

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ

Марина С. Пешић

**ФИЗИЧКО-ХЕМИЈСКА КАРАКТЕРИЗАЦИЈА  
И СИМУЛАЦИОНИ МОДЕЛ ЗА ПОЈАВУ  
МУТНОЋЕ ВОДА  
У ЦИЉУ ОПТИМИЗАЦИЈЕ ПРОЦЕСА  
ПРЕРАДЕ ВОДА**

докторска дисертација

Бор, 2020

UNIVERSITY OF BELGRADE  
TECHNICAL FACULTY IN BOR

Marina S. Pešić

**PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION  
AND SIMULATION MODEL FOR THE  
OCCURRENCE OF WATER TURBIDITY IN  
ORDER TO OPTIMIZE THE WATER  
TREATMENT PROCESS**

Doctoral Dissertation

Bor, 2020

**Ментор:**

**Др Снежана Милић, редовни професор**  
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

**Чланови Комисије:**

**Др Милан Радовановић, ванредни професор**  
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

**Др Ђорђе Николић, ванредни професор**  
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

**Др Марјан Ранђеловић, ванредни професор**  
Универзитет у Нишу, ПМФ у Нишу

Датум одбране:

*Докторска дисертација је урађена на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду, и у Јавном комуналном предузећу “Водовод” Бор.*

*Захваљујем се колегама и професорима, на корисним саветима и стручној помоћи. Такође, велику захвалност дугујем свом ментору, проф. др Снежани Милић, која ми је пружила сву потребну стручну помоћ и разумевање током израде овог рада. Посебно јој се захваљујем на подршци коју ми је пружила када ми је било најтеже и када се чинило да нема излаза и могућности привођења крају докторске дисертације. Још једном велико хвала и дубоко поштовање мојој менторки. Велико хвала и доц. др Маји Нујкић са катедре за Технолошко инжењерство, Техничког факултета у Бору, као и колегиници др Радмили Марковић из Института за рударство и металургију у Бору. Такође, задовољство ми је да се захвалим члановима комисије за преглед и оцену дисертације, као и на драгоценим сугестијама које су допринеле да се дисертација употпуни.*

*Захвалност дугујем и својој породици, која је све време била уз мене и пружила ми сву неопходну подршку и разумевање да истрајем у изради докторске дисертације.*

**Марина Пешић**

# Физичко-хемијска карактеризација и симулациони модел за појаву мутноће вода у циљу оптимизације процеса прераде вода

## Извод

Водни ресурси у карстним теренима, као воде доброг квалитета, постају све значајнији извори снабдевања становништва питком водом. Режим истицања, али и квалитет карстних изданских вода, у највећој мери зависе од плувиографског режима, као и од режима површинских водотокова који пониру. Из тих разлога се врши мониторинг квалитета карстних вода. Располагање подацима о параметарима квалитета воде, добијених мониторингом који се спроводи у континуитету, омогућава примену симулационих модела ради успостављања зависности количина падавина, топљења снега и карактеристичних параметара квалитета воде.

Циљ ове докторке дисертације је одређивање концентрације тешких метала у води и креирање симулационог модела зависности падавине (киша и снег)-водостај-мутноћа воде карстних изворишта Злот и Сурдуп, која се користе за потребе водоснабдевања на територији града Бора. На овај начин управљање водосистемом ће постати сигурније. На основу података временске прогнозе, моћи ће да се одреди највероватније време појаве мутне воде на изворишту, што ће омогућити правовремено реаговање и искључивање изворишта из система водоснабдевања пре његовог замућења.

Представљени резултати показали су да концентрације тешких метала у води на изворишту Злот нису веће од дозвољених вредности према националним стандардима Републике Србије за пијаћу воду. Такође, концентрација тешких метала се није мењала са повећањем замућености. Међутим, пораст концентрације молибдена у води детектован је на изворишту Сурдуп, у време замућења. Само извориште Сурдуп се налази у близини два рудника: „SERBIA ZIJIN COPPER DOO“ и „Jugo-Kaolin“, тако да рударско-металуршке активности највероватније имају утицаја на квалитет воде изворишта Сурдуп.

Процена утицаја падавина на ниво воде у рекама и на замућеност воде у извориштима, показује веома добру повезаност падавина са разматраним варијаблама. Реакција ових параметара је скоро истовремена када су обилне кише (током истог дана или временског корака од једног дана), док утицај снежних падавина зависи од температурног режима са временским кораком од два дана за Злотско извориште и водостај Бељевинске реке. На основу података са метеоролошке станице “Црни Врх” зависност отапања снега и мутноће на изворишту Сурдуп, није се могла утврдити. Утицај падавина на оба изворишта је са временским кораком од 0-1 дана. Такође, резултати су показали значајну позитивну повезаност између замућености и количине природних органских материја, изражених потрошњом калијум-перманганата у киселој средини. Успостављени симулациони модели за оба изворишта, су са високим степеном корелације између измерене и израчунате мутноће ( $r=0,73-0,978$ ), што омогућава њихово коришћење за краткорочне предикције појаве мутноће на изворишту, у зависности од параметара који имају утицаја на мутноћу.

**Кључне речи:** квалитет воде, мониторинг, карстне подземне воде, тешки метали, турбидитет, корелација, симулација, водоснабдевање у Бору

**Научна област:** Технолошко инжењерство

**Ужа научна област:** Хемија, хемијска технологија и хемијско инжењерство

**УДК број:** 628.11:628.16(043.3)

# **Physico-chemical characterization and simulation model for the occurrence of water turbidity in order to optimize the water treatment process**

## **Abstract**

Water resources from karst aquifers are becoming more and more important sources of fresh and quality drinking water. Regime discharge and the quality of karst aquifers depend mostly of the pluviographic regime, as well as on the regime of surface water that sink. For these reasons, monitoring is carried out quality of karst water. Long-term monitoring of water quality parameters enable the application of simulation models through the dependence between quantity precipitation, snow melting and characteristic parameters of water quality.

The aim of this doctoral thesis is the determination of heavy metal concentration in the water and create the simulation model for dependence precipitation (rain and snow)-water level-turbidity of karst sources Zlot and Surdup, which are used for water supply in the city of Bor. In this way, the management of the water system will become safer. Based on the weather forecast, the occurrence time of turbidity on the source will be known, which will allow timely response and disconnection of the source from the water supply system.

The presented results showed that heavy metal concentrations in water are not higher than allowable values according to the Serbian National drinking water standards in the Zlot source. Also, the heavy metal concentration did not change with the turbidity increased. But, the increase of Molybdenum concentrations in water was detected in the Surdup source with increasing turbidity. It should be said that the Surdup source is located near two mines: "SERBIA ZIJIN COPPER DOO" and "Jugo-Kaolin", so mining and smelting activities may be do have an impact on the water quality in the Surdup Source.

The assessment of the effect of precipitation on the water level in the rivers, and on the water turbidity in the sources, shows a very good correlation between precipitation and the considered variables. The reaction of these parameters is almost concurrent when there is heavy rainfall (during the same day or time lag of one day), while the influence of snowfall depends on the temperature regime (the moment when the snow started melting) with a time lag of two days for the Zlot source and water level in the Beljevina river. Based on the data from the meteorological station "Crni Vrh", the dependence of snow melting and turbidity in the Surdup source could not be determined. Also, the results showed a significant positive correlation between turbidity and amount in natural organic matter expressed by the potassium permanganate consumption in the acidic environment. Finally, the established simulation models for both sources have a high degree of correlation between the measured and calculated turbidity  $r = 0,73-0,978$ , which allows their use for short-term predictions of turbidity in the source depending on the parameters that affect the turbidity.

**Key words:** water quality, monitoring, karst groundwater, heavy metals, turbidity, correlation, simulation, water supply system of Bor

**Scientific field:** Technology Engineering

**Scientific subfield:** Chemistry, Chemical Technology and Chemical Engineering

**UDC number:** 628.11:628.16(043.3)

## САДРЖАЈ

<b>1.0. УВОД.....</b>	<b>1</b>
<b>2.0. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА.....</b>	<b>6</b>
2.1. Физичко-хемијске карактеристике подземних вода.....	6
2.2. Мутноћа као значајан показатељ квалитета воде.....	7
2.3. Природне органске материје у води.....	11
2.4. Тешки метали у води.....	12
2.5. Утицај мутноће на дезинфекцију воде за пиће.....	13
2.6. Утицај мутноће воде на здравље људи.....	14
2.7. Утицај климатских параметара - температуре ваздуха, падавина и снежног покривача на појаву мутноће воде на извориштима водоснабдевања.....	16
2.8. Моделовање и симулација утицаја климатских параметара на квалитет подземних вода.....	17
2.8.1. Корелациона анализа.....	19
2.8.2. Регресиона анализа.....	21
2.9. Примена статистичких метода, корелационих и регресионих анализа.....	21
2.10. Примена других модела симулације за одређивање квантитативних и квалитативних особина подземних вода.....	24
<b>3.0. ДЕФИНИСАЊЕ ПРЕДМЕТА ИСТРАЖИВАЊА И ИСТРАЖИВАЧКИХ ХИПОТЕЗА.....</b>	<b>26</b>
<b>4.0. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСТРАЖИВАНОГ ПОДРУЧЈА.....</b>	<b>30</b>
4.1. Географски положај подручја истраживања.....	30
4.2. Климатске карактеристике подручја истраживања.....	32
4.2.1. Падавине.....	32
4.2.2. Температура ваздуха.....	33
4.2.3. Влажност земљишта.....	33
4.3. Карактеристике изворишта Злот.....	34
4.3.1. Хидрографске карактеристике изворишта Злот.....	34
4.3.2. Типови издани и хидролошке карактеристике истражног простора изворишта Злот.....	35
4.3.3. Опис изворишта Злот.....	36
4.3.4. Физичко-хемијска својства и квалитет изданских вода Злотског изворишта.....	37
4.4. Карактеристике изворишта Сурдуп.....	38
4.4.1. Хидрографске карактеристике изворишта Сурдуп.....	38
4.4.2. Типови издани и хидролошке карактеристике истражног простора изворишта Сурдупа.....	39
4.4.3. Опис изворишта Сурдуп.....	40
4.4.4. Физичко-хемијска својства и квалитет изданских вода изворишта Сурдупа.....	40

<b>5.0. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО.....</b>	<b>41</b>
5.1. Водоснабдевање на територији града Бора.....	41
5.2. Теренска испитивања.....	43
5.2.1. Мерење водостаја река.....	43
5.2.2. Мерења климатских параметара.....	44
5.2.3. Узорковање воде.....	44
5.2.4. Мерење температуре воде.....	45
5.3. Лабораторијска испитивања.....	46
5.3.1. Одређивање мутноће воде.....	46
5.3.2. Одређивање потрошње $\text{KMnO}_4$ .....	47
5.3.3. ICP-OES одређивање садржаја тешких метала у узорцима воде.....	48
5.4. Обрада експерименталних резултата.....	48
<b>6.0. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА.....</b>	<b>51</b>
6.1. Одређивање садржаја тешких метала у води на извориштима Злот и Сурдуп и дистрибутивном систему.....	51
6.2. Одређивање температуре воде на извориштима у зависности од температуре ваздуха и падавина.....	55
6.2.1. Анализа утицаја температуре ваздуха и падавина на температуру воде на изворишту Злот.....	55
6.2.2. Анализа утицаја температуре ваздуха и падавина на температуру воде на изворишту Сурдуп.....	56
6.3. Анализа утицаја падавина и отапања снежног покривача на водостај Бељевинске реке и мутноћу изворишта Злот.....	57
6.3.1. Анализа утицаја падавина и отапања снега на водостај Бељевинске реке.....	57
6.3.2. Анализа утицаја падавина и отапања снега на мутноћу изворишта Злот.....	63
6.4. Анализа утицаја падавина и отапања снега на водостај Сурдупског потока и мутноћу воде изворишта Сурдуп.....	70
6.4.1. Анализа утицаја падавина и отапања снега на водостај Сурдупског потока.....	71
6.4.2. Анализа утицаја падавина и отапања снега на мутноћу воде изворишта Сурдуп.....	75
6.5. Утицај мутноће воде на потрошњу $\text{KMnO}_4$ .....	79
6.6. Статистичка анализа података.....	81
6.6.1. Аутокорелациона и кроскорелациона анализа водостаја Бељевинске реке и мутноће воде изворишта Злот.....	82
6.6.2. Аутокорелациона и кроскорелациона анализа водостаја Сурдупског потока и мутноће воде изворишта Сурдуп.....	88
6.6.3. Одређивање Спирмановог коефицијента и коефицијента детерминације.....	91
6.6.4. Регресионе анализе и симулација мутноће на Злотском изворишту и изворишту Сурдуп.....	105
6.6.4.1. Регресионе анализе и симулација мутноће Злотског изворишта.....	105



6.6.4.1.1. Ауторегресиони модели.....	105
6.6.4.1.2. Кросрегресиони модели.....	106
6.6.4.2. Регресионе анализе и симулација мутноће изворишта Сурдуп.....	111
6.6.4.2.1. Ауторегресиони модели.....	111
6.6.4.2.2. Кросрегресиони модели.....	113
6.6.4.3. Вишеструка регресиона анализа за три и више променљивих и формирање симулационог модела за предикцију мутноће на изворишту Злот у периоду отапања снежног покривача.....	116
<b>7.0. ЗАКЉУЧАК.....</b>	<b>121</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>124</b>
<b>БИОГРАФИЈА.....</b>	<b>144</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЈА.....</b>	<b>145</b>
<b>Изјава о ауторству.....</b>	<b>147</b>
<b>Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада.....</b>	<b>148</b>
<b>Изјава о коришћењу.....</b>	<b>149</b>

## 1.0. УВОД

Вода, као природни обновљиви ресурс, услед присутних климатских промена које већ узрокују проблеме у квалитету воде (Rehanna i dr., 2012; Mondal i dr., 2015), убрзаног научног и технолошког развоја друштва (Mohankumar i dr., 2016), затим наглог пораста броја становника на планети (Bonacci, 2008), добија сваким даном све више на значају. Климатске промене које су све израженије, утичу и вероватно ће све више утицати на учесталост и интензитет падавина. На глобалном нивоу, већ се издвајају временски периоди великих киша и периоди изразитих суша.

Централно место у данашње време заузима проблем чисте воде за пиће, па је једна од најважнијих у комплексу мера заштите животне средине, заштита изворишта водоснабдевања. За ефикасну заштиту изворишта водоснабдевања потребно је познавати процес миграције загађивача и њихову дисперзију у подземним водама. У зависности од хидрогеолошког режима, загађујуће материје се могу простирати до незагађених подручја и тако угрозити изворишта воде за пиће (Wycisk i dr., 2003). Загађујуће материје долазе у контакт са подземним водама које су у стању кретања, прекривају њихову површину, добијају исти правац као и вода и постепено дифундују у водоносне слојеве. Резултат је тај, да вода бива загађења ефлуентом читавим током од извора загађења (Bayer i dr., 2006). Ако се посматрају водни ресурси који су присутни на копну, површинске воде су изложене већим утицајима од подземних. Значај подземних водних ресурса се огледа и у чињеници да се у највећем делу Европе (преко 50% европских земаља, међу којима је и Србија), 70% и више укупних потреба за водоснабдевањем задовољава коришћењем подземних вода (Petitta i dr., 2015).

Посебан значај у водоснабдевању имају карстни терени, зато што водни ресурси ових подручја захтевају минималну прераду, како би се добио квалитет воде који је прописан за воду за пиће (Stevanovic i dr., 2011; Nikolic i dr., 2012). Ако се посматра хидролошка изученост ових области, у поређењу са осталим водним ресурсима, ово су области са најмање изученим и истраженим режимима подземних вода (Stevanovic i dr., 2014).

Карст представља терен изграђен од растворљивих стена са карактеристичним рељефом терена чији је изглед последица механичког и хемијског дејства воде. Према растворљивим стенама који га изграђују, карст се може поделити на карбонатни (кречњаци и доломити) и евапоритски (гипс, анхидрит, халит), при чему је доминантан карбонатни карст (Milanović, 1979). Процењује се да карбонатне стене покривају око 7-10% планете, односно 12% континента (Ford i dr., 1989; Mangin, 1994; Lewin i dr., 2009), у којима су формиран карстни извори, бунари и пећине (Chen i dr., 2017). Распрострањеност карстних терена није везана за одређено географско подручје, међутим, посебно је карактеристичан за простор медитеранског басена, како по распрострањености, тако и када је у питању значај водних ресурса у карсту. У Европи, процењује се да карстни терени заузимају око 35% укупне површине или око 3 милиона km<sup>2</sup> (Lewin i dr., 2009; Nanou i dr., 2018). Са аспекта водоснабдевања, у многим европским земљама половину укупних ресурса за водоснабдевање представљају карстни ресурси, док у појединим земљама (као што је Црна Гора), ова издан практично представља једини ресурс за водоснабдевање.

Главне зоне распрострањења карстног типа издани у Србији су у оквиру две крупне геоструктурне јединице: Карпато-балканидима и Динаридима, у којима око 30% чине карстификоване стене (Stevanović, 1995). У Србији, карстне изданске воде представљају значајан потенцијал за садашње и будуће водоснабдевање, а када су у питању поједини

делови источне и западне Србије, не постоји алтернативно решење (Pešić i dr., 2015). Више од 80% становника насељеним на карстним теренима или њиховом ободу користи карстне изданске воде. Сви већи градови источне Србије, западне Србије, као и Поморавља, за водоснабдевање користе карстне изданске воде (Ниш, Параћин, Бор, Прибој, Пријеполје, Нови Пазар, Ћуприја, Пирот и др.).

У подручјима високе густине насељености, као и у индустријским областима, подземне воде постају подложне хемијском загађењу. Међутим, појединим истраживањима је показано да подземна вода на подручју око индустријских кластера не садржи значајне количине тешких метала. Уместо тога, контаминација подземних вода тешким металима је уочена у неким насељеним областима (Miko i dr., 2003; Mohankumar i dr., 2016). Крашка подручја су подложнија потенцијалном загађивању металима, углавном због изузетне динамике процеса који се одвијају унутар ових подручја. Специфичност крашких предела доводи до брзог преношења контаминаната, ширећи се низводно на широка подручја, укључујући оне који нису крашки (Giurginca i dr., 2010; Gutierrez i dr., 2014).

Са друге стране, важност карстних изданских вода је и у томе што су то воде најбољег квалитета, без или са садржајем у траговима тешких метала, обзиром да се налазе у неприступачним, загађеним областима (Vesper i dr., 2004).

Коришћење подземних вода, њихова расположивост, постојање довољних количина, али и добар квалитет као воде за пиће, мора се заснивати на добром познавању:

- Природне стабилизације и побољшања квалитета вода боравком и филтрацијом кроз порозни материјал издани. Загађење подземних вода зависи од пропустљивости слојева земљишта у којима се оне налазе. Ово је посебно карактеристично за подземне воде у исподповршинским слојевима земљишта, где је за порозности тла од  $\mu=0,35$ , максимална загађеност подземних вода, док за мање и веће вредности коефицијента  $\mu$  могућност загађења опада (He i dr., 2008 (a));

- Коришћења предности акумулисања вода испод површине земље. Да би се ове могућности искористиле потребно је успостављање адекватног поступка за оцену биланса и резерви карстних изданских вода и примена метода регулације режима карстне издани. Основни предуслов за рационално искоришћавање и управљање карстним водним ресурсима представља познавање елемената режима и биланса карстних хидрогеолошких система;

- Утицаја климатских параметара, посебно режима падавина на квалитет воде. Падавине у великој мери утичу на квалитет воде. Квалитет воде опада када под утицајем падавина у порозној средини настају подземни водотокови, који услед своје велике брзине спирају загађиваче са околних исподповршинских слојева земље директно у изворску воду. Састав загађивача осим неорганских једињења чине и органска једињења која су опаснија, јер су у процесу дезинфекције воде за пиће хлором основ за формирање дезинфекционих нус продуката (Robert i dr., 2016; Delpla i dr., 2017).

Карактеристике карстних издани су: велике димензије карстних канала и њихова међусобна повезаност. Познато је да су кречњаци крте стене у којима се лако стварају пукотине, а вода проласком кроз овакво тло раствара кречњак и тако шири пукотине. Тип порозности, морфологија терена, неприступачност и ненасељеност карстних масива, као и сама места појављивања карстних врела, имају велики утицај на режим осматрања карстних вода. Највећи део подземних вода настаје понирањем атмосферских падавина чија брзина у овако порозној средини може бити велика. Значајна водопропустљивост површинских зона омогућава врло брзо пуњење (храњење), циркулацију вода кроз карстни систем и пражњење

издани. Прихрањивање карстне издани је повољније него код издани у другим геолошким срединама. Због тога, у карстним подручјима, у великој мери је редукована мрежа површинских водотокова, а често је и нема (Mangin, 1994; Bakalowicz, 2005; White, 2007; Schipperski, 2018).

Филтрацијом кроз унутрашње слојеве земље постиже се дуготрајно излагање воде процесима у порозној средини, као што су процеси конвективне дисперзије, процеси оксидо-редукције, сорпције исталожавања, испаравања, разлагања органских материја, растварања, као и други процеси који доводе до веома значајних, негативних, промена у квалитету подземних вода. Премале или неадекватне активности заштите доводе до девастације ресурса, зато је потребно адекватно и детаљно познавање природних ресурса.

Режим карстних подземних вода зависи од плувиографског режима - јаких киша, дугих кишних или сушних периода и наглог отапања снега у зимском периоду (Hilberg, 2010; Christe, 2013). Реакција слива на падавине је често брза, а промена одређених параметара квантитета и квалитета воде је нагла (истицање, ниво подземне воде, мутноћа, садржај бактерија, природне органске материје, суспендовани нанос, итд.). Бујични подземни токови чија се брзина кретања повећава (углавном турбулентно, знатно ређе ламинарно), при проласку кроз порозне кречњачке стене, растварају кречњак, и на свом путу сакупљају чврсте неорганске и органске материје, што се на изворишту манифестује повећаном мутноћом воде коју чине суспендоване честице и колоидне материје природног порекла. Након престанка падавина и смањења брзине кретања подземне воде, мутноћа воде на изворишту опада, што указује да на мутноћу воде највећи утицај има повећање брзине кретања подземних вода. Истовремена појава отапања снега и кишног таласа, има највећи негативан утицај на квалитет воде (Bard i dr., 2011).

Мутноћа је једна од основних карактеристика подземних вода. Она зависи од падавина, а потиче од присуства чврстих органских и неорганских честица (иловача, органске и неорганске материје, микроскопски ситни живи организми, планктон). Вода за пиће мора бити бистра, не само из естетских и психолошких разлога, него и стога што је мутноћа која потиче од органских материја често праћена и бактериолошком загађеношћу (Vučić, 1996).

Мутноћа изазвана органским материјама утиче на рН воде и њен алкалитет. Egli i dr., 2010, су показали да највећи утицај на квалитет воде имају природне органске материје (*Natural Organic Matter - NOM*) и то хуминске материје. NOM је у стању да веже знатне количине метала и оксида, формирајући комплексна једињења. Мобилност адсорбованих загађивача попут органских загађивача или органско-металних комплекса попут комплекса тешких метала - NOM резултира њиховим транспортом кроз земљиште и унутар природног воденог система (Kordel i dr., 1997). Хуминске материје везују отпорне органске загађујуће супстанце (*Persistent Organic Pollutants - POPs*) односно органска једињења, која су јако токсична за људе и остали живи свет (пестициди, РСВ и др.) (Uhle i dr., 1999; Wei-Haas i dr., 2014).

Приликом избора технолошког процеса пречишћавања воде за пиће, мора се водити рачуна о саставу и квалитету сирове воде. Посебно је ово важно ако се за процес дезинфекције воде користи хлор. Главни прекурсори за стварање нуспродуката приликом дезинфекције воде за пиће су NOM, комплексна органска једињења која се налазе у сировој води, а воде порекло из хумуса околног земљишта која спирањем доспевају у воду, тако да се и ово мора узети у обзир приликом избора процеса пречишћавања воде. (Taha i dr., 2000; Matilainen i dr., 2002). Хуминске киселине присутне у сировој води су прекурсори стварања токсичних трихалометана уколико се дезинфекција воде за пиће врши хлором (Rook, 1974;

Singer, 1999). Хлор реагује са раствореним органским материјама при чему настају дезинфекциони нуспродукти (*Disinfection Byproducts* - DBPs). [Bischel i dr., 2000](#); [Richardson, 2005](#); [Plewa i dr., 2015](#); [Krasner i dr., 2006](#), су у радовима навели да постоји око 600 DBPs једињења, од којих су нека врло токсична и канцерогена једињења, као што су трихалометани (*Trihalomethanes* - THMs) и халосирћетне киселине (*Haloacetic Acids* - HAAs).

Количина и врста оксидационих нуспроизвода који се формирају у реакцији са хлором зависи од садржаја и реактивности NOM, концентрације хлора, pH вредности воде, температуре воде, времена реакције у дистрибуционом систему, материјала од којих су цеви направљене, старости цеви (оштећеност зида цеви), протока воде кроз цеви (приликом турбулентног кретања воде кроз цеви смањује се стварање DBPs) ([Yingying i dr., 2018](#)). [Rodriguez](#) и сарадници (2005) су показали да концентрација DBPs расте са повећањем времена контакта између NOM и хлора, а да сама реакција тече док се не утроши сва количина хлора у дистрибутивној мрежи.

По истраживачу [Delpla \(2016\)](#), пролећне кише, које су директни узрочник замућења воде на изворишту, доводе до знатног повећања реактивности органског угљеника у пречишћеној води. У кишним периодима и након примарног третмана воде, утврђена је двоструко већа концентрација THMs и HAAs у узорцима воде на излазу дистрибутивног система (време контакта је било 20 сати). Овим истраживањима је указано на важност контролисања количине органских материја у води, како би се корисницима обезбедила сигурна испорука здравствено безбедне воде за пиће.

Због свега наведеног, потребно је озбиљно приступити решавању проблема замућености воде на извориштима. Стратегија за решавање замућености везује се за постављање мониторинга параметара квалитета карстних вода ([Pešić i dr., 2015](#)) и контролисање потенцијалног формирања DBPs ([Chu i dr., 2011](#); [Changa i dr., 2016](#); [Golea, i dr., 2017](#)). Неопходно је успоставити свакодневни мониторинг параметара квалитета воде каптираних карстних врела, али свакако не треба изузети некаптирана врела, јер она представљају потенцијална изворишта у будућности.

Утицај мутноће на квалитет воде може се проучавати и преко повећане потрошње  $\text{KMnO}_4$ . Повећана потрошња  $\text{KMnO}_4$  за веће вредности мутноће воде је последица повећаног присуства органских материја у води, које подлежу процесу оксидације са  $\text{KMnO}_4$  ([Naceradskaa i dr., 2017](#)). Спроведена истраживања утицаја мутноће воде на потрошњу  $\text{KMnO}_4$  као мерила садржаја NOM у води, показују да промена мутноће директно утиче на промену садржаја органских материја у води (изражена преко потрошње  $\text{KMnO}_4$  у киселој средини) ([Bečelić, 2007](#); [Rubiyatno i dr., 2012](#)).

Приликом планирања изворишта подземних вода, као и заштите ресурса, потребно је при разматрању квалитета и процеса припреме воде узети у обзир и на адекватан начин укључити оно што је природа већ обезбедила. У пракси се често може установити да између две или више хидролошких појава постоји извесна повезаност ([Birk, 2011](#)). Из литературе је познато да постоји евидентан степен повезаности између падавина и отицаја на одређеним сливним подручјима, иако су појаве падавина и отицаја са сливова случајне величине ([Barczyk, 2003](#)). Степен такве повезаности назива се корелација. Задатак корелационе анализе је да дефинише начин (законитост) на који независно променљива случајна величина утиче на зависно променљиву случајну величину. У конкретном случају узајамне повезаности падавина и мутноће воде, независно случајна променљива - падавина, има директан утицај на мутноћу, због чега се мутноћа, посматра само као зависно случајна променљива. Уколико се располаже са довољно дугим осматрачким низом наведених параметара, могуће је применити одговарајуће корелационе анализе за потребе разумевања узрочно-последичних

веза: падавине - мутноћа - перманганатни број. Поред ових анализа могуће је применити одговарајуће регресионе моделе за потребе симулације мутноће карстног врела, које се касније могу искористити за потребе краткорочних прогноза. Ово омогућава да се може адекватно реаговати пре појаве мутноће на самом изворишту, и спречити да мутна вода доспе у дистрибутивни систем, као и да се без додатне прераде сирове воде, корисницима испоручи здравствено исправна вода за пиће. Ово посебно има значајан позитиван здравствени ефекат у процесима прераде воде за пиће, где је дезинфекција хлором једини процес третирања сирове воде. Такође, важан је и економски ефекат, јер појефтиније процес производње воде за пиће.

Данас се научна истраживања све чешће базирају на примени различитих симулационих модела којима се утврђује зависност квалитета воде и улазних параметара који утичу на њен квалитет (Delbarta i dr.; 2014; Jukić i dr., 2015). Квалитетно и сигурно управљање извориштима у процесу водоснабдевања обухвата и познавање улазних параметара који узрокују појаву мутноће, првенствено познавање количина падавина и температура околне средине и температура воде. Успостављањем адекватног симулационог модела зависности, управљање водосистемом ће постати сигурније и економски исплативије, обзиром да ће се на основу предикције знати време појаве мутноће на изворишту, што ће омогућити правовремено реаговање и искључивање изворишта из система водоснабдевања пре његовог замућења.

Предмет истраживања у овој дисертацији је фокусиран на предикцији појаве повећане мутноће воде на извориштима Злот и Сурдуп (град Бор), у зависности од количине и врсте падавина, као најзначајнијег фактора утицаја на појаву замућења наведених изворишта, уз употребу статистичких метода, корелационих модела и анализа. За осматрана изворишта је карактеристично да се мутноћа у води јавља нагло, ретко прелази 20 нефелометријских јединица (*Nephelometric Turbidity Units* - NTU) и брзо опада до вредности 2-3 NTU. Мутноћа 2 -3 NTU се може задржати и до десетак дана у води.

У дисертацији је испитана веза између присуства природних органских материја у води и мутноће воде у дистрибутивном систему. Такође, испитано је и присуство тешких метала у води на извориштима и у води дистрибутивног система, како би се утврдило да ли постоји утицај повећане мутноће на садржај тешких метала у води, посматрано са аспекта индустријског загађења и утицаја антропогеног фактора.

## 2.0. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА

### 2.1. Физичко-хемијске карактеристике подземних вода

Основне физичке особине подземних вода су: температура, прозачност, боја, мирис, укус, густина, вискозност, стишљивост и електропроводљивост. Од физичких особина највеће варијације и утицај на квалитет подземних вода има прозачност, односно, мутноћа. Ово је посебно важна карактеристика за крашке подземне воде.

Фактори који одређују хемијски састав подземних вода представљају се условима који омогућавају обезбеђење њиховог конкретног хемијског састава. Они условљавају и иницирају читав низ комплексних процеса који се јављају као непосредан механизам у формирању хемијског састава подземних вода. Поред природних, на хемијски састав подземних вода, све већи утицај имају антропогени фактори. Основни природни фактори формирања хемијског састава подземних вода могу бити физичко-географски (рељеф, клима, хидрографија и хидрологија), геолошко-тектонски (геолошки састав терена, хемијско-минеролошки састав стена, тектоника и магматизам), физичко-хемијски (растворљивост хемијских једињења, хемијска својства елемената, киселинско-базни и оксидо-редукциони услови), физички (температура, притисак, време и простор) и биолошки (утицај микроорганизама, биљака и животиња). Све заступљенији фактори који као последица антропогених активности утичу на хемијски састав подземних вода су: нарушавање природног режима у току експлоатације минералних сировина, неконтролисана експлоатација подземних вода, наводњавање и одводњавање пољопривредних површина, као и загађивање подземних вода.

Механизам формирања хемијског састава подземних вода огледа се кроз процесе који се одвијају при постојаном узајамном дејству подземних вода, стена, гасова и живе материје. Поред тога, подземна вода раствара све присутне минералне и органске материје у водоносном слоју, у већој или мањој мери. Основни процеси који учествују у формирању хемијског састава подземних вода, преводе материју у раствор, преносе је често на знатна растојања, односе из раствора, концентришу или разблажују растворе. Извори органских материја у подземним водама су падавине, површинске воде које пониру, земљиште, одређене врсте седиментних стена, као и антропогене активности ([Dragišić, 1997](#)).

Подземне воде садрже богатство минералних компонената које укључују слободне јоне, недисосоване молекуле и комплексна једињења. Слободни јони преовлађују у подземним водама и одређују њен хемијски тип, док се недисоцирани јони и комплексна једињења налазе у незнатним количинама и карактеришу специфичан састав воде. Сума свих минералних компонената садржаних у подземним водама одређује њену минерализацију. Међу најважније компоненте које одређују минерализацију и хемијски тип воде спадају:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ . Оне представљају примарне компоненте хемијског састава подземних вода. Одређене компоненте, као што су:  $\text{K}$ ,  $\text{F}$ ,  $\text{B}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  и једињења азота, такође су широко распрострањене у подземним водама. Ове компоненте, које не одређују основни хемијски састав, али у одређеним условима могу формирати специфичне типове подземних вода, представљају секундарне компоненте. Примарне и секундарне компоненте, чине групу макрокомпоненти у подземним водама. Сви остали елементи у подземним водама налазе се у расејаном стању, релативно су ниских концентрација или их има само у траговима. Најчешће се називају једним именом - микрокомпоненте. Иако не одређују хемијски тип воде, микрокомпоненте имају велики утицај на формирање специфичних особина подземних вода. Извори микрокомпонената у подземним водама

најчешће су рудни минерали (Zn, Cu, Pb, Ag, Mo, As), акцесорни минерали у појединим стенама (Be, Se), органске материје (J, Mo), морска вода (J), као и низ магматских, метаморфних и халогених стена (Li, Rb, Cs).

Нестабилност физичко - хемијског састава под утицајем климатских параметара је најизраженија код карстних подземних вода. Сагледавајући течење подземних вода у карсту, може се рећи да је оно непрекидно (Bonacci i dr., 2000). Међутим, бројни подземни карстни облици (пећине, јаме, пукотине, проводници, раседи, а нарочито појава непропусних слојева стена или тла) снажно утичу на континуитет понашања карстних водоносника. Хемијски састав воде у карсту игра кључну улогу у процесима отапања и таложења, а битно утиче и на одвијање биолошких процеса. Вода која се испод површине креће дифузно спорим, ламинарним течењем, дуго борави у подземним слојевима земље, а на изворима показује релативно малу варијацију хемијског састава током времена. Насупрот томе, вода која се креће кроз велике карстне проводнике и турбулентно (последича великих количина падавина и наглог отапања снега) и краткотрајно борави у карстним подземним слојевима (тек неколико сати или дана), те нагло мења свој хемијски састав. Langmuir (1971) ово објашњава чињеницом да у другом наведеном случају, вода прекартно борави испод површине да би имала довољно времена да успостави хемијску равнотежу с подземним карстним окружењем. Као последица тога, вода која на извору избија из система подземних карстних проводника, показује велике варијације у свом хемијском саставу (Raeisi i dr., 2007).

## 2.2. Мутноћа као значајан показатељ квалитета воде

Како су измерене концентрације микроорганиза мера за квалитет воде, тако је и мутноћа један од главних показатеља квалитета воде. Мутноћа је мера присуства финих суспендованих материја у води. Најчешће је проузрокована присуством колоидних материја. Суспендоване материје које узрокују мутноћу су: глина, муљ, органске честице, неорганске честице, планктон и други микроорганизми (Uytendaal i dr., 2003). Замућеност је стабилан параметар у воденим растворима, највише захваљујући електростатичким одбојним силама (Ebrahimi, 2015).

Мутноћа није директна мера садржаја укупних суспендованих материја (*Total Suspended Solids* - TSS) мада део замућења воде потиче од TSS. Зависност односа концентрације суспендованог наноса и мутноће постоји, али је она променљива током времена и у функцији је бројних других параметара. До данас, однос мутноће воде и количине пренетог суспендованог наноса, није довољно научно објашњен (Davies-Colley i dr., 2011). Поједина досадашња истраживања су показала да нема специфичне везе између смањења замућености и броја уклоњених честица (Patania i dr., 1995; McTigue i dr., 1998; Huck i dr., 2002).

Мерења замућености и броја честица имају сличну функцију, због тога што су оба параметра приближни показатељи уклањања патогена, али они не могу да се замењују, тј. различите су им функције. Смањење броја честица не доводи увек до смањења замућења воде. У новије време, осим мерења мутноће, користе се и бројачи честица у процесима пречишћавања воде. Истраживања су показала да је бројање честица мање ефикасан поступак од мерења мутноће, јер су детектовани мали пикови уклањања честица након филтрације воде, што је било у супротности са доказаним повећањем пролаза патогена кроз филтер. Бројање честица се може посматрати само као додатни поступак у процесу контроле квалитета воде, који се користи ради што боље оптимизације третмана воде. На пример, конвенционалне методе бројања честица, као резултат осетљивости методе могу бити



упозорења појаве пробоја замућења током почетног филтрирања (Huck i dr., 2002).

Мутноћа површинских вода (језера) потиче и од алги и мења се сезонски и са дубином у складу са физичким, хемијским и биолошким променама језера. Садржај неорганских честица у води варира у зависности од хидролошких услова. Мутноћа такође може да потиче од садржаја честица које су токсичне или које учествују у акумулацији токсичних супстанци у води. Поједине честице, узрочници мутноће воде, везују тешке метале (кадмијум, живу, олово), као и многе токсичне органске компоненте (полихлоровани бифенили, полициклични ароматични угљоводоници и пестициди).

Мутноћа воде се мери и одређује у лабораторијама и на лицу места (on-site) у води. Мерни инструмент за мутноћу је турбидиметар, а измерене вредности су изражене у NTU јединицама. Мутноћа је и мера релативне чистоће и промене боје воде. У периоду ниског водостаја вода има чисту, јасну, зеленкасту, прозирну боју и има ниску мутноћу. У кишном периоду, честице се веома брзо спирају са околних терена и растварају у води, вода постаје блатњава и обојена, што указује на високу мутноћу. Ngabirano, 2016 је у својим истраживањима показао да се физичке карактеристике воде (боја, проводљивост, мутноћа, TSS) нагло погоршавају у кишним периодима. Током високог водостаја, брзина воде је већа, количина воде која протиче је већа и доприноси лакшем и бржем спирању суспендованих материја са дна, што узрокује већу мутноћу воде (Kvalitet voda laoboratorijski priručnik, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2012).

Замућеност воде већа од 1 NTU, смањује ефикасност у уклањању патогена и смањује ефикасности дезинфекције, а вредности 3,0 NTU “не смеју никада да се прекораче” јер се ефикасност дезинфекционих средства значајно губи, а особине воде се нагло погоршавају. У канадским прописима дефинисан је појам индекса мутноће, повезан са NTU јединицом. Ако је  $NTU < 1$  сматра се да је индекс мутноће добар („good“). У случају кад се  $NTU$  креће између 1 и 5, индекс мутноће се сматра погодним („fair“), а ако је  $NTU > 5$ , третира се као лош („poor“) (Bonacci, 2016).

Извори и природа мутноће су различити и комплексни и зависе од физичких, хемијских и микробиолошких карактеристика воде. Замућеност изазивају честице у води чије су димензије, тј. пречници од формата колоидних честица (0,001-1,0 $\mu$ m) до пречника од око 100  $\mu$ m.

У подземним и површинским водама, суспендоване честице потичу из околних стена и земљишта (Gregori i dr., 2006), али настају и под утицајем деловања људске активности (комуналне отпадне воде, ђубрење земљишта и др.). Неорганске глине и природне органске материје (настале распадањем биљних и животињских организама) су најчешћи састојци воде. Такође, у води су присутне и неорганске честице настале таложењем (оксиди и хидроксиди метала Fe или Mn), биолошки организми (алге, цијанобактерије, зоопланктони и филаментозни или макроскопске бактеријске израслине - биофилмови), као и природни азбестни минерали (Mackenthun i dr., 1970; Kay i dr., 1980).

Интеракција површинских и подземних вода у простору карста, међусобно је снажно условљена. Сложене, подложне сталним и брзим променама, уз то и непознате везе међу разноликим карстним облицима, утичу на све процесе везане с кретањем воде унутар карстних простора. Директно се одражавају не само на промену количина воде која избија на површину из карстних извора, већ и на све остале карактеристике воде, па тако и на њену мутноћу, бистрину и количину суспендованог наноса. У некарстним теренима вредност мутноће је уобичајено већа у води која дотиче с површине, него из унутрашњих слојева. У карстним теренима ситуација је битно другачија. Основни разлог лежи у чињеници сложене

структуре карстног терена, у коме постоје бројни и пространи подземни простори у којима је могуће акумулирање значајних количина ситних честица које у одређеним условима могу бити брзо транспортоване кроз простране карстне проводнике до излазних отвора карстних извора. Оваква екстремна сложеност, брзе и нагле промене процеса отицања, непознавање структуре подземних веза, и као последица тога немогућност довољне изучености циркулације воде у карсту, посебно се манифестују на појаву мутноће воде на карстним изворима (Nebbache i dr., 2001; Massei i dr., 2006; Pronk i dr., 2006).

Негативан утицај мутноће воде се огледа у чињеници да су ситне честице и ако нешкодљиве, непожељне, јер имају тенденцију заштите патогена у току третмана воде (LeChevallier i dr., 1992). Повећана вредност мутноће воде за пиће је естетски неприхватљива и може имати посредан ефекат на здравље људи, тако што омогућава раст патогена у дистрибутивном систему, што за последицу има висок степен ризика за појаве болести изазване водом микробиолошки неприхватљивог квалитета. Штитећи микробиолошке параметре у води за пиће, честице мутноће на тај начин редукују њихову изложеност дезинфектантима (Herson i dr., 1984; USEPA, 1999; Farrell i dr., 2018).

Мутноћа има различите импликације за квалитет воде и третман, у зависности од природе честица које је изазивају и локације мутноће у оквиру ланца снабдевања водом за пиће. Измерене високе вредности мутноће или промене у измереним вредностима су показатељи неадекватног третмана воде или проблема са квалитетом воде (Le Chevallier i dr., 1981; Jusić, 2013). Главне предности мерења мутноће као индикатора квалитета воде се огледају у томе што је ова метода веома или релативно јефтина и што се може спроводити у континуитету.

Са порастом мутноће воде доказано је повећање концентрације микроорганизама у води, а истраживањима је детектована бактерија *Cryptosporidium* у изворској води након јаких киша и повећања мутноће (Swaffera i dr., 2014). Истраживања су такође показала да мутноћа воде нема утицаја на промену температуре подземних вода (Mazurkiewicz, 2011).

Боја у води потиче од колоидних честица, тачније од колоидне фракције природних органских материја (хуминских), а које имају таква физичка и хемијска својства која им омогућавају да остану суспендоване у води. Чиста вода се дефинише као вода из које је уклоњена боја (Sadar, 1998). Мутноћа од 5,0 NTU, и изнад ове вредности, може се визуелно уочити, што многи потрошачи сматрају неприхватљивим.

Утицај високе мутноће на укус и мирис воде је одавно познат (Atkins i dr., 1963). Алге актиномицете и њихови отпаци, такође доприносе појави укуса и мириса воде (Mackenhun, 1970).

Мутноћа изазвана неорганским честицама утиче на вредност рН воде, алкалитет, концентрацију метала и активност појединих дезинфекционих средстава. Због свог апсорпционог капацитета, честице глине могу апсорбовати неорганска и органска једињења, укључујући метале и пестициде, и тако утицати на хемијске карактеристике воде. Резултати многих анализа вода су показали да мутноћа, вредност рН, укупне суспендоване материје, проводљивост, нитрати, имају веће вредности у кишном периоду у односу на сушни (Makwe, 2013). Смањење замућености воде кроз конвенционалне методе (коагулација-флокулација-таложење-филтрација) или еквивалентне савремене технологије (озонизација - адсорпција на гранулисаном активном угљу - GAU) смањује и могућност промена хемијских карактеристика воде.

Разумевање врсте и извора замућења може бити драгоцено приликом тумачења неких

питања везаних за мутноћу. У Табели 1 представљени су различитих узрочници појаве мутноће воде, њихов утицај на квалитет воде и могући утицаји на процесе у технологији пречишћавања воде за пиће.

Табела 1. Тип замућености и утицај на квалитет воде и пречишћавање вода  
(Health Canada, 2012)

Врста мутноће	Могући квалитет воде/ Хемијски утицај	Могући утицај на третман
Неорганске честице		
Глина, муљ, минерални фрагменти природни преципијенти (нпр. калцијум-карбонат, манган-диоксид, гвожђе- оксид)	Ниска рН вредност и алкалност; Извор микроелемената; Утицај на зета потенцијал; Извор метала и металних оксида; Облачно- мутан изглед; Утицај на укус	Велики утицај на коагулацију, флокулацију и таложење; Штите микроорганизме; Може бити потребно хемијско прилагођавање; Могу да се таложе у дистрибутивном систему.
Органске честице		
Природне органске материје (разложени биљни и животињски остаци)	Извор енергије и прихрана за микроорганизме; Узрок боје воде.	Повећана потреба за дезинфекцијом; Штите микроорганизме; Потенцијал за формирање дезинфекционих нус продуката.
Органски макромолекули	Даје укус и мирис; Поседује јоноизмењивачка комплексирајућа својства; Повезаност са токсичним елементима и микрополутантима; Утицај на рН и зета потенцијал.	Потенцијал за формирање дезинфекционих нус продуката; Велики утицај на коагулацију, флокулацију и таложење; Редукује брзину филтрирања; Могу да се таложе у дистрибутивном систему.
Микроорганизми (алге, цијанобактерије, зоопланктони, бактерије, протозое)	Даје укус и мирис; Потенцијални извор токсина (нпр микроцистин- ЛР); Може да изазове микробиолошку корозију у систему; Боја распоређена у облику мрља; Естетски проблеми- одлубљивање делова од резервоара, дистрибутивног система, филтера.	Зачепљење филтера; Повећана потреба за дезинфекцијом; Треба више степена пречишћавања да би се обезбедила инактивација микроорганизама; Појава биолошког раст (биофилмови); Отпорност на дезинфекцију.

У Републици Србији законом прописана вредност за мутноћу у води за пиће је 1 NTU (Правилник о хигијенској исправности воде за пиће, 2003). Законом прописане вредности мутноће воде се најчешће постижу филтрацијом, у комбинацији са дезинфекцијом, и на тај начин се обезбеђује прихватљив степен заштите од присуства патогених микроорганизама (бактерије, протозое, вируси) у финалној води. Приликом третирања, циљ је да се у финалној води постигне мутноћа од 0,1 NTU у континуитету. Конвенционалном методом или директном филтрацијом, са једним или више филтера, може се постићи мутноћа од 0,3 NTU или мање, док се мутноћа од 0,1 NTU постиже мембранском филтрацијом.

### 2.3. Природне органске материје у води

NOM је детектована у свим површинским и подземним водама. Садржај NOM у води варира у зависности од врсте воде, климатских услова и оптерећења воде органским материјама антропогеног порекла (Gjessing, 2003). NOM представљају заједнички назив за смешу биљних и животињских продуката у различитим стадијумима декомпозиције (Dalmacija, 2002). Од других органских материја које се могу наћи у води и земљишту, NOM се разликују по томе што не поседују специфичне физичке и хемијске карактеристике које имају органске материје тачно дефинисане структуре. Тамно су обојене (од жуте до браон боје), слабо киселе, углавном ароматичне, хидрофилне, типа полиелектролита (маса им се креће од неколико стотина до неколико хиљада, па и дестина хиљада).

Основни део NOM су хуминске супстанце које потичу од геолошког састава тла, у којем се налази извориште подземне воде (Šmejkalová i dr., 2006). Укупан садржај хуминских супстанци у површинским и подземним водама поред хуминских киселина (*Humic Acids* - HAs), чине фулвинске киселине и хумин (Dalmacija, 2002; Donisa i dr., 2003). Разлике које постоје између хуминских и фулвинских киселина, потичу услед разлике у њиховим масама, броју функционалних група (карбоксилне, фенолне, хидроксилне) и степену полимеризације. Хуминске киселине имају већу растворљивост од фулвинских киселина.

Висок садржај NOM у води може довести до повећаног микробиолошког загађења воде. Са друге стране, у реакцији NOM са хлором као дезинфекционим средством, настају токсични DBPs (Musikavong i dr., 2005). Дозвољена концентрација NOM у води за пиће није иста у свим државама и креће се у границама 2-10 ppm (Levchuk i dr., 2018).

За формирање DBPs, пре свега THMs и HAA5 у води за пиће, значајне су растворене хуминске материје које су поларне, у облику обојених влакана и које воде порекло из хумуса околног земљишта и из фабрика на копну и води. Оне су у облику комплексних органских једињења са релативно непознатом структуром и хемијским саставом (Taha, 2000). Функционалне групе хуминских супстанци које су најзначајније за комплексирање су: карбоксилне, фенолне, тиолне и аминок групе.

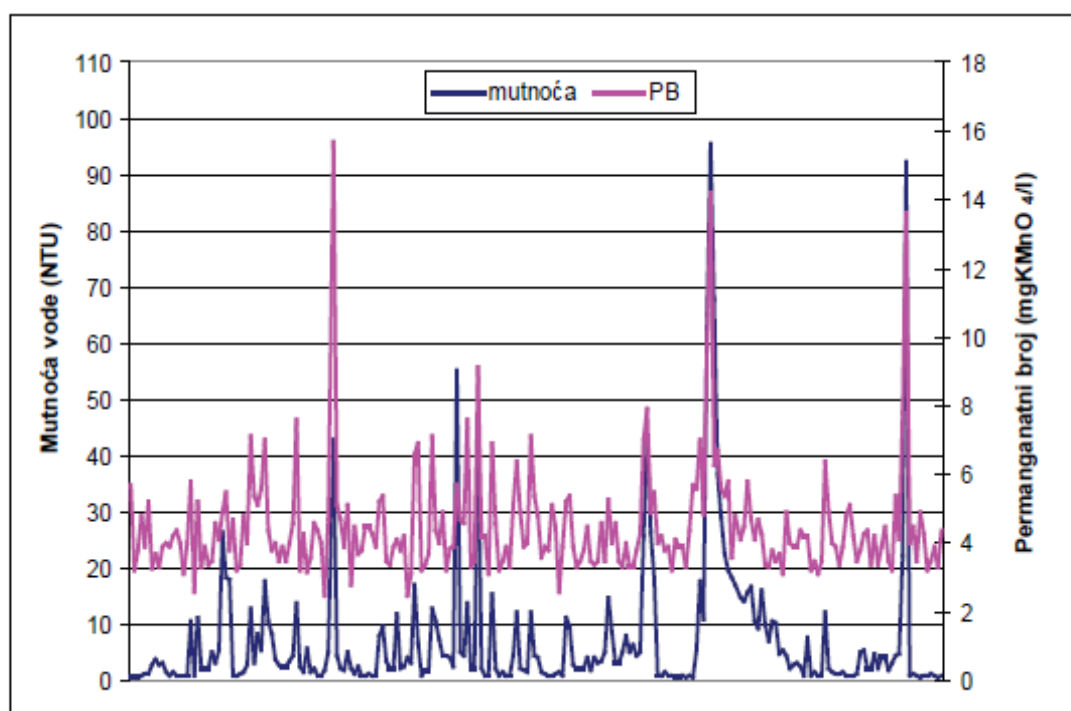
У више студија је указано да THMs као главни DBPs имају канцерогени ефекат на здравље људи (Walter i dr., 1997; Dodds i dr., 1999; McDonald i dr., 2005; Durmishi i dr., 2015). Стратегија за решавање замућености везује се за контролисање потенцијалног формирања DBPs (Golea i dr., 2017). Минимизирање стварања DBPs је неопходно, а постиже се уклањањем прекурсора за стварање DBPs, ефикасним предтретманима воде за пиће (Chu i dr., 2011; Changa i dr., 2016), оптимизацијом процеса филтрације и модификацијом дезинфекционих стратегија (примена алтернативних дезинфекционих средстава). Истраживања на побољшању ефикасности коагулације у циљу уклањања честица и THMs прекурсора су доказала да је значајно више THMs прекурсора уклоњено током појачане коагулације на pH=5,5 и да је уклањање честица и замућености значајно повећано при концентрацији коагулационог средства изнад 20 mg/l (Vrijenhoek i dr., 1998).

Такође, NOM имају важну улогу у транспорту органских и неорганских загађивача (пестицида, тешких метала) (Koopal i dr., 2001). Вода са значајно повећаном мутноћом садржи већу количину NOM и као таква је преносник загађивача. У досадашњим истраживањима је показано да повећање замућености воде узрокује повећање количине органске материје у води (Rubiatno i dr., 2012; Naceradskaa i dr., 2017)

Мутноћа изазвана присуством органских честица утиче на хемију воде: pH воде и

алкалитет. Доказано је да највећи утицај на квалитет воде имају NOM, тачније хуминске материје. NOM је у стању да веже знатне количине метала и оксида метала и да заједно формирају комплексе (Weng i dr., 2002). Органске хемикалије, као што су пестициди, такође могу бити апсорбоване на NOM. Везе у неким комплексима, хемијско једињење-природна органска материја, могу бити довољно јаке да ометају детекцију и уклањање хемијских загађивача.

Присуство NOM у води се може одредити преко повећане потрошње  $\text{KMnO}_4$ , обзиром да органске материје подлежу процесу оксидације са  $\text{KMnO}_4$  (Naceradskaa i dr., 2017). Истраживања зависности мутноће воде од потрошње  $\text{KMnO}_4$  су показала да су максималне детектоване вредности утрошка  $\text{KMnO}_4$  за оксидацију у киселој средини биле када су забележене и максималне вредности мутноће. Међусобна зависност детектоване флукуације мутноће сирове воде и утрошка  $\text{KMnO}_4$  за оксидацију у киселој средини приказана је на Слици 1 (Bečelić, 2007).



Слика 1. Зависност флукуација мутноће и утрошка калијум-перманганата сирове воде у киселој средини (Bečelić, 2007)

## 2.4. Тешки метали у води

Тешки метали, у које се најчешће убрајају бакар, цинк, олово, жива, никл, кобалт и хром, као и арсен, антимон, бизмут, кадмијум, церијум, галијум, злато, гвожђе, манган, платина, сребро, телур, талијум, калај, уран, ванадијум и цинк, природни су састојци земљине коре. Унутар и испод земљине коре уочавају се геолошки процеси и формирање минералних депозита из водених раствора који потичу из дубина, испод депозита и простиру се кроз земљину кору.

У депозитима руда, близу земљине површине, примарни минерали који су формиран

хипогеним процесима посебно сулфидни минерали, као пирит -  $\text{FeS}_2$ , халкопирит -  $\text{FeCuS}_2$ , галенит -  $\text{PbS}$  и сфалерит -  $\text{ZnS}$ , изложени су оксидационим процесима подземном водом ниске температуре. У тим процесима, подземна вода раствара примарне сулфидне минерале. Настали растворени метали ( $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Pb}$  и  $\text{Fe}$ ) се преносе подземним водотоковима (Rakovan, 2003).

У карстним водонсоним слојевима (када је рН вредност воде неутрална) тешки метали као што су  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Pb}$  и  $\text{Cd}$ , могу бити присутни у облику хидроксида и карбоната. Транспорт тешких метала је могућ само као епизодна појава, највише захваљујући адсорпцији метала на малим честицама земљишта које спирањем могу доспети у воду услед промене хидрауличних услова течења подземних вода (Vesper i dr., 2003). Јони тешких метала се такође, често природно луже са стена и тла у карстним срединама (Drew i dr., 1999). Међутим, повећане и штетне концентрације тешких метала у подземним водама су значајне у областима индустријске, рударске или пољопривредне производње (Alloway, 2013; Bonneau i dr., 2017; Sidibe i dr., 2018; Kalhor i dr., 2019). У приморским подземним водама тешки метали потичу осим од утицаја антропогених активности и од салинизације подземних вода (Wen i dr., 2019).

Anderson (2009) је детаљним мониторингом транспорта седимената кроз подземље карстних подручја Велике Британије установио, да они на свом сложенем и непознатом путу (а тиме га је немогуће контролисати) апсорбују тешке метале, радиоактивне минерале, токсичне организме и микробиолошке врсте.

## 2.5. Утицај мутноће на дезинфекцију воде за пиће

Дезинфекција воде за пиће је обавезна и претходи њеној дистрибуцији у водоводне системе. Овај поступак пречишћавања воде за пиће егзистира од почетка прошлог века (White, 1998). Важност дезинфекције се огледа у уништавању микроорганизама и оксидацији - уклањању укуса и мириса, микрополутаната, гвожђа, мангана, побољшања коагулације и филтрације, као превентива против развоја алги у седиментационим базенима и филтерима, затим као превенција за поновни развој бактерија у дистрибутивним системима (резидуал) (Bruchet i dr., 2004).

Процес дезинфекције се састоји из две фазе: примарне дезинфекције која подразумева уништавање микроорганизама у сировој води и секундарне дезинфекције која омогућава одржавање резидуалног дезинфекционог средства у води дистрибутивног система, како не би дошло до поновног развоја микроорганизама и контаминације воде.

Честице у води штите вирусе, бактерије и протозое од ефеката дезинфекције и тако смањују ефикасност средства за дезинфекцију. И неоргански и органски извори мутноће могу заштити микроорганизме од дезинфекције, при чему органски извори мутноће смањују ефикасност хлора као средства за дезинфекцију. За честице са високом UV апсорпцијом (било органске или неорганске природе) смањује се ефикасност UV дезинфекције. Велике честице обезбеђују заштиту бактерија (Berman i dr., 1988; Kollu i dr., 2012), док су веома мале честице (мање од  $1 \mu\text{m}$ ) способне за скривање вируса (Hejkal i dr., 1979).

Приликом проучавања утицаја замућености која је била у распону 70 до 100 NTU на UV дезинфекцију, утврђено је да се честице хуминске киселине апсорбују веома јако у UV опсегу, док каолин глинене честице имају ниску UV апсорбанцу. Може се закључити да отпорност на UV апсорпцију честица које су повезане са вирусима у замућеној води, зависи од састава честица (Templeton i dr., 2005; Templeton i dr., 2008).

На ефикасност хемијске и UV дезинфекције значајно утичу врсте и карактеристике честица, тачније, њихова величина, структура, хемијски састав, него замућеност. Фактори који утичу на процес дезинфекције укључују број, величину и хемијски састав честица, природу и степен повезаности микроорганизама, као и врсту средства за дезинфекцију које се примењује ([Templton i dr., 2005](#); [Templeton i dr., 2008](#); [Caron i dr., 2007.](#)). Познато је да се различите честице могу разликовати по њиховој способности да штите патогене, а да се карактеристике природних честица знатно разликују у зависности од извора воде.

Присуство замућености може ометати детекцију и бројање бактериолошких показатеља квалитета воде (*bakterije ešerihije koli, ukupne koliformne bakterije, heterotrofne bakterije*). Рутинска патогена испитивања сирове и финалне воде се не практикују, али повремена анализа узорака изворске воде може се извести како би се добиле информације о концентрацијама микроорганизама и одговарајућим поступцима за њихово уклањање. Када се користе методе за детекцију ентеричких вируса и протозоа, замућеност може узроковати зачепљење филтера, проблеме у микроскопском прегледу протозоа ([US EPA, 2001a](#); [US EPA 2006a](#)).

[LeChevallier i dr. \(1981\)](#) су проучавали ефикасност хлорисања у дезактивацији колиформних бактерија у нефилтрираној води и утврдили негативну корелацију са мутноћом. Модел корелације је предвидео да ће повећање замућености од 1 NTU до 10 NTU резултирати осам пута мањом ефикасношћу дезинфекције на истој дози хлора.

Сва дезинфекциона средства стварају органске и/или неорганске DBPs у реакцијама оксидације са природним органским (хуминске и фулвинске киселине) и неорганским материјама (амонијак, нитрати, нитрити, сулфати, јони брома, јони метала итд.) које се налазе у води и чија се количина повећава са повећањем мутноће воде. DBPs настали реакцији хлора као дезинфекционог средства и NOM су најштетнији и могу настати у већим количинама ([Sadiq, 2004](#)).

Замућеност воде од 1,0 NTU или мање, је у Републици Србији законски дозвољена за употребу у систему дистрибуције воде за пиће, јер се за ове вредности обезбеђује добра ефикасност дезинфекције ([Le Chevallier i dr., 1981](#)). Расположиви подаци указују да дезинфекција може бити ефикасна и за веће вредности мутноће, међутим, природа заштите микроорганизама од стране присутних честица које чине мутноћу је комплексан процес и познавање само вредности мутноће није довољно да се тај процес објасни ([Caron i dr., 2007](#)). Досадашњи подаци нису довољни да би дали опште закључке о нивоу замућености који утиче на ефикасност дезинфекције. Препоручљиво је да водоводи настоје да постигну замућеност што је могуће нижу, на свим тачкама у ланцу водоснабдевања.

## 2.6. Утицај мутноће воде на здравље људи

Група сродних студија је ретроактивно испитивала могућност утицаја мутноће на гастроинтестиналне болести за време избијања епидемије у Милвокију. Током епидемије доказано је да су случајеви гастроентеритиса били уско повезани са мутноћом пијаће воде. Код деце су се симптоми болести јављали након 7 дана, а код одраслих након 8 дана. Ова епидемија је детектована код одраслих и деце који су живели у зони једног од постројења за пречишћавање воде, где је забележена већа просечна вредност мутноће ефлуента ([Moris i dr., 1998](#)). [Naumova](#) са сарадницима (2003) је у својим истраживањима потврдила јаку везу између гастроинтестиналних болести везаних за хоспитализацију међу старијом популацијом и воде за пиће са повећаном мутноћом, са појавом здравствених проблема након 5 до 6 дана.

У неким студијама (Moris i dr., 1996; Moris i dr., 1998; Naumova i dr., 2003), аутори су закључили да је појава здравствених тегоба након више дана, у складу са периодом инкубације за патогену бактерију *Cryptosporidium* (Swaffera, 2014).

Са друге стране, постоје и студије које указују да нису утврђени утицаји повећане замућености воде на појаву гастроинтестиналних болести (Lim i dr., 2002; Tinker i dr., 2010). Веза између мутноће и гастроентералних болести се испитује и контролише различитим механизмима. Gilbert са сарадницима (2006) и Tornevia са сарадницима (2016) објавили су да постоји повезаност између мутноће третиране воде и гастроинтестиналних болести, и то на основу повећаног броја телефонских позива на здравственој информационој телефонској линији. Yang i dr. (2011) су доказали епидемију гастроентеритиса на основу: разговора са пацијентима и лекарима, објављених научних радова у медицинским часописима на ову тему и лабораторијских анализа фекалних узорака пацијената. Beaufeay i dr. (1999) су пронашли позитивну корелацију између повећања замућености сирове воде и повећане продаје лекова против дијареје у граду Ле Хавре, Француска.

Mann и сарадници (2007) су сакупили и систематизовали литературу која је проучавала мутноћу пијаће воде и ендемске појаве гастроентералних болести. Међутим, они долазе до веома различитих резултата у студијама. Док су у једнима доказане везе између мутноће воде за пиће и гастроентералних болести, у другим студијама ове везе нису потврђене.

Само присуство честица у води није ризик за здравље, већ оне представљају индиректни ризик у зависности од типа честица које чине мутноћу воде и које могу да реагују са хемијским загађивачима. Глина и NOM могу да адсорбују тешке метале и пестициде, али и DDT, хлордан и диелдрин (Ritter i dr., 2002; Health Canada 2012). Истраживања су доказала да се адсорбоване хемикалије могу одвојити од честица у измењеним условима, као што је промена рН средине. Када ове честице са водом доспеју у људски организам, загађивачи се ослобађају и опасна хемијска једињења изазивају здравствене проблеме. Такође, NOM у реакцији са хлором као дезинфекционим средством гради канцерогене DBPs, који значајно повећавају могућност оболевања од неколико врста канцера (Durmishi i dr., 2015).

Мониторинг мутноће као и осталих параметара квалитета воде се спроводи како би добијени подаци помогли у управљању водоснабдевањем. Мутноћа може бити сигнал за присуство потенцијалних загађивача. У неколико студија је доказано да је пораст броја патогених микроорганизама у води сразмеран повећању мутноће воде (Snead i dr., 1980; Goshko i dr., 1983; Haas i dr., 1983; Power i dr., 1999). Осим повећања броја микроорганизама, повећана мутноћа изнад 1,0 NTU може довести до значајног повећања талога у дистрибутивном систему, а за мутноће веће од 5,0 NTU, вода често има боју, укус и мирис (Schock i dr., 2011). Може се рећи да је неопходно редуковати мутноћу у дозвољене границе и тако минимизирати могући штетан утицај на здравље људи. Редукција мутноће и уклањање честица и патогених микроорганизама у великој мери зависи од квалитета сирове воде и технологије пречишћавања. Један од начина смањења мутноће воде, до законом прописаних вредности, је процес филтрације у комбинацији са дезинфекцијом. Тиме се постиже прихватљив степен заштите од патогених микроорганизама, као што су бактерије, протозое и вируси, у финалној води.

Правовремена идентификација могућих извора загађења и значај њиховог негативног утицаја на квалитет воде за пиће, су важна превентива за заштиту здравља људи (Yang i dr., 2011). Сви системи воде за пиће морају имати развијен систем мониторинга и контролу мутноће кроз цео дистрибутивни систем, укључујући и осматрање делова система са дужим



временом задржавања воде, у којима услед дугог задржавања воде долази до опадања резидуала дезинфекционог средства, што доводи до погоршања квалитета воде. Пораст мутноће у дистрибутивном систему независно од квалитета сирове воде, такође је показатељ погоршања квалитета воде.

## **2.7. Утицај климатских параметара - температуре ваздуха, падавина и снежног покривача на појаву мутноће воде на извориштима водоснабдевања**

Квалитет воде је под утицајем широке скале природних (геолошки, хидрогеолошки и климатски) и антропогених утицаја. Климатски параметри су у већини случајева узрочници наглих флукуација у квалитету воде намењене водоснабдевању. Климатски параметри који имају највећи утицај на промену у квалитету воде су: падавине, температура ваздуха и отапање снежног покривача (Renner i dr., 2011). При томе су дифузни извори загађења (падавине и отапање снежног покривача) мање предвидиви и теже се контролишу у односу на тачкасте изворе контаминације који се најчешће лако идентификују, имају препознатљиве локације и дренаже отпадних вода (Davies Colley i dr., 2004).

Подземна вода је врло важан елемент хидрогеолошких система. Квалитет воде на извориштима подложен је променама изазваним природним појавама, као што су: промена температуре ваздуха, воде и тла, падавине, отицање површином тла, понирање, физичке, хемијске, биолошке и биохемијске промене састава воде на површини и у самом земљишту.

Посебну специфичну хидрогеолошку структуру представљају карстне издани, са великим степеном "рањивости", што додатно отежава очување квантитативно-квалитатних карактеристика ових подземних вода при неповољним климатским условима (као што су падавине) (Vias i dr., 2010). Разлози су брза инфилтрација дуж понорних зона и пукотина, као и велика брзина кретања кроз порозну средину карстних терена уз изразито малу способност самопречишћавања. Насупрот брзе контаминације карстне издани, процес ремедијације је веома успорен услед потенцијалног повратног и резидуалног засићења, што додатно усложњава проблем рањивости (Rabrenović i dr., 2015).

Од величине, облика, карактера, запуњености, као и повезаности ових простора, зависи процес течења воде кроз карстну порозну средину. Према томе, долази ли подземна вода из састава широких канала или из порозне матрице, ток воде се дели на брзи и базни ток. Брзи ток је последица инфилтрације падавина с терена кроз поноре (директна инфилтрација), док базни ток представља воду која у унутрашње слојеве земље долази дифузном инфилтрацијом тј. спорим цеђењем кроз мале пукотине. Базни ток чини укупан ток воде на сталним карстним изворима у време ниских водостаја (Bonacci, 1987; Bonacci, 2001).

На релацији падавине-истицање из карстне издани "реакција слива" може бити разноврсна (Ristic i dr., 2012a). Постоји могућност да процес претварања падавина у истицање путем врела буде веома брз, са интензивним стрмим и краткотрајним хидрограмима истицања из врела, након којих по престанку падавина у појединим случајевима може доћи и до пресушивања врела. Насупрот овоме, овај процес може бити веома спор и дуготрајан због величине, односно ретардационе моћи подземних простора. Код ових случаја рецесиона грана хидрограма је често веома благог нагиба (Stevanovic i dr., 2011).

Осматрања изворишта подземних вода пружају информације о ефектима падавина на промену квантитета и квалитета ових вода (Moniewski, 2014). Могућност појаве мутноће је

везана за климатске, сезонске варијације (обилне падавине, природне непогоде итд.). Највеће вредности мутноће, концентрације укупних суспендованих материја и бактерија су забележене за време интензивних падавина и наглог отапања снежног покривача (Huey i dr., 2010; Zhou i dr., 2015).

Такође, ниво карстног извора често има велике варијације са јасним уочавањем између основног нивоа, односно протока, и великих протока који се јављају у периодима јаких падавина, након наглог отапања снега и глечера. Тада се веома брзо уочава промена издашности извора, али и промена у квалитету воде (Gremaud i dr., 2010; Yu i dr., 2016).

Већи број аутора (Mazurkiewicz i dr., 2011; Lida i dr., 2012; Li i dr., 2016; Kamari i dr., 2018), је указао на то да се у пролеће, током топљења снега и интензивних киша, повећава ниво воде и проток, што условљава повећање мутноће. Обим замућености је директно пропорционалан количини отопљеног снега и количини кише које заједно пониру кроз стенске формације директно у подземне воде. Истраживањима је показано и то, да је у зимским периодима који су били топлији, али са падавинама у облику киша уместо снега долазило до знатно веће замућености воде, као и већих количина суспендованих и органских материја у води (Martin i dr., 2014; Kamari i dr., 2018).

## **2.8. Моделовање и симулација утицаја климатских параметара на квалитет подземних вода**

У савременом свету, моделовање се све више користи за изналажење зависности и најбољих решења при управљању неким процесом. Највише се примењују статистички модели који су засновани на статистичким релацијама између доступних података и мерења (Fatehifar i dr., 2007). Посебно су важне симулације које представљају извршење модела и формирање одређених резултата. Предности симулација огледају се у чињеници да је то економичнији начин давања одговора у односу на спровођење експеримената. Експерименти представљају скуп, али драгоцен извор информација и резултата, нарочито када се раде у реалним условима. Приликом успостављања модела експериментални, подаци су неопходни ради провере да ли успостављени модел описује реално стање или има одступања. Симулације пружају могућност мењања улазних и излазних података модела, што води и бољем разумевању претпоставке, односно модела који се посматра, јер се добија својеврсно когнитивно разумевање како неки систем заиста функционише (Fatehifar i dr., 2008).

Циљ моделовања у процесу производње воде за пиће је: ефикасније коришћење података свакодневног мониторинга, како би се повећала сигурност процеса, и тако смањила зависност рада искључиво од искуства оператера и уобичајене праксе (Olsson i dr., 2003). Дobar мониторинг квалитета воде даје нова сазнања о извориштима, транспорту и “судбини” загађивача у воденој средини. Нова сазнања омогућавају формирање научне базе података параметара који су од значаја за квалитет воде за пиће, на основу којих се одређују критеријуми квалитета воде за пиће и тако штити здравље људи и сама водена средина (Myers, 2015).

Ефикасна примена модела, анализа и симулација, значи побољшање, односно повећање ефикасности процеса након претходног успешног тестирања, односно, довођење излазних параметара у прописане границе уз што мања улагања ресурса за обезбеђење ових граница. Моделовање процеса производње воде омогућава потпуније (максимално) коришћење планираних или постојећих капацитета: објеката, опреме, воде, електричне енергије, хемикалија. Последица је смањење оперативних трошкова и минимизирање

негативног утицаја на околину (на пример, минимизирање губитака воде, потрошње хемикалија, потошње енергије и сл.), што значи ефикаснију припрему воде за пиће, уз коришћење тзв. најбоље расположиве технике (*Best Available Techniques - BAT*).

Примена модела у припреми воде за пиће је изазов и начин побољшања управљања, пројектовања и разумевања процеса. Снабдевање водом за пиће се све чешће одвија у неповољнијим климатским условима, али и у словима све већег загађења, као и:

(а) изразито кишних и сушних периода;

(б) када се изворишта недовољно штите од загађивања (зоне заштите су често сасвим формалне, без икаквих санкција за загађиваче и оне који нарушавају прописане режиме заштите);

(ц) када се просторним плановима довољно добро не штите простори који су планирани за потенцијално проширење нових изворишта, тако да се исти све чешће запоседају другим садржајима, којима није место у зони изворишта.

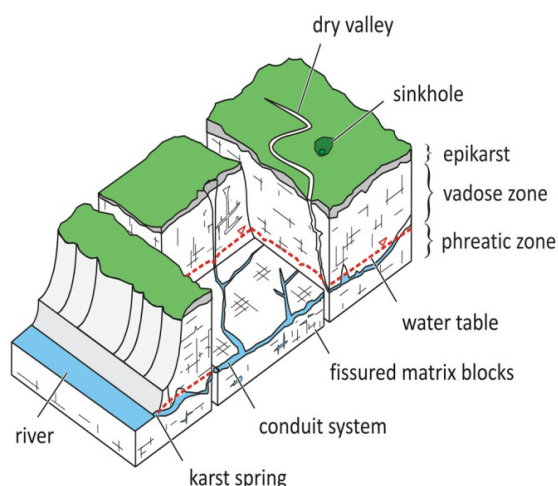
За снабдевање водом, осим компонената квалитета битан је и квантитет. Развијају се методе хидродинамичких анализа о могућностима проширења неких изворишта у алувијалним срединама (Ђурић *i dr.*, 2012). Такође, анализирају се утицаји опадања нивоа подземних вода на процесе старења водозахватних објеката (Мажкић-Дурусун *i dr.*, 2012), али се још увек примењују и конвенционалне методе припреме воде за пиће (Бусуладџић, 2009). Једна од важнијих и веома економичних метода, која може бити начин за побољшање услова снабдевања водом је и примена математичког модела. За специфичне услове у карсту формиран је 3D модел карстних канала у зони истицања врела, као подлога за захватање подземних вода (Милановић *i dr.*, 2012).

Успостављањем адекватног модела за анализу режима неког карстног врела, које се користи за водоснабдевање, у значајној мери би се предупредили проблеми у погледу недостајућих количина квалитетне воде за водоснабдевање. Ово је посебно важно за кишне периоде и периоде отапања снега. Комплексност функционисања карстне издани, као и хетерогеност структуре, условила је формирање различитих концептуалних модела, па је стога веома важна правилна карактеризација, односно, идентификација карстног хидрогеолошког система. Једна од најчешће примењиваних метода је анализа хидрограма врела, при чему се за анализу хидролошког циклуса примењују корелационе и спектралне анализе (Mangin, 1984, Panagopoulos *i dr.*, 2006). При анализи режима истицања карстних врела, било да се ради о фази пораста или фази пада хидрограма, у великој мери се користе корелационе анализе - аутокорелација и кроскорелација (Fiorillo *i d.*, 2010; Sagur *i dr.*, 2020).

У многим крашким изданима епикарст често има важну улогу у прерасподели падавина као дифузне допуне подземне мреже водоносних слојева, али и у временској дистрибуцији количине воде која је на овај начин доспела у подземне воде. Применом одговарајућег симулационог модела, показано је да је допуна главни фактор у великим варијацијама истицања у пролећним периодима. Резултати симулације су указали на значај временске и просторне расподеле допуне за истицање на карстним изворима (Chang *i dr.*, 2019).

Комплексност истицања је последица сложене геолошке грађе кроз коју вода пролази на свом путу од падавина до истицања путем карстних врела или дренирања карстне издани на неки други начин. Полази се од претпоставке да у карстним масивима, који се одликују пукотинском порозношћу, постоје подземни простори, већих (пећински канали, каверне) или

мањих димензија (пукотине и прслине) (Слика 2).



Dry valley - dolina bez površinskog toka; Sinkhole - vrtača; Epikarst - epikarst; Vadose zone - vadozna zona; Phreatic zone - Freatska zona; Water table - nivo vode; Fissured matrix blocks - pukotinski matrični blokovi; Conduit system-provodni sistem; Karst spring - karstni izvor; River – reka.

Слика 2. Модел карстног система  
([modifikovao Liedl i dr., 2003](#))

У пракси се често може установити да између две или више хидролошких појава постоји одређени степен повезаности, односно корелација. Задатак корелационе анализе је да дефинише начин (законитост) на који независно променљива случајна величина утиче на зависно променљиву случајну величину. У случају узајамне повезаности падавина и мутноће воде, независно случајна променљива, падавина, има директан утицај на мутноћу ([Robert i dr., 2016](#)), због чега се мутноћа, посматра само као зависно случајна променљива ([Prohaska, 2006](#)).

Регресија (регресиони модел), осим анализе јачине и смера повезаности и изражава се преко облика повезаности, као и анализу у смислу независних/зависних (предиктор/исход). Регресиони модел омогућава предикцију вредности зависне варијабле на основу познавања вредности независних варијабли. Резултат регресионе анализе је регресиона једначина која даје најбољу предикцију зависне варијабле на основу једне или више независних варијабли.

### 2.8.1. Корелациона анализа

Корелација подразумева анализу јачине и смера повезаности и изражава се преко коефицијента корелације,  $r$  ([Prohaska, 2006](#)). Тумачење апсолутног коефицијента корелације према [Coltonu \(1974\)](#) приказано је у Табели 2 ([Ažman i dr., 2006](#)). Без обзира на апсолутни износ коефицијента корелације, он само указује на степен усклађености промене променљивих, али не и на узрочно-последичну везу међу њима.

Коефицијент детерминације,  $R^2$ , је квадрат коефицијента корелације ( $r^2$ ) и утврђује колико је промена зависне варијабле објашњена променом независне варијабле. Он означава пропорцију заједничких фактора који условљавају степен усклађености промена променљивих тј. удео мерења који указује на повезаност променљивих ([Kolesarić i dr., 2003](#)).

Табела 2. Тумачење вредности апсолутног коефицијента корелације  
(Ažman i dr., 2006)

r	Повезаност између варијабили
0-0,25	нема
0,25-0,5	слаба
0,5-0,75	умерена до добра
0,75-1	добра до одлична

За анализу временских серија, у којима су временски интервали између података једнаки, најчешће се користе анализа аутокорелационе функције (ACF), анализа кроскорелационе функције (CCF) (Brownie, 2017). Такође, оцена параметара успостављеног модела зависности се врши на основу осматрених временских серија, а пројекције се одређују на основу утврђене зависности (Fendekova i dr., 2014).

Хидролошке временске серије представљају скуп осматрања током времена који може да се исказе као реализација случајне променљиве која чини један случајан процес (Koutsoyiannis, 2014). Анализе временских серија у хидрологију карста увео је Mangin (1984), а у новије време су веома значајне за прогнозе и контроле различитих појава (Davis, 2002; Vox i dr., 2008; Kuhta i dr., 2012). У истраживању карстног састава корелационе анализе се у највећој мери примењују на временске серије протока и количине падавина (Padilla i dr., 1995; Pulido-Bosch i dr., 1995; Angelini, 1997; Larocque i dr., 1998; Bonacci, 2001; Mathevet i dr., 2004; Panagopoulos i dr., 2006; Kuhta i dr., 2012; itd.).

Аутокорелациона функција квантификује линеарну зависност сукцесивних вредности временског низа (Larocque i dr., 1998). Аутокорелација је корелација временског низа с властитим вредностима уз дискретно повећавање временског помака (Mangin, 1984, Vox i dr., 2008, Kuhta i dr., 2012). Уколико на разматрану вредност одређеног догађаја постоји утицај претходних вредности, временска серија је аутокорелисана, а “пад” вредности на корелограму је благ, у супротном серија је независна и корелограм има “стрм” пад. За случајеве када су аутокорелограми изузетно стрмог карактера, анализирани низови нису у аутокорелацији, већ су независни (серије су без меморије тј. не постоји „памћење система“) (Krešić i dr., 2010). Праг статистички значајних вредности зависи од дужине (обима) анализираних серија и обично се узима вредност 0,2 као референтна вредност (Mangin, 1984) или се узима тренутак када аутокорелациона функција пресеца апсцису, односно тренутак када коефицијенти аутокорелације постају негативни (Jukić, 2005).

У хидрологији карста, облик ACF временске серије протока користи се за одређивање степена карстног састава стена и добијање информација о залихама подземне воде (Padilla i dr., 1995, Pulido-Bosch i dr., 1995; Kuhta i dr., 2012). За слабо развијене карстне саставе с великим резервама воде карактеристичан је дуг временски период у којем ACF пада испод вредности, након које коефицијенти аутокорелације више нису статистички значајни. Насупрот томе, код високо развијених карстних састава, без значајних резерви подземне воде, тај период ће бити кратак (Angelini, 1997). Већина карстних састава налази се између ова два екстрема. Режим карстне издани зависи у великој мери од падавина, али треба напоменути да облик и нагиб аутокорелограма зависе, како од количине падавина, тако и од врсте падавина (киша, снег), затим њихове учесталости, количине и интензитета, а када је снежни покривач у питању, и од температуре ваздуха (Eisenlohr i dr., 1997).

Кроскорелациона анализа се користи за утврђивање везе између зависне-улазне променљиве и независне-излазне променљиве. Неке од примена CCF у хидрологији карста

су: тестирање претпоставке да једна временска серија има закаснелу реакцију на промене у другој временској серији, испитивање зависности између серија, добијање информација о одговору састава на кишне догађаје и одређивање средњег времена задржавања воде у унутрашњим слојевима земље (Padilla i dr., 1995; Pulido-Bosch i dr., 1995; Panagopoulos i dr., 2006). Код кроскорелационих анализа у хидрологији, веза временски зависне случајно променљиве (дневне количине истеклих вода, нивои подземних вода, мутноћа воде) и независне случајно променљиве (дневне суме падавина) се може квантификовати израчунавањем кроскорелационих коефицијената и то за различите временске кораке (Krešić i dr., 2010, Posavec i dr., 2017).

## 2.8.2. Регресиона анализа

Регресија подразумева анализу облика и смера повезаности и анализу у смислу независних/зависних (предиктор/исход) варијабли са циљем предикције. У регресионом моделу познавање вредности независних варијабли омогућава предикцију вредности зависних варијабли. Уопште узев, кад год постоји значајна корелације између две варијабле може се вредност једне варијабле искористити за предикцију вредности друге варијабле.

Регресиона једначина описује начин како је “зависно” променљива везана са једном или више “независно” променљивих величина. За дефинисање регресионих зависности користи се техника линеарне корелације, применом “методе најмањих квадрата”. Ова техника је усвојена због тога што је теоријски најизученија, има најширу примену у пракси и и што има веома погодна својства. Уколико постоји зависност једне појаве у функцији две или више независних појава, онда се говори о вишеструкој линеарној регресији (Prohaska, 2006).

Модел вишеструке линеарне регресије је најчешће примењивани модел за симулације, односно, прогнозе одговарајућих случајно променљивих величина (Chenini i dr., 2009; Batabyal, 2014; Mogaji i dr., 2015, Mokarram, 2016; Aphiphan i dr., 2018.; Pešić i dr., 2020).

За потребе симулације истицања из карстних масива често се примењују ауторегресиони модели (AR) и кросрегресиони модели (CR). Најчешће се користе комбиновани модели који обједињују претходна два (AR и CR модели = ARCR) (Fleury P. i dr., 2007; Ha Nhu i dr., 2020).

## 2.9. Примена статистичких метода, корелационих и регресионих анализа

Применом аутокорелационих и кроскорелационих анализа проучавано је хидродинамичко понашање и хидрауличке особине водоносних слојева (Panagopoulos i dr., 2006, Mance, 2014). Познавањем елемената режима карстног хидролошког система у природним условима и његовом анализом у будућим експлоатационим условима, стварају се услови за низ могућих техничких решења која се могу применити на разматраним извориштима. Квантитативном и квалитативном анализом карстног хидрогеолошког система могуће је ближе дефинисати начин функционисања карстне издани (Panagopoulos i dr., 2006), што јасније опредељује варијанту могућег техничког решења водозахвата. Карактеризација карстног система се обавља за целокупан расположиви низ података, као и за издвојена два репрезентативна периода - период великих вода и сушни период. Спровођење мониторинга у дужем временском периоду за системе који се проучавају, је од великог значаја за потпуно разумевање његових особина, а у циљу сигурног управљања проучаваним системом и

могућности примене корелационих метода за процену утицаја различитих параметара на режим рада самог система (Zhang i dr., 2017). Задаци мониторинга су да, поред редовног праћења ситуације, обезбеди благовремено обавештавање о евентуалним акцидентима и тако омогући предузимања одговарајућих мера заштите и санације (Dimkić i dr., 2013).

Анализа врела Млаве, које је карстно врело са најдужим низом осматрања количина истеклих вода у Србији, вршена је корелационим анализама и регресионом анализом за потребе симулације истицања врела (Ristić Vakanjac i dr., 2012b). Такође, AR се успешно примењују за моделирање хидролошких процеса са малим варијацијама у временској серији (Salas i dr., 1988). За моделовање се користе AR модели са кратком меморијом и ауторегресиони модели којима су додати модели покретних средина (ARMA) (Box i dr., 2008, Tekindal i dr., 2016). Параметри наведених модела оцењују се на основу осматрених временских серија, а пројекције се одређују на основу утврђене зависности.

У северозападном Вијетнаму, у речном сливу који се користи за наводњавање обрадивих површина, за две изразито кишне сезоне 2010. и 2011. године, анализиран је утицај мутноће, отицања и киша, на концентрацију суспендованих честица, честица органског угљеника и честица азота у води. Корелационом анализом је доказано да мутноћа воде има највећи утицај на концентрације испитиваних честица (Slaetsa, 2014). На основу временско - просторне варијабилности, корелације између сушних и поплавних периода у последњих 500 година у Монголији, научници су показали да је као последица климатских промена у последњих неколико деценија дошло до промена у корелацији кишног- сушног периода. Подаци за корелације за дужи временски период у различитом временско-просторном обиму су веома значајне, јер пружају теоријску основу за научно предвиђање суша и поплава, за дужи временски период, исто тако добро као и за краткорочне прогнозе (Peng Y., 2018).

Корелационе методе су примењиване и за прогнозе утицаја прилива рудничких вода у рударска окна. За краткорочну прогнозу прилива рудничких вода која је битна због организовања брзих интервенција у рудницима, коришћени су корелациони и регресиони модели типа вишеструке линеарне корелације. Значај ове врсте модела, састоји се у могућности симулације и предвиђања последица (прилива рудничких вода), изазваних појавама случајног карактера (климатске величине: падавине и температуре ваздуха) (Miladinović i dr., 2015). Такође се користе и за процену временских варијација у квалитету површинских вода (Voza i dr., 2018).

Mance (2014) је истраживања базирао на успостављању модела функционисања карстних изворишта која су укључена у водоснабдевање града Ријеке и околине, на темељу проучавања временских низова стабилних изотопа водоника и кисеоника у падавинама и подземној води. У многим истраживањима корелационе и регресионе анализе се користе за процену квалитета воде (Muthulakshmi i dr., 2013; Chaubey i dr., 2015; Ramesh, 2017; Shrestha i dr., 2018). У периодима интензивних кишних падавина, повећање концентрације бактерије *Cryptosporidium* у изворској води зависи од повећања протицаја и мутноће. Доказана је позитивна корелација између концентрације бактерије *Cryptosporidium* и протока и мутноће (Swaffera i dr., 2014).

Одређивањем коефицијента линеарне колерације за DBPs у третираној води је показано да постоји зависност између параметара који карактеришу квалитет воде а који су прекурсори стварања DBPs и самих DBPs. Вредности коефицијента корелације за поједине DBPs приказане су у Табели 3 (Golea i dr., 2017).

Табела 3. Приказ вредности коефицијента корелације појединих DBPs  
(Golea i dr., 2017)

DBPs	Извор воде	Метода за одређивања квалитета воде	Сепарација (раздвајање)	Степен корелације (R <sup>2</sup> )	Референца
THMs	Сирова/ултрафилтрирана површинска вода, Sd	UV <sub>254</sub> , DOC	Без	THMs у односу на DOC <b>(0,76/0,58)</b> сирова/ултрафилтрирана)	Sutherland i dr., 2015.
THMs, NDMA	Механички пречишћена површинска вода, SC USA	UV <sub>254</sub> , EEM-PARAFAC	Без	THMs у односу на DOC <b>(0,95)</b>	Yang i dr., 2015.
THMs, HAAs, TOX, HAN, CP	Механички пречишћена површинска вода, NA	SUVA	Хемијско + физичко	THAAS принос у односу на SUVA <sup>a</sup> <b>(0,80)</b>	Hua i dr., 2015.
THMs, HAAs,	Отпадна вода, Tu	UV <sub>272</sub> , pH, Cl <sub>2</sub> /DOC	Без	THMs у односу на ΔUV <sub>272</sub> , <b>(0,91-0,99)</b> ; pH зависно)	Uyak i dr., 2014.
TCM	Површинска вода, WA USA	UV <sub>254</sub> , DOC, EEM-PARAFAC	Хемијско	TCMFP у односу на I <sub>278/506</sub> <b>(0,88)</b>	Piferi dr., 2014.
THMs	Површинска вода, WA USA	UV <sub>254</sub> , DOC, EEM-PARAFAC		ТТНМFP у односу на UV <sub>254</sub> <b>(0,89)</b>	Piferi dr., 2013.
THMs, HAAs,	Површинска вода, Tu	UV <sub>254</sub> , DOC, EEM-PARAFAC	Хемијско + физичко	Нема значајне корелације	Karapinar i dr., 2014.
THMs	Површинска вода, WA USA	CD, SUVA, EEM-PARAFAC	Без	TCM у односу на F <sub>max</sub> <b>(0,84)</b>	Piferi dr., 2012.
THMs, HAAs, HAN, Hks, Has, HNMs, i-THMs	Третирана површинска и бунарска вода, England i Wales	NPOC, UV <sub>254</sub> , SUVA	Без	Has у односу на UV <sub>254</sub> <b>(0,86)</b>	Bougeard i dr., 2010.
THMs, HAAs	Сирова/третирана/површинска вода, Italy, WA I DC, USA	UV <sub>272</sub> , UV <sub>254</sub> , TOC, DOC, SUVA	Хемијско	THM у односу на UV <sub>254</sub> <b>(0,99)</b>	Roccaro i dr., 2009.
THMs	Површинска вода, Ch	SUVA	Хемијско + физичко	THM принос у односу на SUVA <sup>a</sup> <b>(0,39)</b>	Wei i dr., 2008.
THMs	Механички пречишћена површинска вода, SC USA	BDOC	Без	ТТНМFP у односу на BDOC <b>(0,82)</b>	Teksoy i dr., 2008.
THMs, HAAs, TOX	Површинска вода, Ko	SUVA	Хемијско	TCM принос у односу на SUVA <sup>a</sup> <b>(0,90)</b>	Jung i dr., 2008.

BDOC - biorazgradivi DOC; NPOC - ukupni organski ugljenik; CD - hlorno opterećenje ; Ch - Kina; CP - hloropikrin; DC - Distrikt Kolumbija; EEM-PARAFAC- fluorescentna ekscitaciono-emisiona matrica u kombinaciji sa paralelnom faktorskom analizom; F<sub>max</sub> - maksimalni intenzitet za identifikaciju huminskih materija kao što su fluorofori u fluzorescentnom spektru; HAN- haloacetiknitril; HA - haloaldehid; HK - haloketoni; HNM - halonitrometani; i-Hms- jodo-THMs<sub>278/506</sub> stepen fluorescencne absorpcije I emisije; Ko - Koreja; SC - Severna Karolina; Sd - Škotska; TOX - ukupni hlorovani organski ugljenik; Tu - Turkey; Wa - država Washington; ΔUV<sub>272</sub> - diferencijal UV absorbance ((Korshin G.V. et al., 1999); Prinos u односу на SUVA je direktno proporcionalan koncentracijama DBP ili potencijalu za formiranje DBP u односу на UV<sub>254</sub>; SUVA - UV<sub>254</sub> adsorbansa po jedinici koncentracije rastvorenog organskog ugljenika.



Линеарном регресионом корелацијом испитиван је и утицај интензивних падавина на мутноћу воде, мерењем укупних таложних материја а у зависности од величине и састава слива. Доказано је да је коефицијент корелације изразито велик за мале сливове са непропусном површином, а да се значајно смањује са повећањем површине слива (Leutnant i dr., 2016). Анализа периодичности годишњих серија протицаја базирана је на следећим методама (Fendekova i dr., 2014): аутокорелацији, кроскорелацији, анализи спектра и анализи таласних трансформационих функција. Kuhnert i dr., 2012; Wang i dr., 2011, су регресионим моделом процене оптерећења успоставили зависност TSS у Бурдекин реци и протока реке на основу података прикупљених уназад 24. године, које су поседовали. Доказали су такође и да вегетациони покривач слива реке има утицаја на садржај TSS у реци. Забележено је смањење TSS за 2,1% када је повећање вегетационог покривача у сливу реке било веће за проценат. Доказана је и временска аутокорелација TSS за временски помак изражен у годинама.

## 2.10. Примена других модела симулације за одређивање квантитативних и квалитативних особина подземних вода

Lessel и сарадници (2015) су помоћу линеарног мешовитог модела (*Linear Mixed Model* - LMM) указали на везу између укупног фосфора у води и бујичног тока изазваног јаким кишама, који има значајан утицај на повећање укупног фосфора у води. Такође, доказали су и временску ауто-корелацију за укупни фосфор у овим условима.

За моделовање појединачних процеса у технологији прераде воде за пиће може се применити Стимела модел. У Стимела окружењу моделовања, користи се PFR - *Plug Flow Reactor*, односно модел са идеалним хидродинамичким условима течења, у коме се разматрају промене (контролних) параметара процеса (Ghebremichael i dr., 2008). Полазна хипотеза, јесте да је моделовање начин за побољшање услова снабдевања водом, у смислу повећања ефикасности процеса припреме воде за пиће на филтер станицама (FS) (Jusić, 2013). Филтер станице користе површинску воду као извор водоснабдевања и конвенционални третман за припрему воде за пиће (Busuladžić, 2009). У циљу достизања стандарда квалитета воде за пиће, спроводе се одговарајућа мерења параметара квалитета воде. Прикупљени подаци се применом моделовања, дефинисањем одговарајуће базе података за моделовање одређеног процеса прераде, користе за побољшање ефикасности и економичности самог процеса (Van der Helm i dr., 2002). Применом моделовања, могућа је релативно брза и јефтина анализа великог броја алтернативних могућности, на начин да се изменом различитих улазних или операционих параметара, прати утицај на излазне/контролне параметре (Jusić, 2013).

LMM модел је примењен на успостављање зависности бујичних токова изазваних јаким кишама и мутноће воде (Lessels i dr., 2013). Методе које се у последње време све учесталије користе за моделирање су методе засноване на вештачкој интелигенцији. Предност ових метода у односу на традиционалне, огледа се у способности да репродукују нелинеарне везе између улазне и излазне временске серије (Jain i dr., 2007). За моделирање хидролошких временских серија се примењује ANN (*Artificial Neural Network*) метода која је базирана на мрежи неурона (Hu i dr., 2001; Cigizoglu i dr., 2003). Често се у хидролошкој пракси срећу композитни ANN модели који користе и линеарне ауторегресионе моделе (Toth i dr., 2000; Chang i dr., 2007; Chen i dr., 2013). Са успехом се примењује за моделовање и прогнозу хидролошких серија (Bray i dr., 2004; Lin i dr., 2006; Noori i dr., 2011). Слично као и ANN метода, формирана је и фази логика (*FL-Fuzzy Logic*) са циљем да репродукује активности нервног система.

Паралелно са развојем неуронских мрежа у последње време у оквиру нелинеарних динамичких система, какав је хидролошки систем, развија се теорија хаоса (*CT-Chaos Teory*). СТ се развија у правцу прогнозе хаоса временских серија падавина и протицаја ([Park i dr., 2005](#); [Sivakumar, 2009](#)). За моделовање и пројекцију временских серија користи се и генетско програмирање базирано на еволуционом алгоритму (*GP-Genetic Programming*). Први пут генетски алгоритам употребио је [Barricelli \(1954\)](#), док се све чешће ови алгоритми користе за моделовање и прогнозирање хидролошких временских серија ([Wang i dr. 2009](#); [Mehr i dr., 2013](#)).

[Mihajlović i dr. \(2010\)](#) у својим истраживањима користе вештачке неуронске мреже за моделовање параметара који утичу на повећање концентрације SO<sub>2</sub> у ваздуху у урбаној околини топионице бакра у Бору.

### 3.0. ДЕФИНИСАЊЕ ПРЕДМЕТА ИСТРАЖИВАЊА И ИСТРАЖИВАЧКИХ ХИПОТЕЗА

Са аспекта водоснабдевања, карстне подземне воде добијају на све већем значају из разлога што представљају водни ресурс који је у односу на друге водне ресурсе најмање изложен утицају климатских промена. Њихов значај је и у томе да се у карстним масивима могу формирати значајне динамичке и статичке резерве вода изузетног квалитета које се након третирања дезинфекционим средством могу испоручити као вода за пиће крајњим корисницима. Највећа осетљивост ових вода је њихова реакција на дуготрајне периоде без киша или на дуготрајне кишне периоде. Током сушних периода јавља се њихов дефицит, а током кишних периода долази до наглих промена, како количина воде, тако и њиховог квалитета. Реакција слива на падавине је често брза, а промена одређених параметара квантитета и квалитета је скоковита (истицање, ниво подземних вода, мутноћа, садржај микроорганизама, суспендоване материје).

Неприступачност карстних масива, њихова ненасељеност и углавном већа удаљеност од урбаних центара, је од пресудног значаја за сам квалитет ових вода. Прихрањивање карстних издани се врши на рачун инфилтрације падавина или понирањем површинских токова формираних на овим теренима. Уколико антропогени фактор није присутан на сливу које дренира одређено врело, режим истицања, али и квалитет карстних изданских вода зависе, на првом месту од плувиографског режима, као и од режима површинских водотокова који пониру. Са друге стране, режими формираних површинских понирућих токова који прихрањују карстну издан, такође су условљени плувиографским режимом дате области. За квалитет и квантитет подземних вода од пресудног је значаја плувиографски режим дате области и у директној су зависности (плувиографски режим-квалитет и квантитет подземних вода).

На основу напред наведеног издвајају се два екстремна стања:

1. Дуготрајни периоди без киша, квалитет вода је добар, али нема довољних количина воде у изворишту;
2. Периоди са интензивним кишама или наглим отапањима снежног покривача, или њиховим истовременим појавама, када долази до брзе реакције слива, пораста хидрограма врела, и када квалитет воде опада до незадовољавајућег. Тада долази и до наглог пораста мутноће воде и садржаја микроорганизама.

Из ових разлога је неопходно спроводити мониторинг како истицања, тако и параметара квалитета карстних изданских вода, али такође треба осматрати и плувиографски режим истраживане области. Располагање са довољно дугим осматрачким низом наведених параметара омогућава примену корелационе анализе за потребе успостављања зависности узрочно-последичних веза: падавине - квалитативни/квантитативни параметри воде. Поред ових анализа, могу се применити и одговарајући регресиони модели за потребе симулације одређеног параметра квалитета воде, који се касније могу искористити за потребе краткорочних прогноза.

Литературни подаци приказани у претходном поглављу показују да се све чешће за потребе анализе режима неког изворишта на карстном терену користе корелационе анализе. Досадашњим научним истраживањима утврђено је да постоји евидентан степен корелације између падавина и отицаја на одређеном сливном подручју. Уочено је да постоји и повезаност падавина и квалитета воде (мутноће, садржаја микроорганизама, природних органских материја и др.).

Међутим, могло се установити да не постоји велики број радова у којима је испитивана корелација између падавина и мутноће воде на извориштима водоснабдевања, са циљем заштите здравља становника као крајњих корисника, што је основни циљ истраживања у овој докторској дисертацији.

Основне полазне хипотезе на којима је базиран рад у оквиру ове дисертације су:

**H<sub>1</sub>:** Квалитативном анализом воде може се показати, да уколико нема развијене индустрије у сливу изворишта подземних вода, нема тешких метала у води.

**H<sub>2</sub>:** Применом корелационе анализе може се утврдити степен корелације између падавина, водостаја, мутноће воде и присуства природних органских материја у води.

**H<sub>3</sub>:** Применом метода статистичке анализе и метода моделовања може се утврдити принцип зависности падавина, водостаја и параметара квалитета воде.

**H<sub>4</sub>:** Дефинисањем симулационог модела могуће је прогноzirати време појаве мутноће на изворишту у зависности од количине, врсте и времена трајања падавина. Правовременим искључивањем таквог изворишта из система водоснабдевања, у дистрибутивни систем ће увек долазити вода доброг квалитета, што је и основни циљ и оправдава ова истраживања.

Један од циљева ове докторске дисертације је и да се укаже на значај мониторинга параметара квалитета подземних вода и воде у дистрибутивном систему. Систем мониторинга је неопходан за обезбеђење ефикасног управљања водним ресурсима, а на основу праћења њиховог статуса, као и карактеристика неког изворишта. Мониторинг изворишта је и основа за успостављање адекватног симулационог модела. Ово је у Србији релативно редак случај. У Тимочкој крајини до данас, таква спровођења мониторинга нису забележена (да би се једно извориште потпуно истражило потребно је да мониторинг постоји више од 30. година). У највећем броју случајева изворишта нису никада осматрана или је мониторинг вршен углавном у периоду од једне године и то за потребе израде одређених елабората.

Испитивања концентрације тешких метала у води на извориштима и у дистрибутивном систему показале да ли је присутан антропогени утицај. Ово истраживање је битно због геолошког састава терена али и због присуства неколико активних рудника на подручјима где се изворишта налазе.

Истраживања у овој дисертацији су спроведена на карстним извориштима подземних вода Злот и Сурдуп, која се користе за потребе водоснабдевања на територији града Бора. Мониторинг квалитета воде на извориштима Злот и Сурдуп постављен је 2011. године. Спроведена мерења у оквиру успостављеног мониторинга су указала на узајамну везу између мутноће воде на изворишту, водостаја и падавина на истраживаном подручју, као и на повезаност мутноће воде и садржаја природних органских материја у води у дистрибутивном систему.

Предмет истраживања у овом раду је заснован на предикцији појаве повећане мутноће воде (присуства неорганских и органских загађујућих материја у подземној води на изворишту), у зависности од климатског параметра, падавина, као најбитнијег фактора утицаја на појаву замућења наведених изворишта, уз употребу корелационих и регресионих модела и анализа. Успостављањем адекватног симулационог модела, управљање водосистемом ће постати сигурније, обзиром да ће се на основу прогнозе знати време појаве мутноће на изворишту, што ће омогућити правовремено реаговање и искључивање

изворишта из система водоснабдевања пре његовог замућења.

Истраживања су спроведена у три фазе:

1. Теренска мерења и осматрања;
2. Лабораторијска испитивања;
3. Обрада података.

**1. Теренска мерења и осматрања** - у циљу прикупљања дневних вредности климатских података коришћена су мерења РХМЗ-а на меторолошкој станици “Црни Врх”. Успостаљен је мониторинг режима подземних и површинских вода, као и мерења температуре и мутноће воде. У књигама евиденције режима сваког изворишта уписиване су количине захваћене воде, мерења водостаја на рекама и каптажама на дневном нивоу, мерене вредности температуре и мутноће на свака два сата, а по потреби и чешће, како би се у трећој фази направила корелација између свих ових параметера. У циљу дефинисања квалитативних карактеристика захваћене воде, узраковање је вршено на извориштима и у дистрибутивном систему.

**2. Лабораторијска испитивања** - обухватила су испитивања присуства природних органских материја у води у дистрибутивном систему преко потрошње  $\text{KMnO}_4$ , као мерила присуства природних органских материја у води способних да се оксидују одређеном количином  $\text{KMnO}_4$ . Такође, спектрометријски је извршено одређивање садржаја тешких метала у води, на извориштима и у дистрибутивном систему.

**3. Обрада података** - обухватила је статистичку анализу и обраду добијених резултата у првој и другој фази: одређивање степена корелације мерених параметара воде и успостављање модела зависности мутноће, водостаја, количине падавина и отапања снежног покривача, као и одређивање коефицијента детерминације за испитиване параметре. Дефинисане су регресионе једначине за предикцију појаве мутноће на изворишту у зависности од климатских параметара, а све у циљу успостављања најадекватнијег модела за краткорочне прогнозе.

Реализација ове три фазе испитивања омогућила је давање практичног доприноса у унапређењу праћења и оцени резултата утицаја климатских параметара, првенствено количине и врсте падавина на квалитет воде на изворишту и у дистрибутивном систему, уз примену корелационих и регресионих анализа за предикцију који осим функције поузданог утврђивања стања појаве мутноће, дају и могућност побољшања управљања у целокупном поступку водоснабдевања. На основу добијених резултата успостављен је модел зависности падавине – водостај - мутноћа који се може искористити за потребе краткорочних прогноза појаве мутноће на изворишту у зависности од падавина и водостаја реке. Имплементирањем дефинисаног модела, као корисног оптимизационог алата и подршке у одлучивању, ствара се могућност да менаџменти водовода могу остваривати своје стратешке планове са сетом превентивних поступака и без додатног пречишћавања вода, да у сваком тренутку испоручују хигијенски исправну воду за пиће, у довољној количини, што и јесте основни циљ овог рада.

Са етичког становишта, циљ дисертације је указивање на потенцијалне опасности по здравље популације, праћењем садржаја мутноће у води за пиће, обзиром да мутноћа повлачи за собом и повећану концентрацију органских и неорганских материја, што захтева већу концентрацију дезинфекционог средства у води и повећава могућност стварања трихалометана, који имају канцерогена својства. Замућена вода може да садржи и повећани

број микроорганизама који могу бити патогени и као такви могу изазвати разна обољења (првенствено стомачна) која у појединим ситуацијама могу добити и размере епидемија.

Резултати истраживања могу бити применљиви на сва изворишта подземних вода овог типа а на основу којих ће моћи да се врши планирање експлоатације изворишта водоснабдевања, број дана и услови под којима може доћи до њиховог загађења тј. појаве мутноће. Такође, резултати истраживања су показали да су карстне подземне воде високог квалитета и да не садрже тешке метале уколико се не налазе у зони индустријског загађења.

Очекује се да ће се реализацијом дефинисаних циљева истраживања у овој дисертацији, а на примеру карстних изворишта Злот и Сурдуп, извршити оптимизација процеса предикције параметра квалитета воде – мутноће. Добијеним симулационим моделима створиће се основа за оптимизацију процеса управљања водоснабдевањем.

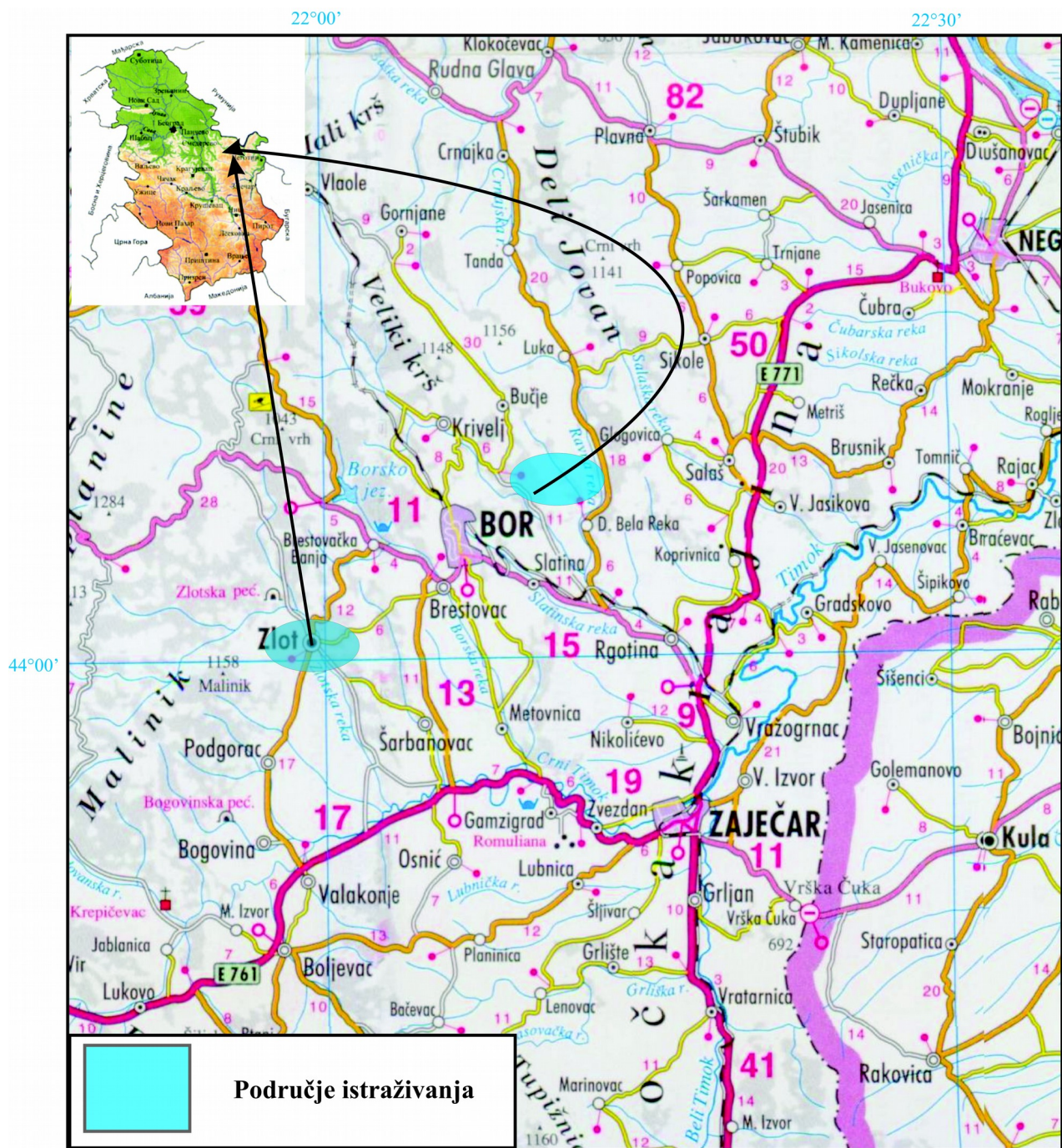
## 4.0. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСТРАЖИВАНОГ ПОДРУЧЈА

### 4.1. Географски положај подручја истраживања

Извориште Злот налази се у централом делу источне Србије, на четворемеђи територија општина Бор, Бољевац, Деспотовац и Жагубица, од којих највеће распрострањење припада граду Бор. Од Бора је удаљено према западу 11 километара, односно, северозападно и западно од насеља Злот. Уже подручје обухвата целокупан Лазарев (Злотски) кањон, са свим притокама повремених токова, и централни део масива Кучајских планина. Са севера је ограничено планинским масивима Великог Крша и Црног Врха.

Извориште Сурдуп налази се у источној Србији у близини Бора, од кога је удаљено око 3 km (према S - SI), између насеља Доња Бела Река и Бучје. Налази се на надморској висини од 302 метра, удаљено око 1,5 километара северно од насеља Доња Бела Река, непосредно уз повремени површински ток Сурдуп. Обухвата карстни масив Голог крша који захвата правац пружања северозапад-југоисток.

Подручја истраживања се простиру на простору између 44° 04' 25" северне географске ширине и 22° 05' 26" источне географске дужине (Слика 3) ([Živanović i dr, 2012](#), [Dimitrijević-Adamović i dr., 2014](#)).



Слика 3. Географски положај подручја истраживања (Živanović i dr, 2012, Dimitrijević-Adamović i dr, 2014)



## 4.2. Климатске карактеристике подручја истраживања

По свом географском положају, на ширем подручју истраживања, издвојена су два климатска типа: умерено-континентална клима и планинска клима која припада регији Малиника и Црног Врха, као и регији Стола.

Умерено-континентална клима се одликује кратким топлим летима и оштрим зимама и карактеристична је за овај део Источне Србије. За обликовање планинског типа климе далеко већу улогу има рељеф. Његов утицај (преко промене надморске висине, експонираности и нагнутости терена, положаја у односу на ваздушне масе) најјасније се манифестује у интензивним квантитативним променама температуре ваздуха и количине падавина. За утврђивање општих климатских карактеристика на истражном подручју Злотског изворишта коришћени су подаци РХМЗ Србије за метеоролошке станице Црни врх (1027 mnnv), као главне хидрометеоролошке станице за ово подручје. Такође су подаци и за истраживано подручје Сурдупа коришћени са ове метеоролошке станице и ако је она удаљена од сливног подручја врела Срдуп око двадесет километара ваздушном линијом у правцу SSZ. Разлог зашто је ова станица одабрана је и њен хипсометријски положај (1037 mnnv), тако да најбоље одражава падавински, али и температурни режим разматране области.

Падавине забележене на метеоролошкој станици Црни врх у просеку на нивоу године износе око 800 mm, а снежни покривач у максимуму достиже трајање од 7 месеци, с тим, да понекад прелази висину од 1 m. Сумарне годишње падавине се крећу у интервалу од 508 mm (1990) па до 1096.6 mm (1974). За потребе истраживања анализе утицаја падавина на режим мутноће анализиран је период од 2012. до 2014. године. Треба напоменути, да је током 2013. године, на климатској станици Црни Врх забележено 698,6 mm падавина и да ова година спада у сушније године. Насупрот њој, током првих 10 месеци 2014. године, забележено је 970 mm падавина, што је сврстава у изузетно кишне године. За потребе анализе отапања снежног покривача на мутноћу анализиран је зимски период 2017/2018. и 2018/2019. година, при чему је период 2017/2018. био са великим снежним покривачем који се формирао у неколико пута и високим температурама за то доба године. Током зиме 2018/2019. снежни покривач је био мањи, краће се задржао, а температуре су биле просечних вредности.

### 4.2.1. Падавине

Падавине представљају најважнији климатски фактор који утиче на хидролошке карактеристике истраживаног подручја, што се одражава кроз количину атмосферских падавина која се инфилтрира у унутрашње слојеве земље, а последице се манифестују кроз резерве воде, промене нивоа издани и физичко-хемијске и микробиолошке карактеристике подземне воде. Количине падавина које се излуче на истражном подручју у току године су различите и неравномерно распоређене, са вредностима које варирају у широким границама.

Када се разматра утицај падавина на подземне воде, треба истаћи утицај климатских промена у функцији падавина. Карстне подземне воде су „најрањивије“ у погледу климатских промена, где их њихов хемијски састав и брза циркулација чине веома рањивим и подложним загађењу при екстремним климатским режимима. Екстремни сушни периоди повећавају време задржавања воде у унутрашњим слојевима земље, што у комбинацији са другим факторима утиче на квалитет воде, јер се продужава време интеракције воде и стена. С друге стране, екстремно кишни периоди и периоди наглих отапања снегова утичу на појаву бујичних подземних токова, који на свом путу скупљају сав материјал органског и

неорганског порекла и погоршавају квалитет воде. Због тога је анализа општих климатских услова, а нарочито падавина, веома битна за сагледавање хидрогеолошких карактеристика терена и укупни водни биланс.

Просечна вредност годишњих количина падавина за анализирани период на основу података са хидрометеоролошке станице "Црни Врх" износи 776,0 mm. Највеће варијације у погледу падавина се дешавају у августу месецу, када коефицијент варијације прелази вредност од 0,77, и у новембру месецу 0,74.

Зимске падавине су често представљене снегом који се задржава у просеку нешто више од 25 дана, максимално до 80 дана. Најдуже се задржава на Црном Врху и Столу, а просечна дебљина снежног покривача износи 101,1 cm. Процентуално учешће на годишњем нивоу снега и суснежице је 23%, у односу на укупне падавине. Снежни покривач на мерној станици Црни Врх просечно опстаје од октобра до априла наредне године. Месеци без снежног покривача су од маја до септембра. Највише вредности снежног покривача су у периоду фебруар-март. Нешто ниже вредности снежног покривача су у јануару, док су најниже у октобру. Висина снежног покривача нема велики значај, док отапање снежног покривача представља веома важан параметар за квалитет и квантитет карстних вода.

#### 4.2.2. Температура ваздуха

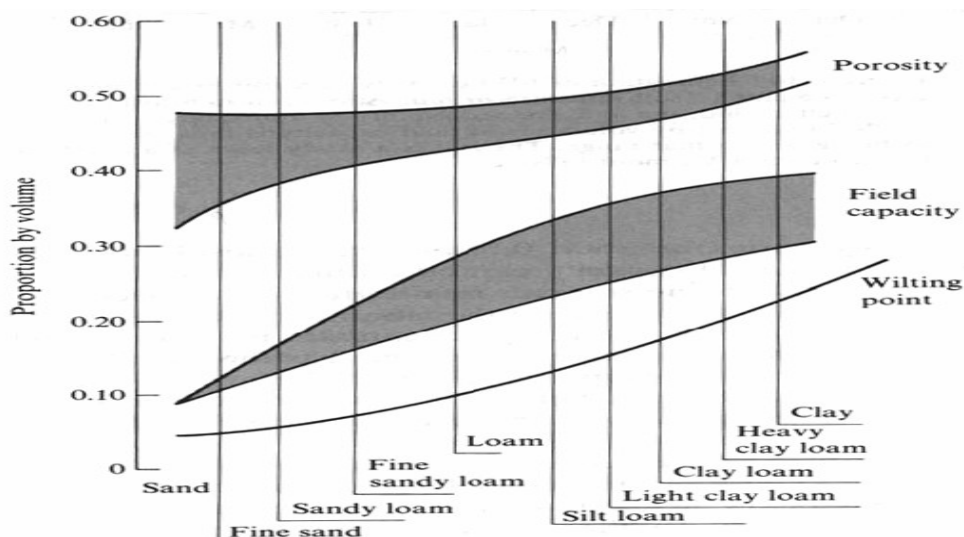
Температура ваздуха такође представља важан фактор који утиче на режим подземних вода. Утицај температуре ваздуха је највећи на издан са слободним нивоом, где је температура воде у директној вези са температуром ваздуха. Промене температуре ваздуха које су условљене климатским променама у садејству са повећањем садржаја CO<sub>2</sub> раствореног у води, као и са повећањем поменутих падавина, могу довести до већег растварања карбонатних стена у оквиру карста, што дугорочно може утицати на промену хемијског састава подземних вода.

Просечна вишегодишња температура за анализирани период, на овом планинском подручју износи 7,0°C, док је максимална средња годишња температура ваздуха 8,2°C, а минимална средња годишња температура ваздуха је 5,2°C. Најхладнији месец планинског подручја истраживања је јануар, са просечном температуром од -3,4°C, док је најтоплији месец август са просечном температуром од 17,51°C.

#### 4.2.3. Влажност земљишта

Приликом доспевања падавина до тла, долази до инфилтрације воде у земљиште. Способност земљишта да задржи одређену количину влаге разликује се не само у односу на врсту земљишта, већ и у односу на стање влаге у земљишту (Слика 4). Неколико термина се користи приликом дефинисања способности земљишта да прими и задржи одређену количину влаге под одређеним условима, али од највеће важности за прихрану издани је:

Пољски капацитет - представља количину воде коју садржи земљиште у условима када влада равнотежа између капиларних сила и сила гравитације; сваки "вишак" воде представља слободну воду која прихрањује издан (Prohaska, 2003).



(Proportion by volume - udeo u zapremini; Porosity - poroznost; Field capacity - poljski kapacitet; Wilting point - tačka venjenja; Sand - pesak; Fine sand - sitnozrni pesak; Sandy loam - peskovita ilovača; Fine sandy loam - sitnozrna peskovita ilovača; Silt loam - muljevita ilovača; Light clay loam - laka glinovita ilovača; Clay loam - glinovita ilovača; Heavy clay loam - znatno zaglinjena ilovača; Clay gline)

Слика 4. Способност задржавања воде за различите типове земљишта (Dunne i Leopold, 1978)

Приликом анализе биланса земљишне влаге, неопходно је одредити укупни расположиви капацитет воде у земљишту. Ова вредност се уобичајено изражава у mm и може се добити на основу усвојене униформне вредности расположивог капацитета воде задржане у земљишту и дебљине земљишта. Када су у питању карстни терени, одређени део вода се инфилтрира тренутно, независно од стања влаге у земљишту (у пределима откривених и интензивно карстификованих терена) (Rushton i dr., 1979).

### 4.3. Карактеристике изворишта Злот

#### 4.3.1. Хидрографске карактеристике изворишта Злот

Истражно подручје у хидрографском погледу припада сливу Дунава, односно Црноморском сливу. Распоред и карактер хидрографске мреже условљен је тектоником и геолошким саставом терена. Посматрајући хидрографску мрежу, може се уочити да највећи део главних водотока има правац пружања SSZ-JJI, што је у сагласности са правцем пружања највећих дислокација у овој области (злотском, борско-тупижничком, бучјанском). То су токови Злотске реке, Бељевинске реке, Шарбановачке, Брестовачке, Кривељске и још неколико мањих речних токова.

Злотска река, у изворишним деловима тече као Рогожин поток, затим усеца клисуру у кречњацима Кучаја, где добија име Бељевина, када у клисури реке Бељевине прима воду неколико снажних карстних врела. На излазу из клисуре спаја се са Лазаревом реком и опет добија име Злотска река и под тим именом тече све до Црног Тимока. Злотска река је највећи водоток који дренира терене ужег истраживаног подручја. Карбонатне наслаге у сливу Злотске реке одликују се високим степеном карстификације. Као последица интензивне карстификације, створени су дубоки кањони (Микуљ, Демизлок, Војала, Вејска и Лазарева река), деградирана је речна мрежа у оквиру карбонатног комплекса и створен велики број површинских и подземних карстних облика (Dragišić, 1989).

При ступању на карстне терене долази до понирања речних токова, тако да се карстни терени одликују одсуством речне мреже. Ту спадају: Дубашница, Војала, Микуљска и Појенска река. Ови водотокови када пређу на кречњачке терене пониру, или при хидролошким максимумима теку читавом дужином својих кањонских долина.

#### **4.3.2. Типови издани и хидролошке карактеристике истражног простора изворишта Злот**

Сливна површина Злотског изворишта, у оквиру које су формиране изданске воде, износи 149,5 km<sup>2</sup>, од чега карстни терени захватају 43 % укупне површине, односно 64,08 km<sup>2</sup>, некарстни терени 57 %, односно 85,42 km<sup>2</sup>, док просечна надморска висина износи 840 метара. Источну границу сливног подручја злотских изворишта чини источна граница распрострањења карбонатних наслага, односно геолошка граница између карбонатних наслага и вулканогених творевина кредне старости. Јужну границу сливног подручја чини гребенски део маркантних врхова Великог и Малог Малиника. На западном делу сливног подручја, границу представља морфолошка вододелница бројних површинских токова међу којима су сливови Вејске реке, Мижлока и Микуља, као и бројне понорнице које пониру на карстној површи Кота и Стобара.

У оквиру сливне површине Злотског изворишта могу се издвојити два посебна комплекса, који се у хидрогеолошком смислу веома разликују. То су карбонатни комплекс стена, у оквиру кога је формиран карстни тип издани, и некарбонатни хидрогеолошки комплекс стена. Некарбонатне творевине које припадају сливном подручју представљене су ниско кристалистим шкриљцима, а карактеришу се слабијом водопрпусношћу. Са ових терена вода се слива у виду повремених површинских токова и у зависности од енергије тока, пониру непосредно по ступању на карстну површ, у виду концентричних понора, или теку извесно време и пониру дуж фосилних речних корита. Ове творевине су на површини терена откривене у западном делу сливног подручја.

Због веома изражене морфологије кречњачког гребена, при чему се карбонатне насlage налазе хипсометријски доста високо у односу на речне токове, карстна издан се прихрањује једним делом на рачун вода насталих од атмосферских талоба. Овакав начин прихрањивања посебно је значајан у области распрострањења вртача и других депресија у оголићеном карсту. Интензивно прихрањивање на рачун падавина се одвија у периоду топљења снега, али услед издизања нивоа, издан често није у стању све количине падавина, па велики део отиче.

Други вид прихрањивања карстне издани врши се на рачун површинских вода које се сливају са некарстних терена, који се налазе на хипсометријски вишим деловима терена у односу на карбонатне насlage. Такође се и један део површинских вода поменутих површинских токова директно инфилтрира у карбонатне насlage дуж издуха у кориту река и на тај начин прихрањује карстну издан.

Дренирање издани врши се преко карстних врела која се најчешће јављају на контакту карбонатних и слабије пропусних творевина, а други вид дренирања је вештачки, преко копаних бунара. У условима јаких киша и топљења снега долази до замућења ових врела. На основу састава песка који има филита, јасно је да врела добијају воду са некарстне површине, односно из сливова изграђених од кристалистих шкриљаца. Дренирање издани у процесу евапотранспирације је веће у карстним пределима где је већа пошумљеност и у зонама где је дебља површинска кора распадања, што утиче на дуже задржавање воде при инфилтрацији.

Правци кретања изданских вода последица су положаја и оријентација пукотина, раседних структура, као и нагиба литолошке слојевитости. Поред тога, треба истаћи да је комплетан интензивно карстификовани плато Кота и Стобара, нагнут ка правцу југо-исток, што је од посебног значаја за генерални смер кретања подземних вода. Овакав начин струјања проузрокује брзе пропагације вода и велике филтрационе брзине. Интензивна тектонска активност условила је примарни положај и распоред хидрографске мреже. Временом су све интензивнија усецања у кречњачку масу. Иако карстни процес преузима водећу улогу и долази до спуштања нивоа издани на веће дубине, издански токови задржавају првобитне правце речних токова.

У развијеном систему пукотина у карбонатним стенама у којима се врши циркулација подземних вода формиране су знатне динамичке и статичке резерве подземних вода. Преовлађује турбулентни режим течења, са великим осцилацијама издашности, који условљава брзе пропагације и велике филтрационе брзине изданских токова док ламинарни режим струјања може бити успостављен само при крају рецесионог периода.

Од 1976. до 1980. године изведен је већи број експерименталних обележавања изданских токова *natrijum fluoresceinom*, на основу којих су поуздано одређени правци кретања изданских вода (Lazarević, 1986). Обојена вода се појавила на врелима силазног типа Гаура Маре и Гаура Мика тј. на два од четири каптирана врела Злотског изворишта. Појава обележивача на врелима Рнић и Мејлановић није уочена. Објашњење за непојављивање обележивача је да се он можда знатно касније појавио или да до његове појаве није ни дошло, а што се може тумачити улазним карактером ових врела, споријом филтрацијом са уједначеним режимом истицања и неактивном хидрауличком везом различитих делова карстне издани.

### 4.3.3. Опис изворишта Злот

До данас је регистровано укупно 16. карстних врела која дренирају ову карстну издан. У клисури Бељевине је регистровано 6 јачих врела (Бигар, Гаура Маре, Гаура Мика, Богић, Рнић, Мејлановић) на десној и левој страни реке. Сва ова врела дренирају карстну површ Кота и Стобора и представљају јединствено разбијено извориште. Истицање је условљено баријером од слабије пропусних горњокредних творевина. Појава врела на левој обали реке је условљена сифоналном циркулацијом испод корита Бељевине.

Злотско извориште се састоји се од 4 каптирана врела: Гаура Маре, Гаура Мика, Рнић и Мејлановић и припадајућег сливног подручја извора.

**Каптажа Гаура Маре** представља најсевернију каптажу у оквиру злотског изворишта и налази се на десној обали реке Бељевине. Избија из пећине са улазним отвором нешто већих димензија (која је испитана на дужини од 148 m). Врело се налази на 350 mпнв непосредно изнад корита Бељевинске реке, минималне издашности од 25 l/s, док је максимална издашност до 1250 l/s. Врело је гравитационог типа, каптирано је на самом улазу у истоимену пећину и ограђено је заштитном оградом ради непосредне зоне санитарне заштите. Досадашњим истраживањима утврђено је да се ово врело снабдева водом, једним делом, са понора Дубашнице и Војале, који су лоцирани на удаљености од 3 750 m (Дубашница), односно 7 575 m (Војала) западно од каптаже.

**Каптажа Гаура Мика** налази се са десне стране Бељевинске реке, на око 200 метара низводно од каптаже Гаура Маре и на 350 mпнв. Издански ток избија из пећине мањих

димензија и кратког канала (до 10 m). Врело је гравитационог типа и каптирано је преграђивањем комплетног улаза у пећину Гаура Мика и ограђено је заштитном оградом ради безбедности непосредне зоне санитарне заштите. Издашност овог врела варира од 10 - 800 l/s. И ово врело се снабдева водом са понора Дубашнице (удаљеност око 3 700 m) и Војале (удаљеност око 7 580 m) западно од каптаже. Карактеристика пећине у којој се јавља врело је да значајно смањује издашност, а забележено је и да врело пресушује појединих година.

**Каптажа Рнић** налази се на левој обали реке Бељевине. Врело је узлазног типа и каптирано је зиданом кућицом на самом месту истицања, у оквиру које се налазе прелив и водосабирник. Издашност врела је 28 -130 l/s.

**Каптажа Мејлановић** представља најјужнији водозахватни објекат у сливу реке Бељевине, на њеној левој страни и на 337 mпв изнад корита. Налази се на излазу из клисуре на њеној левој обали. Врело је узлазног типа и каптирано је зиданом кућицом на месту истицања. Издашност врела је 45-200 l/s. Каптажа, односно зидани објекат, ограђена је заштитном оградом, којом је обезбеђена непосредна зона санитарне заштите.

#### 4.3.4. Физичко-хемијска својства и квалитет изданских вода Злотског изворишта

Досадашња испитивања физичко-хемијских особина изданских вода Злотског изворишта, показују да се ради о водама доброг квалитета на свим каптираним врелима са аспекта коришћења у водоснабдевању ([Živanović i dr., 2015](#)).

**Гаура Маре** - вода је без боје, без мириса (што указује на одсуство слободних гасова и веће концентрације органских материја у подземним водама) и укуса. Вредност температуре воде се креће од 9,7 до 12,5°C. Вредност рН испитиваних вода креће се у интервалу од 7,26 до 7,39 што указује да вода припада слабо алкалним водама. Тврдоћа воде је од 7,3-14,6°dН. На основу укупне тврдоће, анализирана вода може се, по класификацији Clut-a, сврстати у групу тврдих вода. Минерализација испитиваних вода својим вредностима које се крећу од 253-275 mg/l, сврстава испитиване воде у воде мале минерализације. Електропроводљивост се креће у интервалу 316-442 μS/cm. На основу резултата хидрохемијских режимских испитивања квалитета, тј. хемијског састава подземних вода са каптаже Гаура Маре, може се рећи да испитиване воде по класификацији вода спадају у хидрокарбонатну класу, калцијумског типа.

**Гаура Мика** - вода је без боје, без мириса (што указује на одсуство слободних гасова и веће концентрације органских материја у подземним водама) и укуса. Вредност температуре воде се креће од 9,5 до 11,8°C. Вредност рН испитиваних вода креће се у интервалу од 7,20 до 7,54 што указује да вода припада слабо алкалним водама. Тврдоћа воде је од 10,3-13,5°dН. На основу укупне тврдоће, анализирана вода може се, по класификацији Clut-a, сврстати у групу тврдих вода. Минерализација испитиваних вода својим вредностима које се крећу од 197-292 mg/l, сврстава испитиване воде у воде мале минерализације. Електропроводљивост се кретала у интервалу 318-389 μS/cm. На основу резултата хидрохемијских режимских испитивања квалитета, тј. хемијског састава подземних вода са каптаже Гаура Мика, може се рећи да испитиване воде по класификацији вода спадају у хидрокарбонатну класу, калцијумског типа.

**Рнић** - вода је без боје, без мириса (што указује на одсуство слободних гасова и веће концентрације органских материја у подземним водама) и укуса. Вредност температуре воде

се креће од 9,2 до 12,4°C. Вредност рН испитиваних вода креће се у интервалу од 7,19 до 7,41 што указује да вода припада слабо алкалним водама. Тврдоћа воде је од 9,4-14,0°dН. На основу укупне тврдоће, анализирана вода може се, по класификацији Clut-a, сврстати у групу тврдих вода. Минерализација испитиваних вода својим вредностима које се крећу од 192-251 mg/l, сврстава испитиване воде у воде мале минерализације. Електропроводљивост се кретала у интервалу 337-403 µS/cm. На основу резултата хидрохемијских режимских испитивања квалитета, тј. хемијског састава подземних вода са каптаже Рнић, може се рећи да и ове испитиване воде по класификацији вода спадају у хидрокарбонатну класу, калцијумског типа.

**Мејлановић** - вода је без боје, без мириса (што указује на одсуство слободних гасова и веће концентрације органских материја у подземним водама) и укуса. Вредност температуре воде се креће од 9,6 до 12,5°C. Вредност рН испитиваних вода креће се у интервалу од 7,20 до 7,37 што указује да вода припада слабо алкалним водама. Тврдоћа воде је од 9,3-15,3°dН. На основу укупне тврдоће, анализирана вода може се, по класификацији Clut-a, сврстати у групу тврдих вода. Минерализација испитиваних вода својим вредностима које се крећу од 162-268 mg/l, сврстава испитиване воде, као и претходне, у воде мале минерализације. Електропроводљивост се кретала у интервалу 301-411 µS/cm. На основу резултата хидрохемијских режимских испитивања квалитета, тј. хемијског састава подземних вода са каптаже Мејлановић, може се рећи да испитиване воде по класификацији воде спадају у хидрокарбонатну класу, калцијумског типа.

#### 4.4. Карактеристике изворишта Сурдуп

##### 4.4.1. Хидрографске карактеристике изворишта Сурдуп

Простор изворишта “Сурдуп” налази се на око 1,5 km северно од села Доња Бела Река и припада Црноморском сливу. Кроз сам истраживани простор протиче изворишни део Бигреног потока који се улива у Равну реку у самом селу Доња Бела Река.

Највећи водоток који дренира терене околине врела Сурдуп, представља истоимени ток - Сурдуп који има карактер повременог тока до врела Сурдуп, док низводно од врела има карактер сталног површинског тока. Бигрени поток представља низводни део повременог тока Сурдуп чија се местимично клисураста долина пружа од подножја Голог крша до Доња Беле Реке. Када се у Сурдуп улије вода из врелске пећине на његовој десној обали, нови ток носи назив Бигрени поток. Ток Сурдупа настаје спајањем повременог тока Огашу Драгули, који представља понорницу у зони села Бучје и представља десну притоку Сурдупа која има активну хидролошку функцију само током великих вода ([Živanović i dr., 2016](#)).

Поток Сурдуп поред тога што дренира воде врела Сурдуп, дренира и некарстни део терена северно од самог врела. Битни водотоци ширег истраживаног подручја који дренирају околне планинске масиве, представљају водотоци Равна река и Кривељска река.

#### 4.4.2. Типови издани и хидролошке карактеристике истражног простора изворишта Сурдупа

Сливна површина изворишта Сурдуп износи 14,97 km<sup>2</sup>, од чега карстни терени захватају 71 % укупне површине, односно 10,67 km<sup>2</sup>, некарстни терени 29 %, односно 4,3 km<sup>2</sup>, док просечна надморска висина износи 580 метара. Јужну границу сливног подручја чине тектонске структуре на којој се налази и само врело. Западну границу у већем делу чини повремена површински ток Сурдуп, док у северо-западном делу слива западну границу чини морфолошка вододелница површинског тока Огашу Драгули. Источну границу слива представља источна граница распрострањења карбонатних наслага Голог Крша, која се простире непосредно уз сам гребен истоимене планине.

У оквиру сливне површине врела Сурдуп могу се издвојити два посебна комплекса, који се у хидрогеолошком смислу веома разликују. То су карбонатни комплекс стена у оквиру кога је формиран карстни тип издани, и некарбонатни хидрогеолошки комплекс стена. Некарбонатне творевине у сливу врела Сурдуп представљене су магматским и вулканским творевинама, које се карактеришу слабијом водопрпусношћу. Са ових терена вода се слива у виду повремених површинских токова и у зависности од енергије тока, понире одмах при ступању на карстну подлогу.

Карстни тип издани развијен је у широј околини истраживаног подручја, као и у слив изворишта Сурдуп. Карбонатне насlage у којима је формирана карстна издан су дебљине од неколико десетина, па и до преко 600 m и учествују у геолошкој грађи Голог Крша, Великог Крша и Стола. Карстни тип издани се простире дуж централног дела терена.

За хидрографију карста овог подручја карактеристична је појава да речни токови пресецају кречњачке гребене, градећи дубоке клисуре, и тако представљају праве пробојнице. Такав је случај са Сурдупским потоком, који при пресецању кречњачког гребена гради клисуру дубоку преко 80 m.

Због веома изражене морфологије кречњачког гребена, при чему се карбонатне насlage налазе хипсометријски доста високо у односу на речне токове, карстна издан се прихрањује једним делом на рачун вода насталих од атмосферских талоба. Овакав начин прихрањивања посебно је значајан у области распрострањења вртача и других депресија у оголићеном карсту.

Други вид прихрањивања карстне издани врши се на рачун површинских вода које се сливају са некарстних терена, који се налазе на хипсометријски вишим деловима терена у односу на карбонатне насlage (зона села Бучје). Такође, постоји могућност да се и део површинских вода потока Сурдуп директно инфилтрира у карбонатне насlage и да на тај начин прихрањује карстну издан.

Веома интензивно прихрањивање врши се на контактном карсту (контакт карбонатних и некарбонатних стена), на местима где воде са водонепропустних терена дотичу на карст. Овакав вид прихрањивања одвија се у северо-западном делу слива, где већ формиран повремена водотока Огашу Драгули у зависности од енергије тока, понире одмах при ступању на карстну подлогу преко понорских зона дуж речног корита.

Правци кретања изданских вода последица су положаја раседних структура, као и нагиба слојева. Поред тога, треба истаћи да је комплетан интензивно карстификовани плато Голог Крша, нагнут од северо-истока ка југо-западу, што је од посебног значаја за генерални



смер кретања подземних вода.

Овакав начин струјања проузрокује брзе пропагације вода и велике филтрационе брзине. Интензивна тектонска активност условила је примарни положај и распоред хидрографске мреже. Временом су све интензивнија усецања у кречњачку масу. Иако карстни процес преузима водећу улогу и долази до спуштања нивоа издани на веће дубине, издански токови задржавају првобитне правце речних токова.

#### 4.4.3. Опис изворишта Сурдуп

Извориште Сурдуп налази се на око 1,5 km северно од села Доња Бела Река, на територији града Бора, на надморској висини од 300 m. Само извориште обухвата каптажу и сливно подручје извора.

Врело истиче у правцу SZ-II. Каптажа извора захвата две тачке („виши“ и „нижи извор“) истицања које се налазе са десне стране повременог површинског тока Сурдуп. „Виши“ и „нижи“ извор представљају хидраулички јединствени систем истицања са вишим и нижим-сифоналним каналом и представљају главну дренажну зону.

Основне карактеристике режима изворишта Сурдуп, на основу досадашњих истраживања могу се сумирати у следећем: према карактеру истицања (виши и нижи извор) карактерише га узлазни тип истицања. Укупна издашност изворишта Сурдуп у минимуму износи око 50 l/s, док максимални експлоатациони капацитет прелази вредност од 120 l/s. „Вишак воде“, који се не захвата водозахватним објектима, прелива се у водоток Сурдуп и ретко прелази сумарну издашност од 5 l/s, осим у периодима поводња, када целокупном дужином узводно тече површински водоток.

#### 4.4.4. Физичко-хемијска својства и квалитет изданских вода изворишта Сурдупа

Досадашња испитивања физичко-хемијских особина изданских вода врела Сурдуп ([Živanović i dr., 2016](#)), показују да се ради о прозачним водама, без боје, без мириса (што указује на одсуство слободних гасова у подземним водама) и укуса. Вредност температуре воде се креће од 8,1 до 14,7°C. Вредност рН испитиваних вода креће се у интервалу од 7,0 до 7,2 што указује да ова вода припада неутралним до слабо алкалним водама. Тврдоћа воде је од 12,7 до 18,0°dH, односно средње вредности око 15,4°dH. На основу укупне тврдоће, анализирана вода може се, по класификацији Clut-a, сврстати у групу тврдих вода. Минерализација испитиваних вода својим вредностима које се крећу око 302 mg/l, сврстава ове испитиване воде, у воде мале минерализације. Електропроводљивост се кретала у интервалу 408-480 μS/cm. На основу резултата хидрохемијских режимских испитивања квалитета, тј. хемијског састава ових изданских вода, може се рећи да су испитиване воде хладне, припадају категорији природних минералних вода са ниским садржајем растворљивих минералних материја. По класификацији, ове воде спадају у хидрокарбонатну класу вода, калцијумског типа.

## 5.0. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

### 5.1. Водоснабдевање на територији града Бора

Водоснабдевање на територији града Бора се базира на коришћењу вода карстних ресурса, које у свету па и код нас представљају једне од најчистијих и најквалитетнијих вода. Обзиром да квалитет сирове воде одступа од прописаног само по питању мутноће и микробиолошких параметара, једини третман који се примењује је процес дезинфекције, односно, хлорисање воде (којим се решава микробиолошка неисправност).

Након каптирања изворишта „Сурдуп“ 1949. године које се налази у близини села Доња Бела Река, указала се потреба за повећањем капацитета водоснабдевања, па се 1964. године каптира и пушта у рад нови систем из правца села Кривеља, са изворишта „Кривељска бањица“. Затим се 1972. године пушта у рад систем „Злот“. За потребе водосистема „Злот“, каптирана су четири извора: „Гаура Маре“, „Гаура Мика“, „Рнић“ и „Мејлановић“, изграђена је црпна станица, цевовод и градски резервоар „Топовске шупе“.

Осамдесетих и деведесетих година прошлог века, долази до наглог опадања издашности каптираних изворишта из правца Злота, чије воде су се највећим делом користиле за водоснабдевање града Бора. Последица овога је чињеница да је град Бор са својом инфраструктуром и околним насељима, током сушних летњих периода био изложен рестрикцијама воде. Да би се самом граду и индустрији обезбедила довољна количина воде, 1996. године је започета изградња прве фазе регионалног водосистема „Боговина“ који је пуштен у рад 2002. године. Са расположивих 250 l/s из постојећих изворишта и 150 l/s из система „Боговина“ данас, општина Бор има довољне количине воде, високог квалитета. Међутим, Злотско извориште је и данас основ водоснабдевања града Бора и околних села.

На основу свега напред наведеног можемо рећи, да се водоснабдевање на територији града Бора врши из четири правца, односно из три изворишта, којима управља ЈКП „Водовод“ Бор као носилац експлоатационих права и изворишта „Мрљиш“ које је у надлежности ЈП „Боговине“, од ког Борски водовод купује сирову воду. Дистрибуција воде са изворишта "Мрљиш" се врши током сушних периода, али и током периода када се изворишта ЈКП „Водовод“-а Бор замуће. У тим периодима Борски водовод нема довољне количине воде да би се обезбедило сигурно и квалитетно водоснабдевање Бора. Предност изворишта „Мрљиш“ (захватање карстних вода помоћу три бунара) је та што је ово извориште у погледу количина и квалитета воде стабилније у односу на остала Борска изворишта, а што се тиче мутноће, замућења су забележена само у периодима изузетно јаких киша, а и тада не прелазе вредности од 2,0 NTU.

Међутим, транспорт воде из правца изворишта „Мрљиш“ је изузетно скуп, обзиром да се транспорт заснива на два препумпавња воде, тако да су трошкови утрошене електричне енергије веома велики. Због свега наведеног, рад на овој докторској дисертацији има и изузетно значајан економски ефекат, јер могућност управљања замућењем, првенствено Злотског изворишта, даје простора да се смањи количина воде потребна за водоснабдевање

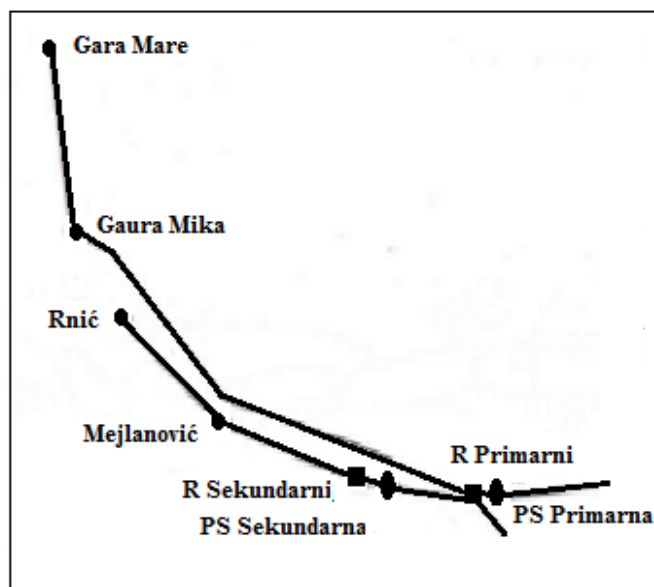
из правца изворишта “Мрљиш”.

У Табели 4 дат је преглед свих изворишта која се користе за потребе водоснабдевања на територији града Бора, поред назива изворишта, локације и надморске висине, приказан је и опсег издашности сваког каптираног врела ( $Q_{\min}$ - $Q_{\max}$ ).

Табела 4. Изворишта, локације, издашност и надморска висина изворишта која се користе за потребе водоснабдевања Бора и околних насеља (Pešić i dr., 2015)

Извориште	Локација	Издашност (l/sec)	Висински положај (mm)
Злот	Слив Бељевинске реке, 11 км југозападно од Бора	110 - 2.400	315 - 360
Кривељ	6 км, северно од Бора	0-100	386
Сурдуп	8 км, источно од Бора	60 -120	310
Мрљиш	Приобаље Црног Тимока, 25 км југозападно од Бора	150 - 240	230

Главно извориште водоснабдевања града Бора је Злотско извориште које чине 4 каптирана врела: Гаура Маре, Гаура Мика, Рнић и Мејлановић. Део вода врела Гаура Маре и Гаура Мика које су каптиране за водоснабдевање, гравитационо цевоводом спроводи се до резервоара „Примарни“ на ПС (пумпна станица) “Злот“. Каптриране воде врела Рнић и Мејлановић гравитационо дотичу у резервоар у ПС „Секундарна“ одакле се вода пумпа у резервоар „Примарни“ на ПС “Злот” (Слика 5).



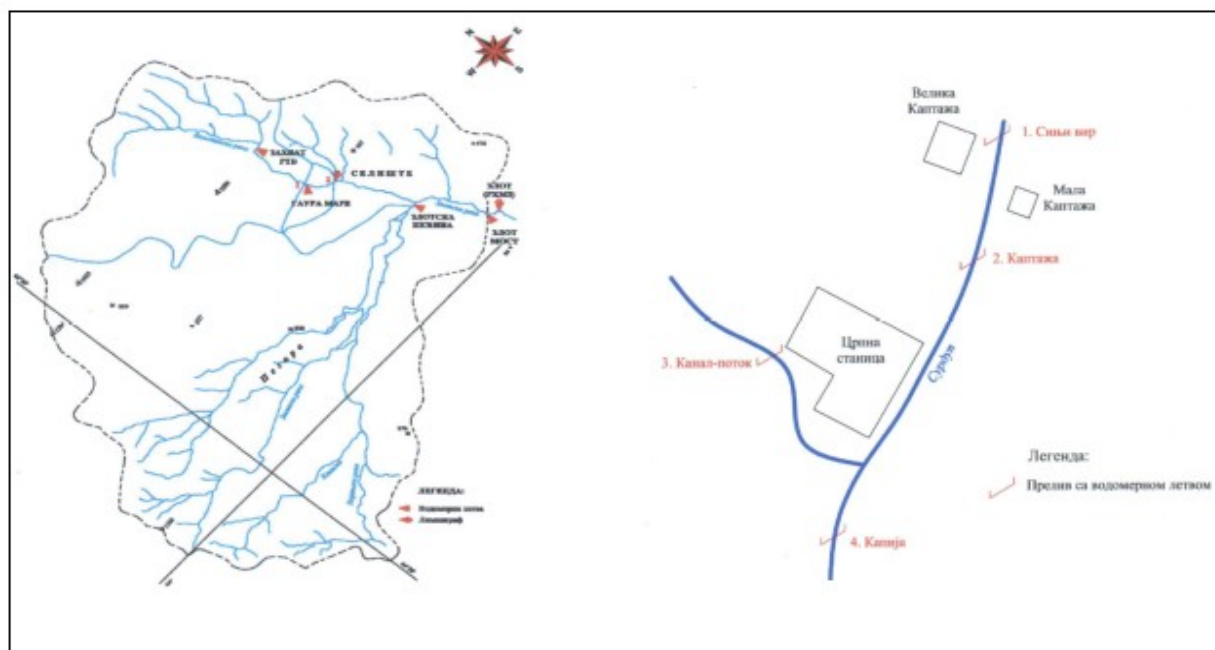
Слика 5. Злотски систем (Pešić i dr., 2020)

## 5.2. Теренска испитивања

У оквиру теренских истраживања, изведена су мерења водостаја на Бељевинској реци и Сурдупском потоку, узорковање воде на извориштима Злот и Сурдуп и у дистрибутивним систему. Климатски подаци су преузети са метеоролошке станице на Црном Врху.

### 5.2.1. Мерење водостаја река

Мерења водостаја Бељевинске реке (мерно место “2” у профилу Селиште) на чијој су обали лоцирана Злотска изворишта и Сурдупског потока (мерно место „Капија“) поред ког је лоцирано извориште Сурдуп, вршено је водомерним летвама. Водомерну летву на Бељевинској реци поставио је Републичког хидрометеоролошког завода, а водомерну летву на Сурдупском потоку је поставио Рударско-геолошки факултет Београд, а у оквиру израде Елабората о зонама санитарне заштите изворишта „Сурдуп“ (Слика 6). Водомерне летве се читавају једном дневно (сваког јутра у 8h), а подаци се уписују у књиге евиденције које су успостављене на оба изворишта.



Слика 6. Мерна места за мерење водостаја на Бељевинској реци и Сурдупском потоку (Pešić i dr., 2020)

## 5.2.2. Мерења климатских параметара

Подаци за температуру ваздуха, количине падавина за 2012. годину, дефинисану као година са просечним падавинама, подаци за изразито сушну 2013. годину и за изразито кишну 2014. годину, висину снежног покривача за период март- април 2018. године, који је био са великом количином снежних падавина у претходном периоду и у току испитиваног периода, при чему се снежни покривач више пута формирао и отапао и са  $T_{\max}$  ваздуха изнад просечних температура за ово доба године и за период фебруар - март 2019. године, када се само једном формирао снежни покривач у претходном периоду (децембар-јануар), био је мање дебљине у односу на претходну анализирану зиму, док су  $T_{\max}$  ваздуха биле уобичајене за то доба године, преузети су из хидролошких билтена Републичког хидрометеоролошког завода, за климатску станицу Црни Врх.

## 5.2.3. Узорковање воде

Узорак воде за мерење мутноће се директно узимао из резервоара на пумпним станицама, на извориштима Злот и Сурдуп, у амбалажи од 1,5 литра. У току истраживања, мерење мутноће на извориштима је вршено на свака два сата у континуитету, а у случајевима када се измери мутноћа већа од законом прописане вредности, мерења су вршена на сат времена. Такође се, на Злотском изворишту тада, и свака каптажа посебно узоркује и каптаже са највећим мутноћама се искључују из система водоснабдевања. Подаци су уписивани у књиге евиденције, које су успостављене на оба изворишта.

Узорковање воде из дистрибутивне мреже за потребе одређивања потрошње  $\text{KMnO}_4$  вршено је једном дневно, радним данима, у оквиру мониторинга успостављеног 2006. године, на шест тачака које се по одређеној динамици понављају и налазе у граду и селима на територији града Бора. Места узорковања су локације где највећи број људи у току дана конзумира воду (школе, обданишта, Дом здравља, хотели) (Табела 5). Добијене вредности испитиваних параметара се уписују у успостављену књигу евиденције у хемијској лабораторији ЈКП "Водовод" Бор.

Правилно узорковање воде је од пресудне важности за тачну анализу и оцену њеног квалитета. Посуда за узимање узорка воде за хемијске анализе је запремине 1,5 l и мора бити хемијски чиста. Узорак воде је узиман на славинама на пумпним станицама и на славинама у дистрибутивном систему, где се вода највише користи (кухиња, тоалет). Пре узимања узорка воде са славине су уклоњени сви додатни метални или пластични делови (филтери, мрежице и др.). Тада је на славини пуштена вода да тече умереним млазом 3-5 минута. Затим је посуда за узимање узорка испрана водом која се испитује и након тога је напуњена тако да остане 1/4 слободног простора у посуди (["Sl. listu SFRJ", br. 33/87](#)). Пре затварања славине измерени су: температура воде, а поред температура у дистрибутивном систему мерен је и резидуални хлор у води. Узорци из дистрибутивног система су транспортовани до хемијске лабораторије, где су вршена хемијска испитивања квалитета воде, док су узорци сирове воде анализирани само у погледу мутноће и температре воде на пумпним станицама.

Табела 5. Места узорковања воде из дистрибутивне мреже града Бора по данима узорковања

Понедељак	Уторак	Среда	Четвртак	Петак
Дирекција ТИР-а	Погон Јаме-Сервисно окно	Дирекција ТИР-а	Велики Кривељ-ОШ “Ђура Јакшић”	Дирекција ТИР-а
Насеље Брезоник продавница	Старо селиште-продавница	Насеље Брезоник-продавница	Старо селиште-продавница	Погон Јаме-Сервисно окно
ОШ “Вук Караџић”	ОШ “Душан Радовић”	Улица “Др Мишовића”-продавница	ОШ “Душан Радовић”	Улица “Др Мишовића”-продавница
ОШ “3. октобар”	Насеље “Сунца”-продавница	ОШ “3. октобар”	Насеље “Сунца”-продавница	ОШ “Вук Караџић”
Бањско поље-Клуб ZiJIN	Дом здравља	Насеље НГЦ-Хотел “Албо”	Дом здравља	ОШ “3. октобар”
Насеље НГЦ-Хотел “Албо”	Лабораторија-ЈКП „Водовод”	СОШ “Видовдан”	Лабораторија-ЈКП „Водовод”	Економска школа

На исти начин је узоркована вода за потребе испитивања садржаја тешких метала у периоду децембар 2018. године - фебруар 2019. године, и то: на Злотском изворишту, на изворишту Сурдупу, из дистрибутивне мреже која се снабдева водом са Злотског изворишта и из дистрибутивне мреже која се снабдева водом са изворишта Сурдупа. Анализа тешких метала у води је вршена у хемијској лабораторији Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду.

#### 5.2.4. Мерење температуре воде

Температура воде се мери одмах приликом узимања узорка и на извориштима и у дистрибутивном систему.

За мерење температуре воде коришћен је дигитални термометар WT-1. Мерење температуре се вршило по стандардној методи P-IV-1 ([Škunca-Milovanović i dr., 1990](#)). динамиком, на свака два сата на пумпним станицама из резервоара и једном дневно радним данима на шест места у дистрибутивном систему.

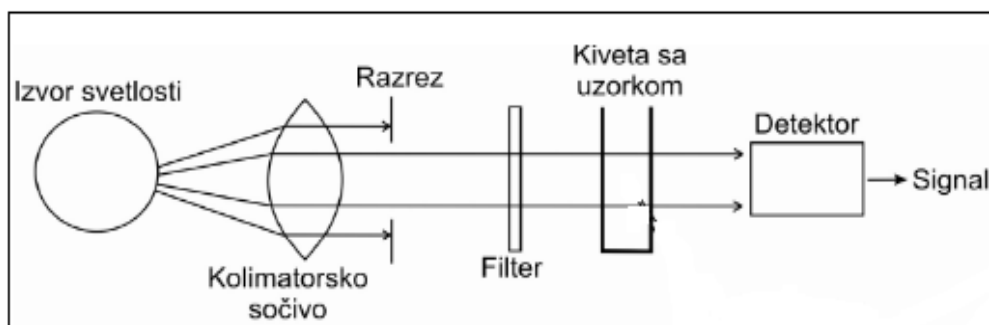
Мерење температуре је вршено тако што се пре затварања славине термометар стави испод млаза воде, са ког се после устаљења вредности очита температура која се упише у успостављене књиге евиденције.

### 5.3. Лабораторијска испитивања

У оквиру лабораторијских испитивања спроведена је физичко-хемијска карактеризација сирове воде и воде из дистрибутивног система, односно, одређивана је муноћа воде, потрошња  $\text{KMnO}_4$  и садржај тешких метала у води.

#### 5.3.1. Одређивање мутноће воде

Одређивање мутноће у води вршено је турбидиметријском анализом по стандардној методи Р-IV-4 метода В (Škunca-Milovanović i dr., 1990). Турбидиметрија је метода која се заснива на мерењу пропуштене светлости кроз раствор, који садржи честице у колоидном, емулгованом или суспендованом стању. Светлост се пропушта кроз филтер који формира светлост познате таласне дужине. Она се затим пропушта кроз кивету са раствором. Детектор је постављен у равни са извором светлости и на тај начин мери интензитет пропуштене светлости (Слика 7) (Haven i dr., 1994). Мутноћа се мери поређењем светлосних ефеката који се одвијају проласком светлости кроз узорак и кроз стандард. Као стандардна суспензија за мутноћу служи кормазинов полимер. Код турбидиметра детектор је постављен у равни са извором светлости, мерећи на тај начин интензитет пропуштене светлости кроз суспензију у кивети.



Слика 7. Принцип рада турбидиметра (Haven i dr., 1994)

За мерење мутноће воде у спроведеним истраживањима коришћене су два типа турбидиметара:

- 1) Турбидиметар EUTECH, теренски, за мерење мутноће на извориштима; мерења су вршена на турбидиметрима који су на пумпним станицама Злот и Сурдуп;
- 2) Турбидиметар WTW, лабораторијски, којим је мерена мутноћа воде из дистрибутивног система; мерења су вршена у хемиској лабораторији ЈКП „Водовод“ Бор.

Поступак мерења мутноће је исти за оба турбидиметра: захваћени узорак воде се добро хомогенизује, сачека се да нестану мехурићи и сипа се приближно 10 ml у турбидиметријску кивету како би се кивета испрала. Овај поступак се за сваки узорак понавља

три пута, а као репрезентативна вредност се узима средња вредност за то мерење. Поступак испирања кивете се понови два или више пута водом захваћеног узорка. Затим се кивета испуни водом захваћеног узорка све до ознаке обележене на кивети. Затвори се кивета, обрише како би спољашност кивете била чиста и сува и стави у лежиште кивете турбидиметра. Поравна се ознака на кивети са ознаком индекса на турбидиметру, покрије се кивета заштитним поклопцем и укључи турбидиметар. Након низа операција за укључивање на екрану ће се појавити вредност мутноће у NTU јединицама, испитиваног узорка.

Рекалибрација турбидиметра се врши једном месечно, због постизања оптималне тачности. Калибрација се врши кроз четири стандардна раствора код теренског турбидиметра (800 NTU, 100 NTU, 20 NTU и 0,02 NTU) и три стандардна раствора код лабораторијског турбидиметра (1000 NTU, 10 NTU и 0,02 NTU).

### 5.3.2. Одређивање потрошње $\text{KMnO}_4$

Потрошња калијум-перманганата при стандардизованим условима представља мерило садржаја органских материја у води. Вода која садржи органске материје утрошиће одређену количину  $\text{KMnO}_4$  за њихову оксидацију. Количина утрошеног  $\text{KMnO}_4$  зависи од количине органских материја у води, али и њихове хемијске структуре. Такође, и неке неорганске супстанце, као што су нитрити, јони  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{H}_2\text{S}$ , могу се под датим условима оксидовати са  $\text{KMnO}_4$ , односно троше  $\text{KMnO}_4$ . Одређивање укупних органских материја у води извођено је у киселој ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) средини по стандардној методи P-IV-9A ([Škunca-Milovanović i dr., 1990](#)).

На основу утрошене количине  $\text{KMnO}_4$  не може се у потпуности одредити садржај органских материја, али је могуће извести предвиђање органског оптерећења на основу перманганатног броја. Законодавство је употребило утрошак  $\text{KMnO}_4$  као сумарну граничну вредност за органско оптерећење воде за пиће и категоризацију водотока. Према Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће ([Sl. list SRJ 42/98](#)), вода може имати утрошак  $\text{KMnO}_4$  до 8 mg/l. Према наведеном Правилнику, сматра се да је вода исправна у случају да се код мерења која нису узастопна у току године, у 20 % мерења вредност утрошка  $\text{KMnO}_4$  достигне 12 mg/l. Вредност по ЕУ препоруци од 03.11.1998. године је 5 mg  $\text{O}_2$ /l (прерачунато из перманганатног броја, што представља 19,7 mg/l  $\text{KMnO}_4$ ).

У спровденим истраживањима примењивана је стандардна метода P-IV-9A ([Škunca-Milovanović и др., 1990](#)) за одређивање потрошње  $\text{KMnO}_4$ . Ова стандардна метода обухвата титрацију према *Kubel - Tiemann* која је најстарија метода за одређивање оптерећења воде органским материјама.

Апаратура која је коришћена је: Ерленмајер тиквице од 300 ml, бирете, пипете.

Реагенси који с коришћени су:

1. Разблажена  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1:3 p. a.;
2. Раствор  $\text{KMnO}_4$ , 0,02 mol/dm<sup>3</sup>,
3. Раствор  $\text{KMnO}_4$ , 0,002 mol/dm<sup>3</sup>,
4. Раствор оксалне киселине, 0,05 mol/dm<sup>3</sup>,



## 5. Раствор оксалне киселине, 0,005 mol/dm<sup>3</sup>.

Израчунавање утрошка KMnO<sub>4</sub> је вршено на основу количине утрошеног 0,002 mol/dm<sup>3</sup> раствора KMnO<sub>4</sub> за титрацију 100 ml узорка воде и фактора KMnO<sub>4</sub> када концентрација KMnO<sub>4</sub> није одговарала концентрацији од 0,002 mol/dm<sup>3</sup>.

Одређивање фактора 0,002 mol/dm<sup>3</sup> раствора KMnO<sub>4</sub> вршено је увек на крају титрације или серије титрација. Одређивање утрошка KMnO<sub>4</sub> урађено је у хемијској лабораторији ЈКП “Водовод” у Бору.

### 5.3.3. ICP-OES одређивање садржаја тешких метала у узорцима воде

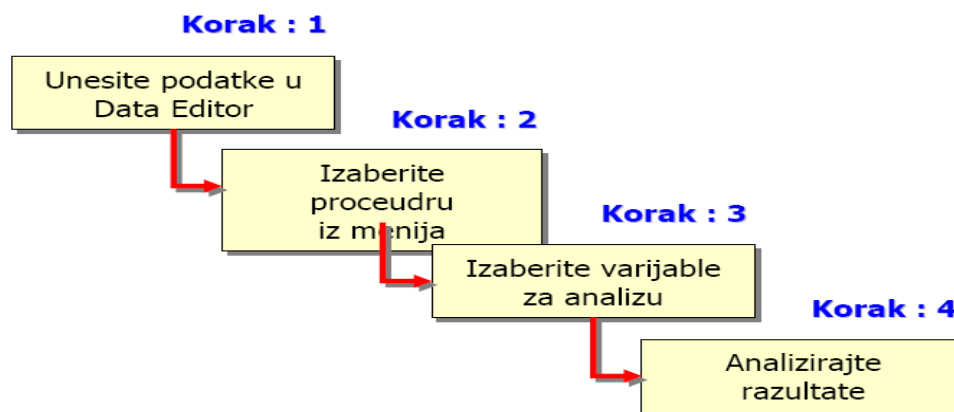
Садржај тешких метала у свим узорцима одређиван је на Оптичком емисионом спектрометру са индуктивно спрегнутом плазмом (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 8300, USA). Одређивање тешких метала спектрофотометријском техником укључује избор оптималне, односно радне емисионе линије ( $\lambda$ ) са припадајућом границом детекције. Концентрације тешких метала у узорцима воде одређене су у хемијској лабораторији на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду.

## 5.4. Обрада експерименталних резултата

Анализа добијених резултата применом статистичких метода омогућила је одређивање степена корелације и коефицијента детерминације између падавина, дебљине снежног покривача, водостаја, мутноће и потрошње KMnO<sub>4</sub>. Изведена је и симулација параметара мутноће у зависности од водостаја, падавина, температуре ваздуха и дебљине снежног покривача, применом регресионих анализа, ради успостављања најадекватнијег модела за краткорочне прогнозе појаве мутноће.

За обраду података је коришћен EXCEL 2007 и софтверски пакет SPSS (верзија 17). SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) је статистички софтверски пакет у коме су имплементирани готово сви конвенционални статистички методи.

Основна предност овог софтверског пакета јесте начин на који је осмишљена реализација саме статистичке анализе. Без обзира на то о којој се врсти анализе ради, до коначних резултата се увек долази кроз четири једноставна корака (Слика 8).



Слика 8. Фазе статистичке обраде података у SPSS-у (Manasijeвић, 2011)

Анализа временских серија која подразумева хронолошки низ података осматрања који осликава промену одређене физичке величине у времену, обухвата статистичке методе којима се:

- идентификују могуће правилне и/или неправилне осцилације вредности временског низа;
- описују особине тих осцилација и
- омогућује разумевање процеса који узрокују те осцилације.

За анализу временских серија, у којима су временски интервали између података једнаки, најчешће се користе следећи статистички поступци: анализа аутокорелационе функције (ACF), кроскорелационе функције (CCF).

Извршена је аутокорелација временског низа мутноће и водостаја  $X=(X_1, \dots, X_i, \dots, X_n)$  с властитим вредностима уз дискретно повећавање временског помака “ $k$ ”, при чему је  $k$  - временски помак,  $k= 0,+1,+2, \dots, m$ , а “ $m$ ” је број аутокорелационих коефицијената за који се препоручује да буде мањи од  $n/3$ . Временски помак може бити изражен у данима, недељама, месецима, ..., а јачина везе између на овај начин постављених низова, изражава се преко коефицијента корелације ( $r(k)$ ).

Извршена је кроскорелација за временску зависност мутноће воде и водостаја као зависних случајно променљивих ( $Y$ ) и независне случајно променљиве - дневне суме падавина ( $X$ ) у функцији временског помака “ $k$ ”. Зависност коефицијената кроскорелације за различите временске помаке у функцији временских помака називамо кроскорелограм.

У циљу испитивања могућности предвиђања појаве мутноће и повећаног водостаја одређен је коефицијент детерминације,  $R^2$ . Коефицијент детерминације ( $R^2$ ) је релативна мера репрезентативности регресионе линије. Показује учешће (процент) објашњеног варијабилитета у укупном, односно, показује колико су варијације зависне променљиве  $Y$  објашњене независном променљивом  $X$ .

Регресиона анализа је коришћена за одређивање начина како је зависно променљива  $Y$  (мутноћа воде) везана са једном или више независно променљивих величина,  $X_i$  (водостај реке, падавине, висина снежног покривача).

Ауторегресиони модел (AR) је примењен за симулацију (прорачун) зависно променљиве  $Y_i$  (мутноћа воде) у времену  $i$ , а независно променљиве  $X_{i-1}, X_{i-2}, \dots, X_{i-k}$ , (мутноћа воде) за 1, 2, ...  $k$  претходних дана.

По истом принципу је примењен и кросрегресиони модел (CR), где је зависно променљива  $Y_i$  такође (мутноћа воде) у времену  $i$ , а независно променљиве су  $X_{i-1}, X_{i-2}, \dots, X_{i-k}$ , (падавине, висина снежног покривача и водостај реке) за 1, 2, ...  $k$  претходних дана.

Дефинисањем регресионе једначине као адекватног симулационог модела постигнут је циљ, да се може извршити предикција вредности зависне променљиве  $Y$  (мутноћа воде) на основу познатих вредности независно променљивих величина,  $X_i$  (водостај, падавине, висина снежног покривача).

За дефинисање регресионих зависности мутноће од падавина и водостаја коришћена је техника линеарне корелације, применом методе “најмањих квадрата” и комбиновани модел ARCR који обједињује AR и CR моделе.

SPSS софтверски пакет примењен је за дефинисање регресионе једначине зависности мутноће од дебљине снежног покривача, падавина и водостаја. На овај начин је успостављен симулациони модел за одговарајући временски период за предвиђање зависно променљиве ( $Y$ ) мутноће у функцији дебљине снежног покривача, падавина, температуре ваздуха и водостаја као независно променљивих  $X_i$ .

## 6.0. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У овом делу дисертације представљени су резултати мониторинга на подручјима изворишта Злот и изворишта Сурдуп, за период од 2012. године до 2014. године. Овај период обухвата једну годину са умереним падавинама (2012.), једну изразито сушну (2013.) и једну изразито кишну годину (2014.). У 2012. години на климатској станици Црни Врх забележене су укупне годишње падавине од 759,1 mm, тако да је година класификована као умерена. У 2013. години станица Црни Врх забележила је 695,5 mm падавина, тако да је година класификована као сушна. С друге стране, током првих десет месеци 2014. године забележено је 970 mm падавина, што је ту годину класификовало као изузетно кишну годину. Такође, за период 2012, године -2018. године представљени су резултати одређивања утрошка  $\text{KMnO}_4$  у зависности од мутноће воде у дистрибутивном систему.

Анализом резултата мониторинга у периодима март-април 2018. године и фебруар-март 2019. године, посебно је указано на утицај отапања снежног покривача на испитиване параметре. Током овог периода мерени су протицаји на Бељевинској реци и Сурдупском потоку, температура подземне воде и мутноћа воде на извориштима Злот и Сурдуп.

У периоду пре почетка отапања формираног снежног покривача, децембар 2018. године и у периоду отапања снега јануар - фебруар 2019. године, одређиван је садржај тешких метала у сировој води и води из дистрибутивног система, како би се утврдило да ли повећана мутноћа узрокује и појаву тешких метала у води.

Све ово има за циљ указивање на квалитет подземних вода са аспекта могућих индустријских загађења, као и одређивање степена корелације између испитиваних параметара квалитета воде и климатских параметара: падавине, температура ваздуха и отапање снежног покривача. Успостављање симулационог модела за предикцију појаве мутноће у води у зависности од падавина, водостаја и дебљине снежног покривача, омогућиће сигурније водоснабдевање у водоводном систему који нема постројење за пречишћавање воде од мутноће.

### 6.1. Одређивање садржаја тешких метала у води на извориштима Злот и Сурдуп и дистрибутивном систему

У периоду децембар - фебруар 2018 -2019 године узоркована је вода на извориштима Злот и Сурдуп и вода из дистрибутивног система који се снабдева водом са ових изворишта. Резултати су приказани у табелама 7 и 8. Прво узорковање (I) је било 14.12.2018. године и обухватило је сушни период обзиром да више месеци није било кишних падавина, а снег који је пао крајем новембра, још увек није почео да се топи. Друго узорковање (II) је било 14.01.2019. године и обухватило је период након замућења које је узроковано отапањем снега. Замућење је уочено у периоду од 25.12. до 31. 12. 2018. године. Треће узорковање (III) је спроведено 04.02.2019. године у периоду замућења изворишта, због отапања снега. Замућење оба изворишта је почело у касним вечерњим сатима 03.02.2019. године. Тачније, узорци су узети првог дана замућења у раним јутарњим сатима.

Измерена повећана мутноћа на Злотском изворишту се кретала у интервалу од 1,86-3,32 NTU. У периоду замућења када је извршено треће узорковање, вода у дистрибутивном систему је дистрибуирана са изворишта „Мрљиш”, Злотско извориште је искључено из система водоснабдевања, све док се вредност мутноће сирове воде није спустила испод 1 NTU, што је Законом прописана вредност за мутноћу у води за пиће.

Измерена мутноћа на изворишту Сурдуп се кретала у интервалу од 2,48-13,90 NTU. У периоду замућења изворишта Сурдуп, у дистрибутивни систем је пумпана вода са изворишта Кривељска бањица, које није било замућено.

У води која је узоркована у периоду замућења (III) одређивана је и концентрација молибдена. Карактеристика молибдена је да се не јавља у природи у елементарном стању већ у облику молибденита ( $\text{MoS}_2$ ), вулфенита ( $\text{PbMoO}_4$ ), повелита ( $\text{CaMoO}_4$ ) или као споредни производ рударења бакра и волфрама. Молибден се често среће у водама због његове добре растворљивости и може да гради комплексни анјон са кисеоником, како у неутралној, тако и у киселој средини. Одређеним истраживањима утврђена је обрнута зависноста садржаја Мо са садржајем хидрокарбоната калцијума у водама. Највећа концентрација молибдена присутна је у седиментним стенама, нарочито у глинама, глиновитим шкриљцима и суглинама, тако да се може очекивати да у неповољној хидролошкој ситуацији, посматрано са аспекта квалитета вода може бити повећана концентрација Мо у води. На основу наведеног постојала је могућност детектовања веће количине молибдена у изворишту Сурдуп обзиром да је терен на ком се извориште налази богато рудом бакра, пешчара и глине (Pešić i dr.,2020).

На основу резултата приказаних у Табели 6 закључује се да концентрације тешких метала у води не прелазе законом прописане вредности за воду за пиће. Такође, концентрација тешких метала се не мења са повећањем мутноће. Ово је очекивано, обзиром да се сва четири каптирана врела Злотског изворишта налазе у неприступачним, незагађеним планинским масивима, где антропогени утицај највероватније и не постоји. Такође, важно је напоменути да се Злотско извориште, као и извориште Мрљиш, налазе на супротној страни у односу на рударски комплекс “SERBIA ZIJIN COPPER DOO“, односно, на супротној је страни од подручја које је богато рудом бакра.

На основу резултата приказаних у Табели 7 закључује се да концентрације тешких метала у води не прелазе законом прописане вредности за воду за пиће, изузев садржаја молибдена у води узорка III. Концентрација молибдена је била изнад законом прописане вредности концентрације за воду за пиће (МДК - максимално дозвољена концентрација, је 0,07 mg/l) у узорку воде са изворишта Сурдуп, али и у узорку воде из дистрибутивног система у коме је била вода са изворишта Кривељска бањица. Могуће је да се у делу дистрибутивног система где је узет узорак за анализу налазила још увек и одређена количина воде из правца Сурдупа, (која је доспела у дистрибутивни систем на почетку замућења изворишта и пре његовог искључења, али мешањем са водом из правца Кривеља мутноћа збирне воде у дистрибутивном систему имала је законом дозвољену вредност за мутноћу), па је зато концентрација молибдена била већа од прописане, али мања од оне која је детектована у води изворишта Сурдуп. Треба рећи да се изворишта Сурдуп и Кривељска бањица налазе у области богатој рудом бакра и кварцног песка, тј. у близини су два рудника: “SERBIA ZIJIN COPPER DOO“ (експлоатација и прерада руда бакра) и рудник “Југо Kaolin” (производња кварцног песка). Ово указује на то да је молибден у замућеној води, последица састава околних стена и утицаја експлоатације наведених рудника. Овиме је доказана Хипотеза  $H_1$ .

Табела 6. Концентрација тешких метала и осталих елемената у узорцима воде на Злотском изворишту и у дистрибутивном систему

Елемент	Место узорковања					
	Злотско извориште			Дистрибутивни систем		
	Концентрација испитиваних елемената mg/l					
	I	II	III	I	II	III
Ag	<0,001434	<0,001	<0,001	<0,001434	<0,001	<0,001
Al	<0,002746	<0,01	<0,01	<0,002746	<0,01	<0,01
As	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
B	<0,001345	0,2998200	0,1035632	<0,001345	0,264310	0,045874162
Ba	0,0230112	0,0213325	0,0184234	0,0220895	0,021059	0,01675292
Bi	<0,007648	<0,007	<0,007	<0,007648	<0,007	<0,007
Ca	97,285177	106,01720	111,73015	96,457042	109,3709	112,626283
Cd	<0,000639	<0,005	<0,005	<0,000639	<0,005	<0,005
Co	0,0055725	0,0076786	<0,001	0,0045490	0,008104	<0,001
Cr	<0,000425	<0,002	<0,002	<0,000425	<0,002	<0,002
Cu	<0,000057	<0,004	<0,004	<0,000057	<0,004	<0,004
Fe	<0,000472	<0,003	<0,003	<0,000472	<0,003	<0,003
K	<1,748566	0,4073401	0,415184	<1,748566	0,414670	0,46856483
Li	0,0007388	0,0025383	0,0012029	0,0007246	0,001558	0,00105331
Mg	4,5230254	6,3261773	3,5454533	4,5655368	6,415964	4,17114909
Mn	<0,001058	0,0028987	0,0007627	<0,001058	0,001434	0,00039877
Mo			0,0586274			0,02841543
Na	0,8193255	1,0694801	1,1067160	1,1361475	1,557910	1,14681108
Ni	<0,002589	<0,002	<0,002	<0,002589	<0,002	<0,002
Pb	<0,045874	<0,05	<0,05	<0,045874	<0,05	<0,05
Sr	0,0361007	0,4369205	0,0433358	0,0371246	0,042202	0,0451251
Tl	<0,044430	<0,04	<0,04	<0,044430	<0,04	<0,04
Zn	<0,021081	<0,02	<0,02	<0,021081	<0,02	<0,02

Табела 7. Концентрација тешких метала и осталих елемената у узорцима воде на изворишту Сурдуп и у дистрибутивном систему

Елемент	Место узорковања					
	Извориште Сурдуп			Дистрибутивни систем		
	Концентрација испитиваних елемената mg/l					
	I	II	III	I	II	III
Ag	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Al	<0,0027465	<0,01	0,0289933	<0,002746	<0,01	<0,01
As	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
B	<0,001	0,4081178	0,4009337	<0,001	0,3404550	0,196167839
Ba	0,01119233	0,0148191	0,0183987	0,01129638	0,0142000	0,009903874
Bi	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,07
Ca	118,783574	124,81773	138,50986	120,37458	128,80791	134,8512087
Cd	<0,0006394	0,0119940	0,0018796	<0,000639	<0,005	<0,005
Co	0,00496208	0,0150214	<0,01	0,0057696	0,0091939	<0,01
Cr	<0,0004257	0,0096415	<0,02	<0,000425	0,0029970	<0,02
Cu	<0,0000571	0,0041259	<0,004	0,0975650	0,0164597	<0,004
Fe	<0,0004723	0,0032559	0,0320490	<0,000472	<0,03	<0,03
K	<1,7485669	0,6077647	0,8593807	<1,748566	0,6120987	0,352992431
Li	0,00060516	0,0124170	0,0050924	0,0005700	0,0053446	0,00181728
Mg	3,34466255	5,6431351	4,2530272	3,3643321	5,8098971	4,910079223
Mn	<0,0010589	0,0129893	0,0039155	<0,001058	0,0058897	0,001412209
Mo			<b>0,2931929</b>			<b>0,120788091</b>
Na	1,08597011	1,7570356	2,2730174	1,3266286	1,7555761	0,884730146
Ni	<0,0025890	0,0062372	0,0021085	<0,002589	0,0020196	<0,002
Pb	<0,0458741	<0,05	<0,05	<0,045874	<0,05	<0,05
Sr	0,04912257	0,0698068	0,0839566	0,0491963	0,0661172	0,074300361
Tl	<0,0444302	<0,04	<0,04	<0,044430	<0,04	<0,04
Zn	<0,0210816	0,0026877	<0,02	0,3401318	0,0413043	0,022935591

## **6.2. Одређивање температуре воде на извориштима у зависности од температуре ваздуха и падавина**

Температура воде у највећој мери зависи од загрејаности стенских маса кроз које вода протиче. За подземне воде је карактеристично да се дневна колебања температуре региструју до дубине од 2,5 m, а сезонска, до дубине од 20 до 25 m. Дубље од ове зоне, температура воде расте на свака 33 метра за 1°C.

### **6.2.1. Анализа утицаја температуре ваздуха и падавина на температуру воде на изворишту Злот**

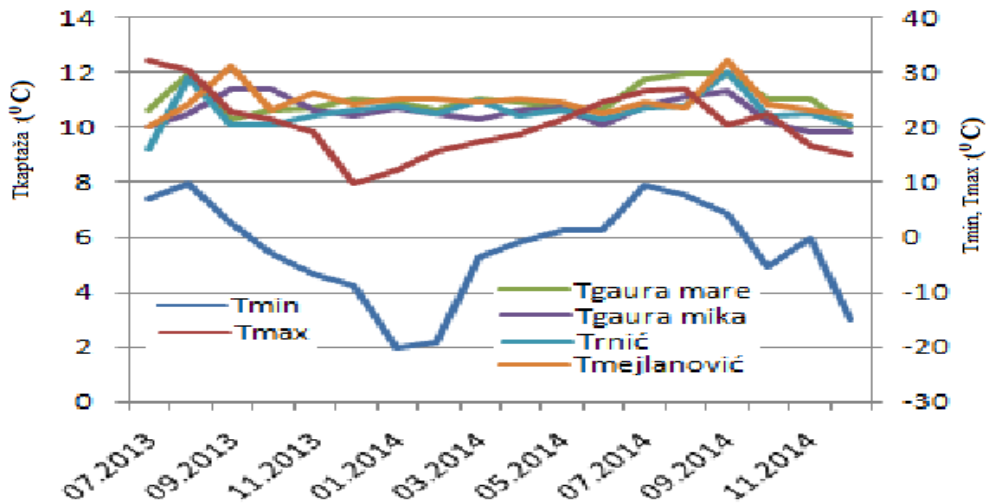
На изворишту Злот је у периоду јул 2013. - децембар 2014. године, вршено мерење температуре воде на свакој каптажи посебно. Највиша измерена вредност температуре воде на каптажи Гаура Маре је била  $T_{\max}=12,5^{\circ}\text{C}$ , док је најнижа измерена вредност температуре била  $T_{\min}=9,7^{\circ}\text{C}$ . На каптажи Гаура Мика највиша забележена температура воде била је  $T_{\max}=11,8^{\circ}\text{C}$ , док је најнижа измерена вредност температуре била  $T_{\min}=9,5^{\circ}\text{C}$ . На каптажи Рнић највиша температура је имала вредност  $T_{\max}=12,4^{\circ}\text{C}$ , док је на каптажи Мејлановић највиша забележена температура била  $T_{\max}=12,5^{\circ}\text{C}$ . Најниже температуре на ове две каптаже су биле:  $T_{\min}=9,2^{\circ}\text{C}$  на каптажи Рнић, и  $T_{\min}=9,6^{\circ}\text{C}$  на каптажи Мејлановић. Највећа амплитуда колебања температуре забележена је на каптажи Рнић -  $3,2^{\circ}\text{C}$  (разлика између максималне и минималне је  $12,4-9,2^{\circ}\text{C}$ ), док је на осталим извориштима била мањих вредности: на каптажи Мејлановић  $2,9^{\circ}\text{C}$  ( $12,5-9,6^{\circ}\text{C}$ ), на каптажи Гаура Маре  $2,8^{\circ}\text{C}$  ( $12,5-9,7^{\circ}\text{C}$ ), Гаура Мика  $1,3^{\circ}\text{C}$  ( $11,8-9,5^{\circ}\text{C}$ ). Температура воде на Злотском изворишту (збирно) се кретала од  $10,4^{\circ}\text{C}$  у јануару месецу, до  $12,8^{\circ}\text{C}$  у летњим месецима. Овај опсег температура је исти за сваку годину. Константна температура воде указује на то да су ове анализирани издани, дубоке издани и да је температурни режим изворишта Злот стабилан.

За посматрани период подаци за температуру ваздуха за подручје испитиваног изворишта преузете су са метеоролошке станице Црни Врх. Такође, за овај период су са исте метеоролошке станице преузете и дневне суме падавина. Највећа количина падавина је била у периоду април – октобар 2014. године. Месец са најмање падавина је био децембар 2013. године, а месец са највећом количином падавина је био мај 2014. године, када су у нашој земљи биле велике поплаве.

На Слици 9 приказане су вредности температуре ваздуха у распону од минималних до максималних измерених на метеоролошкој станици Црни Врх и измерене вредности температуре воде на каптажама Злотског изворишта.

На основу дијаграма се може закључити да је температура воде на свим каптажама била уједначена и да на њихове вредности температура ваздуха није имала утицаја. Такође, обзиром да су се у 2014. години излучиле и велике количине падавина, може се закључити да су оне биле у периодима релативно високих температура, обзиром да нису изазвале промену температуре воде у подземним водама каптираних изворишта.





Слика 9. Дијаграм измерених вредности температуре ваздуха и температуре воде на каптажама изворишта Злот

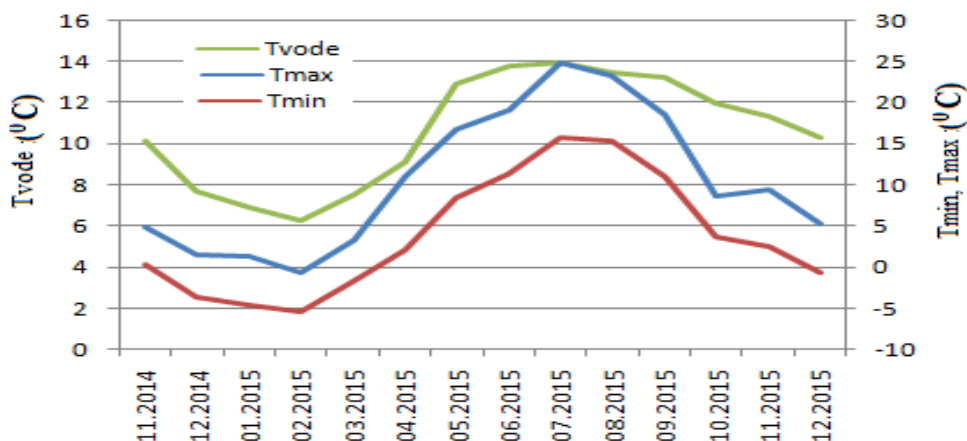
### 6.2.2. Анализа утицаја температуре ваздуха и падавина на температуру воде на изворишту Сурдуп

У периоду новембар 2014. године - децембар 2015. године, вршена су мерења температуре подземних вода Сурдупа. Највиша измерена средња дневна температура воде је била 15,2 °C (02.07.2015), док је најнижа измерена средња дневна температура била 4,5 °C (13.02.2015). Амплитуда температуре подземне воде на изворишту је 10,7 °C што је указало на то да је температурни режим Сурдупа неравномеран.

За посматрани период, подаци за температуру ваздуха за подручје испитиваног изворишта, преузете су са метеоролошке станице Црни Врх. Такође, за овај период су са исте метеоролошке станице преузете и дневне суме падавина.

На Слици 10 приказане су вредности температуре ваздуха у распону од минималних до максималних, измерених на метеоролошкој станици Црни Врх и измерене вредности температуре воде на каптажи изворишта Сурдуп. На основу дијаграма се закључује да температуре имају релативно уједначен режим и да температура ваздуха има утицаја на температуру воде изворишта Сурдуп, што је посебно уочено у периоду формирања/отапања снежног покривача (јануар-март 2015. године). Уочено је такође, да количина кишних падавина која је била највећа у септембру 2015. године, није имала значајног утицаја на температуру воде на изворишту.

Добијени резултати претходних истраживања су указали на то, да се подземне воде каптираног изворишта Сурдуп налазе на мањој дубини у односу на каптиране подземне воде изворишта Злот.



Слика 10. Дијаграм измерених вредности температуре ваздуха и температуре воде изворишта Сурдуп

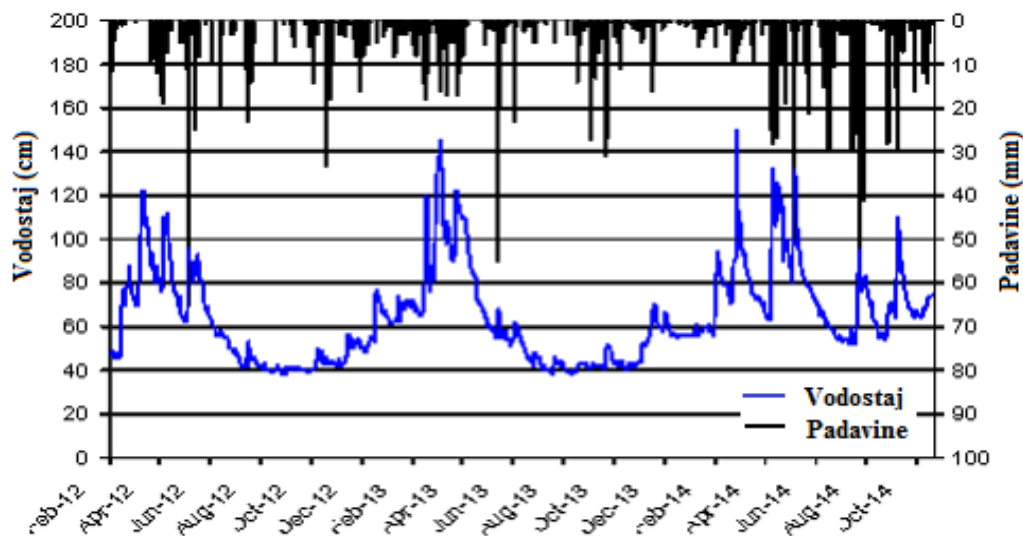
### 6.3. Анализа утицаја падавина и отапања снежног покривача на водостај Бељевинске реке и мутноћу изворишта Злот

Обзиром да се ради о кречњачким пределима истраживаних каптираних изворишта, а и тока саме Бељевинске реке, њен водостај изворишта су у великој мери условљени количином локалних падавина. Бељевинска река прима подземну воду која није каптирана за потребе Злотског изворишта и на тај начин је повезана са изворима: Гаура Маре, Гаура Мика, Рнић и Мејлановић.

#### 6.3.1. Анализа утицаја падавина и отапања снега на водостај Бељевинске реке

Према подацима са климатске станице Црни Врх највише падавина за осматрани период излучило се у периоду април - октобар 2014. године. Највећа количина падавина била је 01.08.2014. године, када се укупно за тај дан излучило 56 mm воденог талога. Месец са најмањом количином падавина био је децембар 2013. године (6,2 mm), док је месец са највећом количином падавина био мај 2014. године (156,5 mm). Период од јула 2013. до децембра 2013. године одликовао се са доста високим вредностима температуре ваздуха, како минималних тако и максималних, када су и минималне дневне температуре прелазиле средње максималне вредности. Може се констатовати, да је у овом периоду било падавина које се нису значајније одразиле на ниво Бељевинске реке. Услед дужег периода високих температура, падавине које су се излучиле на површину терена, нису учествовале у прихрањивању подземних вода предметног изворишта, већ су највероватније отицале на евапорацију и евапотранспирацију. У осталим периодима, веће количине падавина су отицале и на водостај реке, али и на повећану мутноћу воде.

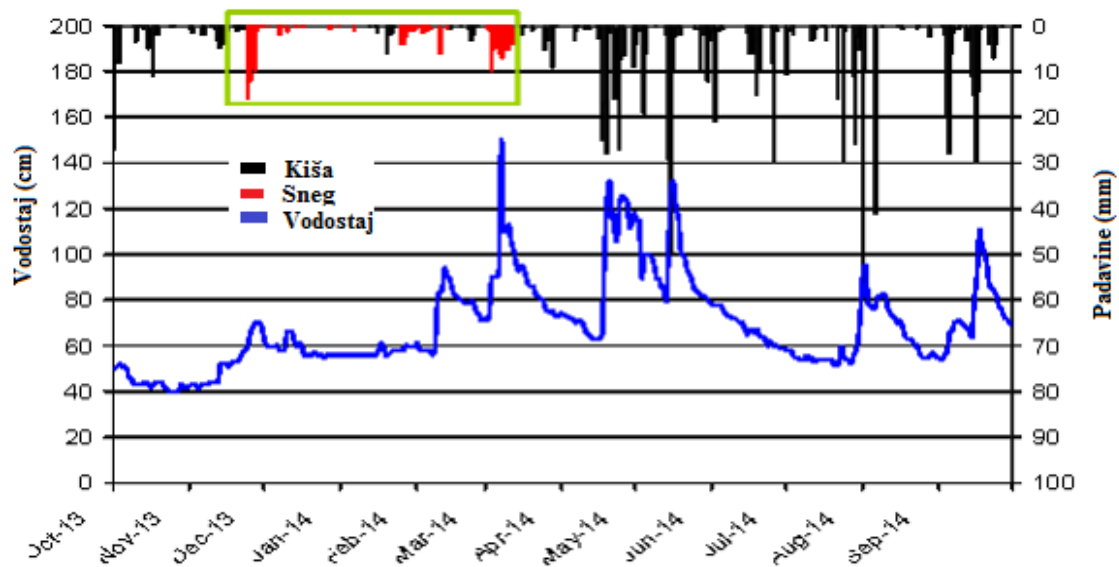
На Слици 11 приказан је дијаграм измерених водостаја Бељевинске реке и регистрованих падавина на метеоролошкој станици Црни Врх.



Слика 11. Упоредни дијаграм водостаја Бељевинске реке и количине падавина за период фебруар 2012. године - октобар 2014. године

Максимални водостај Бељевинске реке бележи се у периоду април - мај 2014. године, а минимално забележен водостај је био у периоду јул – август 2013. године. Апсолутни максимум водостаја је забележен 15.05.2014. године, док је минимум забележен у више наврата 2013. године. На основу дијаграма се закључује да мање количине падавина немају утицаја на протицај Бељевинске реке. Међутим, велике количине падавина утичу на повећање протицаја Бељевинске реке и то истовремено, тј. без временског помака.

Анализа утицаја отапања снежног покривача током зиме 2013/2014. године на ниво воде у Бељевинској реци, приказан је на Слици 12. На дијаграму се уочавају пикови око 26, 45 и 70. дана. Пикови су последица отапања снега током ове зиме, када су забележена три периода са значајним снежним падавинама. Први мање изражен пик (око 26 дана) може се приписати топљењу снежног покривача формираног од 25. јануара до 13. фебруара 2014. године, укупно 21 дан. Највећи снежни покривач се формирао у периоду од 22. новембра 2013. до 07. јануара 2014. године, укупно 46 дана, што одговара другом пику на дијаграму. Пикови после 70. дана су вероватно резултат топљења остатка снежног покривача формираног током зиме 2013/2014. године (укупно 86 дана).



Слика 12. Упоредни дијаграм водостаја Бељевинске реке и дневних сума падавина (киша и снег) за период јануар 2013. године - септембар 2014. године

У Табели 8 је приказан утицај падавина и топљења снега на водостај Бељевинске реке и мутноћу Злотског изворишта. У току фебруара месеца 2018. године пале су велике количине снега. Такође, у овом периоду су забележене и веома ниске температуре, што је резултирало формирањем великог снежног покривача. Максимална дебљина снежног покривача од 98 cm забележена је 28. фебруара на Црном врху. Од средине треће декаде фебруара месеца, па до краја месеца забележени су најхладнији дани на метеоролошкој станици Црни врх. У марту месецу са повећањем температуре ваздуха, која је била изнад просека за ово доба године, снег је почео нагло да се топи, што је довело до повећања водостаја Бељевинске реке.

Табела 8. Вредности температуре ваздуха, водостаја Бељевинске реке, мутноће Злотског изворишта, падавина и дебљине снежног покривача за период март - април 2018. године

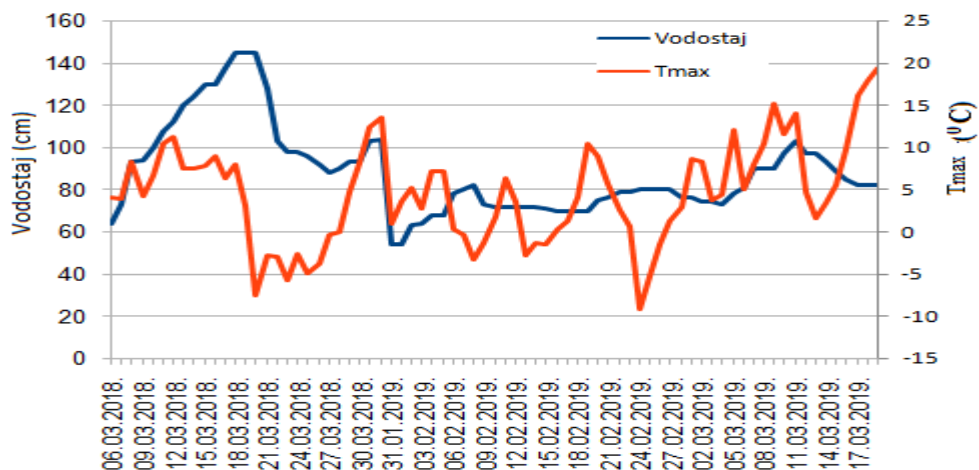
Датум	Бељевинска река (cm)	Температура ваздуха, мах (°C)	Мутноћа (NTU)	Падавине (mm)	Дебљина снежног покривача (cm)	Временске прилике
06.03.2018.	64	4,20	0,46	0,2	78	киша
07.03.2018.	73	4,00	0,74	2,9	78	киша
08.03.2018.	93	8,40	5,49	6,1	69	киша
09.03.2018.	94	4,30	6,2	5,2	65	сунчано
10.03.2018.	100	6,80	5,83	0	59	сунчано
11.03.2018.	108	10,50	9,32	0	52	сунчано
12.03.2018.	112	11,40	13,9	1,1	42	киша
13.03.2018.	120	7,60	28,4	0,8	38	облачно
14.03.2018.	124	7,50	14,41	2,0	30	облачно
15.03.2018.	130	7,90	9,8	0	19	сунчано
16.03.2018.	130	9,10	8,56	0	14	облачно
17.03.2018.	138	6,40	5,68	11,3	2	облачно, киша
18.03.2018.	145	8,00	14,06	17,7	0	киша
19.03.2018.	145	3,20	33,5	5,4	1	снег
20.03.2018.	145	-7,40	11,8	7,0	22	облачно
21.03.2018.	128	-2,70	6,0	3,2	24	снег
22.03.2018.	103	-2,90	5,56	1,6	22	снег
23.03.2018.	98	-5,60	4,06	6,9	36	облачно
24.03.2018.	98	-2,60	5,3	5,1	46	облачно
25.03.2018.	96	-4,90	4,8	0,9	50	облачно
26.03.2018.	92	-3,70	4,8	1,7	52	слаба киша
27.03.2018.	88	-0,30	3,87	0,5	54	облачно
28.03.2018.	90	0,10	3,31	0,2	48	сунчано
29.03.2018.	93	4,80	4,25	0	40	сунчано
30.03.2018.	93	8,30	3,24	0	22	сунчано
31.03.2018.	103	12,40	5,77	0	32	киша
01.04.2018.	104	13,60	6,31	1,4	9	киша

У Табели 9 је приказан утицај падавина и топљења снега на водостај Бељевинске реке и мутноћу Злотског изворишта. У току зиме 2018/2019. године пале су мање количине снега у односу на претходну 2017/2018. годину. Максимална дебљина снежног покривача од 66 cm забележена је 26. и 27. јануара на Црном Врху.

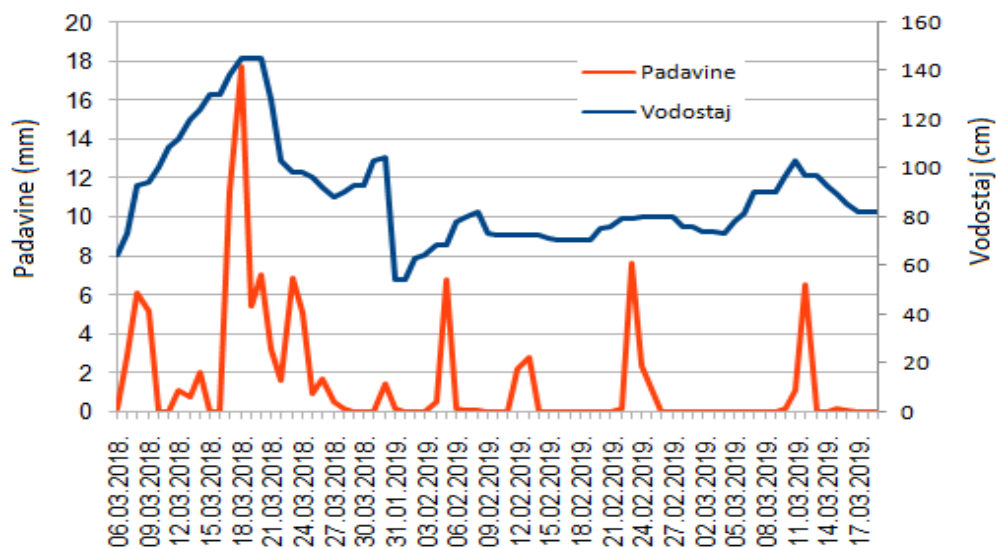
Табела 9. Вредности температуре ваздуха, водостаја Бељевинске реке, мутноће Злотског изворишта, падавина и дебљине снежног покривача за период фебруар - март 2019. године

Датум	Бељевинска река (cm)	Температура ваздуха, мах (°C)	Мутноћа (NTU)	Падавине (mm)	Дебљина снежног покривача (cm)	Временске прилике
31.01.2019.	54	1,0	0,43	0,2	48	облачно
01.02.2019.	54	3,6	0,55	0,0	44	облачно
02.02.2019.	63	5,2	0,58	0,0	40	облачно
03.02.2019.	64	2,8	0,53	0,0	37	сунчано
04.02.2019.	68	7,3	1,26	0,5	32	облачно
05.02.2019.	68	7,3	1,51	6,8	28	киша
06.02.2019.	78	0,4	1,68	0,2	27	сунчано
07.02.2019.	80	-0,2	1,55	0,1	27	облачно
08.02.2019.	82	-3,2	1,70	0,1	27	облачно
09.02.2019.	73	-1,3	1,34	0,0	27	сунчано
10.02.2019.	72	1,9	1,02	0,0	26	сунчано
11.02.2019.	72	6,4	0,96	0,0	24	облачно
12.02.2019.	72	3,7	0,93	2,2	27	снег
13.02.2019.	72	-2,8	0,75	2,8	34	облачно
14.02.2019.	72	-1,2	0,72	0,0	30	сунчано
15.02.2019.	71	-1,5	0,59	0,0	30	сунчано
16.02.2019.	70	0,3	0,50	0,0	28	сунчано
17.02.2019.	70	1,3	0,54	0,0	28	сунчано
18.02.2019.	70	4,2	0,63	0,0	25	сунчано
19.02.2019.	70	10,5	0,70	0,0	24	сунчано
20.02.2019.	75	9,0	1,44	0,0	22	сунчано
21.02.2019.	76	5,7	3,90	0,0	21	сунчано
22.02.2019.	79	2,7	3,02	0,2	20	облачно
23.02.2019.	79	0,7	3,54	7,6	27	снег
24.02.2019.	80	-9,1	2,33	2,4	38	сунчано
25.02.2019.	80	-5,2	1,60	1,2	36	сунчано
26.02.2019.	80	-1,5	1,47	0,0	30	сунчано
27.02.2019.	80	1,4	1,15	0,0	28	сунчано
28.02.2019.	76	3,0	1,03	0,0	24	сунчано
01.03.2019.	76	8,7	0,80	0,0	22	сунчано
02.03.2019.	74	8,4	1,21	0,0	20	сунчано
03.03.2019.	74	3,8	2,02	0,0	18	сунчано
04.03.2019.	73	4,5	1,71	0,0	16	сунчано
05.03.2019.	78	12,1	4,74	0,0	14	облачно
06.03.2019.	81	5,1	5,07	0,0	10	сунчано
07.03.2019.	90	8,1	12,86	0,0	8	сунчано
08.03.2019.	90	10,5	5,87	0,0	5	сунчано
09.03.2019.	90	15,3	6,34	0,0	0	сунчано
10.03.2019.	97	11,6	8,53	0,2	0	сунчано
11.03.2019.	103	14,1	10,60	1,1	0	сунчано
12.03.2019.	97	4,8	6,44	6,5	8	сунчано,киша
13.03.2019.	97	1,7	3,76	0,0	12	снег
14.03.2019.	93	3,5	3,25	0,0	10	сунчано
15.03.2019.	89	5,6	2,98	0,2	10	облачно
16.03.2019.	85	9,8	2,53	0,1	7	сунчано
17.03.2019.	82	16,2	2,09	0,0	0	сунчано
18.03.2019.	82	18,0	2,15	0,0	0	сунчано
19.03.2019.	82	19,5	1,65	0,0	0	сунчано

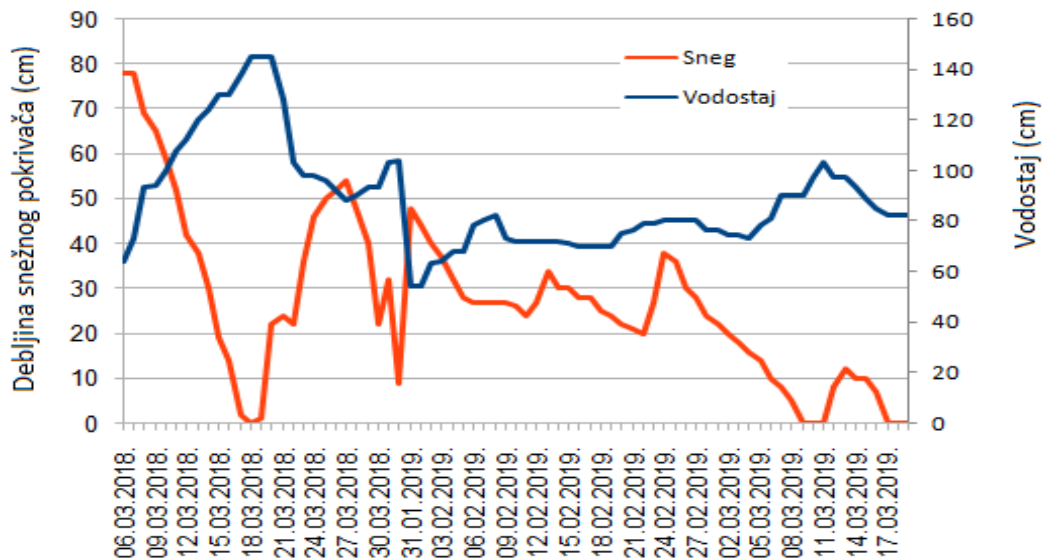
Резултати истраживања су показали да је режим водостаја Бељевинске реке условљен плувиографским режимом. На основу дијаграма приказаног на Сlici 13 може се рећи да водостај реке расте са повећањем температуре ваздуха, а која утиче на отапање снега са временским кораком од два до три дана.



Слика 13. Приказ водостаја Бељевинске реке и температуре ваздуха за периоде март 2018. године и фебруар-март 2019. године



Слика 14. Приказ водостаја Бељевинске реке и количине падавина за периоде март 2018. године и фебруар-март 2019. године



Слика 15. Приказ водостаја Бељевинске реке и дебљина снежног покривача за периоде март 2018. године и фебруар-март 2019. године

Највећи пик на графику водостаја је уочен у данима са вишим температурама ваздуха и када се отапање снега одвијало истовремено са падавинама (Слике 14 и 15).

### 6.3.2. Анализа утицаја падавина и отапања снега на мутноћу изворишта Злот

Режим карстних вода Злотског изворишта, нагле, односно брзе промене квантитативних (ниво подземних вода) и квалитативних (мутноћа, суспендоване материје) својстава, је у највећој мери условљен кишама јачег интензитета, дуготрајним кишним периодима и наглим отапањима снега. Услед наведеног, долази до наглог пораста мутноће, а као коначни резултат, извориште мора бити искључено из система водоснабдевања.

Мутноћа Злотског изворишта ретко достиже вредност 30 NTU, а најчешће максималне вредности су испод 20 NTU. Разлог овако "ниских" максималних вредности мутноћа Злотског изворишта је тај, што Злотско извориште чине 4 каптирана врела: Гаура Маре, Гаура Мика, Рнић и Мејлановић. Сва четири каптирана врела имају различите режиме истицања, који су последица различитих кота истицања и величине канала којима се подземне воде крећу и које дренирају врела, а тиме долази и до различитих брзина пропагације падавина, што узрокује различите промене мутноће у врелима (Pešić, 2015). Мерењем збирних количина воде са каптажа Гаура Маре и Гаура Мика и збирних вода са каптажа Рнић и Мејлановић, постиже се, да се комбинацијом каптираних извора који имају најмању мутноћу воде добија потребна количина воде на Злотском изворишту, а која у датом тренутку има најнижу мутноћу.

У Табели 10 су приказани резултати измерених максималних и минималних вредности мутноће воде у периоду од 06.08.2013. до 03.11.2014. године. Карактеристика овог



изворишта је да се мутноћа јавља нагло, после једног до два дана падне до вредности између 1 и 2 NTU, и затим се у овом опсегу може задржати чак и две до три недеље.

У периоду од 06.08.2013 до 03.11.2014. године вредности мутноће кретале су се у распону од минимално забележених 0,31 NTU до максимално забележене вредности од 16,20 NTU. У појединим периодима вредност мутноће је била константно повишена. Забележено је да је у периоду од 01.10. до 08.10.2013. године мутноћа била константно повишена са максимумом од 2,23 NTU, потом од 25.11-02.12.2013. са максимално забележених 4,11 NTU, у периоду од 10.02-24.03.2014. максимално је измерено 7,69 NTU. Два периода у којима су забележене максималне вредност мутноће су 21.04- 30.06.2014. када је измерено 16,2 NTU и 28.07-04.08.2014. када је максимум био 11,50 NTU. У периоду 15.09-22.09.2014. забележена је и трећа максимална вредност мутноће од 10,15 NTU.

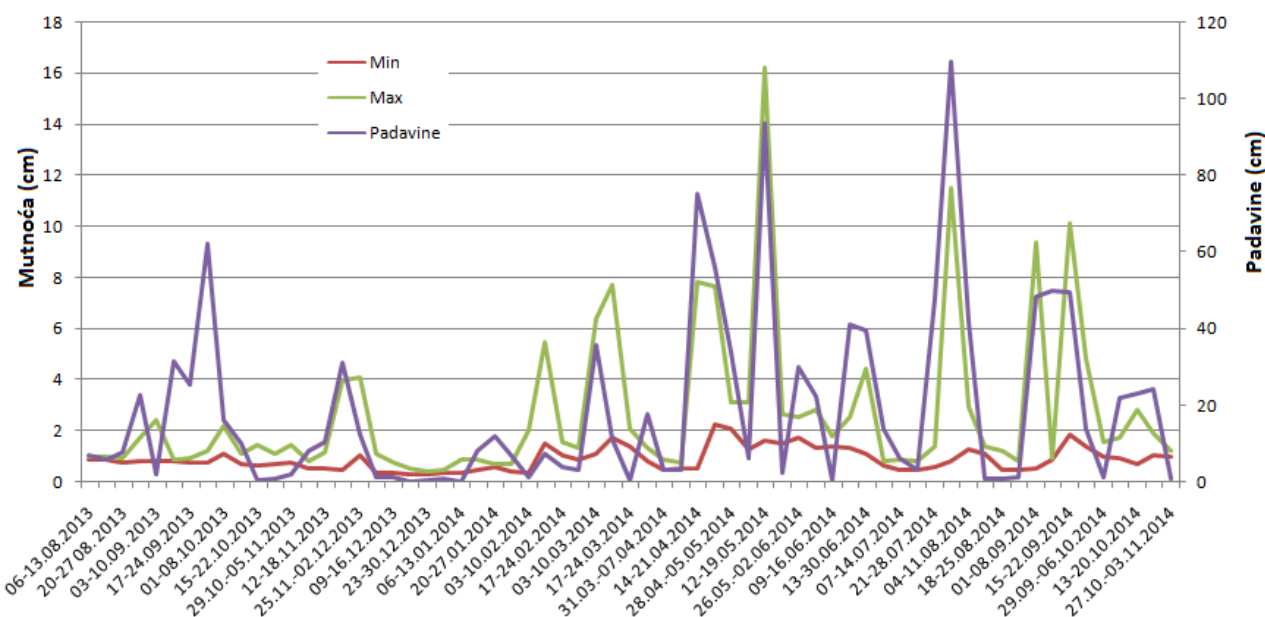
Табела 10. Вредности мутноће и количине падавина на изворишту Злот за период 06.08.2013. године - 03.11.2014. године

Период	Мутноћа (NTU)		Падавине (mm)
	Мин.	Макс.	
06-13.08.2013.	0,87	1,01	6,8
13-20.08.2013.	0,87	0,99	5,9
20-27 08. 2013.	0,80	0,95	7,5
27-03.09.2013.	0,84	1,74	22,6
03-10.09. 2013.	0,83	2,41	1,9
10-17.09.2013.	0,81	0,91	31,4
17-24.09.2013.	0,76	0,95	25,2
24.09-01.10.2013.	0,78	1,26	62,1
01-08.10.2013.	1,11	2,23	16,0
08-15.10.2013.	0,72	1,13	9,9
15-22.10.2013.	0,63	1,46	0,4
22-29.10.2013.	0,70	1,09	0,9
29.10.-05.11.2013.	0,77	1,46	1,9
05-12.11.2013.	0,56	0,86	7,9
12-18.11.2013.	0,57	1,20	10,2
18-25.11.2013.	0,51	4,01	31,0
25.11.-02.12.2013.	1,09	4,11	12,2
02-09.12.2013.	0,39	1,1	1,1
09-16.12.2013.	0,37	0,77	1,0
16-23.12.2013.	0,33	0,52	0,1
23-30.12.2013.	<b>0,31</b>	0,43	0,5

31-06.01.2014.	0,34	0,46	0,6
06-13.01.2014.	0,38	0,91	0,0
13-20.01.2014.	0,49	0,87	8,1
20-27.01.2014.	0,59	0,74	11,9
27.01.-03.02.2014.	0,44	0,74	7,0
03-10.02.2014.	0,38	2,01	1,1
10-17.02.2014.	1,52	5,50	7,3
17-24.02.2014.	1,04	1,59	3,8
24.02.-03.03.2014.	0,89	1,32	3,2
03-10.03.2014.	1,14	6,40	35,8
10-17.03.2014.	1,73	7,69	11,2
17-24.03.2014.	1,40	2,11	0,3
24-31.03.2014.	0,83	1,36	17,8
31.03.-07.04.2014.	0,50	0,90	3,2
07-14.04.2014.	0,54	0,76	3,2
14-21.04.2014.	0,56	7,82	75,3
21-28.04.2014.	2,28	7,65	56,0
28.04.-05.05.2014.	2,11	3,13	33,9
05-12.05.2014.	1,32	3,11	6,1
12-19.05.2014.	1,62	<b>16,20</b>	93,6
19-26.05.2014.	1,55	2,69	2,2
26.05.-02.06.2014.	1,78	2,58	30,0
02-09.06.2014.	1,38	2,86	22,1
09-16.06.2014.	1,42	1,79	0,4
16-23.06.2014.	1,37	2,53	41,1
13-30.06.2014.	1,11	4,42	39,4
30.06.-07.07.2014.	0,65	0,84	13,9
07-14.07.2014.	0,47	0,89	6,3
14-21.07.2014.	0,47	0,81	3,1
21-28.07.2014.	0,62	1,38	47,8
28.07.-04.08.2014.	0,86	11,50	109,8
04-11.08.2014.	1,30	2,96	41,8
11-18.08.2014.	1,14	1,41	0,6
18-25.08.2014.	0,49	1,23	0,6
25.08-01.09.2014.	0,48	0,81	1,3
01-08.09.2014.	0,55	9,38	48,5

08-15.09.2014.	0,90	0,96	49,8
15-22.09.2014.	1,85	10,15	49,4
22-29.09.2014.	1,39	4,87	13,7
29.09.-06.10.2014.	1,01	1,60	1,2
06-13.10.2014.	0,94	1,73	21,7
13-20.10.2014.	0,72	2,83	23,1
20-27.10.2014.	1,04	1,90	24,2
27.10.-03.11.2014.	0,98	1,23	0,7

Повишене вредности мутноће могу да се доведу у везу са дужим периодима великих количина падавина, које су у 2014. години изазвале велике поплаве у целој земљи, па тако и на истраживаном изворишту. Период са највећом количином укупних падавина је био од 13.05. до 19.05.2014. године, када је забележено 95,7 mm воденог талога, али и периоди пре и после овог периода максимума бележе велике количине падавина (од 15.04. до 22.04.2014. године укупно је пало 90,7 mm воденог талога; у периоду од 25.05. до 02.06.2014. године пало је укупно 53,5 mm талога; од 28.07. до 02.08.2014. године пало је 109,6 mm воденог талога). На Слици 16 дат је упоредни приказ екстремних вредности мутноће у корелацији са падавинама, као параметром који изазива повећање мутноће воде.

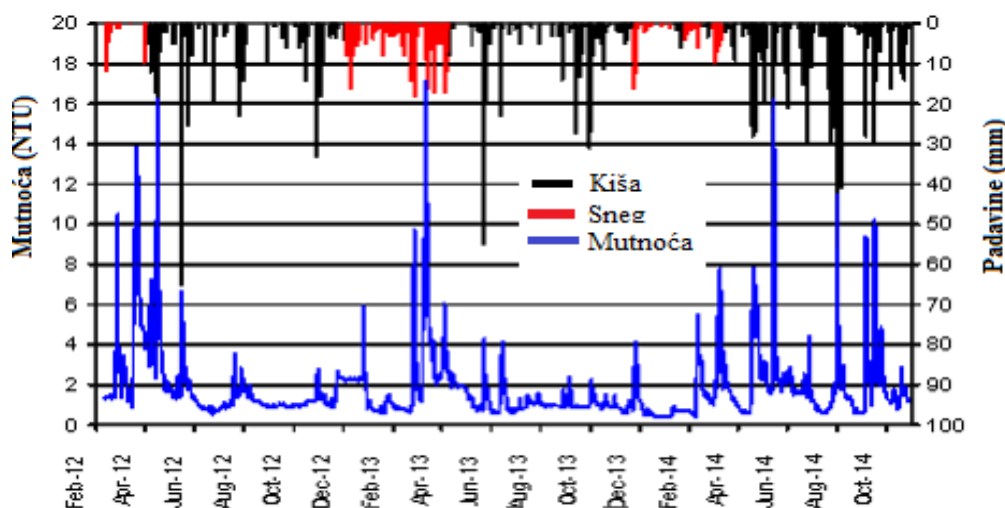


Слика 16. Приказ мутноће на изворишту Злот и количине падавина за период 06.08.2013. године - 03.11.2014. године

На основу Слике 16 може се закључити, да се промена вредности мутноће воде у Злотском изворишту одиграва са временским кораком од 0 - 1 дана у односу на периоде са падавинама и да су максималне вредности мутноћа воде везане у највећој мери за пролећне месеце. Са Слике 16 се уочава и да је у периоду до новембра 2013. године било интензивних

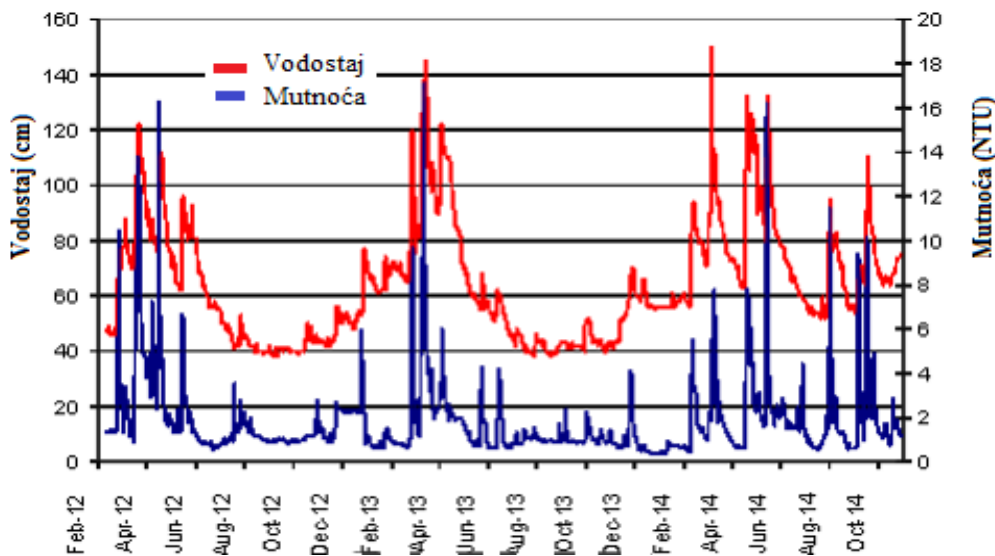
падавина, али да мутноћа воде није била повишена као у интервалима који су бележени у каснијим периодима. Узрок мање појаве мутноће у односу на већу количину падавина је највероватније условљен чињеницом да се те падавине нису инфилтрирале у подземне слојеве земљишта, већ су делом умањене због процеса испаравања, а делом услед површинских отицаја.

Као и код анализе водостаја у функцији режима падавина, тако и код анализе мутноће у функцији режима падавина, за цео испитивани период (фебруар 2012. године - октобар 2014. године), јасно је видљива сагласност пикова мутноће (који понекад прелазе вредности и преко 16 NTU) и максималних дневних падавина (Слика 17). У појединим случајевима (фебруар/април 2012. године) долази до појаве наглих скокова вредности мутноћа, и то у време одсуства падавина. Ово се свакако може објаснити наглим отапањем снежног покривача, који се током зимских месеци задржава на сливној површини коју дренарају истраживана каптирана врела.



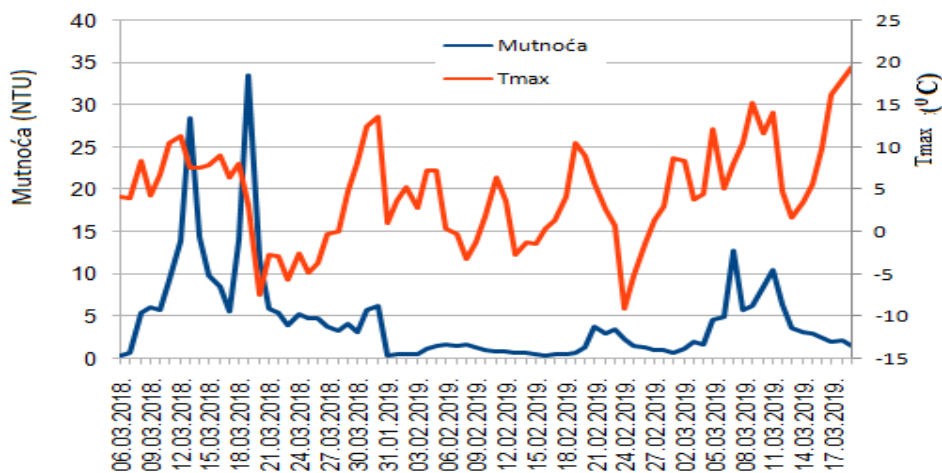
Слика 17. Упоредни дијаграм количине падавина (снег и киша) и мутноће изворишта Злот за период фебруар 2012. године - октобар 2014. године

У складу са претходним констатацијама, скоро истовремена је појава максималних вредности водостаја и забележених вредности мутноћа. На Слици 18 је приказан упоредни дијаграм ових појава, за истраживани период: фебруар 2012. године - октобар 2014. године.

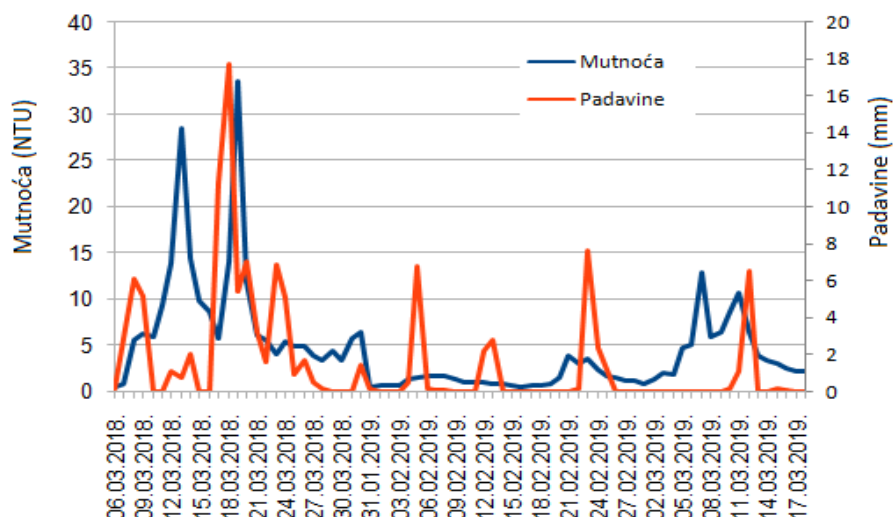


Слика 18. Упоредни дијаграм водостаја реке Бељевине и мутноће Злотског изворишта за период фебруар 2012. године - октобар 2014. године

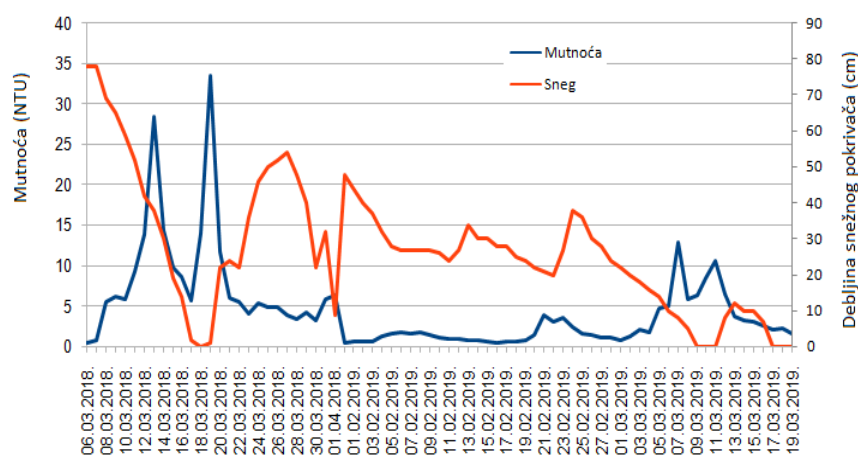
На основу података из Табела 8 и 9 на Сликама 19.-21 је приказан утицај температуре, падавина и дебљине снежног покривача на мутноћу Злотског изворишта за периоде 06.03.-30.03.2018. и 31.01. - 17.03. 2019. године. У марту месецу 2018. године, са повећањем температуре ваздуха, која је била изнад просечних вредности за то доба године, снег је почео нагло да се топи, што је довело до повећања мутноће воде. Резултати анализе показали су да је режим мутноће, као и водостаја Бељевинске реке условљен плувиографским режимом. Максималне вредности измерене су након неколико сунчаних дана.



Слика 19. Дијаграм зависности мутноће воде и температуре ваздуха Злотског изворишта за периоде 06.03.- 30.03.2018. године и 31.01. - 17.03. 2019. године



Слика 20. Дијаграм зависности мутноће воде Злотског изворишта и количине падавина за периоде 06.03.- 30.03.2018. године и 31.01. - 17.03. 2019. године

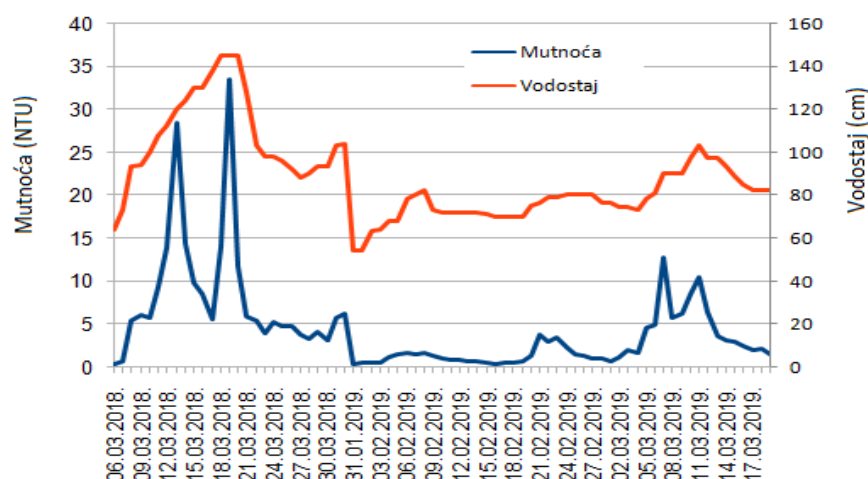


Слика 21. Дијаграм зависности мутноће воде Злотског изворишта и дебљине снежног покривача за периоде 06.03.- 30.03.2018. године и 31.01. - 17.03. 2019. године

Пикови мутноће (Слика 19) имају временски помак за два до три дана у односу на пикове на графику за температуру ваздуха, док се отапање снега дешава истовремено са повећањем температуре. На изворишту се након два дана појављује највећа количина воде узрокована процесом топљења снега (Слика 21). Ово је и разумљиво, обзиром да се ради о планинским пределима, где се “високе” температуре у току дана задржавају само пар сати, тако да се количина отопљеног снега, која изазива повећање мутноће на изворишту јавља два дана касније у односу на почетак отапања снега.

На основу Сlike 20 се закључује да су највећи пикови мутноће у данима када су забележене кишне падавине. Временски помак пикова мутноће је 0-1 дана у односу на пикове падавина. Највеће вредности мутноће су забележене када је киша била истовремена појава са отапањем снега.

Са Сlike 22 може се закључити да су пикови водостаја Бељавинске реке и мутноће изворишта Злот истовремени, при чему су пикови на графику мутноће изразитији, што говори о томе да испитивани климатски параметри узрокују нагле промене у мутноћи воде изворишта Злот, а умереније порасте водостаја Бељавинске реке. У 2019. години била је мања дебљина снежног покривача и снег се спорије топио тако да је мутноћа била мања.



Слика 22. Дијаграм зависности мутноће воде изворишта Злот и водостаја Бељавинске реке за периоде 06.03.- 30.03.2018. године и 31.01. - 17.03. 2019. године

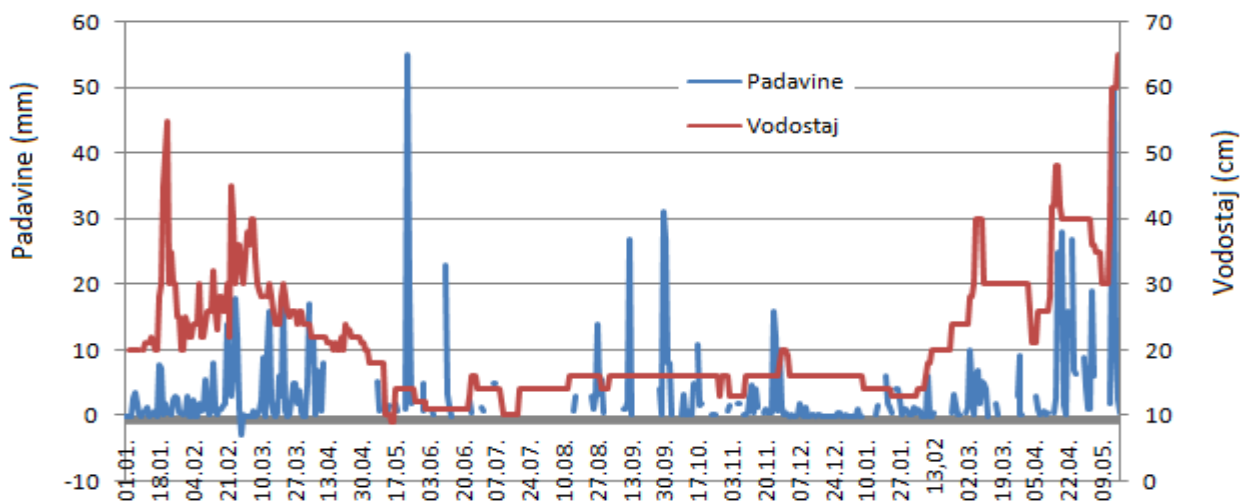
#### 6.4. Анализа утицаја падавина и отапања снега на водостај Сурдупског потока и мутноћу воде изворишта Сурдуп

Сурдупски поток има повремени ток који понире у периодима без падавина. Међутим, у периодима интензивних дуготрајних падавина, када је укупни капацитет понирања падавина мањи, од количина вода које се формирају у кориту Сурдупског потока, и након прихватања вода изворишта Сурдуп, он постаје стални ток.

Извориште Сурдуп се такође, као и Злотско извориште, налази у кречњачким масивима и мутноћа воде на изворишту зависи од плувиографског режима. Међутим, ова вода може да има изузетно велике вредности мутноће, преко 30 NTU, при чему је једном забележена и мутноћа од 100 NTU јединица. За разлику од Злотског изворишта, мутноћа на изворишту Сурдуп брже пада на вредности испод 1 NTU јединице.

#### 6.4.1. Анализа утицаја падавина и отапања снега на водостај Сурдупског потока

Као што је речено, током периода дуготрајних обилних киша, укупни капацитет понирања падавина мањи је од количине воде формиране у кориту Сурдупског потока. Као резултат тога, овај поток је у већем делу године ефемерни ток и постаје стални ток, након што прими воду из каптираног изворишта Сурдуп. Тачније, збир свих вода које отичу из зоне изворишта Сурдуп скупљају се на мерном месту „Капија“ које уједно представља и најнизводније преливно место.



Слика 23. Упоредни дијаграм водостаја Сурдупског потока и количине падавина за период 01.01.2013. године - 18.05.2014. године

На основу дијаграма приказаног на Слици 23 може се рећи, да веће количине падавина утичу на повећање протицаја Сурдупског потока. Такође, са Сlike 23 се види, да највеће пикове на слици представљају водостаји Сурдупског потока у дужим временским периодима са падавинама. Највећи пик за количину падавина забележену 23.05.2013. године није изазвао и највећи пик на графику водостаја, обзиром да су јаке падавине биле само тог дана, а претходио је дужи период био без падавина. Може се закључити, да кише слабијег интензитета и дужег трајања, утичу на повећање водостаја. Важно је напоменути, да у периодима када се извориште Сурдуп не користи за водоснабдевање или ради смањеним капацитетом, сва вода из њега иде у Сурдупски поток, тако да ниво воде у потоку зависи како од падавина, тако и од експлоатације самог изворишта.

У Табели 11 су дати подаци измерених количина падавина, температуре ваздуха, дебљине снежног покривача, водостаја Сурдупског потока и мутноће изворишта Сурдуп, у периоду отапања снежног покривача, у периоду март-април 2018. године. У марту месецу са повећањем температуре ваздуха, која је била изнад просечних вредности за ово доба године, снег је почео нагло да се топи, што је довело до повећања мутноће, при чему су вредности прелазиле 40 NTU јединица. Највеће вредности мутноће су биле када су и температуре



ваздуха биле највеће. У Табели 12 приказани су резултати мерења температуре ваздуха, падавина, дебљине снежног покривача, мутноће изворишта Сурдуп и водостаја Сурдупског потока, у периоду фебруар-март 2019. године. На основу података за 2019. годину када је зима била блажа у односу на претходну испитивану 2018. годину, зависности испитиваних параметара нису изражене.

Табела 11. Вредности температура ваздуха, водостаја Сурдупског потока, мутноће изворишта Сурдуп падавина и дебљине снежног покривача за период март-април 2018. године

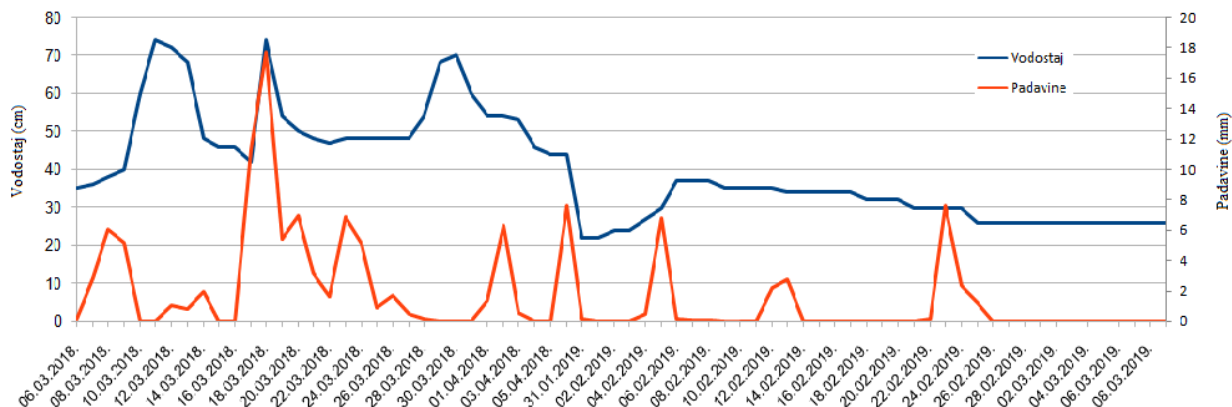
Датум	Мутноћа (NTU)	Сурдупски поток (cm)	Температура ваздуха, max (°C)	Падавине (mm)	Дебљина снежног покривача (cm)	Временске прилике
06.03.2018.	1,75	35	4,20	0,2	78	киша
07.03.2018.	1,65	36	4,00	2,9	78	киша
08.03.2018.	42,2	38	8,40	6,1	69	киша
09.03.2018.	43,1	40	4,30	5,2	65	киша
10.03.2018.	22,2	60	6,80	0	59	сунчано
11.03.2018.	30,02	74	10,50	0	52	сунчано
12.03.2018.	22,9	72	11,40	1,1	42	киша
13.03.2018.	19,1	68	7,60	0,8	38	облачно
14.03.2018.	9,28	48	7,50	2,0	30	облачно
15.03.2018.	7,54	46	7,90	0	19	сунце
16.03.2018.	4,37	46	9,10	0	14	облачно
17.03.2018.	4,02	42	6,40	11,3	2	киша
18.03.2018.	11,50	74	8,00	17,7	0	киша
19.03.2018.	9,18	54	3,20	5,4	1	снег
20.03.2018.	3,56	50	-7,40	7,0	22	облачно
21.03.2018.	3,29	48	-2,70	3,2	24	снег
22.03.2018.	2,89	47	-2,90	1,6	22	снег
23.03.2018.	2,71	48	-5,60	6,9	36	облачно
24.03.2018.	2,39	48	-2,60	5,1	46	облачно
25.03.2018.	2,52	48	-4,90	0,9	50	облачно
26.03.2018.	2,20	48	-3,70	1,7	52	слаба киша
27.03.2018.	3,26	48	-0,30	0,5	54	киша
28.03.2018.	5,25	54	0,10	0,2	48	киша
29.03.2018.	4,31	68	4,80	0	40	сунчано
30.03.2018.	12,36	70	8,30	0	22	сунчано
31.03.2018.	5,06	60	12,40	0	32	облачно
01.04.2018.	4,14	54	13,60	1,4	9	киша
02.04.2018.	2,99	54	6,4	6,3	1	киша
03.04.2018.	2,11	53	6,7	0,6	0	сунчано
04.04.2018.	1,67	46	14,9	0,0	0	сунчано
05.04.2018.	1,57	44	19,9	0,0	0	сунчано
06.04.2018.	1,52	44	19,5	7,6	0	киша

Табела 12. Вредности температура ваздуха, водостаја Сурдупског потока, мутноће изворишта Сурдуп падавина и дебљине снежног покривача за период фебруар-март 2019. године

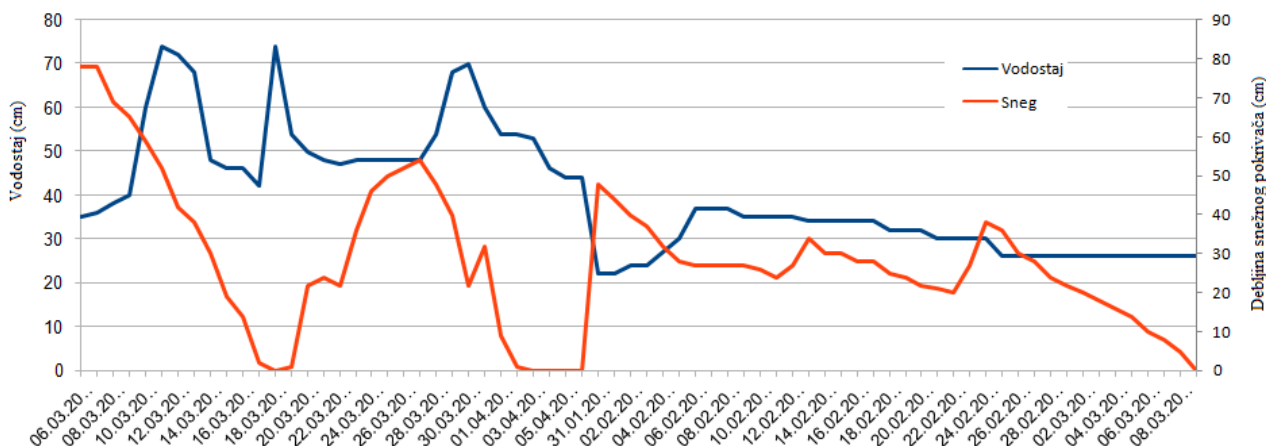
Датум	Мутноћа (NTU)	Сурдупски поток (cm)	Температура ваздуха max (°C)	Падавине (mm)	Дебљина снежног покривача (cm)	Временске прилике
31.01.2019.	0,48	22	1,0	0,2	48	облачно
01.02.2019.	0,57	22	3,6	0,0	44	облачно
02.02.2019.	0,43	24	5,2	0,0	40	облачно
03.02.2019.	0,57	24	2,8	0,0	37	сунчано
04.02.2019.	2,64	27	7,3	0,5	32	киша
05.02.2019.	7,77	30	7,3	6,8	28	киша
06.02.2019.	22,4	37	0,4	0,2	27	киша
07.02.2019.	13,90	37	-0,2	0,1	27	киша
08.02.2019.	2,48	37	-3,2	0,1	27	облачно
09.02.2019.	1,15	35	-1,3	0,0	27	сунчано
10.02.2019.	1,02	35	1,9	0,0	26	сунчано
11.02.2019.	0,85	35	6,4	0,0	24	облачно
12.02.2019.	0,75	35	3,7	2,2	27	снег
13.02.2019.	0,98	34	-2,8	2,8	34	облачно
14.02.2019.	0,77	34	-1,2	0,0	30	сунчано
15.02.2019.	0,65	34	-1,5	0,0	30	сунчано
16.02.2019.	0,62	34	0,3	0,0	28	сунчано
17.02.2019.	0,52	34	1,3	0,0	28	сунчано
18.02.2019.	0,43	32	4,2	0,0	25	сунчано
19.02.2019.	0,40	32	10,5	0,0	24	сунчано
20.02.2019.	0,39	32	9,0	0,0	22	сунчано
21.02.2019.	0,47	30	5,7	0,0	21	сунчано
22.02.2019.	0,41	30	2,7	0,2	20	облачно
23.02.2019.	0,45	30	0,7	7,6	27	снег
24.02.2019.	0,48	30	-9,1	2,4	38	сунчано
25.02.2019.	0,46	26	-5,2	1,2	36	сунчано
26.02.2019.	0,38	26	-1,5	0,0	30	сунчано
27.02.2019.	0,41	26	1,4	0,0	28	сунчано
28.02.2019.	0,37	26	3,0	0,0	24	сунчано
01.03.2019.	0,40	26	8,7	0,0	22	сунчано
02.03.2019.	0,35	26	8,4	0,0	20	сунчано
03.03.2019.	0,33	26	3,8	0,0	18	сунчано
04.03.2019.	0,29	26	4,5	0,0	16	сунчано
05.03.2019.	0,33	26	12,1	0,0	14	облачно
06.03.2019.	0,30	26	5,1	0,0	10	сунчано
07.03.2019.	0,40	26	8,1	0,0	8	сунчано
08.03.2019.	0,30	26	10,5	0,0	5	сунчано
09.03.2019.	0,29	26	15,3	0,0	0	сунчано

На Сликама 24-26 приказана је зависности водостаја Сурдупског потока у функцији режима падавина, дебљине снежног покривача и температуре ваздуха, за ове истраживане временске периоде (март-април 2018. године и фебруар-март 2019. године).

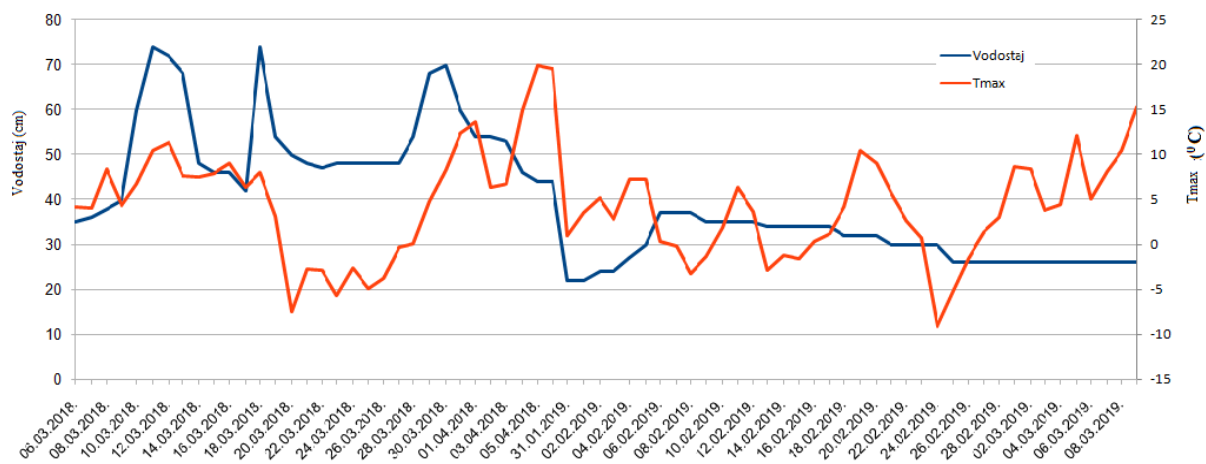
На основу података може се рећи да је за период март-април 2018. године евидентан утицај отапања снега на водостај Сурдупског потока, који нагло расте услед повећања температуре ваздуха. Приликом постојања одређене дебљине снежног покривача, уочен је значајнији утицај температуре од саме дебљине снежног покривача. Најзначајнији пораст водостаја је при вредности температура од 10 до 11,5°C, док се при нижим температурама дебљина снежног покривача смањивала за око 10 cm, а при вишим је то било око 6 cm дневно. Може се рећи, да је у почетку један део отопљеног снега одлазио у земљиште, обзиром да се по температурама види да оно није смрзнуто, а да након засићења земљишта влагом, сва отопљена количина снега одлази у воду, како површинску, тако и подземну.



Слика 24. Приказ водостаја Сурдупског потока и количине падавина за периоде март-април 2018. године и фебруар-март 2019. године



Слика 25. Приказ водостаја Сурдупског потока и дебљине снежног покривача за периоде март-април 2018. године и фебруар-март 2019. године



Слика 26. Приказ водостаја Сурдупског потока и температуре ваздуха за периоде март-април 2018. године и фебруар-март 2019. године

Пикови на графику за водостај Сурдупског потока (Слика 26) су забележени 11.03.2018. године, када је измерена максимална температура ваздуха, 18.03.2018. године - када су такође биле високе температуре за ово доба године, али и када се сав снег отопио и један мањи пик, који је забележен 30.03.2018. године, када је била виша температура од уобичајене и када је почео да се отапа снег који је у међувремену нападао.

У току зиме 2018/ 2019 године формиран је мањи снежни покривач у односу на зиму 2017/2018 године. Температуре ваздуха су биле ниже, краће се задржао снежни покривач, а самим тим је и водостај Сурдупског потока био мањи. У овако умереној зими водостај скоро да није имао промену, изузев једног мањег пика на почетку периода отапања снега.

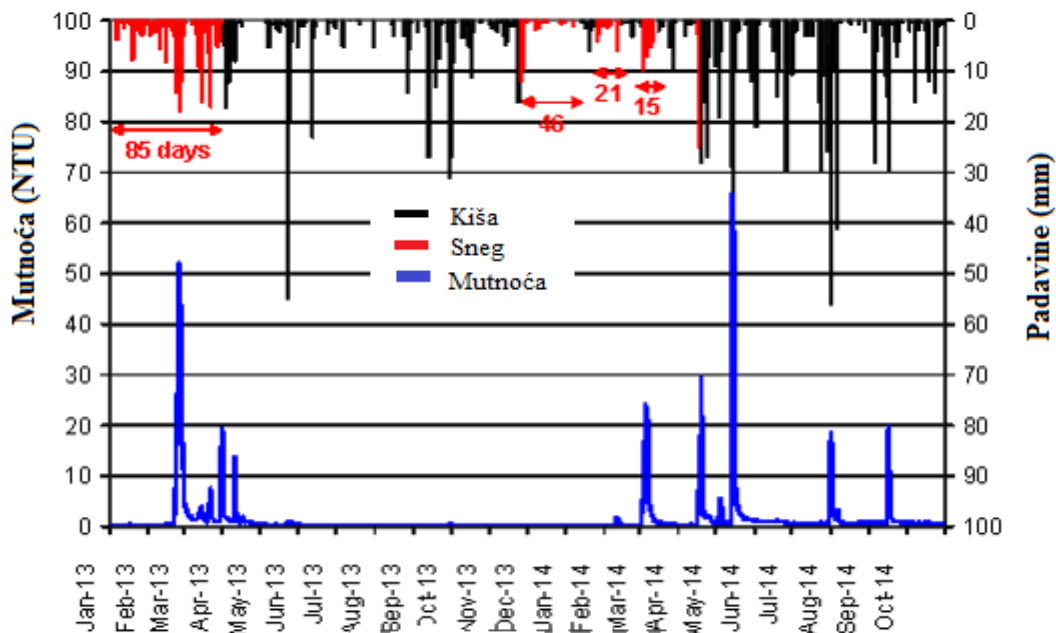
#### 6.4.2. Анализа утицаја падавина и отапања снега на мутноћу воде изворишта Сурдуп

У току периода истраживања, мутноћа на изворишту Сурдуп, од вредности испод 1 NTU може у току само пар сати може достићи вредности преко 60 NTU. У оваквим ситуацијама, каптирано извориште се искључује из водоводне мреже, до тренутка када вредности мутноће поново не буду у опсегу вредности које су Законом прописане.

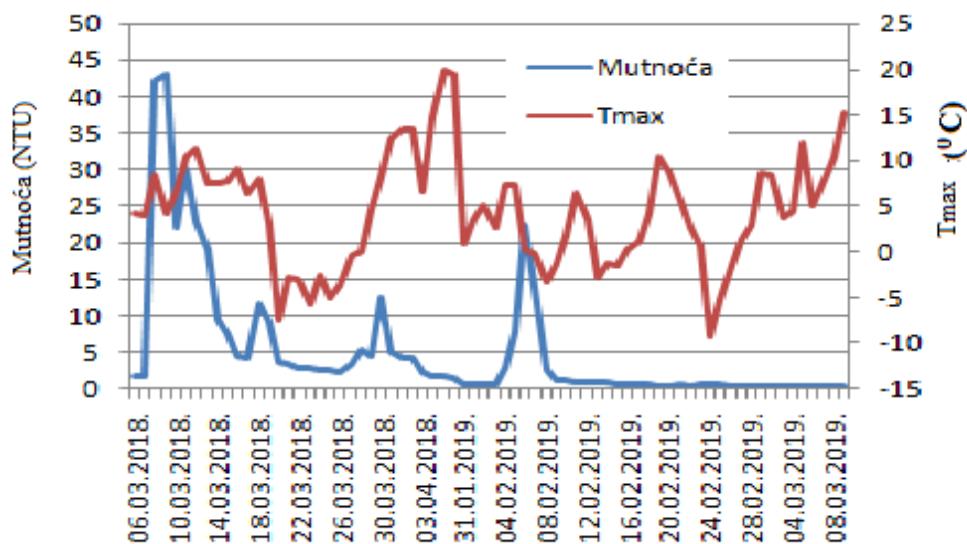
Анализа режима средњих дневних вредности мутноће на изворишту Сурдуп у зависности од падавина, урађена је за период јануар 2013 - октобар 2014. Средње дневне вредности мутноће кретале су се у распону од минималне вредности од 0,15 NTU, до максималне вредности од 8,83 NTU која је измерена 10.12.2014. године. У појединим периодима је забележена константна повишена вредност мутноће, али никад дуже од недељу дана. Такође, овакви периоди су ретки.

На Слици 27 дат је упоредни дијаграм режима мутноће и плувиографског режима за посматрани период, јануар 2013 - октобар 2014. На основу слике 27 може се закључити да је током 2013. године била повећана мутноћа само током почетка календарске године. Први, најизраженији пик, који се јавио у фебруару 2013. је настао као резултат отапања снежног

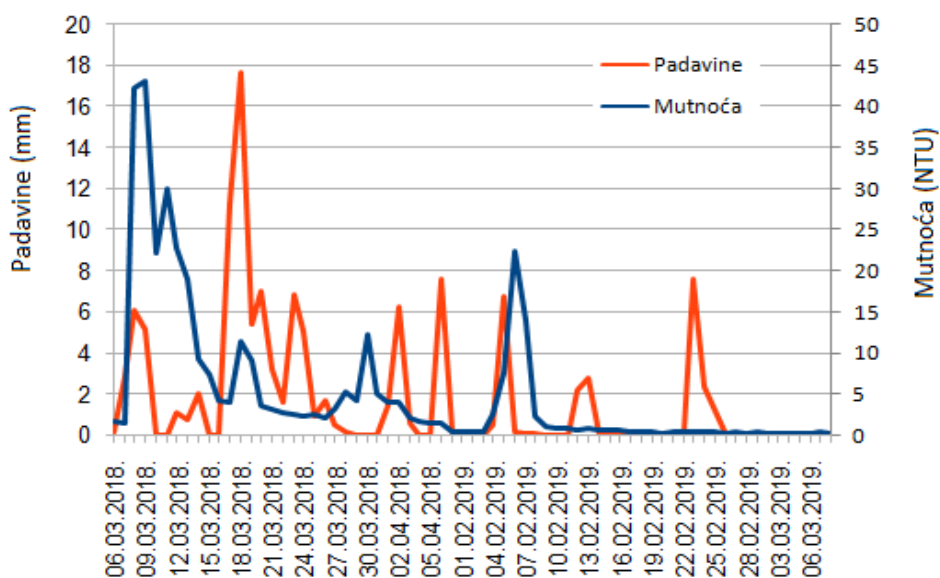
покривача, док су наредна три, мање изражена пика, резултат отапања преосталог снежног покривача и априлских падавина, киша. Током преосталог дела године (мај-децембар) није било повећања замућења карстног изворишта Сурдуп, а разлог је свакако чињеница, да је 2013. година била сушна година. Након 2013. године, прво јаче замућење изворишта Сурдуп јавило се тек почетком марта 2014. године и резултат је отапања снежног покривача. Друго замућење које се јавило средином априла, било је резултат отапања краткотрајно задржаног снежног покривача и истовремене појаве пролећних киша. Треће замућење које је достигло вредност од преко 60 NTU, као и преостала два која су се јавила касније (почетак августа и средина септембра), су резултат интензивних дуготрајних падавина карактеристичних за кишну и поплавну 2014. годину.



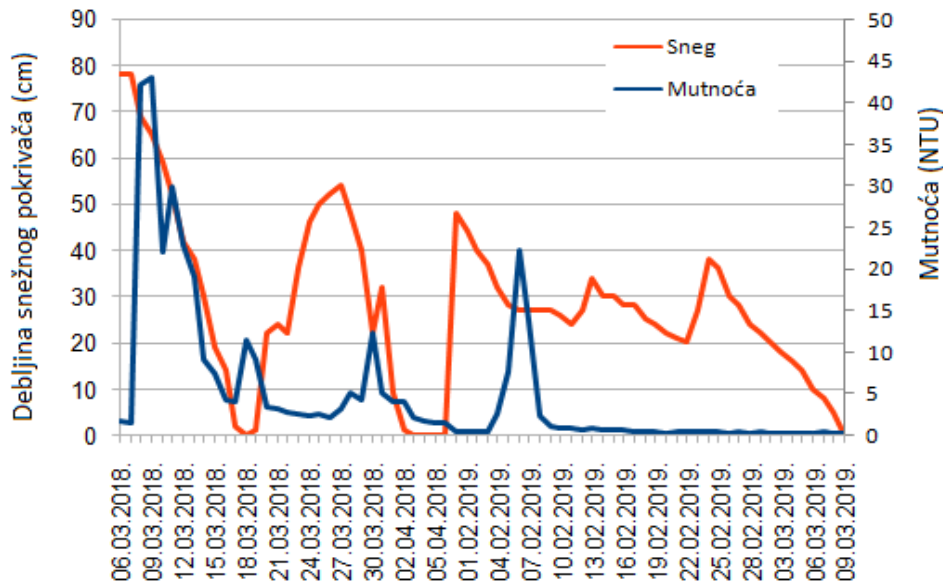
Слика 27. Упоредни дијаграм промене мутноће изворишта Сурдуп и количине падавина за период јануар 2013.године - октобар 2014. године



Слика 28. Дијаграм зависности мутноће воде изворишта Сурдуп и температуре ваздуха за периоде март-април 2018. године и фебруар-март 2019. године



Слика 29. Дијаграм зависности мутноће воде изворишта Сурдуп и количине падавина за периоде март-април 2018. године и фебруар-март 2019. године



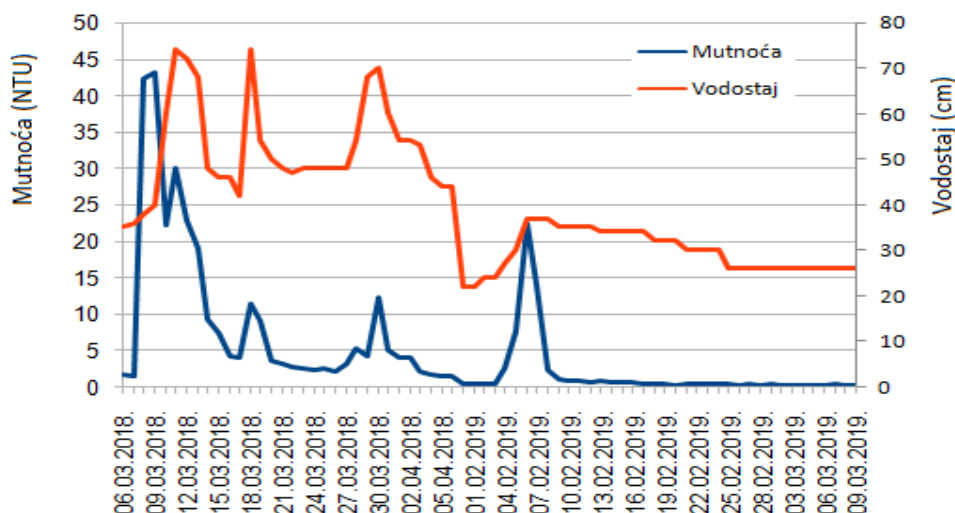
Слика 30. Дијаграм зависности мутноће воде изворишта Сурдуп и дебљине снежног покривача за периоде март-април 2018. године и фебруар-март 2019. године

На Сликама 28, 29 и 30, дати су прикази вредности мутноће воде изворишта Сурдуп у функцији промена вредности температуре ваздуха, падавина и дебљине снежног покривача, за март-април месец 2018. и фебруар-март 2019. године.

У периоду март-април 2018. године пикови на графику мутноће имају временски помак за два или три дана у односу на пикове на графику температуре ваздуха (Слика 28), док се отапање снега дешава истовремено са повећањем температуре ваздуха истраживаног подручја. На изворишту се након два дана јављала већа количина воде, као последица отапања снега, која је утицала на повећање мутноће у марту 2018. године (Слика 30). На основу Сlike 29 се закључује да су највећи пикови мутноће у данима када су забележене кишне падавине у периоду март-април 2018. године. Временски помак пикова мутноће је 0-1 дана у односу на пикове на графику падавина у 2018. години

Међутим, у 2019. години нема уочљиве зависности мутноће воде изворишта Сурдуп са променама температуре ваздуха, падавинама и отапањем снежног покривача. (Сlike 28 - 30). Обзиром да је ово била умеренија зима, са снежним покривачем мање дебљине и краћим периодом са снежним падавинама, ови подаци који су преузети са климатске станице Црни Врх која се налази на супротној страни од испитиваног подручја изворишта Сурдуп и Сурдупски поток, нису били најмеродавнији подаци за анализу која се спроводи у овим истраживањима.

На основу дијаграма приказаних на Сlici 31, може се рећи, да су промене у мутноћи воде изворишта Сурдуп и водостаја потока Сурдуп, за периоде: март-април 2018. године и фебруар-март 2019. године, истовремене појаве.



Слика 31. Дијаграм зависности водостаја Сурдупског потока и мутноће изворишта Сурдуп за периоде март-април 2018. године и фебруар-март 2019. године

### 6.5. Утицај мутноће воде на потрошњу $\text{KMnO}_4$

Резултати анализа воде у дистрибутивном систему града Бора за период од 2012. године до 2018. године, су показали, да је за време интензивних падавина (посебно у случају када су падавине трајале више дана) или приликом наглог отапања снега, ако замућене каптаже нису биле искључене из система водоснабдевања, замућена вода би доспела у дистрибутивни систем. У узорцима воде из дистрибутивног система код којих је детектована повећана вредност мутноће анализом је утврђена и повећана потрошња  $\text{KMnO}_4$  (Табела 13).

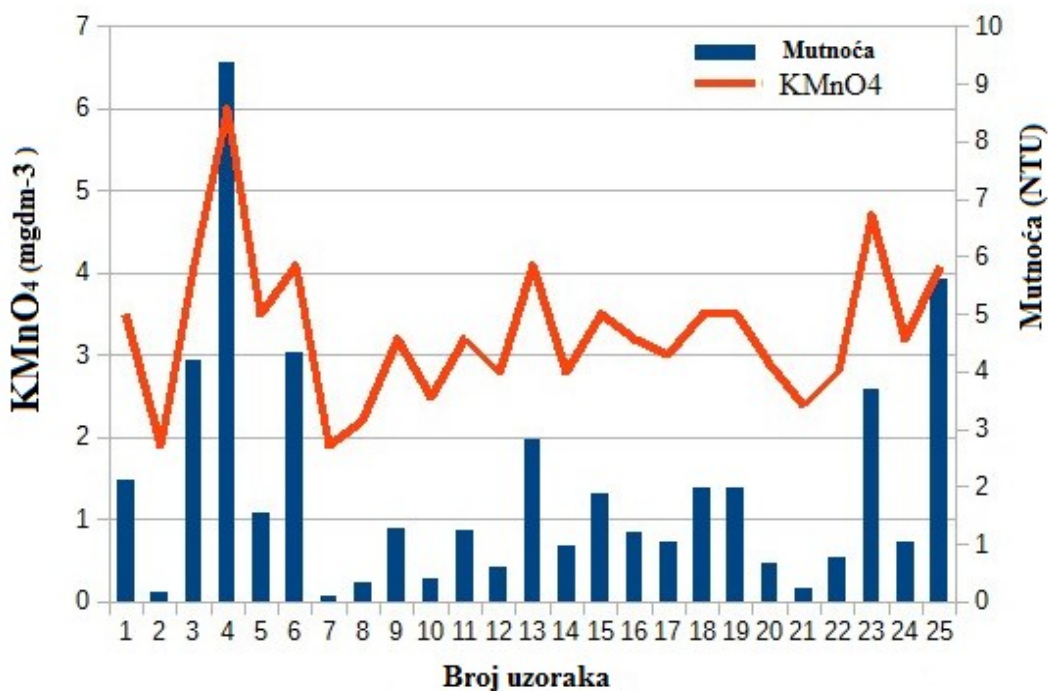
Када је мутноћа била мања од 1NTU (Законом прописана гранична вредност) ([Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće sl. 1. SRJ br. 42/98 i 44/99](#)), потрошња  $\text{KMnO}_4$  је била мања од  $3\text{mg/dm}^3$ , док је за мутноћу вода већу од 1 NTU потрошња  $\text{KMnO}_4$  била већа од  $3\text{mg/dm}^3$ . За мутноћу од 9,37 NTU, која је измерена 19.03.2013. године, перманганатни број је био 6. Законом прописана гранична вредност за потрошњу  $\text{KMnO}_4$  је  $8\text{mg/dm}^3$  у води за пиће. Међутим, довољно дуг мониторинг временских серија је показао, да су измерене знатно веће мутноће на Злотском изворишту, а које нису доспеле у дистрибутивни систем. Тако је 19.03.2018. године на изворишту измерена мутноћа од 33,5 NTU (Табела 8). Вода са мутноћом од 33,5 NTU садржи велику количину NOM, и уколико би доспела у дистрибутивни систем потрошња  $\text{KMnO}_4$  за овакав узорак воде би била далеко изнад прописане вредности.



Табела 13. Вредности мутноће воде и перманганатног броја у води дистрибутивног система Бора, у периоду 2012.године -2018. година

Редни број	Датум	Мутноћа воде (NTU)	Перманганатни број (утрошак $\text{KMnO}_4$ $\text{mg/dm}^3$ )
1.	27.02.2012.	2,1	3,5
2.	19.03.2012.	0,16	1,9
3.	27.02.2013.	4,2	4,1
4.	19.03.2013.	9,37	6,0
5.	29.05.2013.	1,54	3,5
6.	19.03.2014.	4,34	4,1
7.	03.07.2014.	0,11	1,9
8.	03.07.2014.	0,32	2,2
9.	20.08.2014.	1,28	3,2
10.	02.03.2015.	0,41	2,5
11.	02.03.2015.	1,23	3,2
12.	02.03.2015.	0,59	2,8
13.	30.03.2015.	2,81	4,1
14.	07.03.2016.	0,96	2,8
15.	07.03.2016.	1,86	3,5
16.	07.03.2016.	1,20	3,2
17.	13.03.2017.	1,05	3,0
18.	13.03.2017.	1,98	3,5
19.	21.03.2017.	1,98	3,5
20.	21.03.2017.	0,66	2,9
21.	05.02.2018.	0,24	2,4
22.	05.02.2018.	0,78	2,8
23.	09.03.2018.	3,68	4,7
24.	13.03.2018.	1,05	3,2
25.	29.03.2018.	5,6	4,1

На Слици 32 је приказан однос потрошње  $\text{KMnO}_4$  и мутноће воде у дистрибутивном систему Бора, за период 2012. година - 2018. година. На основу приказа на Слици 32, може се рећи да је сваки анализирани узорак који је имао повећану вредност мутноће, истовремено имао и повећану потрошњу  $\text{KMnO}_4$ .



Слика 32. Дијаграм утицаја мутноће воде на потрошњу  $\text{KMnO}_4$  у води дистрибутивног система Бора, за период 2012. година - 2018. година

## 6.6. Статистичка анализа података

У циљу сагледавања комплексног односа падавина и замућења, извршена је аутокорељациона и кроскорелаціона анализа за изворишта Злот и Сурдуп и одређивање Пирсоновог (*Pearson's*) коефицијента корелације. Одређивањем Спирмановог (*Spearman's*) коефицијента и коефицијента детерминације указано је на значај континуалног мониторинга квалитета воде као и на то у којој мери се замућења воде на извориштима и порасту водостаја могу објаснити падавинама и отапањем снега. Регресиони модели су коришћени за потребе симулације параметра квалитета карстних изданских вода - мутноћу.

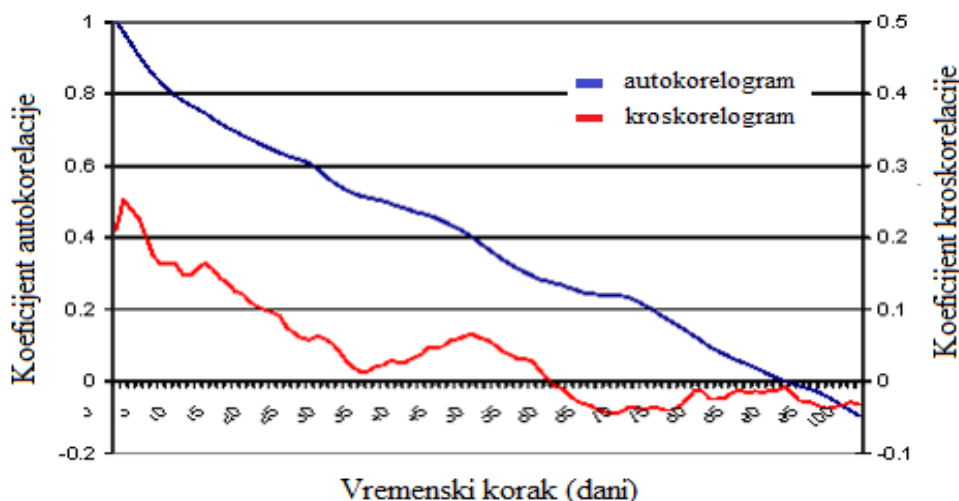
Спроведене су корелационе анализе за утицај падавина и отапања снежног покривача на режим Бељевинске реке и Сурдупског потока, затим утицај падавина и отапања снежног покривача на мутноћу Злотског изворишта и изворишта Сурдуп.

Приказане аутокорељационе и кроскорелаціона анализе указују на њихову значајност за анализу квантитативних и квалитативних параметара који су условљени режимом падавина, али указују и на значај мониторинга ових параметра у дужим временским интервалима. Са аспекта коришћења и управљања неким карстним водним ресурсом од изузетног је значаја познавања квантитативног и квалитативног статуса датог ресурса како на нивоу вишегодишњег периода тако и на нивоу једне године.

### 6.6.1. Аутокорелациона и кроскорелациона анализа водостаја Бељевинске реке и мутноће воде изворишта Злот

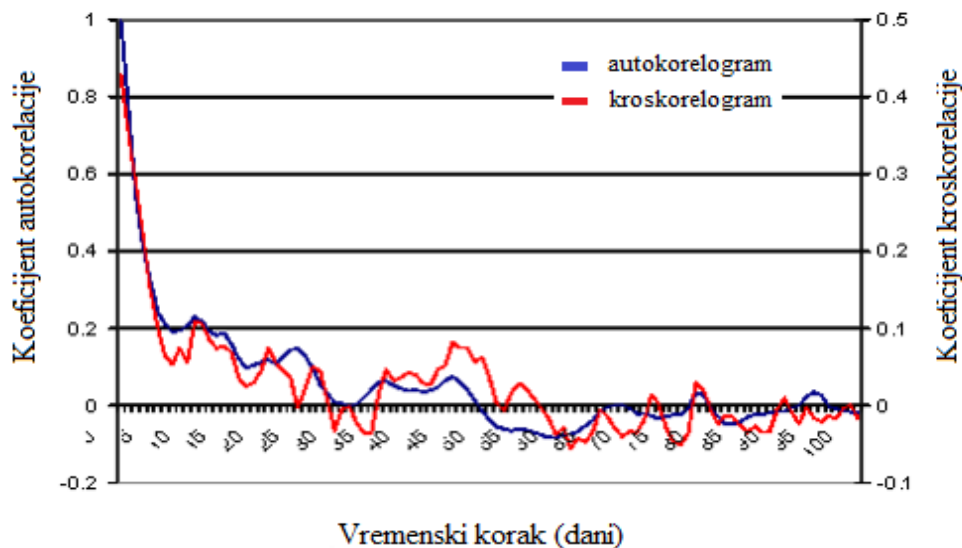
Корелационе анализе за одређивање Пирсоновог (*Pearson's*) коефицијента корелације, примењене су за укупан истраживани период (фебруар 2012. - октобар 2014. године), као и за хидролошку 2013. и 2014. годину.

Аутокорелациона и кроскорелациона анализа утицаја падавина на водостај Бељевинске реке за период фебруар 2012. - октобар 2014. године приказане су на слици 33. Максимални коефицијент кроскорелације између падавина и водостаја Бељевинске реке износи 0,25 за временски корак од 1 дана. Након тога коефицијент кроскорелације опада. Секундарни, мање изражен максимум јавља се након 50 дана ( $r = 0,06$ ) и он указује на закаснили утицај падавина које су се у виду снежног покривача задржале на сливу, да би након пролећног отапања снега утицале на пораст водостаја (Слика 33). Аутокорелограм показује да је меморија сливног подручја дуга до 72 дана ( $r = 0,2$ ). Ово је у великој мери последица сложеног режима Бељевинске реке.



Слика 33. Аутокорелограм и кроскорелограм водостаја Бељевинске реке за период фебруар 2012. године - октобар 2014. године

ACF и CCF су показале врло добро подударње утицаја падавина на мутноћу Злотског изворишта, са високим коефицијентом корелације након тестирања ( $r = 0,93$ ). Обе функције су указивале на брз одзив слива на падавине, јер је мутноћа воде на изворишту била скоро истовремена појава (Слика 34). Меморија овог система била је кратка, до 10 дана, што је показало да се након престанка узрочника (падавина) замућеност брзо смањила на Законом прописане вредности за дистрибуцију воде крајњим корисницима.

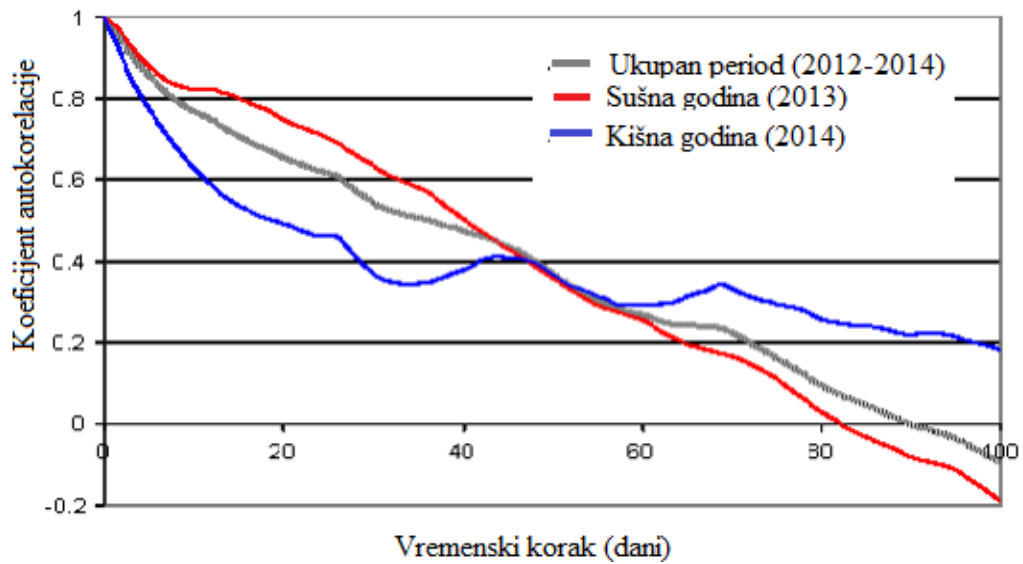


Слика 34. Аутокореелограм и кроскореелограм мутноће Злотског изворишта за период фебруар 2012. године- октобар 2014. године

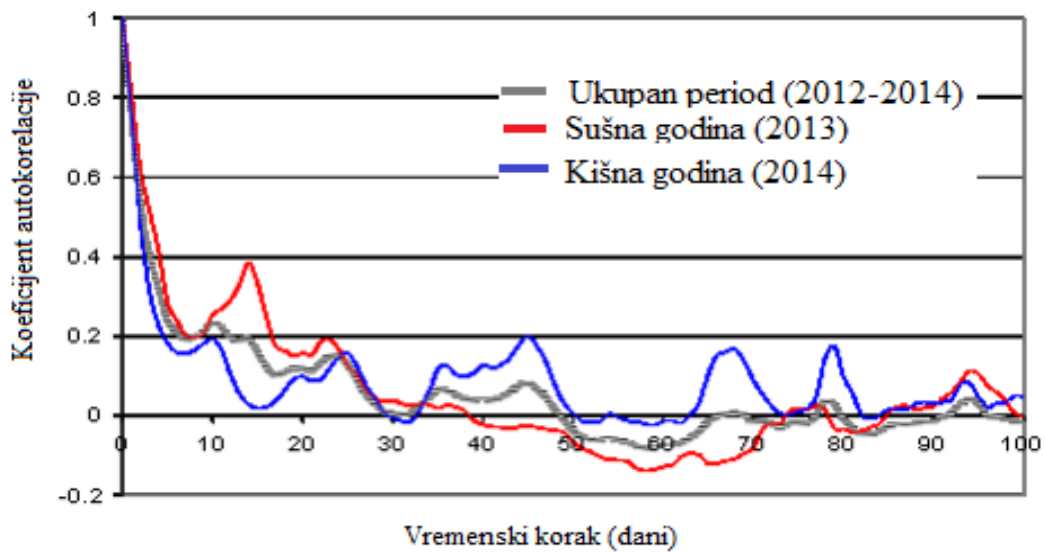
Аутокореелациона анализа водостаја реке Бељевине (Слика 35) показала је благо опадање АCF за сва три случаја (укупан период, сушна и кишна година). Меморија је дуга, за сушну годину износи 65 дана, за укупан период 70, док за кишну годину износи скоро 100 дана. Важно је рећи, да код сушне године аутокореелограм има блажи и уједначен нагиб. Разлог су дуги периоди без кише или са кишом, који немају значајнијег утицаја на промену режима водостаја, тако да је међузависност водостаја у оваквим случајевима значајна. Насупрот овоме, аутокореелограм кишне године за првих 30 дана има знатно израженији и стрмији нагиб. Разлог је чињеница, да је током кишних година прихрањивање издани падавинама или отапањем снега значајно и релативно континуално (током целе године). Резултат овога је кретање подземних вода кроз пукотине или веће карстне канале, као и брза пропација падавина, што условљава брз пораст нивоа воде.

Аутокореелограми добијени анализом низа измерених вредности мутноћа су знатно стрмијег карактера (Слика 36) у односу на аутокореелограме за водостаје реке Бељевине. Меморија система је знатно краћа и за сушну годину износи 17, док за кишну и укупан период, свега 5 дана. АCF добијене анализом дневних сума падавина показују да систем нема меморију и да су разматране вредности падавина независне случајне величине (Слика 37).

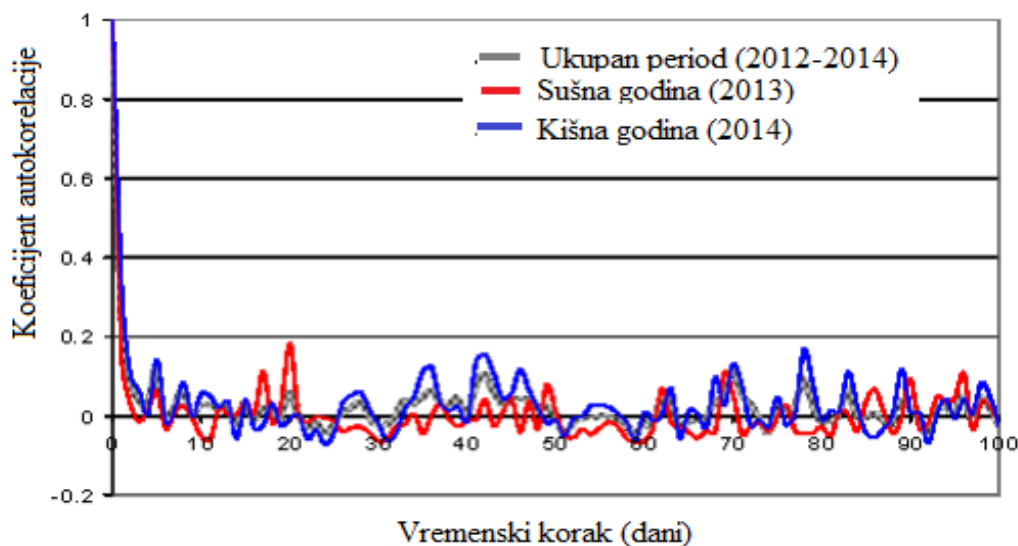
Треба напоменути, да код сва три случаја (Слике 35, 36 и 37) на АCF је приметан пик око 26-ог, затим око 45-ог и око 70-ог дана. Ови пикови су резултат отапања снега током зиме 2013/2014., које смо анализирали у поглављу 6.3.1.



Слика 35. Аутокорељациона анализа водостаја Бељевинске реке

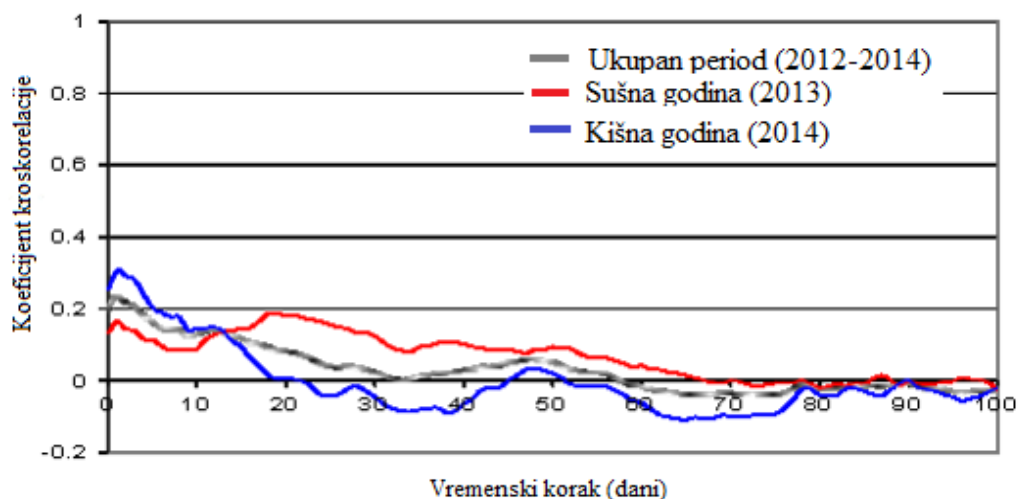


Слика 36. Аутокорељациона анализа мутноће Злотског изворишта



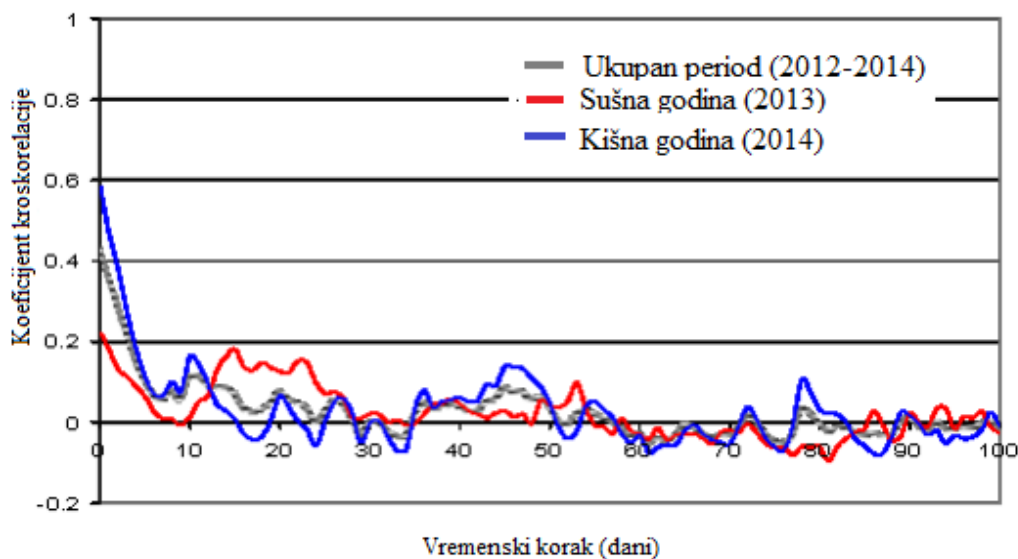
Слика 37. Аутокорељациона анализа дневних сума падавина

Вредности кроскорелационе функције знатно су мање него вредности аутокорељационе функције. Ово је нарочито изражено код кроскорелационе анализе утицаја падавина на водостај и само за влажну годину систем има одређену меморију до 5 дана. За укупан период осматрања систем има још краћу меморију (свега 3 дана) док за сушне године можемо рећи да систем нема меморију, односно све вредности добијене функције су испод вредности 0,2 (Слика 38). Овакав резултат је и последица сушне године, односно присуства дужих периода без падавина. Код свих кроскорелограма приметан је пик везан за временски корак од једног дана, што је указало на то, да је падавинама потребно у просеку један дан да доспеју до профила где се мери водостај Бељевинске реке и изазову пораст водостаја. Пик између 45-ог и 50-ог дана је резултат отапања снега, о чему је већ било речи код анализе резултата добијених аутокорељационом анализом.



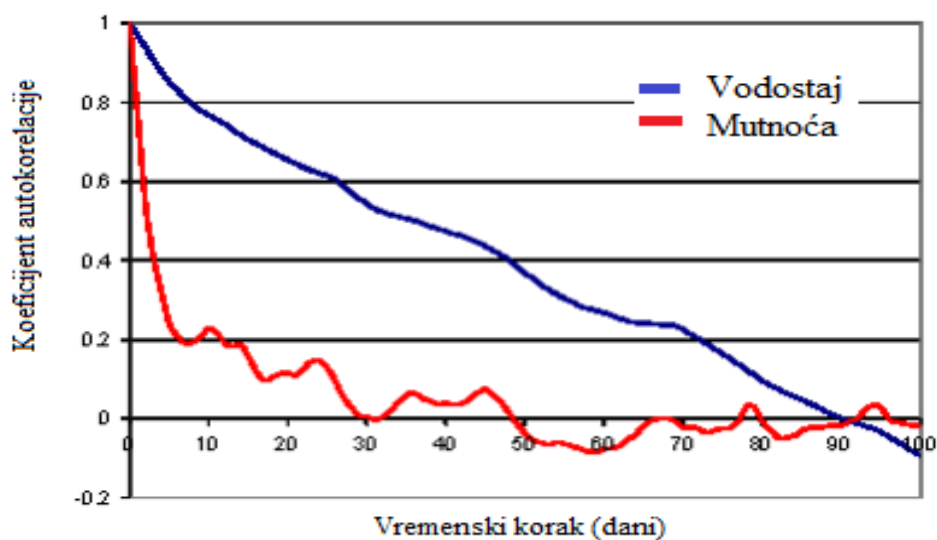
Слика 38. Кроскорелациона анализа утицаја падавина на водостај Бељевинске реке

Кроскорелационе анализе утицаја дневних сума падавина на мутноћу указују да систем има меморију 4 дана за кишну годину, три дана за укупан период, а код сушних година коефицијент корелације има вредност изнад 0,2 само за временски корак 0 (Слика 39).



Слика 39. Кроскорелациона анализа утицаја падавина на мутноћу Злотског изворишта

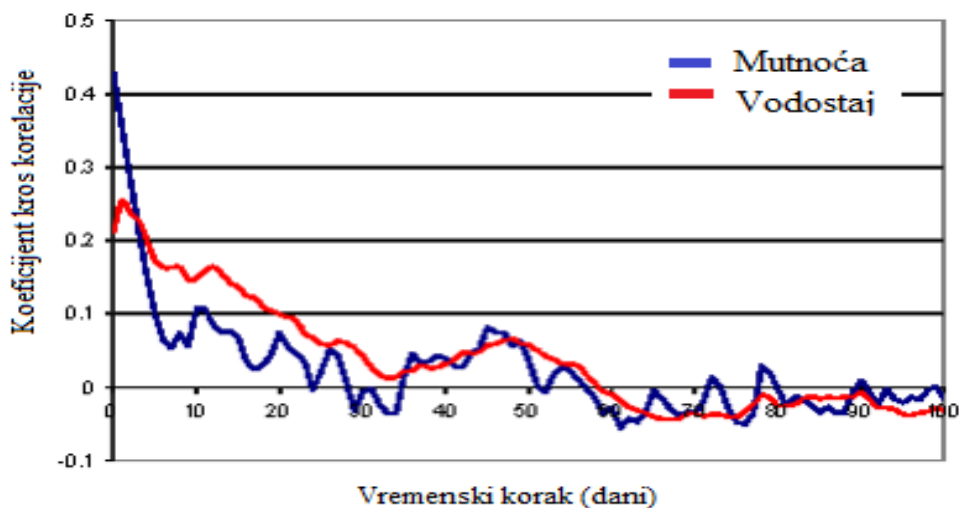
Упоредна аутокорелациона анализа за мутноћу на Злотском изворишту и за водостај на Бељевинској реци приказана је на Слици 40. За водостај је меморија јако дуга, коефицијент аутокорелације је мањи од 0,2 тек након 70 дана. Ово говори да је режим релативно стабилан. Међутим, за мутноћу меморија система је мала. Коефицијент аутокорелације је мањи од 0,2 већ након 7 дана.



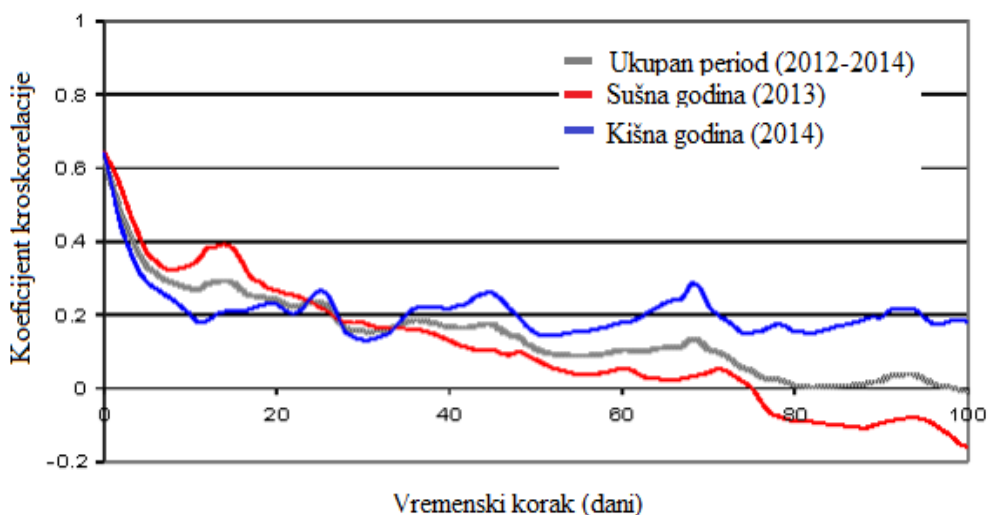
Слика 40. Аутокорелациона анализа мутноће Злотског изворишта и водостаја Бељевинске реке

Може се закључити, да само кише јаког интензитета изазивају мутноћу. Кише слабог интензитета и дужег трајања ће утицати на повећање водостаја али можда неће изазвати повећање мутноће, док ће киша кратког трајања и јачег интензитета локалног карактера изазвати пораст мутноће, али на водостај реке ће утицати безначајно, јер је то само један мали део слива.

CCF водостаја је блажа што се и очекивало, јер постоји низ различитих врела који сачињавају Бељевинску реку. Међутим, за мутноћу највећа вредност коефицијента корелације је била за временски корак 0 (Слика 41). Мањи пик између 45-ог и 50-ог дана је последица отапања снежног покривача.



Слика 41. Кроскорелациона анализа утицаја падавина на мутноћу Злотског изворишта и на водостај Бељевинске реке



Слика 42. Кроскорелациона анализа утицаја водостаја реке Бељевине на мутноћу Злотског изворишта



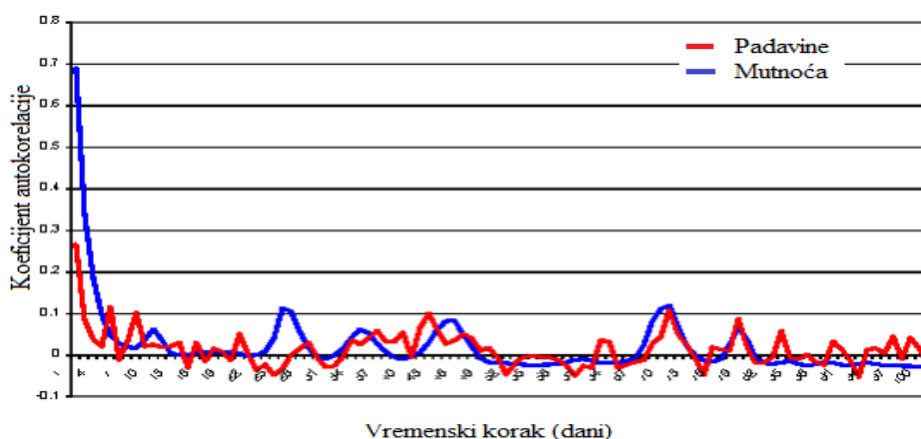
У складу са напред констатованим, да су скоро истовремене појаве максималних вредности водостаја и забележених мутноћа, урађена је кроскорелациона анализа међусобних утицаја ове две случајне променљиве (Слика 42) са временским кораком до 100 дана.

Кроскорелациона анализа, код које је зависно случајно променљива мутноћа а независна водостај, указује на дужу меморију система до 26 дана за сва три разматрана случаја (укупан период, кишну и сушну годину). Ово је било очекивано, обзиром да су обе случајне променљиве, и мутноћа и водостај, условљене падавинама.

Реакција водостаја и мутноће је скоро истовремена када су у питању кише јачих интензитета (у току истог дана или са закашњењем од једног дана), док у случају постојања формираног снежног покривача, утицај снежних падавина зависи од температурног режима, односно од тренутка када долази до његовог отапања. И код аутокорелационих и код кроскорелационих анализа мутноће, меморија система је релативно кратка. АCF је 5 дана (изузев сушне године када је 17 дана), док код кроскорелационе анализе (мутноћа - падавине) меморија система је још краћа и траје 4 дана за влажне године, 3 дана за укупан период и до једног дана, када је у питању сушна година. Ово само потврђује закључак, да након престанка деловања узрочника (падавина), врло брзо падају вредности мутноће, и то на прихватљиве вредности са аспекта водоснабдевања, односно, испод вредности 1 NTU.

#### 6.6.2. Аутокорелациона и кроскорелациона анализа водостаја Сурдупског потока и мутноће воде изворишта Сурдуп

Аутокорелограми мутноће изворишта Сурдуп и падавина су усаглашени. За мутноћу коефицијент аутокорелације је испод 0,2 након 3 дана, док код падавина коефицијент је испод 0,2 након 1 дана. Систем има јако кратку меморију (Слика 43).



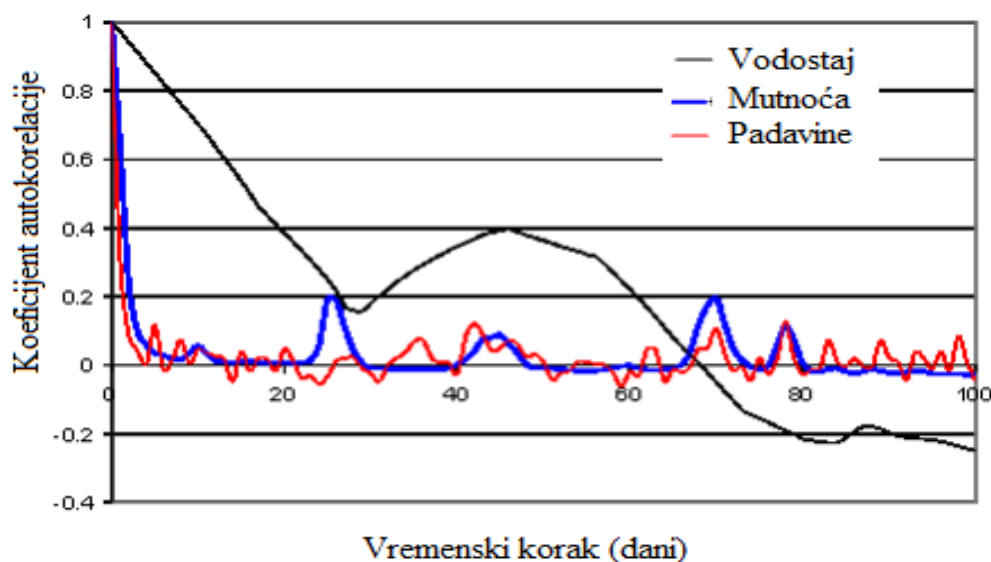
Слика 43. Аутокорелограм мутноће изворишта Сурдуп и количине падавина

Анализа утицаја падавина на водостај потока Сурдуп, као и кроскорелациона анализа утицаја водостаја потока Сурдуп на мутноћу изворишта Сурдуп, није вршена из разлога што водостај потока Сурдуп који је осматран на мерном месту непосредно пре уливања изворишта Сурдуп у Сурдупски поток, једним делом године је у овом профилу 0, тј. корито је суво, па резултати поменутих кроскорелационих анализа не би дали добре и поуздане резултате.

Са друге стране, мерно место „Капија“ на Сурдупском потоку је место где се уливају све воде, а у периодима када се извориште Сурдуп не користи за водоснабдевање, сва вода и из њега иде у Сурдупски поток, тако да ниво воде у потоку низводно од изворишта Сурдуп зависи како од падавина, тако и од експлоатације самог изворишта.

На Слици 44 приказан је аутокореелограм мутноће изворишта Сурдуп, падавина и водостаја Сурдупског потока, а на Слици 45 приказан је кроскорелограм утицаја падавина на мутноћу изворишта Сурдуп.

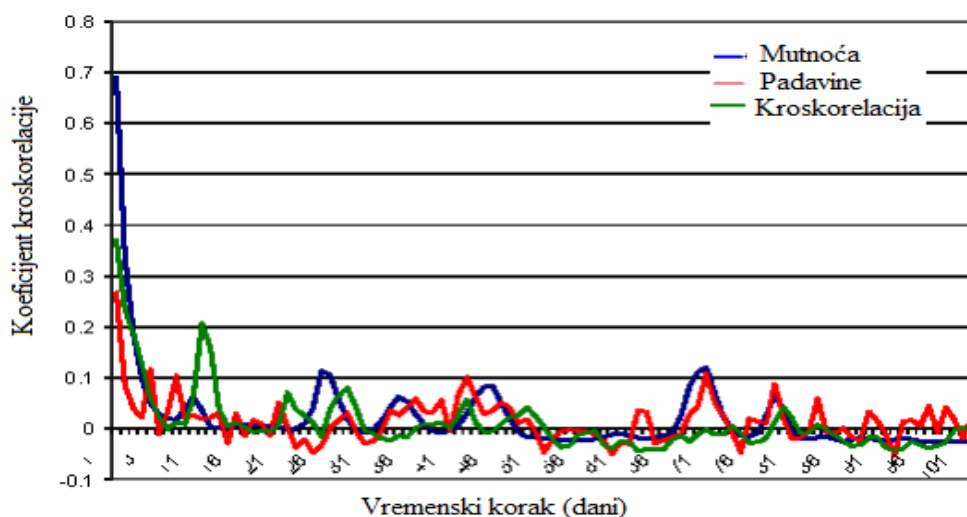
Аутокореелограм мутноће указује да је разматрана серија променљиве мутноћа аутокорелирана до 3 дана и да након тога вредности мутноће можемо сматрати случајним догађајима, односно да је серија након 3 дана независна. Поред овога, на аутокореелограму су јасно видљиви пикови који се јављају 24-ог дана, затим 46-ог дана, 70-ог и 78-ог дана (Слика 44). Појава ових пикова је последица отапања формираног снежног покривача. Први пик се може објаснити отапањем снежног покривача формираног у периоду од 25. јануара до 13. фебруара 2014. године (Слика 27) што износи укупно 21 дан. Затим, формирање снежног покривача у временском интервалу од 22. новембра 2013. до 7. јануара 2014. године (Слика 27), што укупно износи 46 дана, поклапа се са другим, мање израженим пиком на аутокореелограму (Слика 44). Пикови који се јављају након 70-ог и 78-ог дана су највероватноје везани за отапање снежног покривача који се формирао током зиме 2013/2014. године (укупно 86 дана).



Слика 44. Аутокореелограм мутноће изворишта Сурдуп, падавина и водостаја Сурдупског потока

Аутокорелограм водостаја потока Сурдуп показује да серија има меморију до 26 дана, односно, до тренутка до ког коефицијенти аутокорелације имају вредности изнад 0,2. Вредности водостаја потока Сурдуп су аутокорелисане до 26 дана, а након тога серија постаје независна. На истом аутокорелограму, након 30-ог дана приметан је пораст коефицијената аутокорелације све до 46-ог дана када достиже вредност 0,4, а након тога ове вредности опадају до 60-ог дана када поново добијају вредности мање од 0,2 (Слика 44). На појаву овог пика је утицало отапање снежног покривача о чему је већ било речи код анализе аутокорелограма добијеног анализом података о мутноћи. Аутокорелограм падавина указује да међусобни утицаји вредности падавина имају кратке меморије, односно да су падавине случајна величина и да догађаји међусобом не зависе.

Кроскорелограм (Слика 45) утицаја падавина на појаву мутноће изворишта Сурдуп указује да су најчвршће везе за временски корак 0 и 1 дан, што потврђује да се пропација падавина одвија изузетно брзо, односно, да у току истог дана долази до замућења на самом изворишту. Коефицијенти кроскорелације за померај од 2 дана и за већи померај имају вредности ниже од 0,2, односно утицај падавина које су се десиле пре два дана и више, скоро да немају утицаја на појаву мутноће. На кроскорелограму као и код аутокорелограма постоји појава одређених пикова који се јављају око 10-ог дана, затим око 20-ог, 26., 46. и 78-ог, који су последица отапања снега.



Слика 45. Кроскорелограм утицаја падавина на мутноћу изворишта Сурдуп

Извршене аутокорелационе и кроскорелационе анализе указују на чињеницу да постоји добра узрочно последична веза између падавина и мутноће карстног изворишта Сурдуп. Уколико постоји формиран снежни покривач, утицај снега на мутноћу је са временским помаком од тренутка када је снег пао до тренутка његовог отапања. Ова врста утицаја са закашњењем на повећану мутноћу такође је препознатљива на ACF и CCF у виду мање или више изражених пикова.

На основу добијених резултата може се потврдити Хипотеза  $H_2$  којом се претпоставља да се применом корелационе анализе може утврдити степен повезаности између падавина,

водостаја и мутноће воде на извориштима Злот и Сурдуп.

### 6.6.3. Одређивање Спирмановог коефицијента и коефицијента детерминације

Ради дефинисања климатских параметара који показују највећу повезаност са испитиваним параметром квалитета воде - мутноћом и водостајем реке у зимским периодима, тј. периодима отапања снега 2018. и 2019. године, као и дефинисања зависности мутноће и потрошње  $\text{KMnO}_4$ , примењена је корелациона матрица са Спирмановим коефицијентом корелације, обзиром да су добијене вредности Спирмановог коефицијента биле веће од добијених вредности Пирсоновог коефицијента корелације. Извршено је одређивање Спирмановог коефицијента корелације између испитиваних параметара у различитим временским интервалима израженим у данима. Овако извршеном корелационом анализом дошло се до закључка да постоји статистичка значајност ( $p < 0,01$ ) ( $p < 0,05$ ) између већине посматраних параметара, са временским кораком од 0-3 дана.

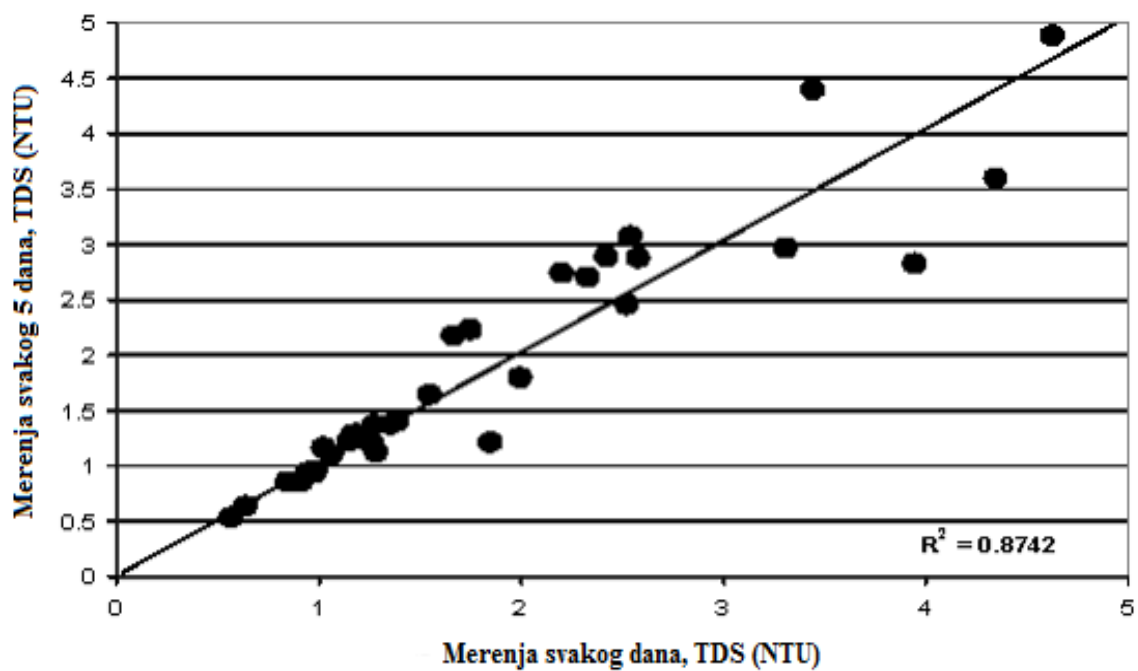
У циљу испитивања могућности предикције појаве мутноће и пораста водостаја, извршено је одређивање коефицијента детерминације ( $R^2$ ), који показује колико су варијације променљивих, мутноћа и водостај, објашњене варијацијама променљиве - отапање снежног покривача, одређен је за сваку годину посебно и за параметре који су имали највеће степене корелације.

Да би се указало на значај континуалног мониторинга параметара квалитета воде, за разматрани параметар - мутноћу (TDS), формиране су две серије података које су сачињене од измерених дневних података и мерења која су вршена на пет дана.

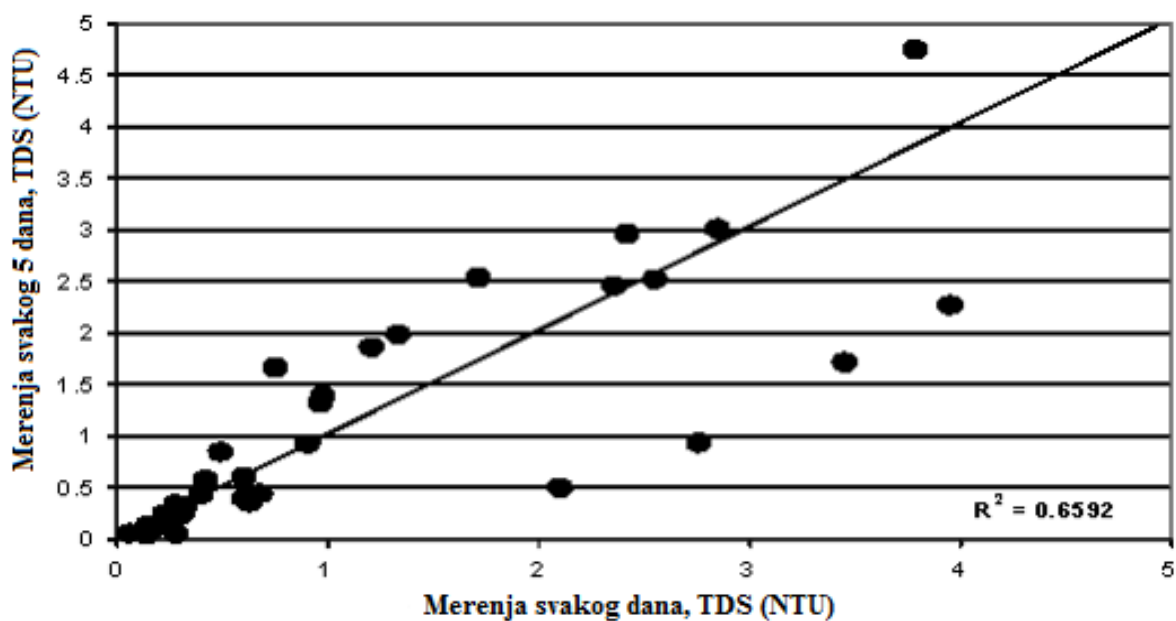
Табела 14. Приказ статистичких вредности података мутноће Злотског изворишта за период фебруар 2012. године - октобар 2014. године

	Средња вредност (NTU)		$\sigma$ (NTU)	$C_v$	TDS <sub>min</sub> (NTU)	TDS <sub>max</sub> (NTU)
Измерене вредности	TDS <sub>min</sub>	0.57	0.06	0.06		17.14
	TDS <sub>sr</sub>	1.85	1.95	1.06		
	TDS <sub>max</sub>	4.63	3.96	1.46	0.38	
Петодневне вредности	TDS <sub>min</sub>	0.53	0.04	0.04		13.82
	TDS <sub>sr</sub>	1.88	3.3	1.7		
	TDS <sub>max</sub>	4.88	4.74	1.13	0.38	

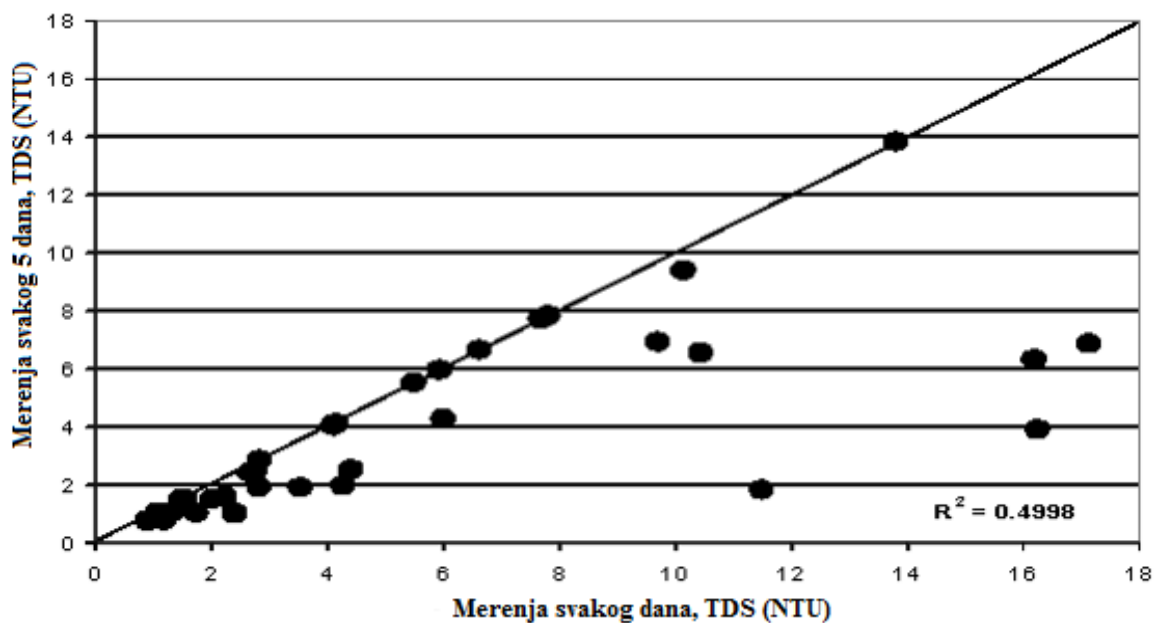
Резултати извршених статистичких обрада података дати су у Табели 14, где је  $\sigma$  - стандардна девијација а  $C_v$  – коефицијент варијације. На Сликама 46 до 49 приказане су зависности између карактеристичних статистичких параметара израчунатих на месечном нивоу за низове сачињене од дневних и петодневних осматрања.



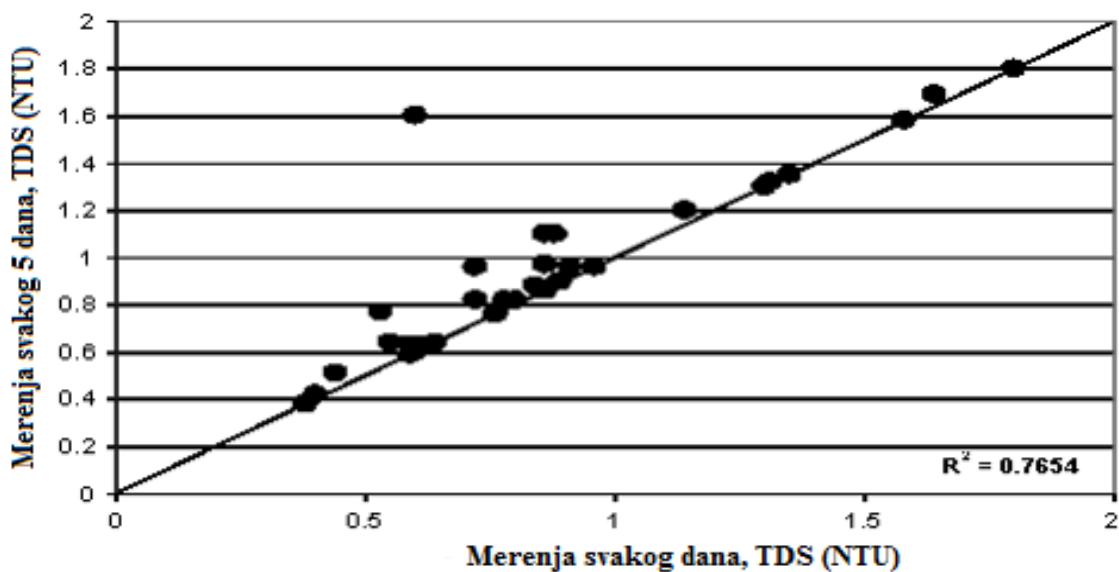
Слика 46. Упоредни дијаграм измерених (реалних) вредности мутноћа и 5-то дневних вредности мутноћа Злотског изворишта (средње месечне вредности)



Слика 47. Упоредни дијаграм измерених (реалних) вредности мутноћа и 5-то дневних вредности мутноћа Злотског изворишта (стандардна девијација)



Слика 48. Упоредни дијаграм измерених (реалних) вредности мутноћа и 5-то дневних вредности мутноћа Злотског изворишта (максималне средње месечне вредности)



Слика 49. Упоредни дијаграм измерених (реалних) вредности мутноћа и 5-то дневних вредности мутноћа Злотског изворишта (минималне средње месечне вредности)

Успостављене графичке зависности, као и одређивање коефицијената корелације између карактеристичних месечних серија добијених на основу низова свакодневних

осматрања и осматрања вршених на 5 дана, указују на чињеницу да прекиди у осматрању имају утицаја. Са гледишта квалитета, а на основу вредности  $R^2$ , прекиди у осматрању имају најмањег утицаја на средње месечне вредности ( $R^2 = 0,8742$ ). Међутим, на минималне месечне, а нарочито на максималне вредности, као и на апсолутне екстреме, има далеко већег утицаја, што последично утиче и на стандардну девијацију. Дакле, повремена 5-то дневна осматрања у разматраним случајевима могу довести до погрешних закључака о постојећим режимима разматраног квалитативног параметара.

У Табелама 15-18 приказане су матрице Спирмановог коефицијента за корелацију параметара мутноће Злотског изворишта, водостаја Бељевинске реке,  $T_{\max}$  ваздуха, падавина и дебљине снежног покривача За период март-април 2018-те године. Утврђено је постојање корелације између анализираних параметара а јаки и умерени коефицијенти корелације очигледни су за већину корелација са временским кораком од 0-3 дана у зависности од климатског параметра.

Табела 15. Матрица Спирманових коефицијената за случај корелације параметара са временским кораком 0 за Злотско извориште и Бељевинску реку, март-април 2018. година

	Мутноћа	Падавине	Водостај	$T_{\max}$	Снег
Мутноћа	1				
Падавине	,185	1			
Водостај	,862**	,283	1		
$T_{\max}$	,354	-,396*	,207	1	
Снег	-,527**	-,190	-,792**	-,171	1

\*\*Ниво значајности <0,01 (2-tailed)

\*Ниво значајности <0,05 (2-tailed)

Табела 16. Матрица Спирманових коефицијената за случај корелације мутноће Злотског изворишта и водостаја Бељевинске реке са временским кораком од 1 дана у односу на климатске параметре, март-април 2018. година

	Мутноћа	Падавине	Водостај	$T_{\max}$	Снег
Мутноћа	1				
Падавине	,203	1			
Водостај	,845**	,183	1		
$T_{\max}$	,599**	-,414*	,444*	1	
Снег	-,405*	-,179	-,756**	-,096	1

\*\*Ниво значајности <0,01 (2-tailed)

\*Ниво значајности <0,05 (2-tailed)

Табела 17. Матрица Спирманових коефицијената за случај корелације мутноће Злотског изворишта и водостаја Бељевинске реке са временским кораком од 2 дана у односу на климатске параметре, март-април 2018. година

	Мутноћа	Падавине	Водостај	T <sub>max</sub>	Снег
Мутноћа	1				
Падавине	,043	1			
Водостај	,826**	,014	1		
T <sub>max</sub>	,784**	-,354	,693**	1	
Снег	-,206	-,210	-,608**	-,077	1

\*\*Ниво значајности <0,01 (2-tailed)

Табела 18. Матрица Спирманових коефицијената за случај корелације мутноће Злотског изворишта и водостаја Бељевинске реке са временским кораком од 3 дана у односу на климатске параметре, март-април 2018. година

	Мутноћа	Падавине	Водостај	T <sub>max</sub>	Снег
Мутноћа	1				
Падавине	-,363	1			
Водостај	,818**	-,171	1		
T <sub>max</sub>	,830**	-,346*	,836**	1	
Снег	-,010	-,146	-,368	-,387*	1

\*\*Ниво значајности <0,01 (2-tailed)

\*Ниво значајности <0,05 (2-tailed)

Вредност коефицијента корелације за мутноћу и водостај има велику и приближно исту вредност за сва четири анализирана случаја (Табеле 15 - 18), што показује да су промене вредности мутноће и водостаја истовремене појаве. Корелација између мутноће и дебљине снежног покривача је највећа за мерења истог дана (Табела 15), али има значајност и мерење снежног покривача дан раније (Табела 16). Падавине у зимском периоду ни у једном случају нису имале значајног утицаја на мутноћу. Смањење дебљине снежног покривача и водостај Бељевинске реке били су значајно корелирани у сва четири случаја (Табеле 15 - 18), што указује да снежни покривач има директан утицај на ниво воде у Бељевинској реци. Степен корелације између водостаја Бељевинске реке и отапања снега је највећи за временске кораке 0 и 1 (Табеле 15 и 16). Вредности коефицијената корелације су нешто ниже за мутноћу изворишта Злот и дебљину снежног покривача, јер се сав отопљени снег не појављује на изворишту. Извесна количина отопљеног снега остаје у подземним слојевима посматраног подручја.

Веома је значајна корелација мутноће Злотског изворишта и водостаја Бељевинске реке са температуром ваздуха. Степен корелација мутноће и водостаја са температуром ваздуха се повећава са временским кораком 1, 2 и 3 дана (Табеле 16-18). Након трећег дана степен корелације опада. Корелација мутноће и водостаја са отапањем снежног покривача у овом случају опада, обзиром да су високе температуре ваздуха утицале на нагло отапање снега, при чему се највећа количина отопила истог и следећег дана. Због тога је анализирана и 2019. година, година окарактерисана као умеренија година, са мањом дебљином снежног покривача и са уобичајеним температурама ваздуха за то доба године.



Табела 19. Матрица Спирманових коефицијената за случај корелације параметара са временским кораком 0 за Злотско извориште и Бељевинску реку, фебруар-март 2019. година

	Мутноћа	Падавине	Водостај	T <sub>max</sub>	Снег
Мутноћа	1				
Падавине	,212	1			
Водостај	,858**	,126	1		
T <sub>max</sub>	,379**	-,226	,270	1	
Снег	-,738**	,177	-,739**	-,727**	1

\*\*Ниво значајности <0,01 (2-tailed)

Табела 20. Матрица Спирманових коефицијената за случај корелације мутноће Злотског изворишта и водостаја Бељевинске реке са временским кораком од 1 дана у односу на климатске параметре, фебруар-март 2019. година

	Мутноћа	Падавине	Водостај	T <sub>max</sub>	Снег
Мутноћа	1				
Падавине	,112	1			
Водостај	,849**	,177	1		
T <sub>max</sub>	,540**	-,208	,382**	1	
Снег	-,779**	,161	-,767**	-,709**	1

\*\*Ниво значајности <0,01 (2-tailed)

Табела 21. Матрица Спирманових коефицијената за случај корелације мутноће Злотског изворишта и водостаја Бељевинске реке са временским кораком од 2 дана у односу на климатске параметре, фебруар-март 2019. година

	Мутноћа	Падавине	Водостај	T <sub>max</sub>	Снег
Мутноћа	1				
Падавине	-,063	1			
Водостај	,841**	,189	1		
T <sub>max</sub>	,685**	-,188	,513**	1	
Снег	-,789**	,143	-,767**	-,690**	1

\*\*Ниво значајности <0,01 (2-tailed)

Табела 22. Матрица Спирманових коефицијената за случај корелације мутноће Злотског изворишта и водостаја Бељевинске реке са временским кораком од 3 дана у односу на климатске параметре, фебруар-март 2019. година

	Мутноћа	Падавине	Водостај	T <sub>max</sub>	Снег
Мутноћа	1				
Падавине	-,257	1			
Водостај	,832**	,073	1		
T <sub>max</sub>	,734**	-,167	,600**	1	
Снег	-,748**	,124	-,779**	-,670**	1

\*\*Ниво значајности <0,01 (2-tailed)

За временски корак већи од три дана корелација опада и нема статистичку значајност, тако да у дисертацији није приказана.

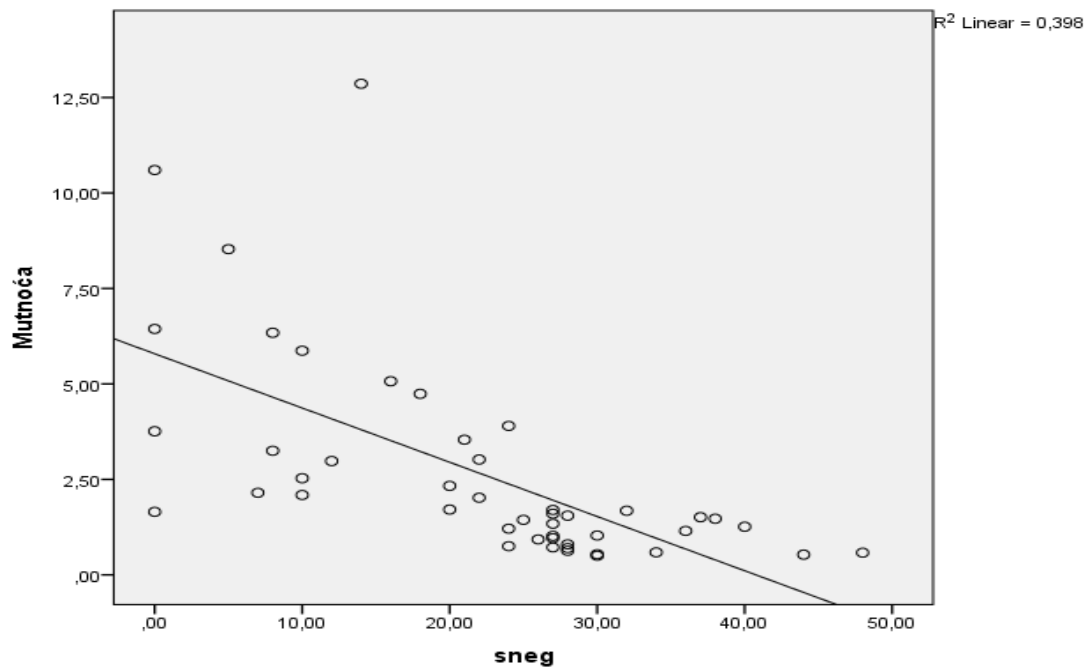
Према представљеним резултатима у Табелама 19-22, закључује се, да степен корелације мутноће Злотског изворишта и водостаја Бељевинске реке са T<sub>max</sub> ваздуха и отапањем снежног покривача расту са повећањем временског корака. Степен корелације је највећи за временски корак од три дана за температуру ваздуха (Табела 22) и два дана за дебљину снежног покривача (Табела 21). Степен корелације између мутноће и водостаја исти је у сва четири случаја (Табеле 19-22). Падавине ни у случају умерене зиме у 2019. години немају значајног утицаја, али корелација расте са временом и највећа је за временски корак од три дана.

На основу упоређивања матрица Спирманових коефицијената за 2018. годину и 2019. годину могу се извести следећи закључци:

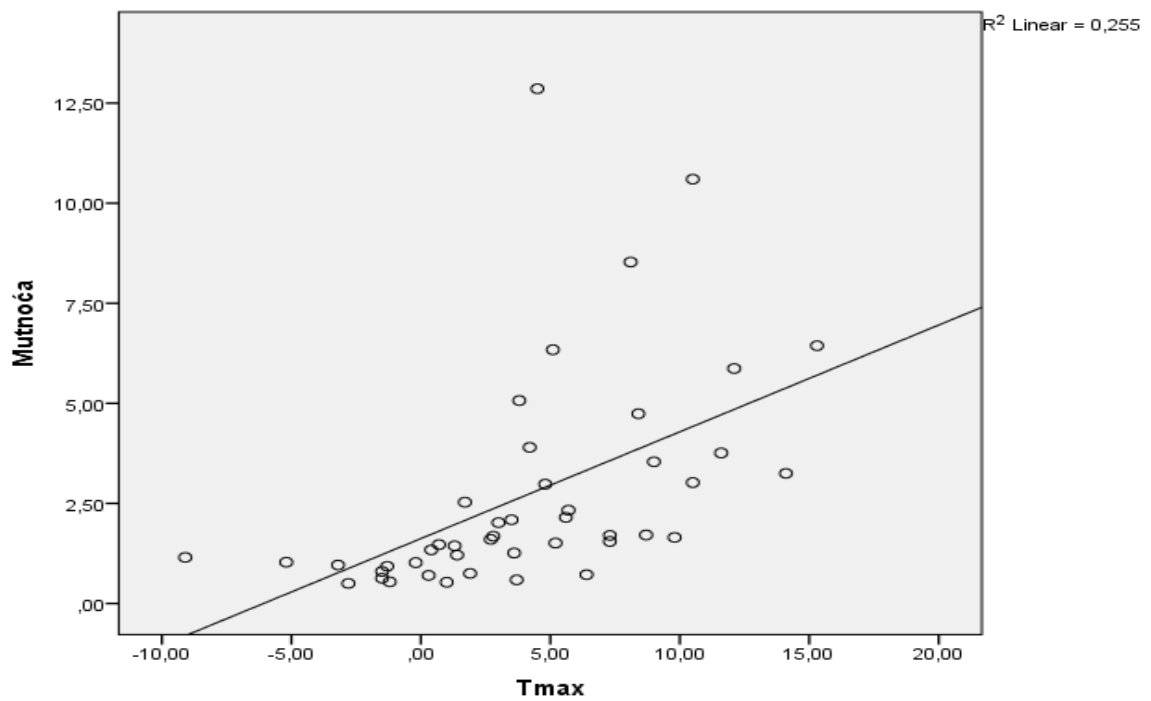
- мутноћа и водостај су истовремене појаве, док је утицај водостаја на мутноћу изворишта значајан и са временским кораком од једног дана;
- утицај температуре ваздуха на мутноћу и водостај је највећи са временским кораком од три дана, али тај утицај је индиректан (преко отапања снежног покривача);
- утицај отапања снега на водостај и мутноћу је истовремени или са временским кораком од 1. дана за високе температуре ваздуха (2018. година), а за просечне температуре ваздуха (2019. година) за ово доба године расте са временом и најзначајнији је за временски корак од 2. дана;
- падавине ни у једном случају нису имале значајан утицај ни на један анализирани парематар, обзиром да су кише биле слабог интензитета, кратког трајања (од пар сати и у малој количини у обе године у испитиваном периоду).

Ово је посебно важно за краткорочне предикције времена појаве и очекиване вредности мутноће узроковане процесом топљења снега.

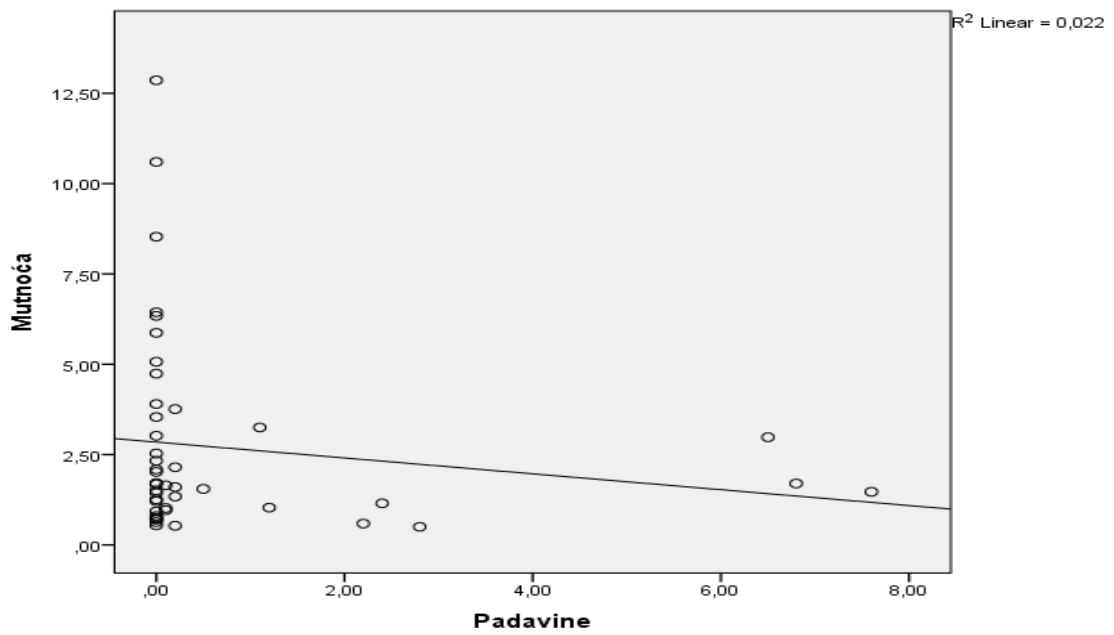
Коефицијент детерминације R<sup>2</sup> је одређиван за временски корак за који независна варијабла има највећи степен корелације са зависном варијаблом мутноћа или водостај.



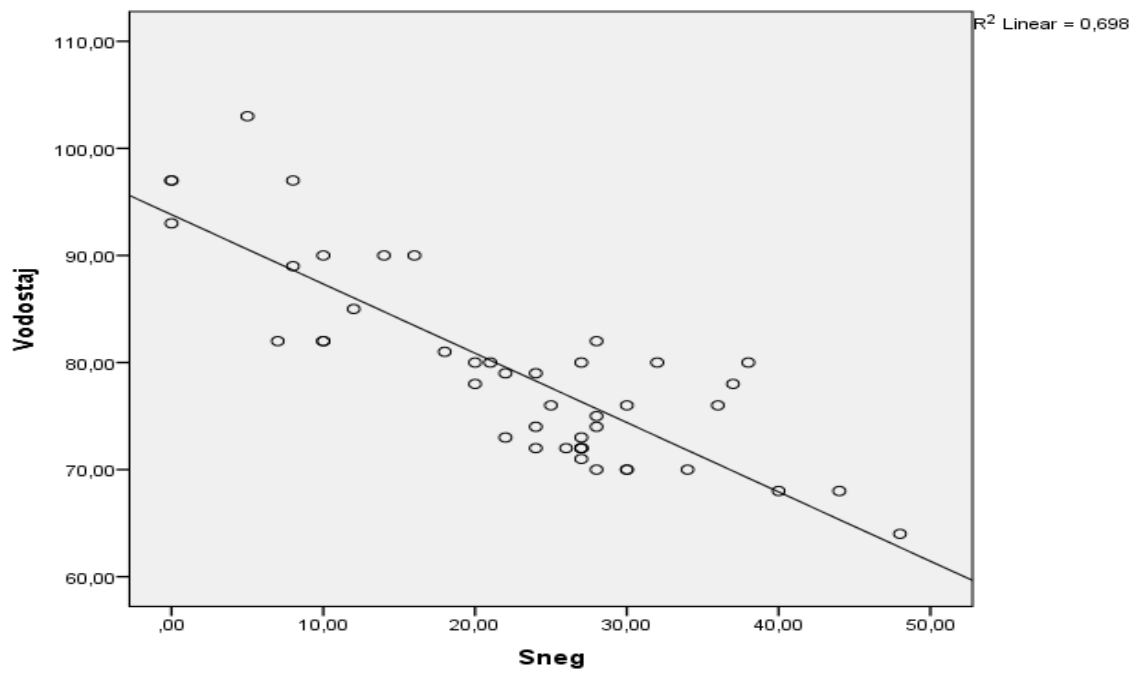
Слика 50. Дијаграм зависности променљивих мутноћа Злотског изворишта и висина снежног покривача са временским кораком од два дана



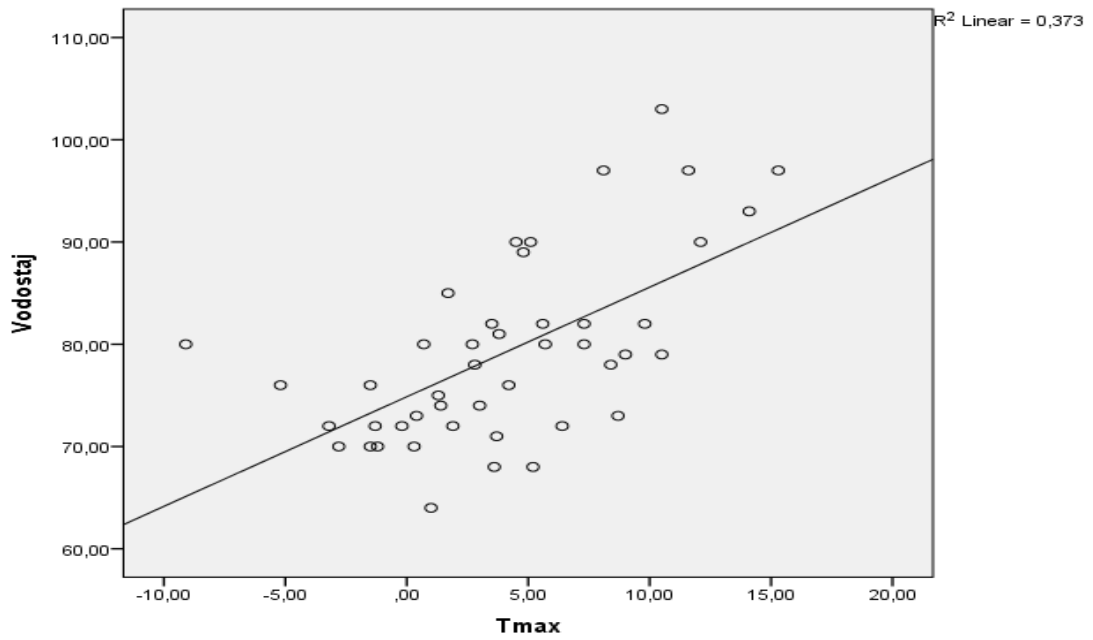
Слика 51. Дијаграм зависности променљивих мутноћа Злотског изворишта и температуре ваздуха са временским кораком од три дана



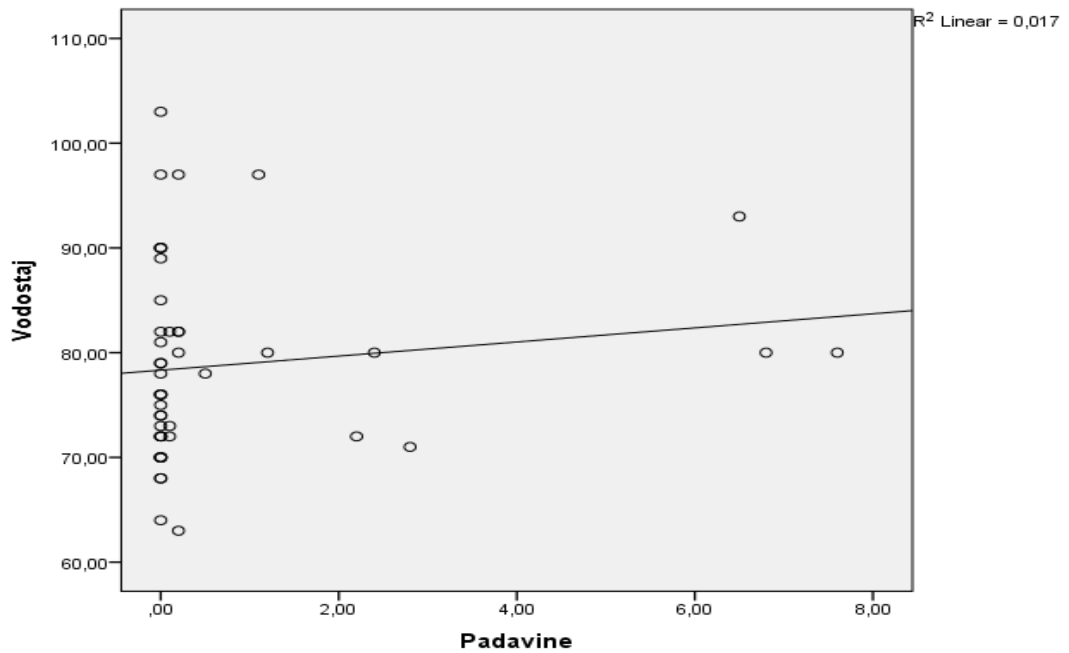
Слика 52. Дијаграм зависности променљивих мутноћа Злотског изворишта и падавина са временским кораком од три дана



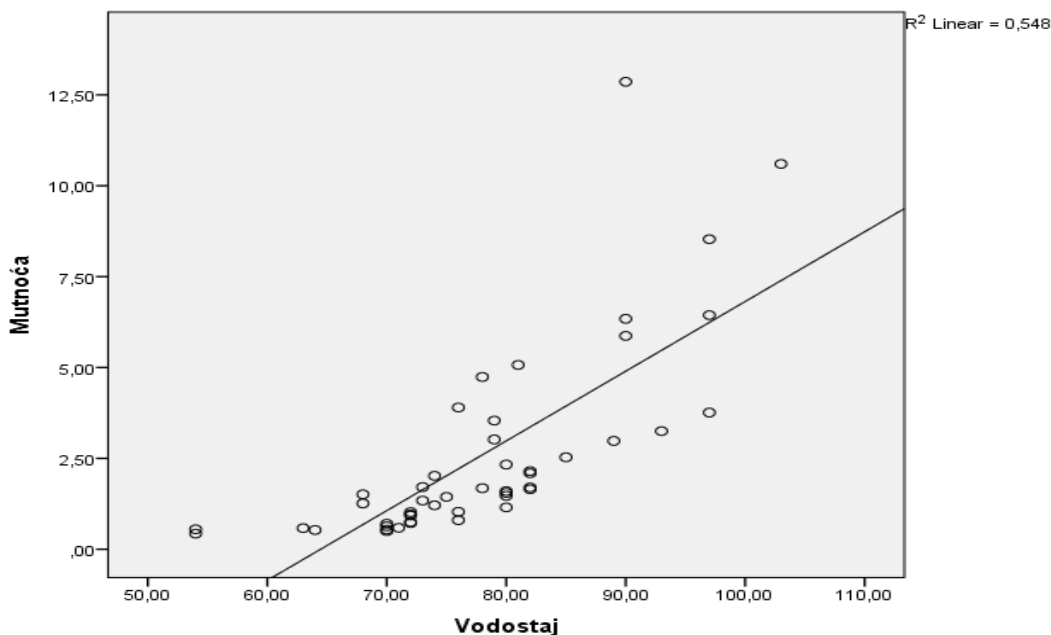
Слика 53. Дијаграм зависности променљивих водостај Бељевинске реке и висина снежног покривача са временским кораком од три дана



Слика 54. Дијаграм зависности променљивих водостај Бељевинске реке и температуре ваздуха са временским кораком од три дана



Слика 55. Дијаграм зависности променљивих водостај Бељевинске реке и падавина са временским кораком од два дана



Слика 56. Дијаграм зависности променљивих мутноћа изворишта Злот и водостаја Бељевинске реке са временским кораком 0

Дијаграми зависности приказани на Сликама 51, 54 и 56 за променљиве мутноћа –  $T_{\max}$ , водостај -  $T_{\max}$  и мутноћа – водостај, показују да су променљиве корелиране позитивно, док је уочена негативна корелација за променљиве мутноћа - висина снежног покривача и водостај - висина снежног покривача (мутноћа и водостај повећавају се као последица отапања снега) (Слике 50 и 53). Падавине у овом периоду немају значајан утицај на мутноћу и водостај (Слике 52 и 55).

Добијене вредности  $R^2$  0,398 и 0,698 указује да отапање снега објашњава 39,82% променљивости у мутноћи на изворишту Злот са временским кораком од два дана и 69,8% променљивости у водостају реке Бељевине са временским кораком од три дана. Добијена вредност  $R^2$  од 0,540 указује да промена водостаја Бељевинске реке објашњава 54% променљивости у мутноћи на изворишту Злот. Веза између мутноће и водостаја је последица утицаја отапања снега на обе зависно променљиве.

За периоде март-април 2018. године и фебруар-март 2019. године, за анализу корелације између мутноће изворишта Сурдуп, водостаја Сурдупског потока,  $T_{\max}$  ваздуха, падавина и дебљине снежног покривача, такође је коришћена матрица Спирмановог коефицијента корелације.

Табела 23. Матрица Спирманових коефицијената за случај корелације параметара са временским кораком 0 за извориште Сурдуп и Сурдупски поток, март-април 2018. година

	Мутноћа	Падавине	Водостај	T <sub>max</sub>	Снег
Мутноћа	1				
Падавине	-,079	1			
Водостај	,475**	-,193	1		
T <sub>max</sub>	,203	-,358*	,108	1	
Снег	,249	-,128	-,117	-,380*	1

\*\*Ниво значајности <0,01 (2-tailed)

\*Ниво значајности <0,05 (2-tailed)

Табела 24. Матрица Спирманових коефицијената за случај корелације мутноће изворишта Сурдуп и водостаја Сурдупског потока са временским кораком од 1 дана у односу на климатске параметре, март-април 2018. година

	Мутноћа	Падавине	Водостај	T <sub>max</sub>	Снег
Мутноћа	1				
Падавине	,042	1			
Водостај	,430*	-,015	1		
T <sub>max</sub>	,178	-,474**	,024	1	
Снег	,472**	-,057	,063	-,323	1

\*\*Ниво значајности <0,01 (2-tailed)

\*Ниво значајности <0,05 (2-tailed)

Табела 25. Матрица Спирманових коефицијената за случај корелације мутноће изворишта Сурдуп и водостаја Сурдупског потока са временским кораком од 2 дана у односу на климатске параметре, март-април 2018. година

	Мутноћа	Падавине	Водостај	T <sub>max</sub>	Снег
Мутноћа	1				
Падавине	-,158	1			
Водостај	,374*	-,165	1		
T <sub>max</sub>	,091	-,432*	,108	1	
Снег	,703**	-,134	,284	-,259	1

\*\*Ниво значајности <0,01 (2-tailed)

\*Ниво значајности <0,05 (2-tailed)

На основу матрица Спирмановог коефицијента (Табеле 23-25) може се закључити да степен корелације између података за климатске параметре преузетих са климатске станице Црни Врх и мутноћа изворишта Сурдуп и водостај Сурдупског потока не показују статистичку значајност. Свакако је евидентна мутноћа изворишта у овом периоду, али она није у корелацији са анализираним климатским параметрима.

Табела 26. Матрица Спирманових коефицијената за случај корелације параметара са временским кораком 0 за извориште Сурдуп и Сурдупски поток, фебруар-март 2019. година

	Мутноћа	Падавине	Водостај	T <sub>max</sub>	Снег
Мутноћа	1				
Падавине	,480**	1			
Водостај	,648**	,250	1		
T <sub>max</sub>	-,516**	-,395*	-,361*	1	
Снег	,595**	,385*	,003	-,636**	1

\*\*Ниво значајности <0,01 (2-tailed)

\*Ниво значајности <0,05 (2-tailed)

Табела 27. Матрица Спирманових коефицијената за случај корелације мутноће изворишта Сурдуп и водостаја Сурдупског потока са временским кораком од 1 дана у односу на климатске параметре, фебруар-март 2019. година

	Мутноћа	Падавине	Водостај	T <sub>max</sub>	Снег
Мутноћа	1				
Падавине	,477**	1			
Водостај	,685**	,252	1		
T <sub>max</sub>	-,408*	-,381*	-,262	1	
Снег	,552**	-,371*	,019	-,606**	1

\*\*Ниво значајности <0,01 (2-tailed)

\*Ниво значајности <0,05 (2-tailed)

Табела 28. Матрица Спирманових коефицијената за случај корелације мутноће изворишта Сурдуп и водостаја Сурдупског потока са временским кораком од 2 дана у односу на климатске параметре, фебруар-март 2019. година

	Мутноћа	Падавине	Водостај	T <sub>max</sub>	Снег
Мутноћа	1				
Падавине	,385*	1			
Водостај	,735**	,238	1		
T <sub>max</sub>	-,189	-,365*	-,164	1	
Снег	,496**	,356*	,108	-,574**	1

\*\*Ниво значајности <0,01 (2-tailed)

\*Ниво значајности <0,05 (2-tailed)

На основу матрица Спирмановог коефицијента (Табеле 26-28) може се рећи да падавине које су забележене на метеоролошкој станици Црни Врх у 2019. години имају утицај на мутноћу. Обзиром да су падавине уочене на нижим температурама, следи да је корелација мутноће изворишта Сурдуп и температуре ваздуха негативна (Табеле 26-28). Степен корелације мутноће расте са повећањем дебљине снежног покривача за обе анализиранине године, што показује да подаци за отапање снега преузети са метеоролошке

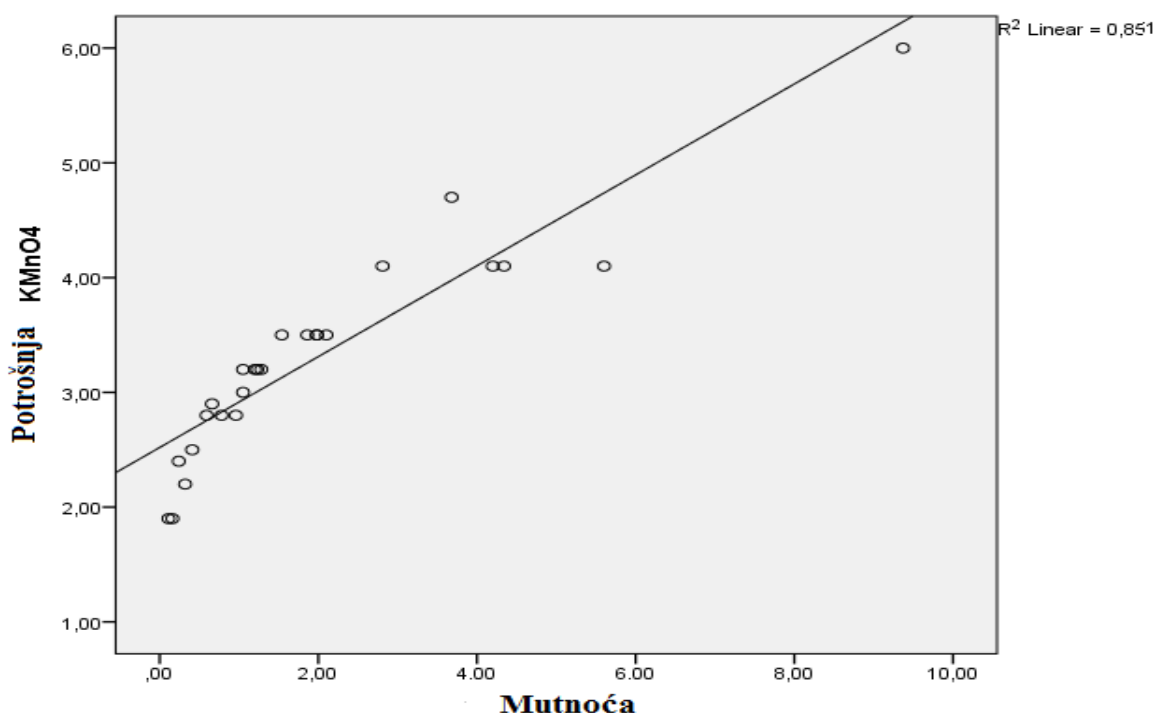


станице Црни Врх која је значајно удаљена и налази се на супротној страни од изворишта Сурдуп нису применљиви за анализу изворишта Сурдуп. За временски корак већи од два дана смањује се статистичка значајност и није рађена матрица Спирмановог коефицијента.

На основу наведеног може се извести закључак да је потребно угустити мрежу метеоролошких станица, односно поставити бар још једну станицу за подручје које би покривало простор у коме се извориште Сурдуп налази. За кишне периоде се могу користити подаци о падавинама са метеоролошке станице Црни Врх, међутим, мора се нагласити, да би ближа метеоролошка станица лоцирана на овом простору дала валидније податке за климатске параметре применљиве за дату локацију.

Степен корелације између мутноће и потрошње  $\text{KMnO}_4$  воде у дистрибутивном систему за временски корак 0 је  $r = 0,981$  и потврђује јаку позитивну корелацију између анализираних променљивих. Овим се потврђује и Хипотеза  $H_2$ .

График зависности варијабли мутноћа воде - потрошња  $\text{KMnO}_4$  показује да су варијабле позитивно корелиране. Добијена вредност  $R^2$  (0,851) такође потврђује јаку корелацију између ових варијабли и могућност предикције вредности потрошње  $\text{KMnO}_4$  на основу измерених вредности мутноће воде (Слика 57).



Слика 57. Дијаграм зависности варијабли мутноћа воде и потрошња  $\text{KMnO}_4$  у води дистрибутивног система Бора, за период 2012. година - 2018. година

#### 6.6.4. Регресионе анализе и симулација мутноће на Злотском изворишту и изворишту Сурдуп

Регресиони модели ауторегресија (AR), крос-регресија (CR) и аутокрос-регресија (ARCR) су коришћени за потребе симулације параметара мутноћа - падавине - водостај.

##### 6.6.4.1. Регресионе анализе и симулација мутноће Злотског изворишта

###### 6.6.4.1.1. Ауторегресиони модели

AR модел је примењен за добијање коефицијента корелације измерених и израчунатих вредности мутноће, где је  $TDS_i$  (мутноћа воде) у времену „ $i$ ”, а независно променљиве  $TDS_{i-1}$ ,  $TDS_{i-2}$ , ...,  $TDS_{i-k}$ , су анализирани параметар (мутноћа воде) за 1, 2, ... k, претходних дана.

Израчунавање TDS са временским кораком  $i = 1$  се врши по једначини:

$$TDS_i = a + b_1 \cdot TDS_{i-1} \quad (1)$$

$$TDS_i = 0,408431 + 0,77913 \cdot TDS_{i-1} \quad (2)$$

Коефицијент корелације између измерених и израчунатих вредности TDS коришћењем једначине (2) износи 0,779109.

Израчунавање TDS са временским кораком  $i = 1$  и  $i = 2$  врши се коришћењем једначина:

$$TDS_i = a + b_1 \cdot TDS_{i-1} + b_2 \cdot TDS_{i-2} \quad (3)$$

$$TDS_i = 0,434428 + 0,828666 \cdot TDS_{i-1} - 0,06358 \cdot TDS_{i-2} \quad (4)$$

Коефицијент корелације између измерених и израчунатих вредности TDS коришћењем једначине (4) износи  $r = 0,780128$

Израчунавање TDS са временским кораком од  $i = 1$  до  $i = 10$  се врши по једначини:

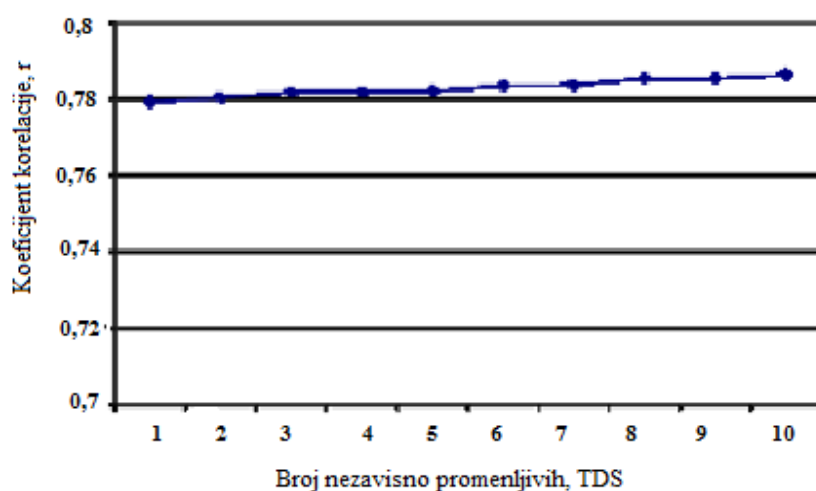
$$TDS_i = a + b_1 \cdot TDS_{i-1} + b_2 \cdot TDS_{i-2} + \dots + b_{10} \cdot TDS_{i-10} \quad (5)$$

Вредности параметара “a” и “b” дате су у Табели 29.

Коефицијенти корелације између измерених и израчунатих вредности TDS добијени формирањем десет једначина за временске кораке од  $i = 1$  до  $i = 1$  до  $i = 10$  дати су у Табели 32 и на Слици 58. Може се закључити да коефицијенти корелације благо расту али скоро неприметно, што значи да са повећањем временског корака нема великог помераја у ауторегресионом моделу.

Табела 29. Вредности параметара “а” и “b” који су одређени методом најмањих квадрата

$b_{10}$	$b_9$	$b_8$	$b_7$	$b_6$	$b_5$	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$	$a$
0.063207	-0.04826	0.087551	-0.04513	0.061144	-0.09118	0.030475	0.074064	-0.13373	0.830757	0.316384
	0.004261	0.07942	-0.04061	0.063324	-0.09733	0.034477	0.071501	-0.12871	0.831024	0.337724
		0.082963	-0.04116	0.06363	-0.09719	0.034062	0.071772	-0.12888	0.831377	0.339167
			0.028004	0.053307	-0.09187	0.037147	0.06415	-0.12446	0.833705	0.369824
				0.076712	-0.09543	0.038974	0.065242	-0.12713	0.835854	0.380485
					-0.0315	0.029393	0.070661	-0.12487	0.833438	0.41214
						0.003149	0.074668	-0.12722	0.833339	0.399537
							0.077293	-0.12763	0.833582	0.400802
								-0.06358	0.828666	0.434428
									0.779132	0.408431



Слика 58. Приказ коефицијента корелације између измерене мутноће Злотског изворишта и израчунате мутноће Злотског изворишта на основу измерене мутноће са временским кораком у интервалу 0 -10 дана

#### 6.6.4.1.2. Кросрегресиони модели

##### Симулација TDS у зависности од количине падавина

CR модел је примењен за симулацију TDS (мутноћа воде) на основу измерене количине падавина (P), где је зависно променљива  $TDS_i$  у времену „i“ и позната независно променљива количина падавина  $P_{i-1}, P_{i-2}, \dots, P_{i-k}$ , за 1, 2, ... k, претходних дана.

Израчунавање TDS са временским кораком  $i = 1$  се врши по једначини:

$$TDS_i = a + b_1 \cdot P_{i-1} \quad (6)$$

$$TDS_i = 1,579298 + 0,11822 \cdot P_{i-1} \quad (7)$$

Коефицијент корелације између измерених и израчунатих вредности TDS коришћењем једначине (7) износи 0,366334.

Израчунавање TDS са временским кораком  $i = 1$  и  $i = 2$  врши се коришћењем једначина:

$$TDS_i = a + b_1 \cdot P_{i-1} + b_2 \cdot P_{i-2} \quad (8)$$

$$TDS_i = 1,462702 + 0,097233 \cdot P_{i-1} + 0,071952 \cdot P_{i-2} \quad (9)$$

Коефицијент корелације између измерених и израчунатих вредности TDS коришћењем једначине (9) износи  $r = 0,423894$

Израчунавање TDS са временским кораком од  $i = 1$  до  $i = 10$  се врши по једначини:

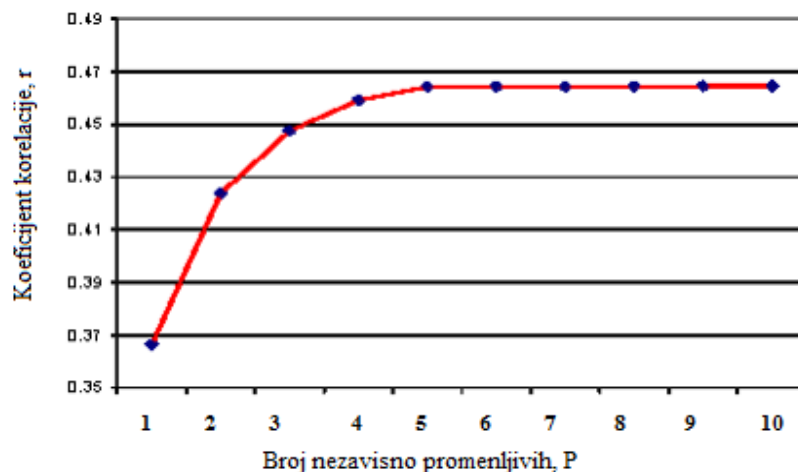
$$TDS_i = a + b_1 \cdot P_{i-1} + b_2 \cdot P_{i-2} + \dots + b_{10} \cdot P_{i-10} \quad (10)$$

Вредности параметара “а” и “б” су приказане у Табели 30, а коефицијенти корелација између измерених TDS и израчунатих вредности TDS у зависности од падавина које су добијене формирањем једначина за временске кораке од  $i = 1$  до  $i = 1$  до  $i = 10$  су дати су у Табели 32.

Табела 30. Вредности параметара “а” и “б” који су одређени методом најмањих квадрата

$b_{10}$	$b_9$	$b_8$	$b_7$	$b_6$	$b_5$	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$	a
									0.11822	1.579298
								0.071952	0.097233	1.462702
							0.048444	0.057608	0.097971	1.382958
						0.034752	0.038154	0.058185	0.097814	1.325961
					0,023065	0.027924	0.038539	0.058066	0.097866	1.288001
				0.002353	0.022368	0.027964	0.038523	0.058141	0.097633	1.284500
			0.002208	0.001686	0.022411	0.027948	0.038596	0.057881	0.097772	1.281016
		0.001676	0.001695	0.001732	0.022395	0.028004	0.038396	0.05802	0.097658	1.278555
	0.002831	0.000824	0.001755	0.001729	0.022482	0.027669	0.038626	0.057898	0.097434	1.274702
-0.00207	0.003462	0.000781	0.001751	0.001675	0.022726	0.027501	0.038715	0.058084	0.097362	1.277596

Са Сlike 59 се може закључити да је укључивање 4 или 5 независно променљивих (у овом случају падавина са временским кораком до 5 дана) довољно. Даље укључивање независних променљивих не утиче на повећање квалитета регресионе једначине, односно не добијамо бољу симулацију укључивањем нових променљивих. Статистичка анализа параметара регресионе једначине ће највероватније и показати да су они безначајни у једначини, па их сходно томе не треба ни убацивати у једначину (више од 5 чланова).



Слика 59. Приказ коефицијента корелације између измерене мутноће Злотског изворишта и израчунате мутноће Злотског изворишта на основу измерене количине падавина са временским кораком у интервалу 0 -10 дана

#### Симулација TDS у зависности од водостаја

Симулација TDS (мутноћа воде) у зависности од водостаја Бељевинске реке (H) се врши по истом принципу као и за падавине, где је зависно променљива  $TDS_i$  у времену „i“ и позната независно променљива водостај  $H_{i-1}, H_{i-2}, \dots, H_{i-k}$ , за 1, 2, ... k, претходних дана.

$$TDS_i = a + b_1 \cdot H_{i-1} \quad (11)$$

$$TDS_i = - 1,91287 + 0,055104 \cdot H_{i-1} \quad (12)$$

Коефицијент корелације између измерених и израчунатих вредности TDS коришћењем једначине (12) износи 0,637869.

Израчунавање TDS са временским кораком  $i = 1$  и  $i = 2$  вршено је применом једначина:

$$TDS_i = a + b_1 \cdot H_{i-1} + b_2 \cdot H_{i-2} \quad (13)$$

$$TDS_i = - 1,75366 + 0,144639 \cdot H_{i-1} - 0,08903 \cdot H_{i-2} \quad (14)$$

Коефицијент корелације између измерених и израчунатих вредности TDS коришћењем једначине (14) износи  $r = 0,678277$

Израчунавање TDS са временским кораком од  $i = 1$  до  $i = 10$  се врши по једначини:

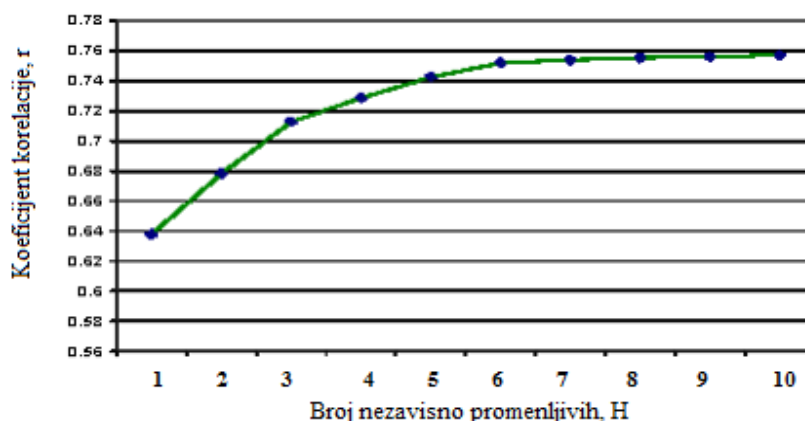
$$TDS_i = a + b_1 \cdot H_{i-1} + b_2 \cdot H_{i-2} + \dots + b_{10} \cdot H_{i-10} \quad (15)$$

Вредности параметара “a” и “b” су приказане у Табели 31, а коефицијенти корелација између измерених TDS и израчунатих вредности TDS у зависности од водостаја које су

добијене формирањем једначина за временске кораке од  $i = 1$  до  $i = 1$  до  $i = 10$  су дати су у Табели 32.

Табела 31. Вредности параметара “а” и “b” који су одређени методом најмањих квадрата

$b_{10}$	$b_9$	$b_8$	$b_7$	$b_6$	$b_5$	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$	a
									0.058104	-1.91287
								-0.08903	0.144639	-1.75366
							-0.08499	0.00117	0.136829	-1.58780
						-0.05863	-0.02301	-0.00144	0.134207	-1.46814
					-0.05543	9.09E-05	-0.02535	-0.00668	0.136822	-1.36065
				-0.04616	-0.00656	-0.00179	-0.02968	-0.00534	0.137614	-1.27282
			-0.02133	-0.0236	-0.00745	-0.0037	-0.02903	-0.00597	0.138557	-1.23408
		-0.0186	-0.00164	-0.02439	-0.00912	-0.00315	-0.02959	-0.00495	0.138366	-1.19997
	-0.01218	-0.00571	-0.0022	-0.02545	-0.00878	-0.00344	-0.02888	-0.00591	0.139158	-1.17910
-0.01587	0.004603	-0.00641	-0.0036	-0.025	-0.00917	-0.0025	-0.03012	-0.00516	0.139422	-1.15248



Слика 60. Приказ коефицијента корелације између измерене мутноће Злотског изворишта и израчунате мутноће Злотског изворишта на основу измереног водостаја Бељевинске реке са временским кораком у интервалу 0 -10 дана

Са Сlike 60 може се закључити да је укључивање 5 или 6 независно променљивих (у овом случају водостаја са временским кораком до 6 дана) довољно. Треба рећи, да веза између мутноће и водостаја постоји преко утицаја падавина на обе зависно променљиве. Може се закључити, да само водостај Бељевинске реке од претходног дана утиче на мутноћу Злотског изворишта.

На основу добијених резултата може се потврдити Хипотеза  $H_3$  којом се претпоставља могућност утврђивања принципа зависности падавина и параметра квалитета воде - мутноће.

Табела 32. Вредности коефицијената корелација између измерених и израчунатих вредности мутноће регресионом методом

Број независно променљивих	$TDS_{izm}-TDS_{izr}$	$TDS_{izm}-TDS_{izr} (P)$	$TDS_{izm}-TDS_{izr} (H)$
1	0.779109	0.366334	0.637869
2	0.780128	0.423894	0.678277
3	0.781625	0.447547	0.712830
4	0.781628	0.459245	0.728664
5	0.781875	0.464304	0.742501
6	0.783336	0.464355	0.751948
7	0.783529	0.464401	0.753945
8	0.785223	0.464427	0.755461
9	0.785227	0.464501	0.756107
10	0.786202	0.464541	0.757202

На основу напред приказаних ауторегресионих и кросрегресионих модела постављена је ARCR регресиона једначина за симулацију мутноће Злотског изворишта коришћењем познатих независних променљивих падавине, водостај и мутноћа измерених претходних дана:

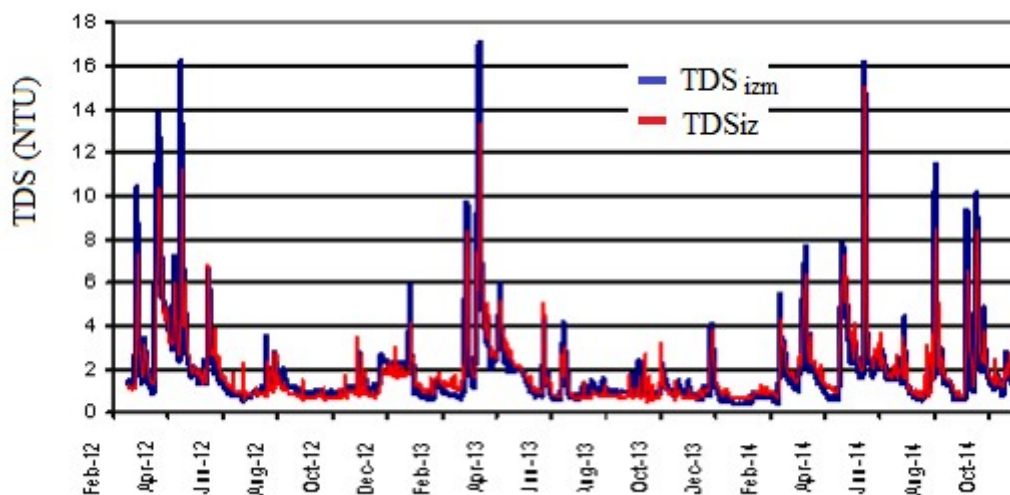
$$TDS_i = a + b_1 \cdot TDS_{i-1} + b_2 \cdot P_{i-1} + b_3 \cdot P_{i-2} + b_4 \cdot P_{i-3} + b_5 \cdot P_{i-4} + b_6 \cdot H_{i-1} \quad (16)$$

где су:  $TDS_i$  и  $TDS_{i-1}$  мутноће Злотског изворишта у тренутку „i“ и „i-1“ затим,  $P_{i-1}$ ,  $P_{i-2}$ ,  $P_{i-3}$ ,  $P_{i-4}$ , дневне суме падавина измерене на метеоролошкој станици Црни Врх у тренутку  $i-1$ ,  $i-2$ ,  $i-3$  и  $i-4$ , а  $H_{i-1}$  - водостај Бељевинске реке у тренутку  $i-1$ . Коефицијенти  $a$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ,  $b_4$ ,  $b_5$  и  $b_6$  су бездимензионални параметри једначине 16, који су добијени методом најмањих квадрата и чије се вредности приказане у Табели 33.

Табела 33. Вредности параметара вишеструке линеарне регресионе једначине

a	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$
-0,63678	0,63380	0,07620	-0,00986	-0,00626	-0,00640	0,01841

На основу добијених параметара може се урадити предикција вредности мутноће на основу измерених вредности падавина, водостаја Бељевинске реке и мутноћа Злотског изворишта. На Слици 61 приказане су реалне, измерене, вредности мутноћа Злотског изворишта, као и израчунате мутноће коришћењем једначине 16. Коефицијент корелације између израчунатих и реалних вредности мутноћа Злотског изворишта износи 0,83.



Слика 61. Упоредни дијаграм измерених и израчунатих вредности TDS Злотског изворишта за период фебруар 2012. године - октобар 2014. године

Формирани симулациони модел може се користити за предикцију мутноће на изворишту за сутрашњи дан, па уколико предвиђена вредност мутноће прелази максималну дозвољену вредност, довољно је времена на располагању за благовремено искључење овог извориште из система водоснабдевања. Овим се потврђује Хипотеза  $H_4$

#### 6.6.4.2. Регресионе анализе и симулација мутноће изворишта Сурдуп

За симулацију мутноће воде на изворишту Сурдуп коришћени су регресиони модели на исти начин као и на Злотском изворишту.

##### 6.6.4.2.1. Ауторегресиони модели

AR модел је примењен за добијање коефицијента корелације измерених и израчунатих вредности мутноће, где је  $TDS_i$  (мутноћа воде) у времену „ $i$ ”, а независно променљиве  $TDS_{i-1}$ ,  $TDS_{i-2}$ , ...,  $TDS_{i-k}$ , су анализирани параметар (мутноћа воде) за 1, 2, ...,  $k$ , претходних дана.

Израчунавање TDS са временским кораком  $i = 1$  се врши по једначини:

$$TDS_i = a + b_1 \cdot TDS_{i-1} \quad (17)$$

$$TDS_i = 0,386287 + 0,6916 \cdot TDS_{i-1} \quad (18)$$

коефицијент корелације између измерених и израчунатих TDS коришћењем горње једначине износи 0,691607.

Израчунавање TDS са временским кораком  $i = 1$  и  $i = 2$  врши се коришћењем једначина:



$$TDS_i = a + b_1 \cdot TDS_{i-1} + b_2 \cdot TDS_{i-2} \quad (19)$$

$$TDS_i = 0,486569 + 0,871449 \cdot TDS_{i-1} - 0,26004 \cdot TDS_{i-2} \quad (20)$$

$$r = 0,716657$$

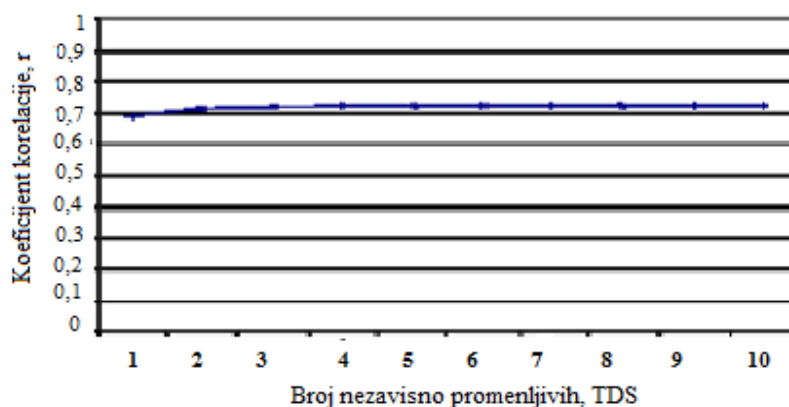
Израчунавање TDS са временским кораком од  $i = 1$  до  $i = 10$  се врши по једначини:

$$TDS_i = a + b_1 \cdot TDS_{i-1} + b_2 \cdot TDS_{i-2} + \dots + b_{10} \cdot TDS_{i-10} \quad (21)$$

Вредности параметара “а” и “б” су приказане у Табели 34, а коефицијенти корелације између измерених и израчунатих вредности TDS добијени формирањем десет једначина за временске кораке од  $i = 1$  до  $i = 10$  дати су у Табели 36.

Табела 34. Вредности параметара “а” и “б” који су одређени методом најмањих квадрата

$b_{10}$	$b_9$	$b_8$	$b_7$	$b_6$	$b_5$	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$	a
									0.6916	0.386287
								-0.26004	0.871449	0.486569
							0.143454	-0.38506	0.908752	0.416858
						-0.08171	0.217707	-0.41652	0.920474	0.450851
					0.04319	-0.12146	0.235696	-0.42592	0.924003	0.431422
				-0.0118	0.054093	-0.12649	0.238477	-0.42735	0.924512	0.436499
			0.010218	-0.02125	0.05846	-0.12893	0.23977	-0.42791	0.924633	0.432052
		0.007457	0.003323	-0.01806	0.056672	-0.12796	0.239334	-0.42775	0.924557	0.428841
	0.044951	-0.03411	0.02255	-0.02882	0.062423	-0.13051	0.240145	-0.4279	0.924221	0.409641
0.027006	0.01999	-0.02255	0.016064	-0.02529	0.060737	-0.12973	0.239536	-0.42698	0.923007	0.398631



Слика 62. Приказ коефицијента корелације између измерене мутноће изворишта Сурдуп и израчунате мутноће изворишта Сурдуп на основу измерене мутноће са временским кораком у интервалу 0 -10 дана

На основу Сlike 62 може се закључити да коефицијенти корелације благо расту и да је укључивање 4 независно променљивих (са временским кораком до 4 дана) довољан са повећањем временског корака нема великог помераја у ауторегресионом моделу.

#### 6.6.4.2.2. Кросрегресиони модели

##### Симулација TDS у зависности од количине падавина

CR модел је примењен за симулацију мутноће изворишта Сурдуп на основу измерене количине падавина, где је зависно променљива  $TDS_i$  у времену „ $t$ “ и позната независно променљива количина падавина  $P_{i-1}, P_{i-2}, \dots, P_{i-k}$ , за  $1, 2, \dots, k$ , претходних дана.

Израчунавање TDS са временским кораком  $i = 1$  се врши по једначини:

$$TDS_i = a + b_1 \cdot P_{i-1} \quad (22)$$

$$TDS_i = 0,615992 + 0,277844 \cdot P_{i-1} \quad (23)$$

коефицијент корелације између измерених и израчунатих TDS коришћењем горње једначине износи 0,347907.

Израчунавање TDS са временским кораком  $i = 1$  и  $i = 2$  врши се коришћењем једначина:

$$TDS_i = a + b_1 \cdot P_{i-1} + b_2 \cdot P_{i-2} \quad (24)$$

$$TDS_i = 0,447182 + 0,247459 \cdot P_{i-1} + 0,104173 \cdot P_{i-2} \quad (25)$$

$$r = 0,369606$$

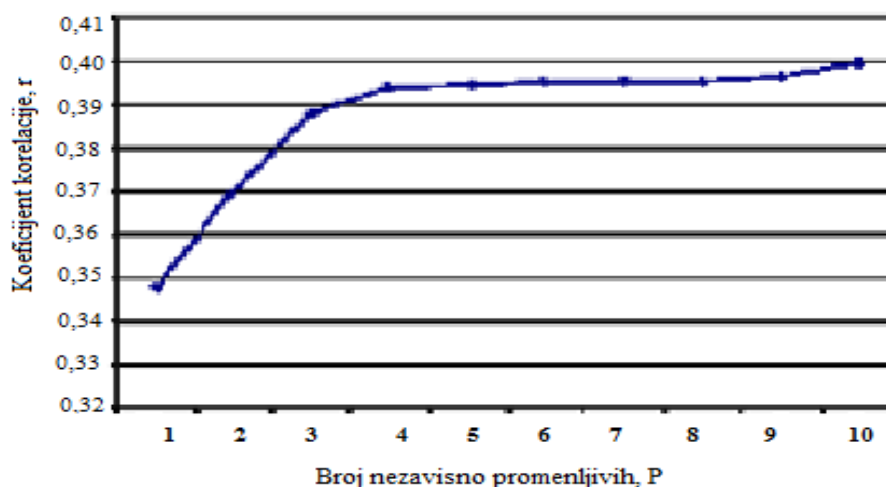
Израчунавање TDS са временским кораком од  $i = 1$  до  $i = 10$  врши се коришћењем једначине:

$$TDS_i = a + b_1 \cdot P_{i-1} + b_2 \cdot P_{i-2} + \dots + b_{10} \cdot P_{i-10} \quad (26)$$

Табела 35. Вредности параметара “а” и “b” који су одређени методом најмањих квадрата

$b_{10}$	$b_9$	$b_8$	$b_7$	$b_6$	$b_5$	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$	a
									0.277844	0.615992
								0.104173	0.247459	0.447182
							0.098763	0.07493	0.248963	0.284606
						0.056922	0.081909	0.075875	0.248706	0.191248
					0.018602	0.051415	0.08222	0.075779	0.248748	0.160634
				-0.01932	0.024324	0.051082	0.082349	0.075165	0.250662	0.189373
			-0.00661	-0.01732	0.024197	0.051129	0.082132	0.075943	0.250248	0.199803
		-0.0076	-0.00428	-0.01753	0.024269	0.050876	0.083038	0.075312	0.250764	0.210967
	-0.02535	2.68E-05	-0.00482	-0.0175	0.023487	0.05388	0.080982	0.076405	0.252773	0.245469
0.042134	-0.03818	0.0009	-0.00474	-0.01641	0.018524	0.057292	0.079174	0.072631	0.254221	0.186571

Вредности параметара “a” и “b” су приказане у Табели 35, а коефицијенти корелације између измерених и израчунатих вредности TDS добијени формирањем десет једначина за временске кораке од  $i = 1$  до  $i = 10$  дати су у Табели 36.



Слика 63. Приказ коефицијента корелације између измерене мутноће изворишта Сурдуп и израчунате мутноће изворишта Сурдуп на основу измерене количине падавина са временским кораком у интервалу 0 -10 дана

Са Сликe 63 се може закључити да је укључивање 3 или 4 независно променљивих (у овом случају падавина са временским кораком до 4 дана) довољно. Даље укључивање независних променљивих не утиче на повећање квалитета регресионе једначине, односно не добијамо бољу симулацију укључивањем нових променљивих. На основу добијених резултата може се потврдити Хипотеза  $H_3$  којом се претпоставља могућност утврђивања принципа зависности падавина и параметра квалитета воде - мутноће.

Симулација TDS изворишта Сурдуп у зависности од водостаја Сурдупског потока није рађена, обзиром да се у Сурдупски поток испушта вода из каптаже када је ово извориште искључено из водосистема или ради смањеним капацитетом па вишак воде иде у Срдупски поток, тако да подаци о водостају неби дали валидне податке.

На основу напред приказаног ауторегресионог и кросрегресионог модела постављена је регресиона једначина за симулацију мутноће изворишта Сурдуп коришћењем познатих независних променљивих падавине и мутноћа измерених претходних дана. Симулација је урађена за временски корак од 4 дана за познате независне променљиве, када постоји повећање коефицијента аутокорелације и кроскорелације (Табела 36). Успостављени симулациони модел даје добре резултате предикције максималних вредности односно пикове мутноће. Одступања код малих TDS су приметна, али то нема значај за квалитет воде.

Табела 36. Вредности коефицијенати корелација између измерених и израчунатих вредности мутноће регресионом методом

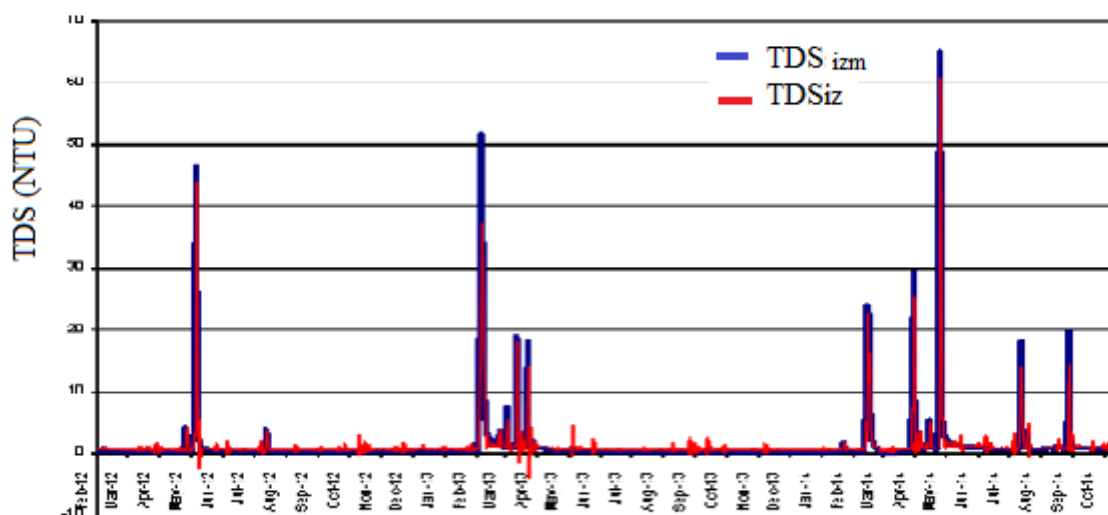
Број независних променљивих	$TDS_{izm}-TDS_{izr}$	$TDS_{izm}-TDS_{izr} (P)$
1	0.691607	0.347907
2	0.716657	0.369606
3	0.723607	0.388069
4	0.725802	0.394011
5	0.726410	0.394640
6	0.726455	0.395311
7	0.726489	0.395389
8	0.726507	0.395492
9	0.727163	0.396630
10	0.727400	0.399745

За симулацију мутноће изворишта Сурдуп је успостављена следећа ARCR регресиона једначина:

$$TDS_i = a + b_1 \cdot TDS_{i-1} + b_2 \cdot TDS_{i-2} + b_3 \cdot TDS_{i-3} + b_4 \cdot TDS_{i-4} + b_5 \cdot P_{i-1} + b_6 \cdot P_{i-2} + b_7 \cdot P_{i-3} + b_8 \cdot P_{i-4} \quad (27)$$

Табела 37. Вредности параметара вишеаструкте линеарне регресионе једначине

a	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>	b <sub>7</sub>	b <sub>8</sub>
0,40289	0,938668	-0,45158	0221698	-0,07562	-0,02751	0,07503	-0,02648	0,003628



Слика 64. Упоредни дијаграм измерених и израчунатих вредности TDS изворишта Сурдуп за период март 2012. године - октобар 2014. године

На Слици 64 је приказана симулација измереног TDS и израчунатог TDS коришћењем једначине 27. Коefицијент корелације је 0,73.

За потребе лакшег управљања извориштем, и у овом случају формиран је квалитетан симулациони модел којим се могу вршити предикције тренутка појаве повећања мутноће на изворишту. Овим се потврђује Хипотеза  $H_4$ .

#### 6.6.4.3. Вишеструка регресиона анализа за три и више променљивих и формирање симулационог модела за предикцију мутноће на изворишту Злот у периоду отапања снежног поривача

Вишеструка регресиона анализа са успостављањем регресионе једначине урађена је за зависност мутноће Злотског изворишта од дебљине снежног покривача, падавина и водостаја Бељевинске реке. Овај период је посебно обрађен зато што се приликом одређивања степена корелације и коefицијента детерминације дошло до закључка, да у овом периоду више фактора (падавине, отапање снега, водостај) утиче на мутноћу и то за различите временске кораке у интервалу од 0-3 дана. У зимском периоду егзистира велика вредност коefицијента корелације и за температуру ваздуха и мутноћу (са временским кораком од три дана), јер отапање снега зависи од температуре ваздуха. Међтим, овај параметар није коришћен у регресионој једначини, јер температура ваздуха не утиче директно на појаву мутноће, већ утиче на процес отапања снега. Успостављена је регресиона једначина зависности мутноћа - независно променљиви параметри, за временске кораке који имају највећи степен корелације.

У формираној регресионој једначини за предикцију мутноће Злотског изворишта у току дана, употребљени су подаци за водостај Бељевинске реке за временски корак 0, обзиром да се водостај читава ујутру, када се и подаци са метеоролошке станице за климатске параметре преузимају. Подаци за дебљину снежног покривача су коришћени за

временски корак од два дана, а за падавине за временски корак од три дана.

У Табели 38 приказана је корелација између испитиваних варијабли. Коефицијенти корелације показују да постоји јака веза између мутноће Злотског изворишта и водостаја Бељевинске реке (0,768). Такође, коефицијент корелације има велику вредност за мутноћу и дебљину снежног покривача (-0,632) и водостај и дебљину снежног покривача (-0,831). Знак минус казује на то да вредности мутноће и водостаја расту са отапањем снега.

Табела 38. Матрица Пирсонових коефицијената

		Mutnoća	Vodostaj	Sneg	Padavine
Pearson Correlation	Mutnoća	1,000	,768	-,632	-,147
	Vodostaj	,768	1,000	-,831	,082
	Sneg	-,632	-,831	1,000	,199
	Padavine	-,147	,082	,199	1,000
Sig. (1-tailed)	Mutnoća	.	,000	,000	,167
	Vodostaj	,000	.	,000	,296
	Sneg	,000	,000	.	,095
	Padavine	,167	,296	,095	.

У Табели 39 колона “R” представља коефицијент вишеструке корелације на основу кога се одређује квалитет предикције зависне променљиве, у овом случају мутноће. Вредност од 0,807 представља добар ниво предвиђања. Колона “R Square” представља коефицијент детерминације, који показује колики део варијације зависне променљиве објашњава модел са наведеним независним променљивим параметрима. Добијена вредност од 0,651 представља 65,1% варијабилитета зависне променљиве, који може бити објашњен независним променљивима.

Табела 39. Model Summary<sup>b</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,807 <sup>a</sup>	,651	,626	1,65390

a. Predictors: (Constant), Padavine, Vodostaj, Sneg

b. Dependent Variable: Mutnoća

Резултати у ANOVA табели (Табела 40) показују да модел постиже статистичку значајност Sig. = 0,000 ( $p < 0,0005$ ) и да независне променљиве добро статистички предвиђају зависну променљиву.

Табела 40. ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	209,362	3	69,787	25,513	,000 <sup>b</sup>
	Residual	112,151	41	2,735		
	Total	321,513	44			

a. Dependent Variable: Mutnoća

b. Predictors: (Constant), Padavine, Vodostaj, Sneg

Табела 41. Вредности коефицијената регресионог модела за предикцију мутноће Злотског изворишта у зимском периоду

Coefficients <sup>a</sup>														
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	-22,430	5,238		-4,282	,000	-33,008	-11,852						
	Vodostaj	,304	,056	1,011	5,439	,000	,191	,417	,768	,647	,502	,246	4,061	
	Sneg	,063	,045	,265	1,399	,169	-,028	,153	-,632	,214	,129	,238	4,201	
	Padavine	-,422	,158	-,283	-2,680	,011	-,741	-,104	-,147	-,386	-,247	,762	1,312	

a. Dependent Variable: Mutnoća

Коефицијенти приказани у колони Beta (Табела 41) показују колико је одређена независна променљива у регресионом моделу допринела предикцији зависне променљиве - мутноћа. Може се закључити да променљива водостај највише доприноси објашњавању зависне променљиве мутноћа, а након водостаја, следе променљиве, дебљина снежног покривача и падавине. Вредности у колони Sig. показују да водостај и падавине имају вредности < 0,05 и самим тим дају статистички значајан допринос предикцији мутноће. Коефицијент корелације између независно променљивих водостај и дебљина снежног покривача је велики и износи -0,83 што указује на могућност постојања мултиколинearности између ових независних варијабли. Даљом дијагностиком колинеарности променљивих добијене вредности у колони Tolerance нису мање од 0,1 а вредности у колони VIF нису веће од 10 (Табела 41), па се може претпоставити да не постоји мултиколинearност.

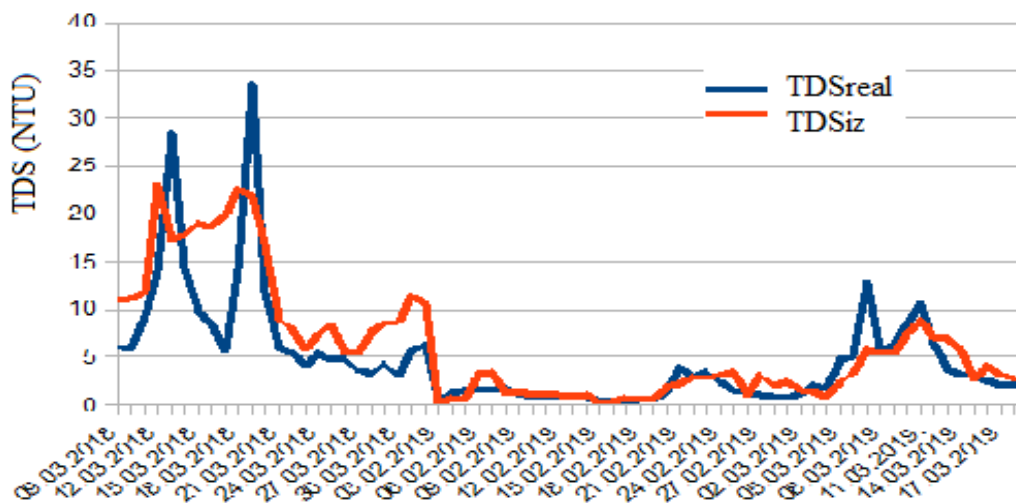
Предикција мутноће Злотског изворишта се врши коришћењем познатих независних променљивих: водостај реке Бељевине (H), дебљина снежног покривача (D) и падавине (P) регистроваих претходних дана са временским кораком у интервалу од 0-3 дана. Имајући у виду резултате аутокорелационих и кроскорелационих анализа регресиона једначина за предикцију појаве мутноће у зимском периоду је:

$$TDS_i = a + b_1 H_i + b_2 D_{i-2} + b_3 P_{i-3} \quad (28)$$

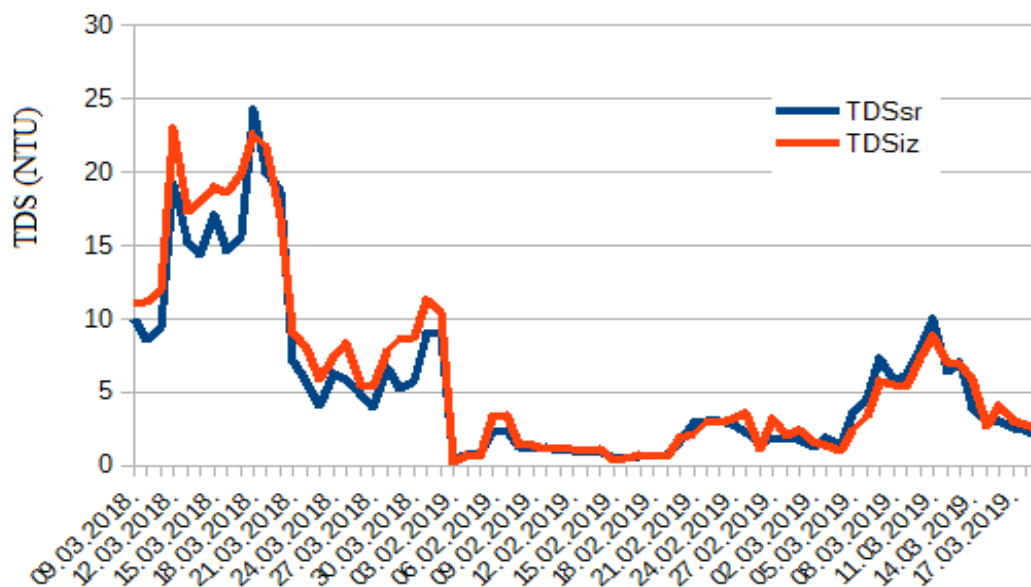
где су: TDS<sub>i</sub> - мутноћа Злотског изворишта; H<sub>i</sub> - водостај Бељевинске реке у тренутку „i”; D<sub>i-2</sub> - дебљина снежног покривача измерена два дана раније и P<sub>i-3</sub> - падавине, забележене три дана раније. Коефицијенти a, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, b<sub>4</sub>, b<sub>5</sub> и b<sub>6</sub> су коефицијенти једначине 28, а чије се вредности приказане у Табели 42.

Табела 42. Коэффициенти вишеструке линеарне регресионе једначине

a	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>
-22,430	0,304	0,063	-0422



Слика 65. Упоредни дијаграм највише измерених истих TDS вредности у току дана и израчунатих TDS Злотског изворишта за периоде отапања снега у 2018. години и 2019. години



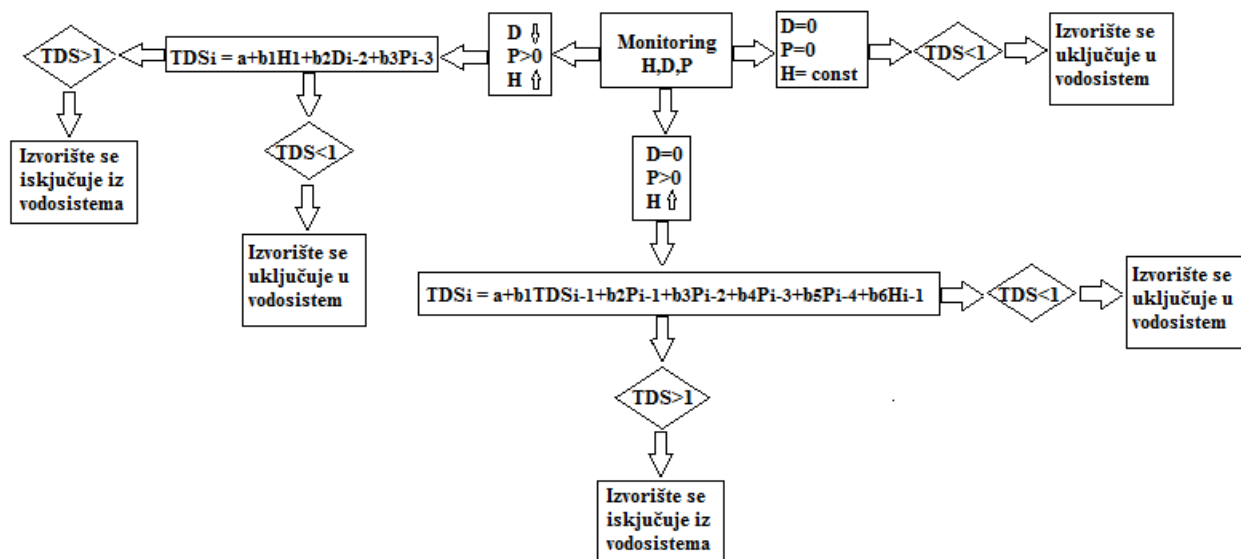
Слика 66. Упоредни дијаграм средње дневних вредности TDS и израчунатих TDS Злотског изворишта за периоде отапања снега, у 2018. години и 2019. години



Провера успостављеног симулационог модела извршена је за 2018. годину и 2019. годину. На Слици 65 дат је приказ упоредних дијаграма највише измерених истих вредности TDS у току дана и израчунатих TDS. Коefицијенти корелације су 0,786 (Пирсонов коefицијент) и 0,898 (Спирманов коefицијент). На Слици 66 дат је приказ упоредних дијаграма средње дневних вредности TDS и израчунатих TDS. Коefицијенти корелације су 0,978 (Пирсонов коefицијент) и 0,969 (Спирманов коefицијент). Симулациони модел за предикцију мутноће даје боље резултате за измерене средње дневне вредности мутноће Злотског изворишта.

Формирани симулациони модел је применљив за предикцију мутноће на изворишту у периоду отапања снега, па уколико предвиђена вредност мутноће прелази законом дозвољену максималну вредност, на располагању је довољно времена за правовремено искључење изворишта из система водоснабдевања. Овим се потврђује Хипотеза **H<sub>4</sub>**.

Шематски приказ модела управљања водоснабдевањем са аспекта параметра квалитета воде - мутноће који је применљив за изворишта подземне воде дат је на слици 67.



Слика 67. Шема симулационог модела

Менаџменту предузећа које се бави водоснабдевањем, примена овог модела може бити значајна подршка у управљању кључним процесима који се односе на добијање здравствено исправне воде за пиће. Такође, на овај начин се смањује број фаза у процесу прераде сирове воде до нивоа законом прописаног квалитета воде за пиће.

## 7.0. ЗАКЉУЧАК

Карстне подземне воде постају све значајнији ресурс снабдевања водом за пиће. Режим истицања, али и квалитет карстних изданских вода, у највећој мери зависе од плувиографског режима, као и од режима површинских водотокова који пониру. Највећа осетљивост ових вода је њихова реакција на дуготрајне периоде без киша или на дуготрајне кишне периоде. Током сушних периода јавља се њихов дефицит, а током кишних периода долази до наглих промена, како количина воде, тако и њиховог квалитета. Из тих разлога се врши мониторинг квалитета карстних вода. Располагање подацима о параметарима квалитета воде, добијених мониторингом који се спроводи у континуитету, омогућава примену симулационих модела ради успостављања зависности количина падавина, топљења снега и карактеристичних параметара квалитета воде.

Успостављање и примена симулационог модела за предикцију параметара квалитета воде може бити добар начин за побољшање услова снабдевања водом за пиће. Циљ моделовања је ефикасније коришћење података свакодневног мониторинга, како би се повећала ефикасност процеса водоснабдевања и смањила зависност управљања процесом искључиво од искуства оператера и уобичајене праксе.

Истраживања у овој дисертацији су усмерена ка предикцији појаве повећане мутноће воде на извориштима Злот и Сурдуп (град Бор), у зависности од количине и врсте падавина, као најзначајнијег фактора утицаја на појаву замућења у води изворишта, уз употребу статистичких метода, корелационих модела и анализа. Спроведеним истраживањима је указано и на значај мониторинга испитиваних параметара квалитета подземних вода и вода у дистрибутивном систему.

Циљ ове докторке дисертације је био одређивање концентрације тешких метала у води и креирање симулационог модела зависности падавине (киша и снењг) - водостај - мутноћа воде карстних изворишта Злот и Сурдуп, која се користе за потребе водоснабдевања на територији града Бора. На овај начин, управљање водосистемом ће постати сигурније. На основу података временске прогнозе, моћи ће да се одреди највероватније време појаве мутне воде на изворишту, што ће омогућити правовремено реаговање и искључивање изворишта из система водоснабдевања пре његовог замућења.

За потребе анализе режима неког карстног врела, у новије време се све више користе аутокорелационе и кроскорелационе анализе. Задатак корелационе анализе је да дефинише начин (законитост) на који независно променљива случајна величина утиче на зависно променљиву случајну величину. У овом истраживању узајамне повезаности падавина, водостаја и мутноће воде, независно случајне променљиве падавине и водостај, имају директан утицај на зависну променљиву, мутноћу воде.

Регресиона анализа коришћена је за успостављање симулационог модела за предвиђање вредности једне променљиве (зависна променљива) из познатих вредности друге променљиве (независна променљива).

Ово је веома битно, како би се добрим управљањем водосистемом избегло продирање замућене воде у дистрибутивни систем. Свако присуство замућености воде веће од 1 NTU може довести до смањења ефикасности у уклањању патогена и смањења ефикасности дезинфекције. Доказано је да вредности 3,0 NTU “не смеју никада да се прекораче”, јер се ефикасност значајно губи, а особине воде се нагло погоршавају. Честице могу заштити вирусе, бактерије и протозое од ефеката дезинфекције или смањења пропустљивости у средство за дезинфекцију. И неоргански и органски извори мутноће могу заштити микроорганизме од дезинфекције, при чему органски извори мутноће смањују ефикасност хлора као средства за дезинфекцију. Мутноћа изазвана неорганским честицама утиче на рН воде, алкалитет, концентрацију метала и активност појединих дезинфекционих средстава. Мутноћа изазвана органским честицама такође утичена хемију, рН воде и њен алкалитет. Највећи утицај на квалитет воде имају природне органске материје (хуминске). Природне органске материје су у стању да веже знатне количине метала и оксида и да заједно формирају комплексе. Оно што је најважније, је да NOM са хлором стварају канцерогене DBPs.

Резултати спроведених истраживања указују да су подаци са метеоролошке станице Црни Врх за све климатске параметре применљиви за извориште Злот. Међутим, подаци за отапање снега, нису применљиви за извориште Сурдуп које је значајно удаљено и на супротној страни је од метеоролошке станице Црни Врх. Потребно је угустити мрежу метеоролошких станица, тако да свако истраживано подручје има валидне климатске податке који га карактеришу. Утицај падавина на водостаје река и мутноћу у оба изворишта је био са временским кораком у интервалу од 0 - 1 дана. Утицај отапања снега на водостај Бељевинске реке и мутноћу Злотског изворишта, уочен је са временским кораком од два дана.

Резултати истраживања су показали да тешки метали нису детектовани у изворишту Злот и у неповољним климатским условима, док је у води из изворишта Сурдуп детектовано присуство молибдена у неповољним климатским условима. Важно је рећи, да се извориште Сурдуп налази у области која је богата рудом бакра и кварцног песка, тј. у близини два рудника: “SERBIA ZIJIN COPPER DOO” (експлоатација руде бакра) и рудник “Jugo Kaolin” (производња кварцног песка). Ово указује на то, да молибден у води може бити последица замућења, али и близине ових рудника.

Успостављени су симулациони модели који дају веома добре предикције појаве мутноће на извориштима Злот и Сурдуп. Корелациони коефицијент између измерене и израчунате мутноће је износио 0,83 за Злотско извориште, а за извориште Сурдуп 0,73. Такође, корелација између измерене средње дневне вредности мутноће и израчунате мутноће Злотског изворишта у зимском периоду је веома висока, изнад 0,9.

Веза између мутноће воде у дистрибутивном систему и потрошње  $\text{KMnO}_4$  је такође веома јака. За мутноће мање од 1 NTU потрошња  $\text{KMnO}_4$  никад није прелазила 3 mg/l. За мутноће веће од 1 NTU, потрошња  $\text{KMnO}_4$  је била већа од 3 mg/l. То је доказ тврдње, да са повећањем мутноће долази до повећања материја које редукују  $\text{KMnO}_4$ , а то указује на повећано присуство органских материја у води, које реагујући са резидуалним хлором граде трихалометане чија је карактеристика да припадају групи канцерогених једињења. С тога је веома важно, да мутноћа у води буде што мања. Корелациони коефицијент између мутноће воде у дистрибутивном систему и потрошње  $\text{KMnO}_4$  је већи од 0,9.

Успостављене графичке зависности, као и одређивања коефицијената корелације између карактеристичних месечних серија добијених на основу низова свакодневних осматрања мутноће и осматрања мутноће вршена на сваких 5 дана, указала су на чињеницу да прекиди у осматрању имају утицаја на податке о мутноћи воде. Са гледишта квалитета, а на основу вредности  $R^2$ , може се рећи да прекиди у осматрању имају најмањег утицаја на средње месечне вредности мутноће ( $R^2 = 0,8742$ ). Међутим, на минималне месечне, а нарочито на максималне вредности мутноће, као и на апсолутне екстремне вредности, овај критеријум има значајно већи утицај, што последично утиче и на стандардну девијацију. Тако, повремена 5-то дневна осматрања у разматраним случајевима могу довести до погрешних закључака о постојећим режимима разматраног квалитативног параметара-мутноћу. Ови подаци указују на значај и неопходност постојања континуалног, дугорочног мониторинга квалитативних параметара воде.

Применом моделовања, обезбеђују се вредности излазних параметара, у овом случају мутноће, у прописаним границама, уз што мања улагања додатних ресурса за обезбеђивања ових граница (снабдевање становништва водама из цистерни, укључивање у систем водоснабдевања изворишта “Мрљиш” за чији је транспорт потребно вишестепено препумпавање, а самим тим долази до велике потрошње електричне енергије, што условљава неповољне финансијске ефекте).

Са етичког становишта, значај спроведених истраживања је да укаже на потенцијалне опасности повећане мутноће у води за пиће на здравље људи, обзиром да мутна вода садржи повећану концентрацију органских и неорганских материја, што захтева већу концентрацију дезинфекционог средства у води и повећава могућност стварања трихалометана, који имају канцерогена својства. Замућена вода може да садржи и повећани број микроорганизама који могу бити патогени и као такви могу изазвати разна обољења ( првенствено стомачна) која у појединим ситуацијама могу добити и размере епидемија.

Предикција мутноће у води на изворишту помоћу успостављених симулационих модела омогућава правовремено искључивање из система водоснабдевања изворишта које ће се замућити, што има вишеструке позитивне ефекте. Први и најзначајнији је да се на овај начин спречава улазак замућене воде у дистрибутивни систем. Ниске вредности мутноће у води захтевају и минималне количине резидуалног хлора у води. Овим се могућност стварања канцерогених једињења опасних за здравље људи своди на минимум. Такође, за предузећа која се баве водоснабдевањем значајан је и економски ефекат. Контролом мутноће на самом изворишту нису потребне скупе технологије за пречишћавања воде до нивоа воде за пиће.

## ЛИТЕРАТУРА

- Alloway B.J.,(Ed.) Heavy Metals in Soils Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability, Chapter: Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils (2013) 11-50.
- Anderson M.D., The special water quality issues of karst, dual porosity and fractured aquifers arising from the mobilisation and transport of sediment through aquifers. Conference: 5th Conference on Hydrogeology, Ecology, Monitoring and Management of Ground Water in Karst Terranes (2009).
- Angelini, P., Correlation and spectral analysis of two hydrogeological systems in central Italy. Hydrology Sciences Journal, 42 (1997) 425-438.
- Aphiphan P., Seeboonruang U., Kaitwanidvilai S., Cluster and regression analysis for predicting salinity in groundwater. MATEC Web of Conferences, 192 (2018).
- Atkins P.F., Tomlinson, H.D., Evaluation of daily carbon chloroform extracts with CAM. Water Sewage Works, 110 (1963) 281-284.
- Ažman, J., Frković, V., Bilić-Zulle, L., Petrovečki, M., Korelacija i regresija, Acta Medica Croatica, 60 (2006) 81-91.
- Batabyal A. K., Correlation and Multiple Linear Regression Analysis of Groundwater Quality Data of Bardhaman District, West Bengal, India. International Journal of Research in Chemistry and Environment, 4 (2014) 42-51.
- Bakalowicz M., Karst groundwater: a challenge for new resources. Hydrogeology Journal, 13 (2005) 148-160.
- Bard A., Renard B., Lang M., Observed trends in the hydrologic regimes of Alpine catchments. International Closing Conference July 6th (2011) Munich.
- Barczyk G., Karst and vaucluse springs from the polish Tatra Mts. Results of long-term stationary investigations: Acta Carsologica, 32 (2003) 145-155.
- Bayer P., Finkel M., Life cycle assessment of active and passive groundwater remediation technologies. Journal of contaminant hydrology, 83 (2006) 171-199.
- Beaudeau P., Payment, P., Bourderont, D., Mansotte, F., Boudhabay, O., Laubies B., and Verdier, J., A time series study of anti-diarrhoeal drug sales and tap-water quality. International Journal Environmental Health Research, 9 (1999) 293-312.
- Bečelić M., The influence of ozone on the removal of contaminants from surface water by processes of coagulation, flocculation and adsorption. Doctoral dissertation, Faculty of science University of Novi Sad (2007).

- Berman D., Rice, E.W., Hoff, J.C., Inactivation of particle-associated coliforms by chlorine and monochloramine. *Applied Environmental Microbiology*, 54 (1988) 507-512.
- Birk S., Wagner T., New directions in the application of hydrograph recession models to karst aquifers: IAMG, Salzburg (2011).
- Bischsel Y., Gunten U.V., Formation of iodo-trihalomethanes during disinfection and oxidation of iodide-containing waters. *Environmental Science and Technology*, 49 (2000) 297-306.
- Bonacci O., *Karst Hydrology with special reference to the Dinaric karst*. Springer series in physical environment. Springer-Verlag. Berlin (1987) 180.
- Bonacci O., Roje-Bonacci T., Interpretation of groundwater level monitoring results in karst aquifers: examples from the Dinaric karst. *Hydrological Process*, 14 (2000) 2423-2438.
- Bonacci, O., Monthly and annual effective infiltration coefficients in Dinaric karst; example of the Grand Ole karst spring catchment. *Hydrological Sciences Journal = Journal des Sciences Hydrologiques*, 46 (2001) 287-299.
- Bonacci O., Prilozi za ekohidrologiju karsta. *Vodoprivreda*, 40 (2008) 3-18.
- Bonacci O., Hidrološka analiza pojave mutnoće na izvorima u kršu: interpretacija podataka merenih na izvoru Omble. *Hrvatske vode*, 24 (2016) 47-57.
- Bonneau J., Fletcher T.D., Costelloe J.F., Burns M.J., Stormwater infiltration and the 'urban karst' – a review. *Journal of Hydrology*, 552 (2017) 141-150.
- Box G. E. P., Jenkins G. M., Reinsel G. C., *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. 4th edition, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2008.
- Bougeard C.M.M., Goslan E.H., Jefferson B., Parsons S.A., Comparison of the disinfection by-product formation potential of treated waters exposed to chlorine and monochloramine. *Water Research*, 43 (2010) 729-740.
- Bray M., Han D., Identification of support vector machines for runoff modelling. *Journal hydroinformatics*, 6 (2004) 265-280.
- Brownie J., *A Gentle Introduction to Autocorrelation and Partial Autocorrelation*. Mini-course, (2017).
- Bruchet A.D., Duguet J.P., Role of oxidants and disinfectants on the removal masking and generation of tastes and colours. *Water Science Technology*, 49 (2004) 297-306.
- Busuladžić H., Konvencionalne metode prečišćavanja vode za piće. *Vodoprivreda* 41 (2009) 61-68.
- Caron E., Chevrefis Jr., G., Barbeau B., Payment P., Prévost M, Impact of microparticles on UV disinfection of indigenous aerobic spores. *Water Research*, 41 (2007) 4546-4556.

- Changa Y., Baia Y., Qua J., Does  $\text{KMnO}_4$  preoxidation reduce the genotoxicity of disinfection by-products. *Chemosphere*, 163 (2016) 73-80.
- Chang F.J., Chiang Y.M., Chang L.C., Multi-step-ahead neural networks for flood forecasting. *Hydrological Sciences Journal*, 52 (2007) 114-130.
- Chang Y., Wu J., Jiang G., Liu L., Reimann T., Sauter M., Modelling spring discharge and solute transport in conduits by coupling CFPv2 to an epikarst reservoir for a karst aquifer. *Journal of Hydrology*, 569 (2019) 587-599.
- Chaubey S., Patil M.K., Correlation Study and Regression Analysis of Water Quality Assessment of Nagpur City. India, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5 (2015) 753-757.
- Chen P.A., Chang L.C., Chang F.J., Reinforced recurrent neural networks for multistep- ahead flood forecasts. *Journal of Hydrology*, 497 (2013) 71-79.
- Chen Z., Auler A.S., Bakalowicz M., Drew D., Griger F., Hartmann J., Jiang G., Moosdorf N., Richts A., Stevanović Z., Veni G., Golcheider N., The World Karst Aquifer Mapping project: concept, mapping procedure and map of Europe. *Journal of Hydrogeology*, 25 (2017) 771-785.
- Chenini I., Khemiri S., Evaluation of ground water quality using multiple linear regression and structural equation modeling. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 6 (2009) 509-519.
- Christe P., Climatic dependency of mountain springs: challenges for a sustainable groundwater management in the (Swiss) Alps: EFG Workshop 22-23 November (2013) Brussels.
- Cigizoglu H.K., Estimation, forecasting and extrapolation of river flows by artificial neural networks. *Hydrology Science Journal*, 48 (2003) 349-362.
- Colton, T., *Statistics in Medicine*, Little Brown and Co., 1974.
- Chu W., Gao M., Deng Y., Templeton M.R., Yina D., Impacts of drinking water pretreatments on the formation of nitrogenous disinfection by-products. *Bioresource Technology*, 102 (2011) 11161-11166.
- Dalmacija B., Organske materije u vodi kod nas-problem kvalitetnog snabdevanja, Prirodne organske materije u vodi (Ed. Dalmacija B. i Ivančev-Tumbas, I.). *Water Workshop* (2002), Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
- Davies-Colley R.J., Smith D.G., Turbidity, suspended sediment and water clarity: a review, *Journal of the American Water Resources Association*, 37 (2001) 1085-1101.
- Davies-Colley R. J., Wilcock, R. J., Water quality and chemistry in running waters, in *Freshwaters of New Zealand*. (Ed. J. Harding, P. Mosley, C. Pearson, B. Sorrell), 11.1-11.17. New Zealand Hydrological Society and New Zealand Limnological Society, Caxton Press.,

Christchurch (2004).

- Davis J.C., *Statistics and Data Analysis in Geology*. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York (2002) 638.
- Delbart C., Valdesd D., Barbecotg F., Tognellia A., Richona P., Couchoux L., Temporal variability of karst aquifer response time established by the sliding-windows cross-correlation method. *Journal of Hydrology*, 511 (2014) 580-588.
- Delpla I., Rodriguez J.M., Experimental disinfection by-product formation potential following rainfall events. *Water research*, 104 (2016) 340-348.
- Delpla I., Rodriguez M.J., Variability of disinfection by-products at a full-scale treatment plant following rainfall events. *Chemosphere*, 166 (2017) 453-462.
- Dimitrijević-Adamović D., Jankanj Z., *Projekat primenjenih hidrogeoloških istraživanja na Izvorištu "Surdup" JKP "Vodovod" Bor*, 2014.
- Dimkić M., Pušić M., Vidović D., Đurić D., Boreli - Zdravković Đ., Analiza transporta zagađenja kod određivanja zona sanitarne zaštite izvorišta podzemnih voda u aluvijalnim sredinama. *Vodoprivreda*, 45 (2013) 264-266.
- Dodds L., King W., Woolcott C., Pole, J., Trihalomethanes in public water supplies and adverse birth outcomes. *Epidemiology*, 10 (1999) 233-237.
- Donisa C., Mocanu R., Steinnes E., Distribution of some major and minor elements between fulvic and humic acid fractions in natural soils. *Geoderma*, 111 (2003) 75-84,
- Dragišić V, Stevanović Z, *Opšta hidrogeologija*. Rudarsko-geološki fakultet, Institut za hidrogeologiju, Beograd (1997).
- Dragišić V., *Hidrogeološke karakteristike šire okoline Bora*. Društvo mladih istraživača Bor (1989).
- Drew D., Hotzi H., *Karst Hydrogeology and Human Activities: Impacts, Consequences and Implications*. In Book: David Drew (Ed) CRC Press, Rotterdam, Netherlands (1999).
- Dunne T., Leopold L.B., *Water in environmental planning*. Book, San Francisco: W. H. Freeman. (1978) 818.
- Durmishi B.A., Reka A. A., Jashari A., Ismaili M., Shabani A., Durmishi A., *Disinfection of Drinking Water and Trihalomethanes: A Review*. *International journal of advanced research in Chemical science*, 2 (2015) 45-56.
- Đurić D., Lukić V., Soro A., *Hidrodinamička analiza proširenja izvorišta „Petrovaradinska ada“*, *Vodoprivreda*, 258-260 (2012) 265-272.
- Ebrahimi A., Taheri E., Pashae A., Mahdavi M., *The effectiveness of polyaluminium ferric chloride (PAFCI) for turbidity and color removal from Ishafan raw water*. *Desalin water*



treatment, 55 (2015) 1966-1972.

- Egli M., Sartori G., Mirabella A., Giaccari D., Favilli F., Scherner D., Krebs R., Delbos E., The influence of weathering and organic matter on heavy metals lability in silicatic Alpine soils. *Science of the environment*, 408 (2010) 931-946.
- Eisenlohr L., Kiraly I., Bouzelboudjen M., Rossier I., Numerical versus statistical modeling of natural response of a karst hydrogeological system. *Journal of Hydrology*, 202 (1997) 244-262.
- Farrell C., Hassard F., Jefferson B., Leziart T., Nocker A., Jarvis P., Turbidity composition and the relationship with microbial attachment and UV inactivation efficacy. *Science of the total environment*, 624 (2018) 638-647.
- Fatehifar E., Elkamel A., Taheri M., Anderson W.A., & Abdul-Wahab S.A., Modeling and simulation of multi-pollutants dispersion from a network of refinery stacks using a multiple cell approach. *Environmental Engineering Science*, 24 (2007) 795-811.
- Fatehifar E., Elkamel A., Alizadeh Osalu A., & Charchi A., Developing a new model for simulation of pollution dispersion from a network of stacks. *Applied Mathematics and Computation*, 206 (2008) 662-668.
- Fendekova M., Pekarova P., Fendek M., Pekár J., Škoda P., Global drivers effect in multi-annual variability of runoff. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 62 (2014) 169-176.
- Fiorillo F., Doglioni A., The relation between karst spring discharge and rainfall by cross-correlation analysis (Campania, southern Italy). *Hydrogeology Journal*, 18 (2010) 1881-1895.
- Fleury P., Plagnes V., Bakalowicz M., Modelling of the Functioning of Karst Aquifers With a Reservoir Model: Application to Fontaine de Vaucluse (South of France). *Journal of Hydrology*, 345 (2007) 38-49.
- Ford DC., Williams PW., *Karst geomorphology and hydrology*. Academic Division of Unwin Hyman Ltd. London (1989) 601.
- Ghebremichael, K., Tipping, J., Aeration and Gas Transfer -Theoretical aspect. Materijal sa kratkog kursa magistarskog studija Hidroformatike, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, Holandija (2008) 88.
- Gilbert M.L., Levallois, P., Rodriguez, M.J., Use of a health information telephone line, Info-sante CLSC, for the surveillance of waterborne gastroenteritis. *Journal Water Health*, 4 (2006) 225-232.
- Giurginca, A., Munteanu, C. M., Stanomir, M.L., Niculescu, G., Giurginca, M., Assessment of potentially toxic metals concentration in karst areas of the Mehedinti Plateau Geopark (Romania). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 5 (2010) 103-110.

- Gjessing E. T., Short Term and Long Term Changes and Variation in Water Quality. Extended abstract submitted to the Workshop on Changes in Quality and Quantity of dissolved NOM. Causes and Consequences, Atna 21-23 May (2003).
- Golea D.M., Upton A., Jarvis P., Moore G., Sutherland S., Parsons S.A., Judd S.J.S., THM and HAA formation from NOM in raw and treated surface waters. *Water research*, 112 (2017) 226-235.
- Goshko M.A., Minnigh, H.A., Pipes, W.O., Christian, R.R., Relationships between standard plate counts and other parameters in water distribution systems. *Journal American Water Works Association*, 75 (1983) 568-571.
- Gregory J., Introduction. In: *Particles in water: properties and processes*. IWA Publishing (2006).
- Gremaud V., Goldcheider N., Climate change effects on aquifer recharge in a glacierised karst aquifer system, Tsanfleuron – Sanetsch, Swiss Alps. In book: B. Andreo et al. (Eds.), *Advances in Research in Karst Media* (2010) 31-36.
- Gutierrez F., Parise M., De Waele J., Jourde H., A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. *Earth-Science Reviews*, 138 (2014) 61-88
- Haas C.N., Mayer M.A., Paller M.S., Microbial alterations in water distribution systems and their relationship to physical-chemical characteristics. *Journal American Water Works Association*, 75 (1983) 475–481.
- Ha Nhu V., Rahmati O., Falah F., Shojaei S., Mapping of Groundwater Spring Potential in Kars Aquifer System Using Novel Ensemble Bivariate and Multivariate Models. *Water*, 12 (2020) 1-25.
- Haven M.C., Tetrault G.A., Schenken J.R., *Laboratory instrumentation 4 th Edition*, John Wiley and Sons (1994).
- Health Canada, *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document — Turbidity*. Water and Air Quality Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada, Ottawa, Ontario (2012) 11.
- He L., Lu G.H., Lu H.W., A simulation-based fuzzy chance constrained programming model for optimal groundwater remediation under uncertainty, *Advances in water resources*, 31 (2008(a)) 1622-1635.
- Hilberg S., Investigations of the aquifer characteristics of the dolomite formation on the Northern Calcareous Alps in Germany and Austria, in: Zuber A., Kania J., Kmiecik E. eds, XXXVIII IAH Congress “Groundwater Quality Sustainability Krakow”, 12–17 September 2010, Extended Abstracts, University of Silesia Press (2010) 1351-1360.
- Hejkal T.W., Wellings, F.M., LaRock, P.A., Lewis, A.L., Survival of poliovirus within organic solids during chlorination. *Applied Environmental Microbiology*, 38 (1979) 114-118.

- Herson, D. S., Marshall, D. R., Victoreen, H. T, Bacterial persistence in the distribution system. Jour. AWWA (1984) 309-322.
- Hua G., Reckhow D.A., Abusallout, Correlation between SUVA and DBP formation during chlorination and chloramination of NOM fractions from different sources. Chemosphere, 130 (2015) 82-89.
- Huck P.M., Coffey B.M., Emelko M.B., Maurizio D.D., Slawson R.M., Anderson W.B., Den Oever J.V., Douglas I.P., O'Melia C.R., Effects of filter operation on Cryptosporidium removal. Journal American Water Works Association, 94 (2002) 97–111.
- Huey M.G., Meyer M.L., Turbidity as an indicator of water quality in diverse watersheds of the upper Pecos river basin. Water, 2 (2010) 273-284.
- Hu T.S., Lam K.C., Ng S.T., River flow time series prediction with rangedependent neural network. Hydrology Sciences Journal, 46 (2001) 729–746.
- Jain A., Kumar A.M., Hybrid neural network models for hydrologic time series forecasting. Applied Soft Computing, 7 (2007) 585–592.
- Jukic D., Uloga transfer funkcija pri izradi bilance i modeliranja otjecaja u kršu. Doktorska disertacija, Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split (2005).
- Jukić D., Denić-Jukić V., Investigation relationships between rainfall and karst-spring discharge by higher-order partial correlation functions. Journal of Hydrology, 530 (2015) 24-36.
- Jung C.W., Son H.J., The relationship between disinfection by-products formation and characteristics of natural organic matter in raw water. Korean Journal Chemical Engineering, 25 (2008) 714-720.
- Jusić S., Primjena Stimela okruženja modeliranja na filter stanicama u BiH. Vodoprivreda, 45 (2013) 81-96.
- Kalhor K., Ghasemizadeh R., Rajić Lj., Alshwabkeh A., Assessment of groundwater quality and remediation in karst aquifers: A review. Grondwater for sustainable development, 8 (2019) 104-121.
- Kamari M., Tattari S., Lotsari E., Koskiaho J., Lioyd C.E.M., High-frequency monitoring reveals seasonal and event-scale water quality variation in a temporally frozen river. Journal of Hydrology, 564 (2018) 619-639.
- Karapinar N., Uyak V., Soylu S., Topala T., Seasonal variations of NOM composition and their reactivity in a row humic water. Environment Progress Sustainable Energy, 33 (2014) 962-971.
- Kay, G.P., Sykora, J.L., Burgess, R.A., Algal concentration as a quality parameter of finished drinking waters in and around Pittsburgh. Pa., Journal American Water Works Association (1980) 170-176.

- Kolesarić, V., Petz, B., Statistički riječnik, Naklada Slap, Jastrebarsko (2003).
- Kollu K., Örmeci B., Effect of particles and biofloculation on ultraviolet disinfection of *Escherichia coli*. *Water Research*, 46 (2012) 750-760.
- Koopal L.K., van Riemsdijk W.H., Kinniburgh D.G., Humic matter and contaminants. General aspects and modeling metal ion binding, *Pure and Applied Chemistry*, 73 (2001) 2005-2016.
- Kordel W., Dassenakis M., Lintelmann J., Padberg S., The importance of natural organic material for environmental processes in waters and soils. *Pure and Applied Chemistry*, 69 (1997) 1571-1600.
- Koutsoyiannis D., Montanari A., Negligent killing of scientific concepts: the stationarity case. *Hydrological Sciences Journal*, 60 (2014) 1174-1183.
- Krasner S.W., Weinberg H.S., Richardson S.D., Pastor S.J., Chinn R., Scrimanti M.J., Onstad G.D., Thruston A. D., Occurrence of a new generation of disinfection byproducts. *Environmental Science and Technology*, 40 (2006) 7175-7185.
- Krešić N., Stevanovic Z., Groundwater hydrology of springs: engineering, theory, management and sustainability. Amsterdam, Boston, Butterworth-Heinemann, *Acta carologica*, 39 (2010) 573.
- Krešić N., Modeling, Chapter in Monography Groundwater hydrology of springs. Ed. Krešić N. and Stevanović Z., Elsevier (2010) 165-230.
- Kvalitet voda laboratorijski priručnik, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu (2012).
- Kuhnert P., Henderson B., Lewis S., Bainbridge Z., Wilkinson S., Brodie J., Quantifying total suspended sediment export from the Burdekin river catchment using the loads regression estimator tool. *Water resources*, 48 (2012) 799-813.
- Kuhta M., Stroj A., Brkić Ž., Hydrodynamic characteristics of Mt. Biokovo foothill springs in Croatia. *Geologia Croatica*, 65 (2012) 41-51.
- Langmuir D., The geochemistry of some carbonate groundwaters in Pennsylvania. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 35 (1971) 1023-1045.
- Larocque M, Mangin A, Razack M, Banton O., Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France). *Journal of Hydrology*, 205 (1998) 217-231.
- Lazarević R., Podzemne hidrografske veze na Dubašnici, Zbornik radova za kras SAN knjiga DLXVIII, knjiga 3, Beograd (1986).
- Le Chevallier, M.W., Evans, T.M., Seidler, R.J., Effect of turbidity on chlorination efficiency and bacterial persistence in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, 42 (1981) 159-167.

- LeChevallier, M.W., Norton, W.D., Examining Relationships Between Particle Counts and Giardia, Cryptosporidium and Turbidity. *Journal American Water Works Association*, 84 (1992) 54-60.
- Lessels J.S., Bishop T.F.A., Estimating water quality using linear mixed models with stream discharge and turbidity. *Journal of Hydrology*, 498 (2013) 13-22
- Lessels J.S., Bishop T.F.A., A simulation based approach to quantify the difference between event-based and routine water quality monitoring schemes. *Journal of Hydrology: Regional studies*, 4, B (2015) 439-451.
- Leutnant D., Mischalla D., Uhl M., Stormwater pollutant process analysis with long-term online monitoring data at micro-scale sites. *Water*, 8 (2016) 299-310.
- Levchuk I., Jose Rueda M., Sillanpaa M. Removal of natural organic matter (NOM) from water by ion exchange - A review. *Chemosphere*, 192 (2018) 90-104.
- Lewin J., Woodward J., Karst Geomorphology and Environmental Change. In Book: *The Physical Geography of the Mediterranean Edition: 1st, Chapter*, Publisher: Oxford University Press, Editors Jamie Woodward (2009) 287-317.
- Lida T., Kajihara A., Okubo H., Okajima K., Snow accumulation and ablation had a significant impact on SS runoff. *Journal of hydrology*, 428-429 (2012) 116-128.
- Liedl R., Sauter M., Hückinghaus D., Clemens T., Teutsch G., Simulation of the development of karst aquifers using a coupled continuum pipe flow model. *Water Resources Research*, 39 (2003) 1-11.
- Li G., Goldcheider N., Field M.S., Modeling karst spring hydrograph recession based on head drop at sinkholes. *Journal of hidrology*, 542 (2016) 820-827.
- Lim G., Aramini J., Fleury M., Ibarra R., Meyers R., Investigating the relationship between drinking water and gastroenteritis in Edmonton: 1993-1998. Health Canada, Ottawa, Ontario (2002).
- Lin J.Y., Cheng C.T., Chau K.W., Using support vector machines for long-term discharge prediction. *Hydrological Sciences Journal*, 51 (2006) 599-612.
- Mackenthun, K.M., Keup, L.E., Biological problems encountered in water supplies. *Journal American Water Works Association*, 62 (1970) 520-526.
- Majkić-Dursun B., Popović M., Miloski D., Anđelković O., Uticaj opadanja nivoa podzemnih voda na procese starenja vodozahvatnih objekata. *Vodoprivreda*, 44 (2012) 181-187.
- Makwe E., Chup C.D., Seasonal variation in physico-chemical properties of groundwater around Karu Abattoir. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 6 (2013) 489-497.

- Manasijević D., Statistička analiza u SPSS programu (autorizovana predavanja). Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru (2011).
- Mance D., Characterization of a karst aquifer based on the spatial and temporal variations of hydrogen and oxygen stable isotopes. Doktorska disertacija, Faculty of science, Department of physics, Zagreb (2014).
- Mangin, A., Pour une meilleure connaissance des systemes hydrologiques a partir des analyses correlatoires et spectrales. *Journal of Hydrology*, 67 (1984) 25-43.
- Mangin A., Karst hydrogeology. In: Gilbert, J., D.L. Danielopol & J.A. Stanford (eds). *Groundwater Ecology*. Academic Press (1994) 43-67.
- Mann A.G., Tam C.C., Higgins C.D., Rodrigues L.C., The association between drinking water turbidity and gastrointestinal illness: a systematic review. *BMC Public Health*, 7 (2007) 256-263.
- Martin S.E., Conklin M.H., Bales R.C., Seasonal Accumulation and Depletion of Local Sediment Stores of Four Headwater Catchments. *Water*, 6 (2014) 2144-2163.
- Massei N., Dupont J.P., Mahler B.J., Laignel B., Fournier M., Valdes D., Ogier S., Nebbache S., Feeny V., Poudevigne I., Alard D., Investigating transport properties and turbidity dynamics of a karst aquifer using correlation, spectral, and wavelet analyses. *Journal of Hydrology*, 329 (2006) 244-257.
- Mathevet T., Lepiller M., Mangin A., Application of time series analyses to the hydrological functioning of an Alpine karstic system: the case of Bange-L'Eau-Morte. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8 (2004) 1051-1064.
- Matilainen A., Lindqvist N., Korhonen S., Tuhkanen T., Removal of NOM in the different stages of the water treatment process. *Environment International*, 28 (2002) 457-465.
- Mazurkiewicz A., McGurk B., Tsang M., Effect of snow covered area and delayed snowmelt on water quality and reservoir management: 2010 turbidity event in hetch hetchy reservoir. *Western Snow Conference* (2011).
- McDonald T. A., Komulainen H., Carcinogenicity of the chlorination disinfection by-product, MX. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 23 (2005) 163-214.
- McTigue N.E., LeChevallier, M., Arora, H. and Clancy, J., National assessment of particle removal by filtration. American Water Works Association Research Foundation and American Water Works Association, Denver, Colorado (1998).
- Mehr A.D., Kahya E., Olyaie E., Streamflow prediction using linear genetic programming in comparison with a neuro-wavelet technique. *Journal of Hydrology*, 505 (2013) 240-249.
- Mihajlović I., Nikolić Đ., Štrbac N., Živković Ž., Statističko modelovanje u ekološkom menadžmentu upotrebom veštačkih neuronskih mreža. *Serbian Journal of Management* 5

(2010) 39-50.

- Miko S., Dum G., Adamcova R., Čović M., Dubikova M., Skalsky R., Kapelj S., Ottner F., Heavy metal distribution in karst soils from Croatia and Slovakia. *Environmental Geology*, 45 (2003) 262-272.
- Miladinović B., Vakanjac Ristić V., Bukumirović D., Dragišić V., Vakanjac B., Simulacija priliva rudničkih voda na primeru rudnika mrkog uglja Štavalj (Jugozapadna Srbija). *Archives of Mining Sciences*, 60 (2015) 955-969.
- Milanović P, Karst hydrogeology and methods of investigations, HP “Trebišnjica”. Institute for the use and water protection in karst, Trebinje (in Serbian), 1979.
- Milanović S., Vasić L.J., Kličković M., Formiranje 3D modela karstnih kanala u zoni isticanja vrela kao za zahvatanje podzemnih voda u karstu. *Vodoprivreda* , 44 (2012) 169-173.
- Milojević N., Milosavljević M., Tomić V., Hidrogeološka studija u cilju ispitivanja mogućnosti i uslova vodosnabdevanja radne organizacije “Belorečki pešćar”. Rudarsko-geološki fakultet Beograd (1978).
- Mogaji K., Abdullah K., Lim H.S., Modeling of groundwater recharge using a multiple linear regression (MLR) recharge model developed from geophysical parameters: a case of groundwater resources management. *Environmental Earth Sciences*, 73 (2015) 1217–1230.
- Mohankumar K., Hariharan V., Rao P. N., Heavy metal contamination in groundwater around industrial estate vs residential areas in Coimbatore, India. *Journal of Clinical and Diagnostic Research, Biochemistry section*, 10 (2016) 5-7.
- Mokarram M., Modeling of multiple regression and multiple linear regressions for prediction of groundwater quality (case study: north of Shiraz). *Modeling Earth System and Environment*, 2 (2016) 1-7.
- Mondal A., Mujumdar P.P., Regional hydrological impacts of climate change: implications for water management in India. *Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future*, 366 (2015) 34-43.
- Moniewski P., Seasonal variability of discharge from selected springs in central Europe. *Episodes*, 38 (2014) 189-196.
- Morris R.D., Naumova E.N., Levin, R., Munasinghe, R.L., Temporal variation in drinking water turbidity and diagnosed gastroenteritis in Milwaukee. *American Journal Public Health*, 86 (1996) 237-239.
- Morris R.D., Naumova E.N., Griffiths J.K., Did Milwaukee experience waterborne cryptosporidiosis before the large documented outbreak in 1993. *Epidemiology*, 9 (1998) 264-270.
- Musikavong C., Wattanachira S., Marhaba T.F., Pavasant P., Reduction of organic matter and

- trihalomethane formation potential in reclaimed water from treated industrial estate wastewater. *Journal of Hazardous Material*, 127 (2005) 48-57.
- Muthulaskimi L., Ramu A., Kannan N., Murugan A., Application Of Correlation And Regression Analysis In Assessing Ground Water Quality. *International Journal of ChemTech Research*, 5 (2013) 353-361.
- Myers D.N., Foundations of Water Quality Monitoring and Assessment in the United States. *Food, Energy, and Water, The chemistry connection* (2015) 21-92.
- Naceradskaa J., Pivokonskya M., Pivokonskaa L., Baresovaa M., Hendersonc R.K., Zamyadic A., Jandad V., The impact of pre-oxidation with potassium permanganate on cyanobacterial organic matter removal by coagulation, *Water research*, 114 (2017) 42-49.
- Nanou E.A., Zagana E., Groundwater Vulnerability to Pollution Map for Karst Aquifer Protection (Ziria Karst System, Southern Greece). *Geosciences*, 8 (2018) 125-140.
- Naumova E.N., Egorov A.I., Morris R.D., Griffiths J.K., The elderly and waterborne *Cryptosporidium* infection: gastroenteritis hospitalizations before and during the 1993 Milwaukee outbreak. *Emerging Infectious Diseases*, 9 (2003) 418-425.
- Nebbache S., Feeny V. I., Poudevigne I., Alard, D., Turbidity and nitrate transfer in karstic aquifers in rural areas: The Brionne Basin case-study. *Journal of Environmental Management*, 62 (2001) 389-398.
- Ngabirano H., Byamugisha D., Ntambi E., Effects of Seasonal Variations in Physical Parameters on Quality of Gravity Flow Water in Kyanamira Sub-County, Kabale District, Uganda. *Journal of Water Resource and Protection*, 8 (2016) 1297-1309.
- Nikolic I., Kocic V., Ristic Vakanjac V., Monitoring podzemnih voda u državnoj mreži stanica Srbije. XIV Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Zlatibor, Srbija (2012) 45-50
- Noori R., Karbassi A.R., Moghaddamnia A., Han D., Zokaei-Ashtiani M.H., Farokhnia A., Gousheh M.G., Assessment of input variables determination on the SVM model performance using PCA, Gamma test and forward selection techniques for monthly stream flow prediction. *Journal of Hydrology*, 401 (2011) 177-189.
- Olsson G., Newell B., Rosen C., Ingildsen P., Application of information technology to decision support in treatment plant operation. IWA - Water Science and Technology IWA Publishing, 47 (2003) 35-42.
- Padilla A., Pulido-Bosch A., Study of hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis. *Journal of Hydrology*, 168 (1995) 73-89.
- Panagopoulos G., Lambrakis,N., The contribution of time series analysis to the study of the hydrodynamic characteristics of the karst systems: Application on two typical karst aquifers of Greece (Trifilia, Almyros Crete). *Journal of Hydrology*, 329 (2006) 368-376.



- Park J., Obeysekera R., Van Zee R., Prediction boundaries and forecasting of non linear hydrologic stage data. *Journal of Hydrology*, 312 (2005) 79-94.
- Patania N.L., Jacangelo J.G., Cummings L., Wilczak A., Riley, K., Oppenheimer J., Optimization of filtration for cyst removal. American Water Works Association Research Foundation and American Water Works Association, Denver, Colorado (1995).
- Peng Y., Long S., Ma J., Song J., Liu Z., Temporal-spatial variability in correlations of drought and flood during recent 500 years in Inner Mongolia, China. *Science of The Total Environment*, 633 (2018) 484-491.
- Petitta M., Bodo B., Caschetto M., Colomban N., Correia V., Cseko A., di Cairano M., Fernandez I., Garcia Alibrand C., Hartai E., Hinsby K., Madarasy T., Mikita V., Garcia Padilla M., Szucs P., van der Keur P., The KINDRA project: a tool for sharing Europe's groundwater research and knowledge. *European Geologist. Journal of the European Federation of Geologist*, 40 (2015) 5-8.
- Pifer A.D., Fairey J.L., Improving on SUVA<sub>254</sub> using fluorescence - PARAFAC analysis and asymmetric flow-field flow fractionation for assessing disinfection byproduct formation and control. *Water Research*, 46 (2012) 2927-2936.
- Pifer A.D., Cousins S.L., Fairey J.L., Assessing UV- and fluorescence based metrics as disinfection byproducts precursor surrogate parameters in a water body influenced by a heavy rainfall event. *Journal of Water Supply Research and Technology*, 63 (2013) 200-211.
- Pifer A.D., Fairey J.L., Suitability of organic matter surrogates to predict trihalomethane formation in drink water sources. *Environmental Engineering Science Journal*, 31 (2014) 117-126.
- Plewa M.J., Wagner E.D., Charting a new path to resolve the adverse health effects of DBPs. In: Karanfil, Tanju, Mitch, Bill, Westerhoff, Paul, Xie, Yuefeng (Eds.), *American Chemical Society*, Chapter 1 (2015) 3-23.
- Pešić M., Ristić Vakanjac V., Vakanjac B., Antonijević M., Marković N., Good monitoring as a precondition for high drinking water quality: Case study of Zlot water supply sources (Bor, Serbia). *XXIII International Conference Ecological Truth* (Ed. Pantović and Marković), University of Belgrade, Technical Faculty Bor ( 2015) 583-589.
- Pešić M., Milić S., Nujkić M., Marić M., Determination of Heavy Metal Concentration and Correlation Analysis of Turbidity: a Case Study of the Zlot Source (Bor, Serbia). *Water, Air and Soil Pollution*, 231 (2020) 98.
- Pešić M., Milić S., Nujkić M., Marić M., The impact of climatic parameters on the turbidity and natural organic matter content in drinking water in the City of Bor (Eastern Serbia). *Environmental Earth Sciences*, 79 (2020) 267.
- Pešić M., Milić S., Nujkić M., Medić D., Stanković S., Application of simulation methods and analysis of the influence of precipitation regime on turbidity o karst aquifer: a case study of karst Zlot'sspring (Bor, Serbia). *28<sup>th</sup> International Conference Ecological Truth and*

Environmental Research, Kladovo, Serbia, June (2020) 215-220.

Posavec K., Vukojević P., Ratkaj M., Bedeniković T., Cross-correlation Modelling of Surface Water - Groundwater Interaction Using the Excel Spreadsheet Application. The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin (2017) 25-32.

Power K.N., Nagy L.A., Relationship between bacterial regrowth and some physical and chemical parameters within Sydney's drinking water distribution system. Water Research, 33 (1999) 741-750.

Pravilnik o načinu uzimanja uzoraka i metodama za laboratorijsku analizu, "Sl. list SFRJ", br. 33/87).

Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće, Sl. list SRJ, br. 42/98, 44/99, 40/03.

Prohaska S., Hidrologija - I deo, Rudarsko geoloski fakultet (2003) 428.

Prohaska S., Hidrologija - II deo, Institut za vodoprivrednu „Jaroslav Cerni“ i Rudarsko geoloski fakultet (2006) 578.

Pronk M., Goldscheider N., Zopfi J., Dynamics and interaction of organic carbon, turbidity and bacteria in a karst aquifer system. Hydrogeology Journal, 14 (2006) 473-484.

Pulido-Bosch, A., Padilla, A., Dimitrov, D., Machkova, M., The discharge variability of some karst springs in Bulgaria studied by time series analysis. Hydrological Sciences Journal, 40 (1995) 517-532.

Raeisi E., Groves C., Meiman J., Effects of partial and full pipe flow on hydrochemographs of Logsdon river, Mammoth Cave Kentucky USA. Journal of Hydrology, 337 (2007) 1-10.

Rabrenović M., Jemcov I., Živanović V., Dragišić V., Pešić M., Ocena ranjivosti podzemnih voda Gornjanskog karsta. 8. Simpozijum o zaštiti karsta (2015) 7-8.

Rakovan J., Hypogene & Supergene. Word to wise, Rock & Minerals, 78 (2003) 419-419.

Ramesh S., A Correlation and Regression Study for Ground Water Samples in and Around Dyeing Industry. International Journal of ChemTech Research, 10 (2017) 416-424.

Rehanna S., Mujumdar P.P., Climate change induced risk in water quality control problems. Journal of Hydrology, 444-445 (2012) 63-77.

Renner M., Bernhofer C., Long term variability of the annual hydrological regime and sensitivity to temperature phase shifts in Saxony/Germany. Hydrology and Earth System Sciences, 15 (2011) 1819-1833.

Republički hidrometeorološki zavod, Hidrološki godišnjaci.

Richarson S.D., New disinfection by-products issues: emerging DBPs and alternative routes of

exposure. *Global NEST* 1.7 (2005) 43-60.

- Ristić Vakanjac V., Polomčić D., Blagojević B., Čokorilo M., Vakanjac B., Simulation of Karst Spring Daily Discharges. Conference on Water Observation and Information System for Decision Support - BALWOIS 2012, Ohrid, Macedonia (2012a) 1-10.
- Ristić Vakanjac V., Stevanović Z., Milanović S., Monography: Climate Changes and Impacts on Water Supply. WP4-Availability of Water Resources (2012b).
- Ritter L., Solomon K., Sibley, P., Hall, K., Keen, P., Mattu, G and Linton B., Sources, pathways, and relative risks of contaminants in surface water and groundwater: a perspective prepared for the Walkerton inquiry. *Journal Toxicology Environmental Health A*, 65 (2002) 1-142.
- Robert E., Grippa M., Kergoat L., Pinet S., Gal L., Cochonneau G., Martinez J., Monitoring water turbidity and surface suspended sediment concentration of the Bagre reservoir (Burkina Faso) using MODIS and field reflectance data. *International journal of applied earth*, 52 (2016) 243-251.
- Roccaro P., Vagliasindi F.G.A., Differential vs. Absolute UV absorbance approaches in studying NOM reactivity in DBPs formation: comparison and applicability. *Water Research*, 43 (2009) 744-750.
- Rodriguez M. J., Serodes J. B., Levallois P., Behaviour of trihalomethanes and haloacetic acids in a drinking water distribution system. *Water Research*, 38 (2005) 4367-4382.
- Rook J., Formation of haloforms during chlorination of natural waters. *Journal Water Treatment and Examination*, 23 (1974) 234-243.
- Rubiyatno, Hadibarata T., Yanti N, Seng B., The Decrease of organic substance concentration (KMnO<sub>4</sub>) and turbidity in well (ground) water using biosand filter reactor. *Journal of environmental science and technology*, 5 (2012) 430-440.
- Ruhston K.R., Ward C., The Estimation of Groundwater Recharge. *Journal of Hydrology*, 41 (1979) 345-361.
- Sadar M.J., Understanding turbidity science. Hach Company, Loveland, CO (Technical Information Series, Booklet II) (1998).
- Sadiq R., Ridriguez M.J., Disinfection by-products (DBPs) in drinking water and predictive models for their occurrence a review. *Science of the Total Environmental*, 321 (2004) 21-46.
- Sagur C., Kurtulus B., Razack M., Hydrodynamic Characterization of Mugla Karst Aquifer Using Correlation and Spectral Analyses on the Rainfall and Springs Water-Level Time Series. *Water*, 12 (2020) 85.
- Salas J.D., Delleur J.W., Yevjevich V., Lane W.L., Applied Modeling of Hydrologic Time Series. Water Resources Publications. Littleton, Colorado. pp: 484 (2nd Printing 1985. 3rd Printing. 1988) (1988).

- Schiperski F., Turbidity as an Indicator of Contamination in Karst Springs: A Short Review. In book: Karst Groundwater Contamination and Public Health (2018) 127-139.
- Schock M.R., Lytle, D.A. , Internal corrosion and deposition control. In: Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 6th edition. McGraw-Hill, New York (2011).
- Shrestha A.K., Basnet N., The Correlation and Regression Analysis of Physicochemical Parameters of River Water for the Evaluation of Percentage Contribution to Electrical Conductivity. Journal of Chemistry, 2018 (2018) 1-9.
- Sidibe A.M., Xueyu L., Heavy metals and nitrate to validate groundwater sensibility assessment based on DRASTIC models and GIS: Case of the upper Niger and the Bani basin in Mali. Journal of African Earth Sciences, 147 (2018) 199-210.
- Singer P.C., Humic substances as precursors for potentially harmful disinfection by-products. Water science technology, 40 (1999) 25-30.
- Sivakumar B., Nonlinear dynamics and chaos in hydrologic systems: latest developments and a look forward. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 23 (2009) 1027-1036.
- Slaetsa J.I.F., Schmitterb P., Hilgera T., Lamersc M., Piephod H.P., Vienet D., Cadischa G., A turbidity-based method to continuously monitor sediment, carbon, and nitrogen flows in mountainous watersheds. Journal of Hydrology, 513 (2014) 45-57.
- Snead M.C., Olivieri V.P., Kruse C.W., Kawata K., Benefits of maintaining a chlorine residual in water supply systems. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. June (EPA-600/2-80-010) (1980).
- Stevanović Z., Vodni mineralni resursi litosfere Srbije - korišćenje, zaštita i potencijalnost. Monografija: Vodni mineralni resursi litosfere Srbije, Pos. Izd. RGF, Beograd (1995) 3-25.
- Stevanovic Z., Ristic Vakanjac V., Milanovic S., Vasic Lj., Petrovic B., Značaj monitoringa podzemnih voda u karstu Srbije. 7 Simpozijum o zaštiti karsta (2011) 21-28.
- Stevanović Z., Ristić Vakanjac V., Milanović S., Karst aquifer as a "Buffer" for climate variations and changes. Proceedings of IWA Specialist Groundwater conference, 8-10 September, Belgrade, Serbia (2011) 369-375.
- Stevanovic Z., Ristic Vakanjac V., Milanovic S., O potrebi formiranja nove nacionalne mreže za monitoring podzemnih voda u Srbiji. Zbornik radova XVI Kongresa geologa Srbije (2014).
- Sutherland S., Parsons S.A., Daneshkhah A., Jarvis P., Judd S.J., THM precursor rejection by UF membranes treating Scottish surface waters. Separation and Purification Technology, 149 (2015) 381-388.
- Swaffera B.A., Viala H.M., Kingb J.B., Dalya R., Frizenchafa J., Monisb P.T., Investigating source

water *Cryptosporidium* concentration species and infectivity rates during rainfall-runoff in a multi-use catchment. *Water research*, 67 (2014) 310-320.

Škunca-Milovanović S., Feliks R., Đurović B., Voda za piće -Standardne metode za ispitivanje higijenske ispravnosti. Savezni zavod za zdravstvenu zaštitu, Beograd (1990).

Šmejkalová D., Piccolo A., Spitteller M., Oligomerization of humic phenolic monomers by oxidative coupling under biomimetic catalysis. *Environmental Science Technology*, 40 (2006) 6955–6962.

Taha F.M., Doanh V., The variation of mass and disinfection by-products formation potential of dissolved organic matter fractions along a conventional surface water treatment plant. *Journal of Hazardous materials*, 74 (2000) 133-147.

Tekindal M.A., Gullu O., Yazici A.C., Yavuz Y., The modelling of time-series and the evaluation of forecasts for the future: the case of the number of persons per physician in turkey between 1928 and 2010. *Biomedical Research*, 27 (2016) 965-971.

Teksoy A., Alkan U., Baskaya H.S., Influence of the treatment process combinations on the formation of THM species in water. *Separation and Purification Technology*, 61 (2008) 447-454.

Templeton M.R., Andrews R.C., and Hofmann R., Inactivation of particle-associated viral surrogates by ultraviolet light. *Water Research*, 39 (2005) 3487-3500.

Templeton M.R., Andrews R.C., Hofman R., Particle-associated viruses in water: impacts on disinfection processes. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 38 (2008) 37-164.

Tinker S.C., Moe C.L., Klein M., Flanders W.D., Uber J., Amirtharajah A., Singer P., Tolbert P.E., Drinking water turbidity and emergency department visits for gastrointestinal illness in Atlanta, 1993–2004. *Journal Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 20 (2010) 19-28.

Tornevia A., Simonsson M., Forsberga B., Save-Soderbergh M., Toljander J., Efficacy of water treatment processes and endemic gastrointestinal illness – a multi-city study in Sweden. *Water research*, 102 (2016) 263-270.

Toth E., Brath A., Montanari A., Comparison of short-term rainfall prediction models for real-time flood forecasting. *Journal of Hydrology*, 239 (2000) 132-147.

Uhle M.E., Chin Y.P., Aiken G.R., McKnight D.M., Binding of polychlorinated biphenyls to aquatic humic substances: The role of substrate and sorbate properties on partitioning. *Environmental Science and Technology*, 33 (1999) 2715–2718.

U.S. EPA, Guidance Manual for Compliance with the Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule: Turbidity Provisions. EPA 815-R-99-010, U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC (1999).

- U.S. EPA, Annual of methods for virology. National Exposure Research Laboratory U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina (EPA/600/4-84/013) (2001a).
- U.S. EPA, Microbiological methods/online publications. National Exposure Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina (2006a).
- Uyak V., Demirbas K.D., Formation of disinfection byproducts (DBPs) in surface water sources: differential ultraviolet absorbance approach. *Environment Forensics*, 15 (2014) 52-65.
- Uytendaal A., Lakes and Crescent: Ecological Modelling. Integrated and multidisciplinary approach to the rehabilitation of Lakes Sorell and Crescent, Rehabilitation of Lakes Sorell and Crescent Report Series. Inland Fisheries Service (2003).
- Van der Helm A., Rietveld L.C., Modelling of drinking water treatment processes within the Stimela environment. *Water Science and Technology Water Supply*, 2 (2002) 87-96.
- Vias J., Andreo B., Ravbar N., Hotzi H., Mapping the vulnerability of groundwater to the contamination of four carbonate aquifers in Europe. *Journal of Environmental Management*, 91 (2010) 1500-1510.
- Vesper D.J., Loop C.M., White W.B., Contaminant transport in karst aquifers. *Speleogenesis Evol. Karst Aquifers*, 2 (2003) 1-11.
- Vesper D.J., White W.B., Spring and conduit sediments as storage reservoirs for heavy metals in karst aquifers. *Environmental geology*, 45 (2004) 481-493.
- Voza D., Vuković M., The assessment and prediction of temporal variations in surface water quality —a case study. *Environmental monitoring and assessment*, 190 (2018) 434-450.
- Vrijenhoek E.M., Childress M., Elimelech M., Tanaka T.S., Buehler M.D., Removing particles and THM precursors by enhanced coagulation. *Journal American Water Works Association*, 90 (1998) 139-150.
- Vučić D. Sanitary conditions of water supply and the removal of waste materials. Association for Water Technology and Sanitary Engineering, Belgrade (1996).
- Walter Z. T. and Tassos S., Oxidation Kinetics and Mechanisms of Trihalomethanes By Fenton's Reagent. *Water Research*, 31 (1997) 1117-1125.
- Wang W.C., Chau K.W., Cheng C.T., Qiu L., A comparison of performance of several artificial intelligence methods for forecasting monthly discharge time series. *Journal of Hydrology*, 374 (2009) 294-306
- Wang Y., Kuhnert P., Henderson B., Load estimation with uncertainties from opportunistic sampling data – a semiparametric approach. *Journal of Hydrology*, 396 (2011) 148-157.
- Wei Q., Wang D., Qiao C., Shi B., Tang H., Size and resin fractionations of dissolved organic matter

- and trihalomethane precursors from four typical source waters in China. *Environmental Monitoring and Assessment Journal*, 141 (2008) 347-357.
- Wei-Haas M.L., Hageman K.J., Chin Y.P., Partitioning of polybrominated diphenyl ethers to dissolved organic matter isolated from arctic surface waters. *Environmental Science and Technology* 48 (2014) 4852–4859.
- Weng L., Temminghoff E.J.M., Lofts S., Tipping E., Van Riemsdijk W.H., Complexation with Dissolved Organic Matter and Solubility Control of Heavy Metals in a Sandy Soil. *Environmental Science of Technology*, 36 (2002) 4804-4810.
- Wen X., Lu J., Wu J., Lin Y., Luo Y., Influence of coastal groundwater salinization on the distribution and risks of heavy metals. *Science of the Total Environment*, 652 (2019) 267-277.
- White G.C., *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectant*. Forth Edition, Hoboken John Wiley&Sons (1998).
- White W.B., A brief history of karst hydrogeology: contributions of the NSS. *Journal of Cave and Karst Studies*, 69 (2007) 13-26.
- Wycisk P., Weiss H., Kaschl A., Heidrich S., Sommerwerk K., Groundwater pollution and remediation options for multisource contaminated aquifers (Bitterfeld/Wolfen, Germany). *Toxicology letters*, 140-141(2003) 343-351.
- Yang Z., Wu X., Li T., Li M., Zhong Y., Liu Y., Deng Z., Huang B., Liang H., Wang M., Epidemiological survey and analysis on an outbreak of gastroenteritis due to water contamination. *Biomedical and environmental science*, 24 (2011) 275-283.
- Yang L., Kim D., Uzun H., Karanfil T., Hur J., Assessing trihalomethanes (THMs) and N-nitrosodimethylamine (NDMA) formation potentials in drinking water treatment plants using fluorescence spectroscopy and parallel factor analysis. *Chemosphere*, 121 (2015) 84-91.
- Yingying Z., Jeffrey Y.Y., Yu S., Jill N., Tuqiao Z., The dependence of chlorine decay and DBP formation kinetics on pipe flow properties in drinking water distribution. *Water Research*, 14 (2018) 32-45.
- Yu X., Ghasemizadeh R., Padilla I.Y., Kaeli D., Alshawabkeh A., Patterns of temporal scaling of groundwater level fluctuation. *Journal of Hydrology*, 536 (2016) 485-495.
- Zhang Z., Luob. Y., Restoring method for missing data of spatial structural stress monitoring based on correlation. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 91 (2017) 266-277.
- Zhou Z., Huang T., Ma W., Li Y., Zeng K., Impacts of water quality variation and rainfall runoff on Jinpen Reservoir, in Northwest China. *Water science and engineering*, 8 (2015) 301-308.
- Živanović S., Lazović J., Projekat detaljnih hidrogeoloških istraživanja na Izvorištu JKP “Vodovod”

Bor. Geonženjering BGP, Beograd (2012).

Živanović S., Tomić V., Lazović J., Avramović A., Elaborat o rezervama izvorišta sistema Zlot. JKP "Vodovod" Bor, Geonženjering BGP, Beograd (2015).

Živanović S., Lazović J., Tomić V., Avramović A., Elaborat o rezervama podzemnih voda na izvorištu "Surdup". JKP "Vodovod" Bor, Geonženjering BGP, Beograd (2016).



## БИОГРАФИЈА

Марина Пешић је рођена 23.04.1968. године у Зајечару. Основну и средњу школу је завршила у Бору. Године 1992. је дипломирала на Техничком факултету у Бору, одсек за неорганску хемијску технологију. Докторске академске студије је уписала школске 2016/2017. године на одсеку Технолошко инжењерство, Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду.

Јануара 1993. године запослила се у РТБ-у Бор у фабрици Сумпорне киселине. Досадашњи радни век је провела у привреди, а задњих година ради у Јавном комуналном предузећу „Водовод“ Бор. Од почетка радног стажа па до данас ради на пословима који су везани за заштиту животне средине. Као руководица службе за производњу и контролу квалитета воде, ради на пословима производње, дистрибуције и контроле квалитета воде за пиће, од изворишта до крајњих конзументата, као и на примени нових метода и технологија који омогућавају сигурно водоснабдевање са аспекта квалитета воде за пиће.

Има положена два државна испита: државни испит у рударству из области заштите животне средине у рударству и државни испит у технологији из области пречишћавања отпадних вода насталих у технолошком процесу производње сумпорне киселине. Такође, поседује Сертификат за стандард SRPS/IEC 17020:2012.

Током докторских академских студија, учествовала је на више домаћих и међународних конференција. Аутор је или коаутор значајног броја радова саопштених на националним и међународним конференцијама, а такође је аутор или коаутор више радова објављених у међународним и домаћим часописима.

## БИБЛИОГРАФИЈА

### СПИСАК НАУЧНИХ РАДОВА ПРОИСТЕКЛИХ ИЗ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### **I Рад у истакнутом међународном часопису (M-22)**

1. **Марина Пешић**, Снежана Милић, Маја Нујкић, Мирослава Марић, Determination of Heavy Metal Concentration and Correlation Analysis of Turbidity: a Case Study of the Zlot Source (Bor, Serbia), Water, Air and Soil Pollution, 231, 98 (2020).
2. **Марина Пешић**, Снежана Милић, Маја Нујкић, Мирослава Марић, The impact of climatic parameters on the turbidity and natural organic matter content in drinking water in the City of Bor (Eastern Serbia), Environmental Earth Sciences, 79, 267 (2020).

#### **II Рад у међународном часопису (M-23)**

1. **Марина Пешић**, Весна Ристић Вакањац, Борис Вакањац, Костадин Јованов, Turbidity simulation for short-term predictions: case study of the karst spring Surdup (Bor, Serbia), Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences, 69, 9 (2016) 1183-1194.

#### **III Радови саопштени на скупу међународног значаја штампани у целини (M- 33)**

1. **Марина Пешић**, Весна Ристић Вакањац, Милан Антонијевић, Борис Вакањац, Ненад Марковић, Good monitoring as a precondition for high drinking water quality: Case study of Zlot water supply sources (Bor, Serbia), XXIII International Conference "Ecological Truth", Кораоник, June 2015, 583-589.
2. **Марина Пешић**, Снежана Милић, Маја Нујкић, Драгана Медић, Соња Станковић, Application of simulation methods and analysis of the influence of precipitation regime on turbidity o karst aquifer: a case study of karst Zlot'sspring (Bor, Serbia), 28<sup>th</sup> International Conference Ecological Truth and Environmental Research, Kladovo, Serbia, June 2020, 215-220.

## **ИЗЈАВЕ**

Изјава 1 – Изјава о ауторству

Изјава 2 – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Изјава 3 – Изјава о коришћењу

## Изјава 1.

### Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: **Марина Пешић**  
Број индекса: **15/2016**

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом:

**Физичко-хемијска карактеризација и симулациони модел за појаву мутноће вода у циљу оптимизације процеса прераде вода**

- 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 кршила ауторска права и користила интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Бору,

***М. Пешић***

## Изјава 2.

### Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: **Марина Пешић**

Број индекса: **15/2016**

Студијски програм: **Технолошко инжењерство**

Наслов рада: **Физичко-хемијска карактеризација и симулациони модел за појаву мутноће вода у циљу оптимизације процеса прераде вода**

Ментор: **др Снежана Милић, ред. проф.**

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предала 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 Бору,

***М. Пешић***

### Изјава 3.

#### Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом: **Физичко-хемијска карактеризација и симулациони модел за појаву мутноће вода у циљу оптимизације процеса прераде вода**, која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предала 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 одлучила.

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 Бору,

*М. Пешић*

1. **Ауторство.** Дозвољаваате 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.** Дозвољаваате 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.** Дозвољаваате 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.** Дозвољаваате 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.** Дозвољаваате 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.** Дозвољаваате 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.