeomagnetism of the Montalbano Jonico section (Italy): evidence for late diagenetic growth of greigite and implica-tions for magnetostratigraphy. Geophysical Journal Interna-tional, 180: 1049–1066.

135. Schmid, S., D. Bernoulli, B. Fügenschuh, L. Matenco, S. Schefer, R. Schuster, M. Tischler, and K. Ustaszewski (2008), The Alpine-Carpathian-Dinaridic

orogenic system: Correlation and evolution of tectonic units, Swiss J. Geosci.,101, 139–183.
136. Schneer, C.J., 1969. Introduction. In: Towards a history of Geology. (Ed. Schneer, Cecil J.) 1-18. The Massachusetts Institute of Technology Press: Cambridge and London: 469 pp.
137. Shackleton, N.J., Opdyke, N.D., 1973. Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of Pacific core V 28- 238: oxygen isotope temperatures and ice volumes on 105 and 106 year scale. Quaternary Research, 3: 39-55.
138. Shantser, V., 1951. Alivuii ravninnykh rek umerenogo poiasa i ego znachenie dlia poznania zakonomernostei stroenia i formirovania alliuvianykh svit. Trudy Geologičeskogo instituta AN SSSR, 135(55), 1-274
139. Стевановић П., 1939. Фауна и састав барског леса у Београду. Геолошки анали Балканског полуострва, књ. XVI, Београд.
140. Стевановић П., 1951. Доњи плиоцен Србије и суседних области. Српска академија науке, књига CLXXXVII, Геолошки институт, књига 2, Београд.
141. Стевановић П., 1959. Принове за стратиграфију и тектонику неогена на територији Београда. Записници српског геолошког друштва за 1957. годину, Београд.
142. Стевановић, П., 1977. Миоцен околине Београда. Геологија Србије, ИИ-3, Стратиграфија, Рударско-геолошки факултет, Београд.
143. Stejić, P., 1997. Geneza i stratigrafija kvartarnih sedimenata Posavo-Tamnave. Magistarski rad, rukopis, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
144. Stejić, P., Rakić, M., 1998. Kvartarni sediment donjeg toka reke Save (između Šapca i Obrenovca). 13. Kongres geologa Jugoslavije, knj. II, 247-264, Herceg Novi.
145. Stepišnik, U., Žebre, M., 2011. Glaciokras Lovcena. E-GeograFF 2. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, 82 pp.
146. Suc, J.P., Bertini, A., Leroy, S.A.G. and Suballyova, D., 1997. Towards a lowering of the Pliocene/Pleistocene boundary to the Gauss/Matuyama Reversal. In: Partridge, T.C. 1997 (ed.) The Plio-Pleistocene boundary. Quaternary International 40, 37-42.

147. Suggate, R.P., West, R.G., 1969. Stratigraphic nomenclature and subdivision in the Quaternary. Working group for Stratigraphic Nomenclature, INQUA Commission for Stratigraphy (unpublished discussion document).

148. Suggate, R.P., 1974. When did the Last Interglacial end, Quaternary Research Volume 4, Issue 3, September 1974, Pages 246-252.

149. Sun, Y.B., Clemens, S.C., An, Z.S., Yu, Z.W., 2006. Astronomical timescale and palaeoclimatic implication of stacked 3.6-Myr monsoon records from the Chinese Loess Plateau, Quaternary Science Review, 25 (1–2), 33–48. doi:10.1016/j.quascirev.2005.07.005

150. Sztanó, O., Sebe, K., Csillag, G. & Magyar, I., 2015. Turbidites as indicators of paleotopography, Upper Miocene Lake Pannon, Western Mecsek Mountains (Hungary). Geologica Carpathica, 66:331–344.

151. Ter Borgh, M., Vasiliev, I., Stoica, M., Knežević, S., Matenco, L., Krijgsman, W., Rundić, L. and Cloetingh, S., 2013. The isolation of the Pannonian basin (Central Paratethys): new constraints from magneto - and biostratigraphy. Global and Planetary Change, 103:99–118.

152. Toljić, M., Matenco, L., Ducea, M. N., Stojadinović, U., Milivojević, J. & Đerić, N., 2013. The evolution of a key segment in the Europe–Adria collision: The Fruška Gora of northern Serbia. Global and Planetary Change, 103:39–62.

153. Toljić, M., Nenadić, D., Stojadinović, U., Gaudényi, T., Bogićević, K., 2014. Quaternary tectonic and depositional evolution of eastern Srem (northwest Serbia). Geološki anali Balkanskoga poluostrva, 75, 43–57.

154. Ћирић, Ж., 2008. Елаборат о резервама подземних вода са изворишта Мартинци и Старо извориште у Сремској Митровици

155. Ћалић, Ј., Милошевић, М. В., Гаудењи, Т., Штрбац, Д. М., 2012. Панонска низија као морфоструктурна јединица Србије. Гласник Српског географског друштва, XCII, 1, DOI: 10.2298/GSGD1201047C

156. Urumović, K., Hernitz, Z. i Šimon, J., 1978. O kvartarnim naslagama istočne Posavine (SR Hrvatska). Geološki vjesnik 30, 297-304.

157. Fink, J., Haase, G., Ruske, R., 1977. Bemerkungen zur Lößkarte von Europe 1:2 500 000. Petermanns Geographische Mitteilungen 2(77), 81–94.

158. Fodor, L., Csontos, L., Bada, G., Györfi, I. & Benkovics, L., 1999. Tertiary tectonic evolution of the Pannonian basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of paleostress data. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F. & Seranne, M. (eds), The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geological Society of London, Special Publication, 156:295–334.

159. Hambach, U., Rolf, C. and Schnepp, E., 2008. Magnetic dating of Quaternary sediments, volcanites and archaeologicl materials: an overview. Quaternary Science Journal 57 (1-2), 25-51

160. Harzhauser, M. & Mandić, O., 2008. Neogene lake systems of Central and South-Eastern Europe: Faunal diversity, gradi ents and interrelations. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 260:417–434. http://geo.ff.unilj.si/sites/default/files/glaciokras_lovcena_0.pdf

161. https://www.dinarskogorje.com

162. Hughes, P.D., 2004. Quaternary Glaciation in the Pindus Mountains, Northwest Greece. Ph. D. thesis. University of Cambridge. Cambridge.

163. Hughes, P.D., Woodward, J.C., Gibbard, P.L., Macklin, M.G., Gilmour, M.A., Smith, G.R., 2006. The glacial history of the Pindus Mountains, Greece. Journal of Geology 114, 413–434.

164. Hughes, P.D., 2007. Recent behaviour of the Debeli Namet glacier, Durmitor, Montenegro. Earth Surface Processes and Landforms 10, 1593–1602.

165. Hughes, P.D., 2008. Response of a Montenegro glacier to extreme summer heatwaves in 2003 and 2007. Geografiska Annaler 90A, 259–267.

166. Hughes, P.D., Woodward, J.C., Van Calsteren, P.C., Thomas, L.E., Adamson, K., 2010. Pleistocene ice caps on the coastal mountains of the Adriatic Sea: palaeoclimatic and wider palaeoenvironmental implications. Quaternary Science Reviews 29, 3690–3708.

167. Hughes, P.D., Woodward, J.C., Calsteren, van P.C., Thomas, L.A., 2011. The glacial history of the Dinaric Alps, Montenegro. Quaternary Science Reviews, 30, (23-24), 3393-3412.

168. Hughes, P.D., Woodward, J.C., Van Calsteren P.C., Thomas, L.E., 2012. Quaternary Science Reviews 30 (2011), 3393–3412, Quaternary Science Reviews, http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.05.016.

169. Hughes, P.D. and Woodward, J.C., 2016. Quaternary glaciation in the Mediterranean mountains, a new synthesis. Geological Society, London, Special Publications, 433, 1-23, https://doi.org/10.1144/SP433.14

170. Cita, M.B., 2008. Summary of Italian marine stages of the Quaternary. Episodes 31, 251-254.

171. Cita, M.B. and Pillans, B., 2010. Global stages, regional stages or no stages in the Plio/Pleistocene: Quaternary International, 219, pp. 6–15.

172. Cloetingh, S., Matenco, L., Bada, G., Dinu, C., Mocanu, V., 2005. The evolution of the Carpathians – Pannonian system: interaction between neotectonics, deep structure, poly-phase orogeny and sedimentary basins in a source to sink natural laboratory. Tectonophysics, 410, 1–14.

173. Cullimore, D.R., 1999. Microbiology of Well Biofouling, CRC Press, 456 pp.

174. Cvijić, J., 1900. L'epoque glaciaire dans le Peninsule des Balkans. Annales de Geographie, IX (46), 359-372.

175. Cvijić, J., 1903. Novi rezultati o glacijalnoj eposi Balkanskog poluostrva. Glasnik Srpske kraljevske akademije nauka, 65, 185-333, Beograd.

176. Cvijić, J., 1914. Eiszeitliche Vergletscherung der Gebirgsgruppen von Prokletije bis Durmitor. Maßstab 1:200,000. K.u.k. Militärgeographischen Institutes, Wien.

177. Cvijić, J., 1917. L'époque glaciaire dans la péninsule des Balkanique. Annales de Géographie 26, 189–218.

178. Cvijić, J., 1926. Geomorfologija, Beograd. Državna štamparija Kraljevine Srba, Hrvata i Slovenaca, knjiga II, Beograd.

179. West, R.G., 1977. Pleistocene geology and biology second edition Longmans: London.

180. Winterberg, S., Willett, D.S., 2019. Greater Alpine river network evolution, interpretations based on novel drainage analysis. Swiss Journal of Geosciences, 112 (1) 3–22.

181. Wolf, H., 1879. Die geologischen Verhaltnisse des Titel Bataillons-Grnzgebeites Verhandlugen der K. K. Geolog. Reichsanstalt.
182. World, Bank. 2016. Consulting services for support to water resources management in the Drina river basin - IWRM Study and Plan, Bosnia and Herzegovina, 2016

Геолошки пресек терена А–Б долином Саве
Макиш – Бежанијска коса

H 1:10000
V 1:2000


## Легенда

- $Q_2^d$ — Делувијум
- $Q_2^n$ — Квартар, холоцен антропогене наслаге
- $Q_2^{al}$ — Квартар, холоцен алувијални седименти
- $Q_1^{2,3}$ — Квартар, средњи и горњи плеистоцен
- $Q_1^1$ — Доњи плеистоцен, полициклични речни седименти
- $PlQ_1$ — Плиоплеистоцен, нерашчлањен плиоцен и најстарији плеистоцен
- $M_3^2$ — Миоцен-панон, сиви масивни лапорци
- $M_3^1$ — Миоцен-сармат, кречњаци, пешчари и лапорци
- $K_1^3$ — Креда-флиш, пешчари, алевролити, глинци

### Остале ознаке

- Линија терена — Утврђена
- Геолошка граница — Утврђена
- Геолошка граница — Претпостављена
- Расед — Претпостављен

**БИОГРАФИЈА АУТОРА**

ЗАРИЋ, ЈЕЛЕНА (Београд, Република Србија, 1984), дипл. инж. геологије за хидрогеологију, истраживач-сарадник, запослена у Институту за водопривреду „Јарослав Черни".

Јелена Зарић рођена је 23. јуна 1984. године у Београду. Средњу школу, X београдску гимназију "Михајло Пупин", завршила је 2003. године. Од октобра 2003. године полази на студије на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, смер за хидрогеологију, на ком је дипломирала 10. јула 2009. године. Током студирања на основним студијама била је стипендиста Министарства просвете и спорта Р. Србије (2003-2008. године).

Октобра 2009. године уписала је докторске академске студије на Рударско-геолошком факултету у Београду, научна област хидрогеологија. На основу X конкурса за стипендирање младих истраживача-доктораната за завршетак докторских студија и докторске дисертације добила је стипендију и укључена је на пројекат Рударско-геолошког факултета под називом „Истраживање, оцена и значај подземних водних ресурса у концепту одрживог развоја Од 2014. године запослена је на Рударско-геолошком факултету, преко пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја Р.Србије, под називом „Потенцијал и подлоге за одрживо коришћење подземних вода". Од новембра 2015. прелази на пројекат ТР 37014 под називом „Методологија оцене, пројектовања и одржавања изворишта у алувијалним срединама у зависности од аеробности" и запослена је у Институту за водопривреду „Јарослав Черни".

Од 2010. до 2015. године била је ангажована као сарадник у настави на предметима: "Заштита подземних вода", "Ремедијација подземних вода и геолошке средине", "Основи хидрогеоекологије" и "Општа хидрогеологија", на Департману за хидрогеологију, Рударско-геолошког факултета.

Одлуком наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду 23.05.2013. године, изабрана је у истраживачко звање истраживач-сарадник, а 19.05.2016. извршен је реизбор. Јелена Зарић, је учествовала на више конгреса и научних скупова у земљи и иностранству, аутор је и коаутор више стручних и научних радова.

## 1 Изјава о ауторству

Име и презиме аутора ____Јелена Зарић________________________________

Број индекса _____________Г805/09____________________________________

**Изјављујем**

да је докторска дисертација под насловом

„Формирање и одрживо коришћење изворишта подземних вода у функцији генезе квартарних седимената доњег тока реке Саве"

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

**Потпис аутора**

У Београду, 03.10.2019

__________________________

## 2 Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора – Јелена Зарић

Број индекса - Г805/09

Студијски програм - Хидрогеологија

Наслов рада - „Формирање и одрживо коришћење изворишта подземних вода у функцији генезе квартарних седимената доњег тока реке Саве“

Ментори - Проф. др Душан Поломчић и проф. др Милан Димкић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

**Потпис аутора**

У Београду, 03.10.2019.

____________________________

## 3 Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

**„Формирање и одрживо коришћење изворишта подземних вода у функцији генезе квартарних седимената доњег тока реке Саве“**

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

**Потпис аутора**

У Београду, 03.10.2019.

______________________

1. **Ауторство**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.