

Hidrogeološke i hidrokemijske značajke vodonosnog sustava savskog dijela istočne Slavonije

Ljaljić, Klara

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:787159>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-17**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET**

Preddiplomski studij geološkog inženjerstva

**HIDROGEOLOŠKE I HIDROKEMIJSKE ZNAČAJKE VODONOSNOG
SUSTAVA SAVSKOG DIJELA ISTOČNE SLAVONIJE**

Završni rad

Klara Ljaljić

GI 2117

Zagreb, 2021.

Rudarsko – geološko – naftni fakultet

HIDROGEOLOŠKE I HIDROKEMIJSKE ZNAČAJKE VODONOSNOG SUSTAVA
SAVSKOG DIJELA ISTOČNE SLAVONIJE

Klara Ljaljić

Završni rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Glavni cilj završnoga rada je prikaz geoloških, hidrogeoloških i hidrokemijskih značajki vodonosnog sustava savskog dijela istočne Slavonije koje je obilježeno kvartarnim naslagama izražene transmisivnosti. Temeljem odabranih parametara kakvoće podzemne vode: arsena, nitrata, aluminijske, amonij iona, mangana i željeza napravljena je analiza podzemne vode na području odabranih vodocrpilišta, u razdoblju od 2011. do 2019. godine. Mjerene vrijednosti odabranih parametara uspoređivane su s graničnim vrijednostima koncentracija tvari i maksimalno dopuštenim koncentracijama tvari (MDK). Utvrđena su odstupanja parametara željeza i mangana od MDK vrijednosti, dok odstupanja parametara od graničnih vrijednosti koncentracija tvari nisu zabilježene.

Ključne riječi: vodonosni sustav savskog dijela istočne Slavonije, podzemna voda, granična vrijednost, MDK vrijednost

Završni rad sadrži: 37 stranica, 11 slika, 8 tablica, 32 reference

Jezik izvornika: hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Prof.dr.sc. Zoran Nakić
Komentor: Dr.sc. Jasna Kopic
Ocjenjivači: Prof.dr.sc. Zoran Nakić
Izv.prof.dr.sc. Stanko Ružičić
Doc.dr.sc. Zoran Kovač

Datum obrane: 10.09.2021.

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. GEOLOŠKE ZNAČAJKE SAVSKOG DIJELA ISTOČNE SLAVONIJE	4
3. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE SAVSKOG DIJELA ISTOČNE SLAVONIJE	6
4. ZAKONSKA OSNOVA ZA OCJENU KAKVOĆE PODZEMNE VODE	14
5. ANALIZA KAKVOĆE PODZEMNE VODE SAVSKOG DIJELA ISTOČNE SLAVONIJE	19
5.1. Rezultati prijašnjih istraživanja	19
5.2. Izvori onečišćenja na istraživanom području	22
5.3. Indikatorski, kemijski i mikrobiološki pokazatelji kakvoće podzemne vode	23
5.4. Procjena stanja ugroženosti kakvoće podzemne vode.....	26
6. ZAKLJUČAK	31
7. LITERATURA	33
7.1. Objavljeni radovi.....	34
7.2. Studije i elaborati.....	34
7.3. Zakonski propisi	36
7.4. Mrežne stranice	36

POPIS SLIKA:

Slika 2-1. Karta geoloških jedinica na području Tovarnika (Galović, 1984.; Nakić & Kovač,2020.)	5
Slika 3-1. Hidrogeološka karta savskog dijela istočne Slavonije (Nakić et al.,2016.).....	7
Slika 3-2. Konceptualni model vodonosnog sustava u savskom dijelu istočne Slavonije (prema Nakić et al., 2018.).....	7
Slika 3-3. Hidrogeološka karta vodocrpilišta „Igralište“ u Oroliku (prema Nakić & Žugaj, 2007.; Nakić & Kovač, 2019.).....	9
Slika 3-4. Hidrogeološka karta vodocrpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci (Kopić,2016.) ...	10
Slika 3-5. Hidrogeološka karta vodocrpilišta Veliki kraj (prema Nakić & Žugaj,2007.; Nakić & Kovač,2017.)	11
Slika 3-6. Hidrogeološka karta vodocrpilišta A) Banovina i B) Sajmišta u Tovarniku (prema Nakić & Žugaj, 2008; Nakić & Kovač,2019.).....	12
Slika 3-7. Hidrogeološka karta vodocrpilišta Sojara (prema Nakić &Žugaj, 2008; Nakić & Kovač,2017.)	13
Slika 4-1. Provođenje klasifikacijskih testova radi ocjene kemijskoga i količinskog stanja podzemnih voda (CIS vodič broj 18,2009) (prema Nakić et al.,2016.).....	14
Slika 4-2. Prikaz koraka testa Ocjena opće kakvoće (prema Nakić et al.,2016.)	16
Slika 4-3. Prikaz koraka testa Zaštićena područja za pitke vode (prema Nakić et al.,2016.)...	17

POPIS TABLICA:

Tablica 5-1. Prikaz indikatorskih parametara(iz <i>Pravilnika o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnosti javne vodoopskrbe</i>) (NN br. 125/17)	24
Tablica 5-2. Prikaz kemijskih parametara(iz <i>Pravilnika o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnosti javne vodoopskrbe</i>)(NN br. 125/17)	25
Tablica 5-3. Prikaz mikrobioloških parametara.....	26
Tablica 5-4. Statistički pokazatelji kakvoće podzemne vode na području vodocrpilišta „Igralište“ Orolik	27
Tablica 5-5. Statistički pokazatelji kakvoće podzemne vode na području vodocrpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci	27
Tablica 5-6. Statistički pokazatelji kakvoće podzemne vode na području vodocrpilišta „Veliki kraj“ u Starima Jankovcima	29
Tablica 5-7. Statistički pokazatelji kakvoće podzemne vode na području vodocrpilišta „Banovina“ i „Mlaka“ u Tovarniku	30
Tablica 5-8. Statistički pokazatelji kakvoće podzemne vode na području vodocrpilišta „Sojara“ u Vrbanji	30

1. UVOD

Područje istočne Slavonije pripada nizinskom kraju, pa je zbog toga teren gotovo potpuno ravan (kote između 80 i 95 m) (Bačani, 1997.). Morfološki se ističu Đakovačko-vinkovački i Vukovarski ravnjaci ispunjeni eolskim sedimentima (praporima) koji se nalaze između Dravske i Slavonsko-srijemske potoline. Spomenute naslage taložile su se za vrijeme holocena i najmlađeg pleistocena kada je prostor istočne Slavonije još znatno bio pokriven močvarama (Nakić et al., 2006.). Granica između ovih morfoloških oblika determinirana je tektonskom aktivnošću koja traje još i danas (Nakić & Kovač, 2017.).

Prostor istočne Slavonije, između rijeka Save i Drave, značajan je po brojnim hidrogeološkim istraživanjima, koja su provođena kako bi se pojedina naselja i gradovi uspjeli opskrbiti vodom. Područje istraživanja ovog rada odnosi se na savski vodonosni sustav istočne Slavonije. Sava je rijeka nizinske Hrvatske s malim padom koja teče u smjeru zapad-istok stvarajući mnogobrojne zavoje (Bačani, 1997.).

Sliv rijeke Save obuhvaća područje površine 3329 km², gdje se ističu dvije hidrogeološke sredine. Prva sredina, tj. osnovni vodonosnik, nalazi se na jugu, uz Savu i predstavlja povoljan šljunkovito-pjeskovit vodonosni sloj, dok se sjeverno i istočno od ove sredine nalazi pjeskovita sredina, poznata kao sekundarni vodonosnik. U okruženju sliva Save smještena su 34 manja vodocrpilišta s prosječnom količinom crpljenja ispod 5 l/s (Nakić et al., 2018.).

U ovom radu obrađena su sljedeća vodocrpilišta:

- „Centar“ i „Igralište“ u Oroliku;
- „Istočna Slavonija“ u Sikirevcima;
- „Veliki kraj“ u Starim Jankovcima;
- „Banovina“, „Sajmište“ i „Mlaka“ u Tovarniku;
- „Sojara“ u Vrbanji.

U naselju Orolik koristi se voda iz vodocrpilišta „Centar“ s kapacitetom od 3 l/s. Također za potrebe navedenog naselja 2018. godine izveden je novi zdenac na lokaciji igrališta nedaleko postojećeg vodocrpilišta. Dozvoljeni kapacitet novoizgrađenog zdenca iznosi 9,4 l/s. Novo vodocrpilište „Igralište“ još nije uključeno u postojeći vodoopskrbni sustav što se planira krajem 2021. godine, te će uključanjem istog vodocrpilišta „Centar“ ostati kao pričuvno. (Nakić& Kovač, 2019.).

Vodocrpilište „Istočna Slavonija“ u Sikirevcima smješteno je oko 40 kilometara od Slavenskog Broda. S vodocrpilišta „Istočna Slavonija“ iz 8 vodozahvata opskrbljuje se oko 100 000 korisnika. Tri vodozahvata koristi Vodovod d.o.o. Slavonski Brod za potrebe dijela Brodsko-posavske županije. Pet vodozahvata koristi Vinkovački vodovod i kanalizacija d.o.o. Vinkovci za opskrbu većeg dijela Vukovarsko-srijemske županije. Maksimalna dozvoljena količina crpljenja s pet vodozahvata je 470 l/s dok s tri vodozahvata iznosi 300 l/s.

U Starim Jankovcima vodocrpilište „Veliki kraj“ smješteno je u južnom dijelu naselja. Ustanovljena je crpna količina koja iznosi 17 l/s (Nakić& Kovač, 2017.).

Vodocrpilište „Banovina“ – Tovarnik locirano je uz cestu na sjevernom ulazu u naselje Tovarnik. Maksimalni kapacitet crpljenja iznosi oko 25 l/s (Nakić& Kovač, 2017.). Novi zdenac izgrađen je 2018. godine na lokaciji Mlaka. Količina crpljenja za ovo područje iznosi 18 l/s (Nakić& Kovač, 2019.). Također, značajan je i novoizgrađeni (2019.) zdenac na lokalitetu „Sajmište“ koji se nalazi u području prostiranja Vuka formacije s optimalnim kapacitetom do 20 l/s(Nakić & Kovač, 2020.).

Vodocrpilište „Sojara“ Vrbanja smješteno je uz istoimeno naselje Vrbanja. Količine crpljenja na ovom vodocrpilištu su do 10 l/s (Nakić & Kovač, 2017.).

Na većini vodocrpilišta u istočnoj Slavoniji crpi se mala količina podzemne vode, do 20-25 l/s, a kakvoća vode je problematična zbog pojave otopljenog željeza, mangana i arsena. Od velike važnosti za sigurnost i zdravlje ljudi je vodoopskrba i osiguravanje kvalitetne pitke vode, pa je podzemne vode neophodno zaštititi od raznih štetnih tvari, a posebice od utjecaja čovjeka.

Cilj ovog rada je prikazati geološke i hidrogeološke značajke vodonosnog sustava savskog dijela istočne Slavonije te hidrokemijska obilježja podzemne vode istraživanog područja. Pomoću odabranih parametara kakvoće podzemne vode: arsena, nitrata,

aluminija, amonij iona, mangana i željeza izvedena je analiza kakvoće podzemne vode na području promatranih vodocrpilišta, u razdoblju od 2011. do 2019. godine. Da bi se pokazala kakvoća podzemne vode, mjerene vrijednosti pojedinih parametara uspoređivane su s graničnim vrijednostima koncentracija, prema *Uredbi o standardu kakvoće voda* (NN. br. 96/19) i maksimalno dopuštenim koncentracijama tvari (MDK) prema *Pravilniku o parametrima suglasnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe* (NN br. 125/17).

2. GEOLOŠKE ZNAČAJKE SAVSKOG DIJELA ISTOČNE SLAVONIJE

Značajna geološka istraživanja, koja su formirala brojne teorije o litostratigrafskom sastavu i strukturno-tektonskim relacijama naslaga u dubini, započeta su krajem pedesetih godina u sklopu naftno-geoloških istraživanja (Kopić, 2016.).

Istraživanjem dubinske geološke građe istočne Slavonije ustanovljeno je da se prostor istraživanja može podijeliti na dvije jedinice:

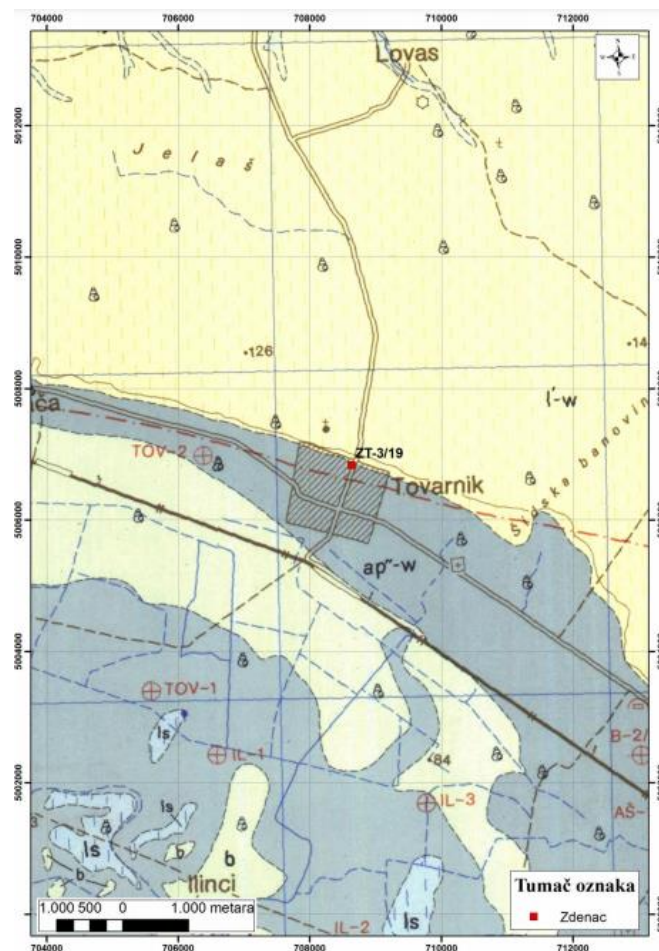
- savska ravnica;
- praporni ravnjaci.

Savska ravnica zauzima veći dio istraživanog prostora dok praporni ravnjaci, koji su u obliku erodiranih terasa, simboliziraju površinsku razvodnicu rijeka Save i Drave. Također, ustanovljeno je da sveobuhvatno područje nije dio jedinstvenog sedimentacijskog prostora jer je moguće razlikovati tri značajna predjela: Slavonsko-srijemsku potolinu, Đakovačko-vinkovački i Vukovarski ravnjak. Pod pojmom ravnjaci podrazumijeva se kompleksna timorska struktura koja je dubokim rasjedima odvojena od potolina. Taloženje ovih cjelina bilo je za vrijeme srednjega i gornjega pleistocena, a uvjetovano je klimatskim promjenama (izmjena toplih i hladnih razdoblja) i tektonskim aktivnostima koja su diktirala taloženje i transport materijala. Najznačajnije tektonsko kretanje dogodilo se krajem tercijara i početkom kvartara, uz izmjenjivanje sedimentacijskih faza glinovito-prahovitih i pjeskovitih naslaga. U razdoblju pleistocena izdvaja se riječna erozija i akumulacija te značajna prekrivenost naslaga praporom (Nakić & Žugaj, 2008.; Nakić & Kovač, 2017.).

Na području savskog dijela istočne Slavonije zabilježene su slijedeće geološke jedinice (slika 2-1) (Nakić & Kovač, 2017.) :

- barski sedimenti (b), debljine od 0,2 do 0,9 m, taloženi za vrijeme holocena i izgrađeni od tamne siltozne gline
- lesoidi (ls), debljine od 0,5 do 1,5 m, nastali tijekom holocena i izgrađeni od prahovitih glina i siltova
- sedimenti poplavnih područja (ap“-w), debljine od 0,5 do 1,5 m, taloženi za vrijeme pleistocena, izgrađeni od siltozno-glinovitih naslaga

- prapor ili les (l'-w), žutosmeđi prah debljine od 6 do 18 m, formiran u pleistocenu, dominira Đakovačko-vinkovačkim i Vukovarskim ravnjakom
- mlađi barski sedimenti (b'), debljine od 0,5 do 2 m, nastali tijekom holocena, izgrađeni od tamne, plavo-smeđe siltozne gline
- stariji barski sedimenti (b), debljine od 5 do 8 m, pleistocenske starosti, izgrađeni od svijetlosmeđih glinovitih siltova
- barsko-kopneni les (lbk), debljina veća od 15 m, taložen u pleistocenu, izgrađuju ga šareni i smeđi glinoviti siltovi.



Slika 2-1. Karta geoloških jedinica na području Tovarnika (Galović, 1984.; Nakić & Kovač, 2020.)

3. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE SAVSKOG DIJELA ISTOČNE SLAVONIJE

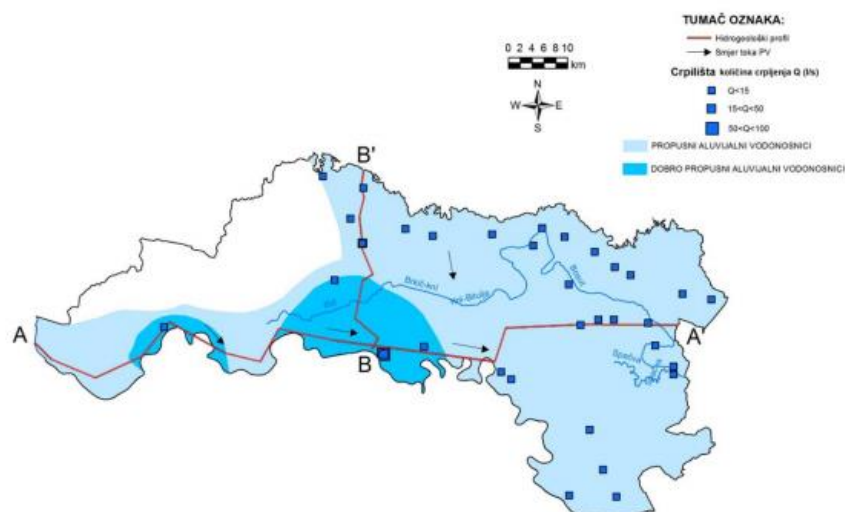
Sedamdesetih godina prošlog stoljeća počela su se provoditi hidrogeološka istraživanja savskog dijela istočne Slavonije kako bi se mogli odrediti hidrogeološki odnosi na tom području prije svega za potrebe opskrbe pitkom vodom istočne Slavonije (Kopić, 2016.).

Podaci dobiveni istraživanjem u istočnoj Slavoniji ukazuju na naslage kvartarne starosti najčešće do 100 m dubine. Ove naslage sastoje od propusnih slojeva koji su saturirani vodom, koja je povoljna za daljnju upotrebu (Bačani, 1997.). Na promatranom području vodonosni slojevi se mogu podijeliti s obzirom na dubinu zalijeganja i mehanizam obnavljanja podzemnih voda na (Kopić, 2016.):

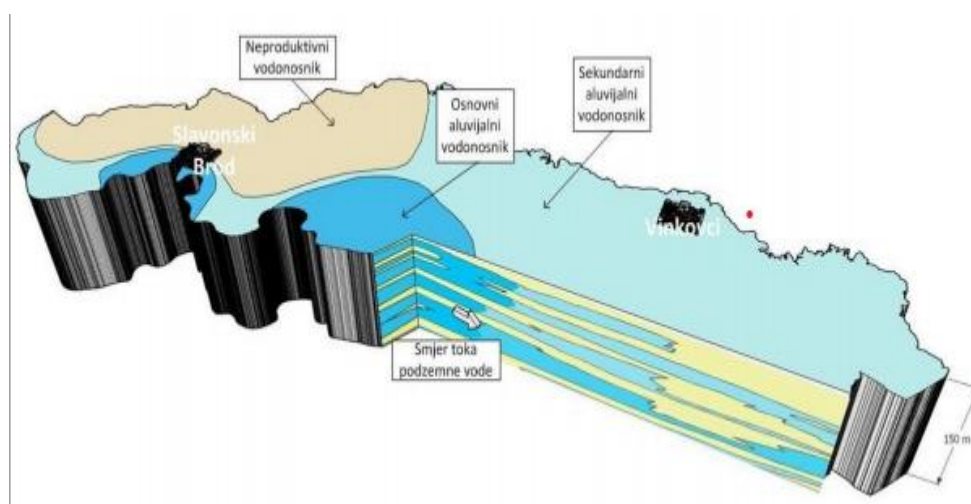
- plitke vodonosne slojeve koji su poluotvorenog do otvorenog tipa i
- poluzatvorene do zatvorene subarteške i arteške vodonosne slojeve koji se nalaze na većim dubinama.

Područje uz rijeku Savu obilježavaju kvartarne naslage s izraženom transmisivnosti i šljunkovito-pjeskoviti vodonosnici s velikim regionalnim značenjem (Nakić & Žugaj, 2007.; Nakić & Kovač, 2017.). Prosječna hidraulička vodljivost u dubljim vodonosnicima iznosi od 4 do 12 m/dan, a u plićim oko 30 m/dan. Krovinske glinovito-prahovite naslage s lećama pijeska, koje su smještene iznad pjeskovitog vodonosnika, debljine su između 30 i 40 m (Nakić et al., 2018.). Podina se sastoji od prahovite gline ili slojeva gline (Nakić & Žugaj, 2007.; Nakić & Kovač, 2019.).

Osnovni vodonosnik, smješten uz rijeku Savu, čini povoljan šljunkovito-pjeskoviti vodonosni sloj koji pripada lepezastim nanosima desnih pritoka rijeke Save, Bosne i Ukriane. Vodonosni sloj se prostire između rijeke Save, naselja Migalovci i Slavenskog Broda (slika 3-1) (predstavlja konus Ukriane) te Save, V. Kapanice, Gradišta i Županje (konus Bosne). Vodonosni sloj se taložio na dubini od 25 do preko 80 m. Što se tiče litološkog sastava, prevladava sitno do srednje zrnasti šljunak. Krovina vodonosnog sloja građena je od glinovito-prahovitih naslaga relativno male debljine, (oko 3 m), koja se povećava prema sjeveru (do 30 m). Sekundarni vodonosnik nalazi se sjeverno i istočno od osnovnog vodonosnika, a predstavlja sredinu pjeskovitih slojeva (slika 3-2). Debljina ovih slojeva rijetko kada je veća od 30 metara. Između ovih slojeva nalaze se slabo propusne naslage građene od praha i gline (Nakić et al., 2018.).



Slika 3-1. Hidrogeološka karta savskog dijela istočne Slavonije (Nakić etal., 2016.)



Slika 3-2. Konceptualni model vodonosnog sustava u savskom dijelu istočne Slavonije (prema Nakić etal., 2018.)

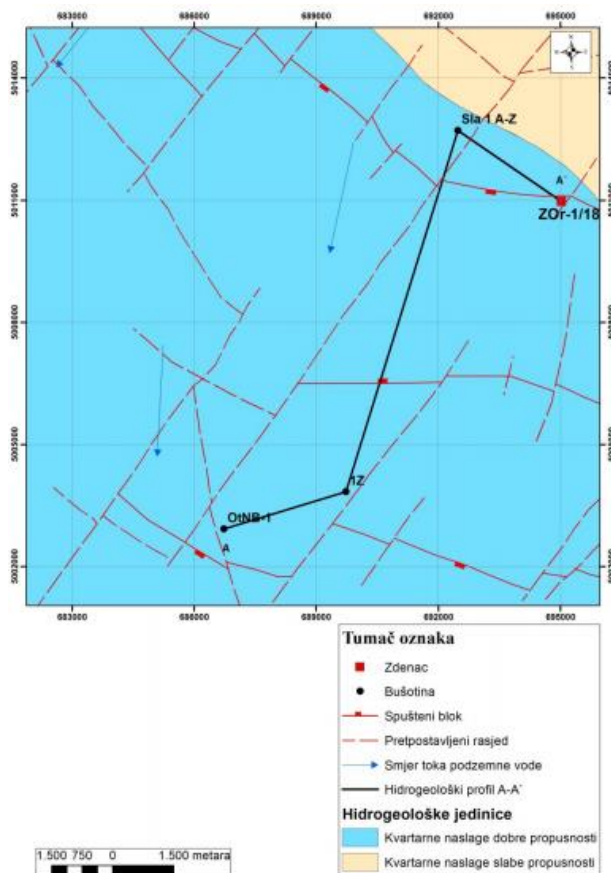
Obnavljanje podzemne vode prvoga pjeskovitog sloja vrši se infiltracijom oborina dok je obnavljanje u dubljim slojevima problematično zbog pojave međuslojeva koji su

slabopropusni. Osim infiltracijom, zaliha podzemnih voda šljunkovitoga sloja uz rijeku Savu obnavlja se i prihranjivanjem iz rijeke Save (Nakić et al., 2016.).

U savskom dijelu istočne Slavonije nalaze se 34 vodocrpilišta, čija je ukupna količina crpljenja u periodu od 2005. do 2013. godine oko 500 l/s što predstavlja oko 4% ukupnih dostupnih eksploatacijskih zaliha podzemne vode (Nakić et al, 2018.).

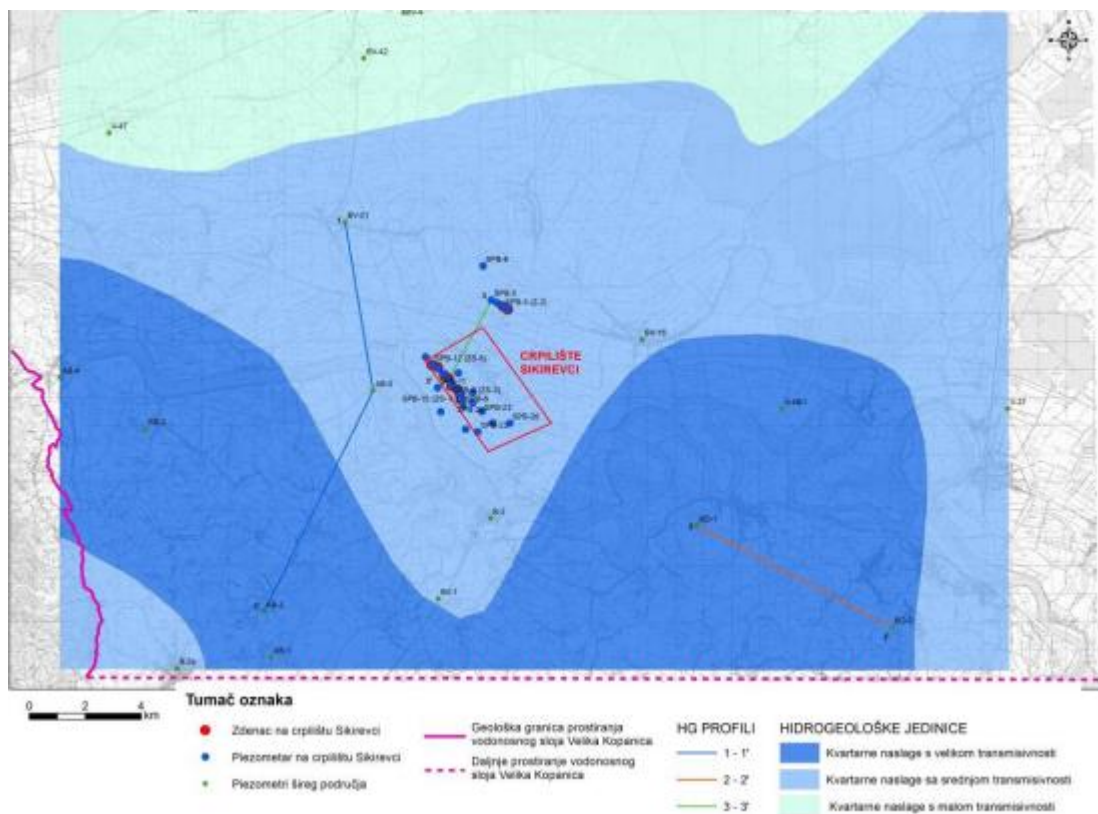
U nastavku teksta su ukratko prikazana najznačajnija hidrogeološka obilježja u priljevnim područjima razmatranih vodocrpilišta u savskom dijelu istočne Slavonije.

Zdenac na lokaciji vodocrpilišta „Igralište“ u Oroliku uglavnom obuhvaća pjeskovite slojeve koji su debljine oko 21 m. Osim pjeskovitih naslaga, prisutni su slojevi gline i praha. U vodonosniku, koji je poluzatvorenog do zatvorenog tipa, prevladavaju pjeskoviti vodonosni slojevi. Iznad vodonosnog sloja nalaze se slabo propusne naslage velikih debljina (slika 3-3) zatim glinovito-prahovite krovinske naslage omogućavaju zaštitu slojeva od potencijalnih procjeđivanja s površine. Podina je, također, izgrađena od slabo propusnih glinovito-prahovitih naslaga. Hidraulička vodljivost iznosi $1,435 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, a transmisivnost $2,297 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Šimundić & Tolarić, 2019.; Nakić & Kovač, 2019.).



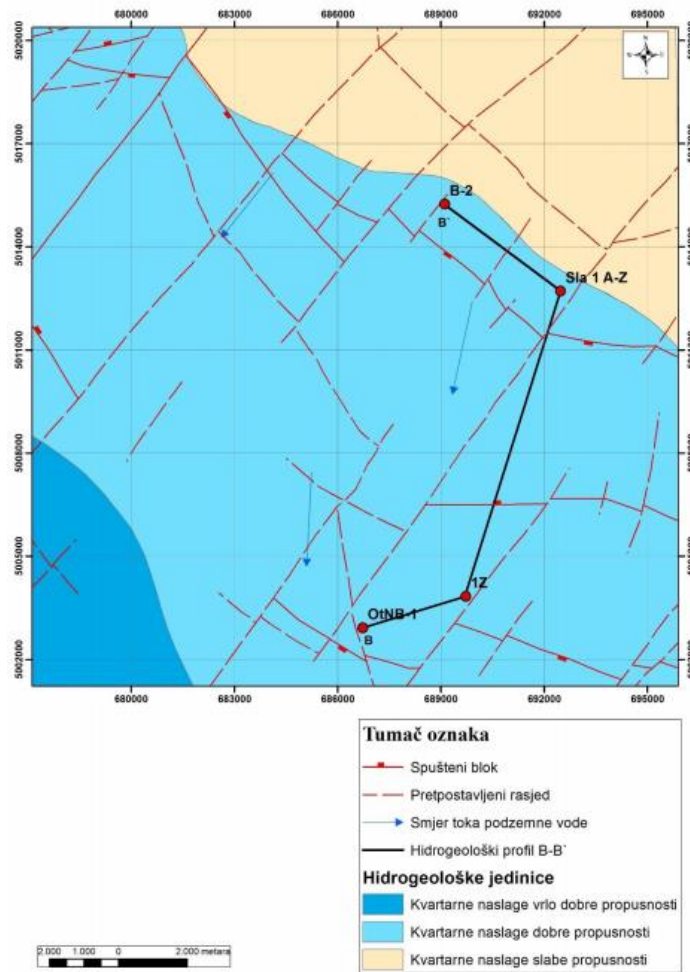
Slika 3-3. Hidrogeološka karta vodocrpilišta „Igralište“ u Oroliku (prema Nakić & Žugaj, 2007.; Nakić & Kovač, 2019.)

Vodonosnik vodocrpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci je poluzatvorenog do otvorenog tipa izgrađen od šljunkovito-pjeskovitih slojeva. Vodocrpilište je smješteno na području kvartarnih naslaga srednje transmisivnosti (slika 3-4) (Kopić, 2016.). Krovinu vodonosnika vodocrpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci izgrađuju naslage gline, pijeska i praha. Na širem području vodocrpilišta moguće je unutar krovinskih naslaga naći šljunkovito-pjeskoviti sloj koji je debljine od 5 do 10 m. Podina se sastoji od gline (Briški et al., 2013.).



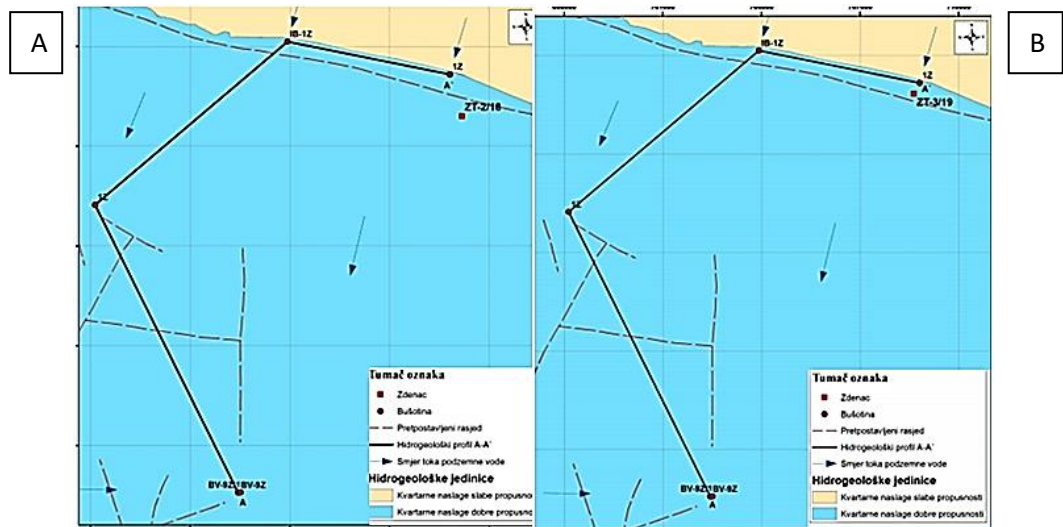
Slika 3-4. Hidrogeološka karta vodocrpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci (Kopić, 2016.)

Vodocrpilište „Veliki kraj“ u Starim Jankovcima (slika 3-5) obuhvaća pjeskovite vodonosne slojeve koji se nalaze na dubini od 28 do 80 m. Vodonosnik je poluzatvorenog tipa te predstavlja sredinu nekonsolidiranih materijala i niske mineralizacije podzemne vode. Krovina je izgrađena od glinovito-prahovitih i pjeskovitih materijala, a podina od slojeva gline ili prahovite gline. Iznos hidrauličke vodljivosti je 1×10^{-4} m/s, a transmisivnosti 2×10^{-3} m²/s (Nakić & Žugaj, 2007.; Nakić & Kovač, 2017.).



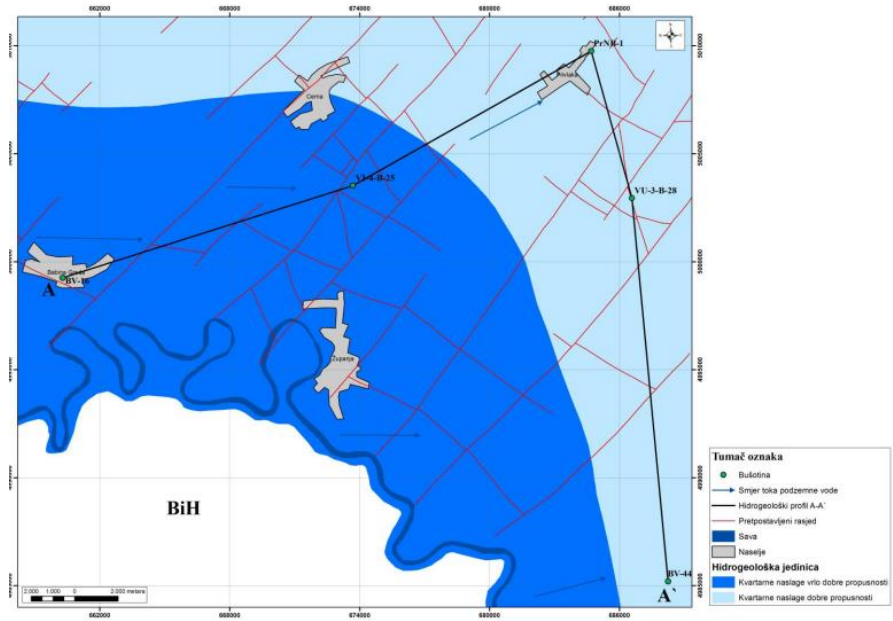
Slika 3-5. Hidrogeološka karta vodocrpilišta Veliki kraj (prema Nakić & Žugaj, 2007.; Nakić & Kovač, 2017.)

Vodocrpilište „Banovina“ i „Sajmište“ u Tovarniku (slika 3-6) predstavljaju područja koja se sastoje od kvartarnih naslaga vrlo dobre propusnosti. Vodonosnik je poluzatvorenog do zatvorenog tipa. Propusni slojevi su većinom građeni od pijesaka koji se miješaju s glinovito-prahovitim naslagama. Debljina krovinskih naslaga, izgrađenih od glinovito-prahovitih i pjeskovitih materijala, je u nekim dijelovima veća i od 40 m. Podinu grade slojevi gline ili prahovite gline. Hidraulička vodljivost vodocrpilišta „Banovina“ je $1,94 \times 10^{-4}$ m/s, a transmisivnost $4,66 \times 10^{-3}$ m²/s (Šimundić & Tolarić, 2018.; Nakić & Kovač, 2019.) dok su iznosi hidrauličke vodljivosti vodocrpilišta „Sajmište“ $1,25 \times 10^{-4}$ m/s i transmisivnosti $3,88 \times 10^{-3}$ m²/s (Šimundić et al., 2019.; Nakić & Kovač, 2020.).



Slika 3-6. Hidrogeološka karta vodocrpilišta A) Banovina i B) Sajmišta u Tovarniku (prema Nakić & Žugaj, 2008; Nakić & Kovač, 2019.)

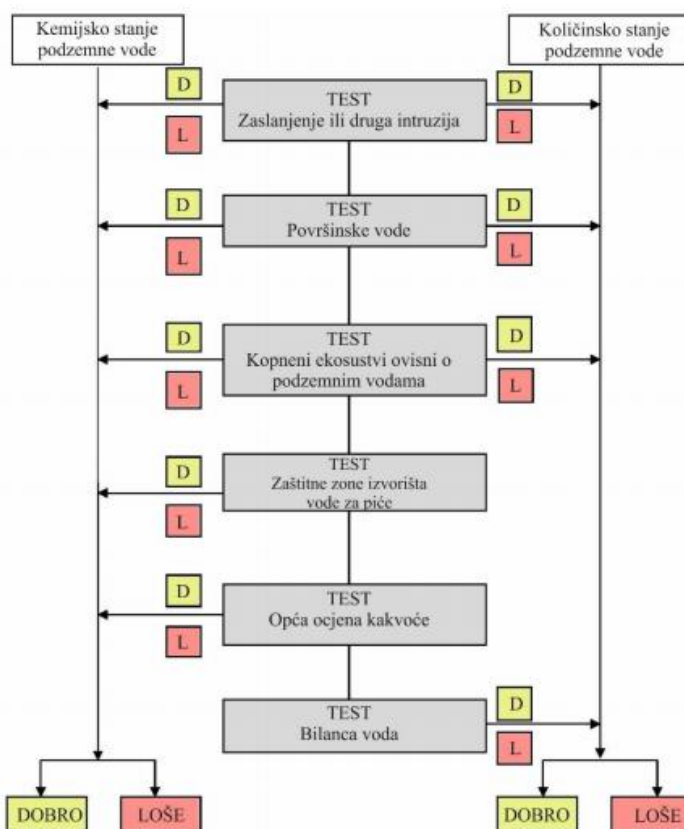
Izmjenjivanje slabo propusnih prahovitih glina s nepropusnim glinama te izmjena slojeva pijeska i šljunkovitog pijeska značajka je vodocrpilišta „Sojara“ u Vrbanji (slika 3-7). Vodonosnik je poluzatvorenog do zatvorenog tipa. Slabo propusne naslage smještene su iznad najplićeg vodonosnog sloja pa se može zaključiti da su krovinske naslage, izgrađene od glinovito-prahovitih i pjeskovitih slojeva, kvalitetna zaštita od raznih procjeđivanja onečišćivala. Pjeskoviti vodonosni sloj vodocrpilišta nalazi se na dubini 79,5-89,5 m. Podina je izgrađena od gline ili prahovite gline. Izračunata hidraulička vodljivost iznosi $2,21 \times 10^{-4}$ m/s, a transmisivnost $2,21 \times 10^{-3}$ m²/s (Čulinović, 2014.; Nakić & Kovač, 2017.).



Slika 3-7. Hidrogeološka karta vodocrpilišta Sojara (prema Nakić & Žugaj, 2008; Nakić & Kovač, 2017.)

4. ZAKONSKA OSNOVA ZA OCJENU KAKVOĆE PODZEMNE VODE

Kemijsko stanje podzemnih voda može se definirati kao dobro ili loše na temelju uvjeta iz *Okvirne direktive o vodama*, ODV (2000/60/EC) i *Direktive o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće* (Direktiva o podzemnim vodama, DPV, 2006/118/EC). Kako bi se odredilo kemijsko stanje podzemnih voda, upotrebljavaju se klasifikacijski testovi shodno uputama iz *CIS vodiča broj 18* (Vodič o ocjeni stanja i trendova podzemnih voda, 2009) (slika 4-1). Kada se dobiju svi rezultati klasifikacijskih testova, koristi se onaj najlošiji za definiranje ocjene kemijskog stanja podzemnih voda. (Nakić et al, 2016.)



Slika 4-1. Provođenje klasifikacijskih testova radi ocjene kemijskoga i količinskog stanja podzemnih voda (CIS vodič broj 18, 2009) (prema Nakić et al., 2016.)

Parametri koji su formulirani *Direktivom o podzemnim vodama* koriste se pri ocjenjivanju kemijskog stanja tijela podzemnih voda. Osim ovih parametara, važni su i

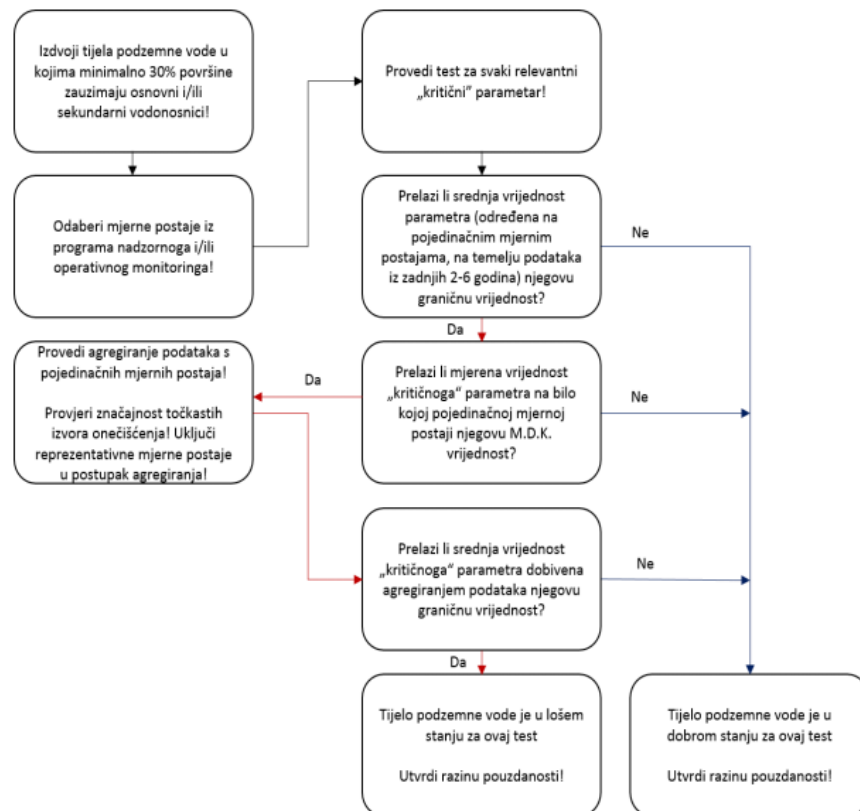
parametri određeni *Uredbom o standardu kakvoće vode* (NN br. 96/2019), iako za njih nisu utvrđeni standardi kakvoće vode pa se moraju definirati granične vrijednosti koncentracija koje predstavljaju nacionalni standard kakvoće podzemnih voda. U te parametre svrstavaju se: amonij, arsen, kadmij, kloridi, ukupni fosfor/fosfati, nitrati, sulfati, olovo, živa, električna vodljivost te rezultat dobiven zbrajanjem trikloretana i tetrakloretana. Također se, za ocjenu kemijskog stanja, uzimaju u obzir i druge značajne onečišćujuće tvari kao i njihove granične vrijednosti koje pogoduju stvaranju rizika tijela podzemnih voda od nepostizanja očekivanih ciljeva utvrđenih *Okvirnom direktivom o vodama* (ODV, 2000/60/EC) i *Direktivom o podzemnim vodama* (DPV, 2006/118/EC). Parametri koji pripomažu nastanku rizika nazivaju se „kritični“ parametri (Nakić et al., 2018.).

U panonskom području Hrvatske upotrebljavaju se granične vrijednosti koje su određene na temelju smjernica iz *CIS vodiča broj 18* (Vodič o ocjeni stanja i trendova podzemnih voda) i *Vodiča o kemijskoj klasifikaciji podzemnih voda* (UKTAG paper br. 11.b). Pozadinske koncentracije, koje se koriste za utvrđivanje graničnih vrijednosti i ocjene kemijskog stanja, određuju se kao ambijentalne pozadinske koncentracije. One su pod izmijenjenim uvjetima tj. dolazi do povećanja razina pojedinih koncentracija tvari u vodi kao posljedica utjecaja čovjeka (npr. kroz poljoprivredu i industriju) (Nakić et al., 2018.).

Proces definiranja ocjene kemijskog stanja tijela podzemne vode provodi se klasifikacijskim testovima i određivanjem mogućih odstupanja izmjerenih vrijednosti parametara od standarda kakvoće podzemne vode. Izmjereni parametri su utvrđeni *Direktivom o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće*, *Direktivom o podzemnim vodama* i *Uredbom o standardu kakvoće vode* (NN 96/2019). Prvo je potrebno odrediti premašuje li aritmetička sredina „kritičnih“ parametara standardnu kakvoću podzemnih voda i graničnu vrijednost koncentracija. Ukoliko aritmetička sredina „kritičnih“ parametara ne pređe prethodno spomenute vrijednosti, ni na jednoj lokaciji na kojoj se vršilo mjerenje, može se utvrditi da je tijelo podzemne vode u dobrom kemijskom stanju pa se sukladno tome ne moraju provesti klasifikacijski testovi. Provedba klasifikacijskih testova je potrebna u slučaju kada aritmetička sredina koncentracija premaši vrijednost standarda kakvoće vode ili graničnih vrijednosti te se na temelju testova može utvrditi jesu li odstupanja uzrokovala loše stanje tijela podzemne vode. Istraživanje se vrši shodno propisima *Direktive za podzemne vode* (2000/118/EC) i *CIS vodiča br. 18* (Nakić et al., 2016.).

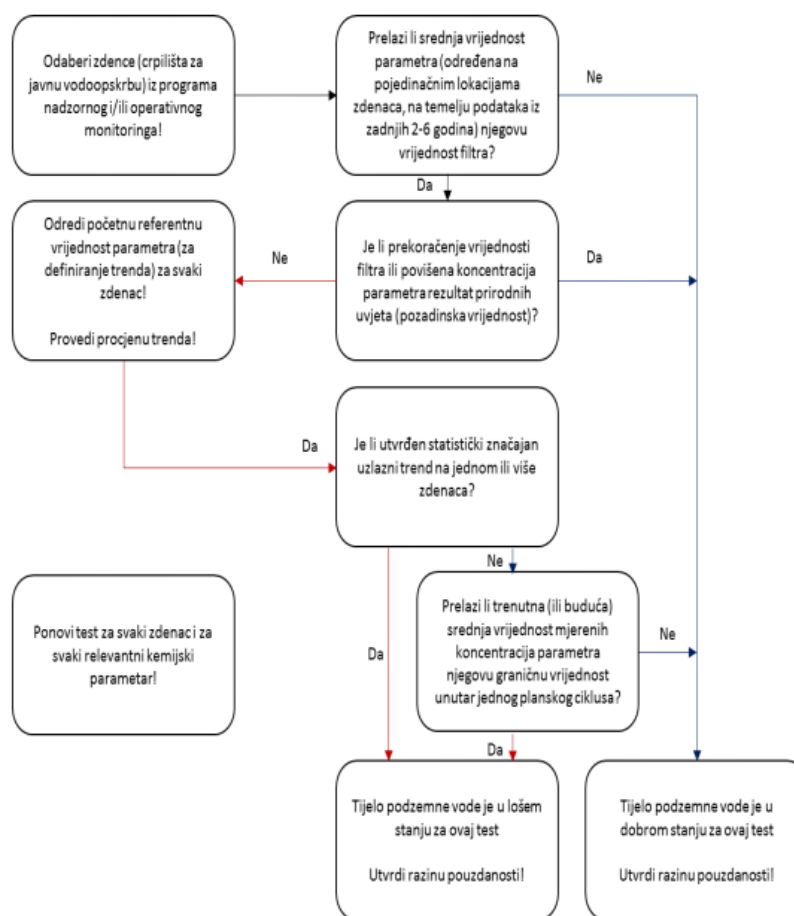
Testovi koji se primjenjuju prilikom ocjenjivanja kemijskog stanja podzemnih voda jesu: *Prodor slane vode ili drugih (prirodnih) prodora, Zaštićena područja za pitke vode, Površinska voda, Ocjena opće kakvoće te Kopneni ekosustavi ovisni o podzemnim vodama* (Nakić et al., 2016.).

Kako bi se mogao provesti test *Ocjena opće kakvoće*, nužno je utvrditi granične vrijednosti tijela podzemne vode. Ovim testom utvrđuje se iznos površine tijela podzemne vode kada aritmetička sredina premaši graničnu vrijednost i tada je tijelo podzemne vode, za ovaj test, u lošem kemijskom stanju (Nakić et al., 2016.). Cilj ovog testa je zaštititi funkcije korištenja vode za piće, stoga se kao kriterijska vrijednost koristi maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK) za pitku vodu, definirana *Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (NN br. 125/17).



Slika 4-2. Prikaz koraka testa *Ocjena opće kakvoće* (prema Nakić et al., 2016.)

Test *Zaštićena područja za pitke vode* (engl. *Drinking Water Protected Areas, DWPA*) (slika 4-3) provodi se uspoređivanjem izmjerenih vrijednosti parametara sa standardima kakvoće podzemne vode i graničnim vrijednostima. Granične vrijednosti se određuju samo ako se u tijelu podzemne vode pojavljuje vodocrpilište koje se koristi za javnu vodoopskrbu odnosno, ako se crpljenjem mijenjaju geokemijski uvjeti sredine (Nakić et al., 2016.).



Slika 4-3. Prikaz koraka testa *Zaštićena područja za pitke vode* (prema Nakić et al., 2016.)

Krajnji ishod ocjene kemijskog stanja ovisi o dostupnosti i kvaliteti podataka te se iskazuje s visokom ili niskom pouzdanosti. Da bi ocjena bila definirana visokom razinom pouzdanosti, na temelju ambijentalnih pozadinskih koncentracija, određuje se granična vrijednost za sve osnovne parametre. Također se ostvaruje i detaljnijim hidrogeološkim istraživanjima kojima se postiže bolje poznavanje istraživanog područja. No, ako nema

dovoljne količine kvalitetnih i jasnih podataka te pouzdanih kriterija za određivanje pozadinskih koncentracija, tijelo podzemne vode je definirano niskom pouzdanosti (Nakić et al., 2018.).

Zahtjevom za uspostavu monitoringa kakvoće podzemne vode, vidljivog u članku 8. *Okvirne direktive o vodama*, ODV (2000/60/EZ), propisuje se stjecanje kvalitetnih podataka o podzemnim vodama koji se mogu upotrijebiti radi ocjenjivanja kemijskog stanja podzemnih voda. Kao nadopuna ovom monitoringu, provodi se monitoring kakvoće sirove vode, kako bi se provjerila kakvoća sirove vode na vodocrpilištima i uveli postupci koji će omogućiti da voda bude korištena za piće stoga je glavni cilj omogućiti zdravstveno ispravnu vodu (Nakić et al., 2016.).

5. ANALIZA KAKVOĆE PODZEMNE VODE SAVSKOG DIJELA ISTOČNE SLAVONIJE

Usprkos pogodnim geološkim i hidrogeološkim obilježjima ovog istraživanog područja nužno je osvrnuti se na povišene koncentracije željeza, mangana, arsena i amonij iona u podzemnim vodama. Povišena koncentracija arsena u podzemnim vodama savskog dijela istočne Slavonije posljedica je otapanja, trošenja i mikrobioloških aktivnosti kojima je omogućeno procjeđivanje arsena, iz stijene ili tla, u podzemne vode. Pojava željeza i mangana u podzemnim vodama uvjetovana je otapanjem minerala. Na prisutnost željeza i mangana veliki utjecaj ima i pH vrijednost sredine. Što je ona viša, koncentracije željeza i mangana su manje. Amonij se u podzemnim vodama savskog dijela istočne Slavonije javlja kao indikator povećanog mikrobiološkog djelovanja i životinjskog otpada (Kopić, 2016.). Iako su ovi elementi, u malim količinama, esencijalni za život, u koncentracijama višim od dopuštenih postaju toksični i štetni.

Kakvoću podzemnih voda istraživanog područja najviše ugrožavaju komunalne građevine koje se koriste za odvodnju otpadnih voda, poljoprivreda, zbog korištenja štetnih i opasnih sredstava (mineralna gnojiva i pesticidi), kako bi se poboljšao razvoj poljoprivrednih kultura, promet onečišćivala na prometnicama, industrija (naročito radi ispuštanja industrijskih otpadnih voda, koje mogu imati značajnu količinu organskih tvari, u prirodne prijamnike) te deponiji otpada (odlaganje proizvoda koji sadrže gorivo, ulje i mazivo, i sl.) (Kopić, 2016.).

5.1. Rezultati prijašnjih istraživanja

Analizom podzemnih voda na području istočne Slavonije, u razdoblju od 1994. do 2001. godine, ustanovljeno je da 82,89% analiziranih uzoraka nije u skladu s *Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće* (NN br. 46/07). Željezo, mangan, utrošak KMnO_4 , amonij i aerobne bakterije najčešće premašuju maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) za pitku vodu (Nakić & Kovač, 2017.).

Istraživanjem podzemne vode na području vodocrpilišta „Banovina“ u Tovarniku i „Veliki kraj“ u Starim Jankovcima, prikupljene su analize kakvoće podzemne vode od

strane Vinkovačkog vodovoda i kanalizacije d.o.o (VVK), isporučitelj vodnih usluga koji obavlja vodoopskrbu i odvodnju na navedenom području, u razdoblju od 2000. do 2017. godine. Utvrđeno je da koncentracije amonij iona, nitrita, mangana i željeza prelaze vrijednosti parametara zdravstvene ispravnosti vode. Izvršenom analizom vode u Vrbanji za razdoblje od 2011. do 2016. godine, koja se određivala u laboratoriju Vinkovačkog vodovoda i kanalizacije d.o.o. te povremeno u Zavodu za javno zdravstvo, utvrđeno je da su vrijednosti parametara željeza, amonija i arsena više od MDK vrijednosti dok su vrijednosti nitrita i mangana znatno niže (Nakić & Kovač, 2017.).

U razdoblju od 2005. do 2014. godine provedena je analiza vode na području vodocrpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci te je utvrđeno da su koncentracije parametara mangana, željeza, amonija i arsena znatno više od maksimalno dozvoljenih koncentracija definiranih *Pravilnikom o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe* (NN br. 125/17). Povišene koncentracije arsena na lokaciji Sikirevci posljedica su otapanja željeznog hidroksida, mangana i aluminija zbog reduktivnih uvjeta u vodonosnoj sredini (Kopić et al., 2016.).

U 2013. godini VVK proveo je analizu vode na vodocrpilištima Orolik, Stari Jankovci, Tovarnik i Vrbanja. Temeljem dobivenih podataka od VVK-a uočena su odstupanja od dozvoljenih MDK vrijednosti prema Pravilniku (NN br. 125/17). Naime, na području Vrbanje koncentracije amonija više su od dopuštenih MDK vrijednosti, kao i izmjerena koncentracija željeza. Vodocrpilište „Igralište“ Orolik bilježi jedno jedino odstupanje koncentracije željeza od MDK vrijednosti dana 8.7.2013. g. Na lokacijama Stari Jankovci i Tovarnik nisu izmjerena nikakva odstupanja amonij iona, nitrata i željeza od dozvoljenih koncentracija. Koncentracija mangana, na svim vodocrpilištima, manja je od dopuštene MDK vrijednosti.

Temeljem podataka iz 2015. g., dobivenih od VVK-a, zaključuje se da na području vodocrpilišta Stari Jankovci i Tovarnik niti jedna koncentracija mangana, amonija, nitrata i željeza ne premašuje dozvoljenu MDK vrijednost prema Pravilniku (NN br. 125/17). Za razliku od ovih vodocrpilišta, na području Orolika i Vrbanje izmjerena su odstupanja nekih parametara. Na lokaciji Orolik izmjereno je jedno odstupanje parametra mangana na dan 19.1.2015., sve ostale vrijednosti u skladu su s dopuštenim MDK vrijednostima, dok je na području Vrbanje zabilježena viša koncentracija željeza od dopuštene MDK vrijednosti.

Temeljem podataka iz 2017. g., dobivenih od VVK-a, može se zaključiti da vodocrpilišta na području Orolika, Starih Jankovaca, Tovarnika i Vrbanje ne bilježe odstupanja mangana, amonija, nitrata i željeza od MDK vrijednosti, prema Pravilniku (NN br. 125/17).

U sklopu pokosnog crpljenja, napravljena je analiza kakvoće vode u 2019. g., na području vodocrpilišta „Igralište“ u Oroliku, kojom je utvrđeno da su koncentracije parametara željeza, mangana, arsena, nitrata i magnezija niže od maksimalno dozvoljenih koncentracija sukladno Pravilniku (NN br. 125/17) (Nakić & Kovač, 2019.).

5.2. Izvori onečišćenja na istraživanom području

Izvori onečišćenja mogu se razvrstati u dvije skupine (Kovač & Nakić, 2019.):

- aktivne;
- potencijalne.

Aktivni izvori onečišćenja ispuštaju onečišćiva u podzemlje, a to ispuštanje može biti stalno ili povremeno. Stalne aktivne izvore onečišćenja karakterizira konstantno onečišćivanje podzemlja tijekom promatranja dok povremeni izvori onečišćenja vrše onečišćenje samo u jednom dijelu proučavanja, posebice za vrijeme dugotrajnih i intenzivnih oborina. U stalne izvore onečišćenja svrstavaju se: industrijski efluenti (lokacije na kojima se ispuštaju otpadne vode), uređaji kojima se mogu pročititi otpadne vode te septičke jame, a u povremene izvore: odlagališta otpada (jalovine, gnojiva i drugih otpadnih materijala), razni sustav, koji služe za odvodnju oborinskih otpadnih voda te poljoprivredna aktivnost. Potencijalni izvori onečišćenja su oni koji će emitirati onečišćenje samo ako su prethodno izazvani nekim kvarom ili ljudskom nepažnjom. (Nakić & Kovač, 2019.).

Najznačajniji izvor onečišćenja podzemnih voda na području vodocrpilišta u Oroliku, Sikirevcima, Starim Jankovcima, Tovarniku i Vrbanji je poljoprivreda razvijena u neposrednoj blizini vodocrpilišta tj. intenzivno obrađivanje poljoprivrednih površina. Štetno djelovanje na podzemne vode manifestira se kroz korištenje agrotehničkih sredstava i uporabu zagađene vode prilikom navodnjavanja. Također, ako se uzgoj stoke obavlja u neispravnim stajama može doći do izlivanja gnojnica s đubrišta koje mogu prodrijeti u podzemne vode (primjerice na vodocrpilištu „Veliki kraj“ u Starim Jankovcima). U navedenim naseljima nije izgrađen sustav odvodnje i pročišćivanja otpadnih voda te se one zbrinjavaju putem septičkih jama. Opasnost predstavljaju i groblja zbog mogućih propuštanja organske materije ili sredstava protiv raznih biljnih vrsta (npr. korova) u podzemlje, što je posebno primijećeno na području vodocrpilišta „Veliki kraj“ u Starim Jankovcima (Nakić & Kovač, 2017.). Ceste na navedenim područjima nemaju obložene odvodne kanale te u razdoblju zime, zbog soljenja, mogu predstavljati povremeni izvor onečišćenja kao i prilikom kvara na vozilima u blizini vodocrpilišta (Nakić & Kovač, 2019.). U Tovarniku su uočene značajne koncentracije natrija, amonija, klorida, nitrata, nitrita i fosfora, kao i povećani sadržaj organske tvari, u otpadnim vodama koje potječu iz

domaćinstava, a do potencijalnih problema dolazi ukoliko se takva voda ispusti u lokalne zdence (ukoliko dubina prodire u vodonosne horizonte) i uzrokuje onečišćenje vode (Nakić & Kovač, 2019). Željeznička pruga, koja prolazi kroz naselje Vrbanja, može biti izvor onečišćenja tog područja jer se za održavanje nasipa uz prugu koriste herbicidi koji služe za uklanjanje korova koji se mogu razviti u samoj blizini pruge. Na području Vrbanje nalazi se silos „Ratarstvo Drenovci d.o.o., u kojem se skladište žitarice, no nije poznat način odvodnje otpadnih voda s navedene lokacije pa se pretpostavlja mogući loš utjecaj silosa na stanje podzemnih voda (Nakić & Kovač, 2017.).

Osim spomenutih izvora onečišćenja, na području istočne Slavonije javlja se i problem prilikom odlaganja štetnih tvari (ambalaže u kojima je ulje, gorivo i mazivo) koje ispiranjem oborina dolaze do podzemnih voda i tako loše utječu na njihovu kakvoću. Razvoj industrije (prehrambena, proizvodnja papira i metala) popraćen je tretmanima koji opisuju kako postupati s otpadnim vodama čime se osigurava adekvatna briga o podzemnim vodama (Kopić, 2016.).

5.3. Indikatorski, kemijski i mikrobiološki pokazatelji kakvoće podzemne vode

Indikatorski, mikrobiološki i kemijski parametri koji ukazuju na zdravstvenu ispravnost vode za piće definirani su Pravilnikom (NN br. 125/17). Osim referentnih vrijednosti parametara, ovim pravilnikom propisuje se dodatno opseg i analiza uzoraka, kao i učestalost uzimanja uzoraka vode te se provodi monitoring tvari koje su radioaktivne i monitoring vode koja je ispravna za konzumaciju. Sve navedeno provodi se sa ciljem prevencije ljudskog zdravlja od raznih štetnih učinaka.

U tablicama (Tablica 5-1., Tablica 5-2. i Tablica 5-3.) vidljivi su indikatorski, kemijski i mikrobiološki parametri zdravstveno ispravne vode za piće, temeljem Pravilnika (NN br. 125/17).

Tablica 5-1. Prikaz indikatorskih parametara (iz *Pravilnika o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnosti javne vodoopskrbe*) (NN br. 125/17)

Pokazatelji	Jedinice	M.D.K.
Aluminij	µg/l	200
Amonij	mg/l	0,5
Barij	µg/l	700
Berilij	µg/l	
Boja	mg/PtCo skale	20
Cink	µg/l	3000
Deterđenti anionski	µg/l	200
neionski	µg/l	200
Fenoli (ukupni)	µg/l	
Fosfati	µgP/l	300
Kalcij	mg/l	
Kalij	mg/l	12
Kloridi	mg/l	250
Kobalt	µg/l	
Koncentracija vodikovih iona	pH jedinica	6,5-9,5
Magnezij	mg/l	
Mangan	µg/l	50
Ugljikovodici	µg/l	50
Miris		bez
Mutnoća	NTU	4
Natrij	mg/l	200
Okus		bez
Silikati	mg/l	50
Slobodni rezidualni klor	mg/l	0,5
Srebro	µg/l	10
Sulfati	mg/l	250
TOC	mg/l	Bez značajnih promjena
Ukupna tvrdoća	CaCO ₃	
Ukupne suspenzije	mg/l	10
Utrošak KMnO ₄	O ₂ mg/l	5
Vanadij	V µg/l	5
Vodikov sulfid	mg/l	0,05
Vodljivost	µS/cm /20 °C	2500
Željezo	µg/l	200
Broj kolonija 22°C	Broj/1ml	100
Broj kolonija 36°C	Broj/1ml	100
Ukupni koliformi	Broj/100ml	0
Pseudomonas aeruginosa	Broj/100ml	0

Indikatorski parametri se definiraju samo iz voda koje potječu s područja potrošnje u zdravstvenim institucijama (bolnice, dom za stare i nemoćne, dom zdravlja i dr.). (NN br.

125/17) Svi pokazatelji kojima je MDK vrijednost jednaka nuli, ne bi trebali biti zastupljeni u podzemnim vodama.

Tablica 5-2. Prikaz kemijskih parametara (iz *Pravilnika o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnosti javne vodoopskrbe*) (NN br. 125/17)

Pokazatelji	Jedinice	M.D.K.
Akrilamid	µg/l	0,1
Antimon	µg/l	5
Arsen	µg/l	10
Benzen	µg/l	1
Benzo(a)piren	µg/l	0,01
Bor	mg/l	1
Bromati	µg/l	10
Kadmij	µg/l	5
Krom	µg/l	50
Bakar	mg/l	2
Cijanidi	µg/l	50
1,2-dikloreten	µg/l	3
Epiklorhidrin	µg/l	0,1
Fluoridi	mg/l	1,5
Olovo	µg/l	10
Živa	µg/l	1
Nikal	µg/l	20
Nitrati	mg/l	50
Nitriti	mg/l	0,5
Pesticidi	µg/l	0,1
Pesticidi ukupni	µg/l	0,5
PAH (policiklički aromatski ugljikovodici)	µg/l	0,1
Selen	µg/l	10
Suma tetrakloreten i trikloreten	µg/l	10
THM-ukupni	µg/l	100
Vinil klorid	µg/l	0,5
Kloriti	µg/l	400
Klorati	µg/l	400
Otopljeni ozon	µg/l	50

Tablica 5-3. Prikaz mikrobioloških parametara

Pokazatelji	Mjerna jedinica	M.D.K.
Escherichia coli (E. Coli)	broj/100ml	0
Enterokoki	broj/100ml	0
Clostridiumperfringens (uključujući spore)	broj/100ml	0
Enterovirusi	broj/100ml	0

Mikrobiološki parametri određuju se samo jednom godišnje za vrijeme monitoringa (na zahtjev vodećih službi i više puta) te se ispituje samo površinska voda i voda krških izvora ukoliko se upotrebljava za ljudsku upotrebu (NN br. 125/17).

5.4. Procjena stanja ugroženosti kakvoće podzemne vode

Provedena je statistička analiza kojom su određene srednje vrijednosti, minimumi, maksimumi i standardne devijacije podataka uz odgovarajuće mjerne jedinice, u razdoblju od 2009. do 2019. godine te su uspoređene s maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK), utvrđenim Pravilnikom (NN br. 125/17) i graničnim vrijednostima odabranih parametara prema *Uredbi o standardu kakvoće voda* (NN br. 96/2019).

U tablicama (Tablica 5-4., Tablica 5-5., Tablica 5-6., Tablica 5-7., Tablica 5-8. i Tablica 5-9) prikazani su statistički pokazatelji pojedinih parametara kakvoće vode. Odabrani kemijski parametri su arsen i nitrati, a indikatorski aluminij, amonij, mangan i željezo.

Provedena je analiza za sljedeća vodocrpilišta:

- „Centar“ Orolik (Tablica 5-4.)
- „Istočna Slavonija“ Sikirevci (istaknuti piezometri: Z-2, Z-3, Z-4 i Z-5) (Tablica 5-5.)
- „Veliki kraj“ u Starim Jankovcima (Tablica 5-6.)
- „Banovina“ i „Mlaka“ u Tovarniku (Tablica 5-7.)
- „Sojara“ u Vrbanji (Tablica 5-8.)

Ovom analizom utvrđeno je, odstupaju li mjerene koncentracije parametara od dozvoljenih graničnih koncentracija i MDK vrijednosti.

Tablica 5-4. Statistički pokazatelji kakvoće podzemne vode na području vodocrpilišta „Centar“ Orolik

Parametri	Mjerna jedinica	Ukupan broj analiziranih podataka	Srednja vrijednost (x)	Minimum (min)	Maksimum (max)	Std. Devijacija (S)	MDK	Granična vrijednost
Arsen	µg/l	12	1,29	0,37	5,49	1,36	10	53,2
Nitrati	mg/l	12	13,6	10	16,2	2,25	50	28,1
Aluminij	mg/l	6	2,57	2,8	9,59	2,65	200	/
Amonij	mg/l	12	0,07	0,04	0,1	0,02	0,50	4,06
Mangan	µg/l	12	15,58	0,77	46	12,7	50	386
Željezo	µg/l	12	75,61	3,38	171,67	56,39	200	3800

* Prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe* utvrđena je MDK (NN br. 125/17).

** Granična vrijednost preuzeta je iz Studije: „Definiranje kriterija za određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tijelima podzemne vode u panonskom dijelu Hrvatske“ (Nakić et al., 2018.)

U tablici 5-4. ne primjećuju se odstupanja parametara kakvoće podzemne vode, promatranih u vremenu od 2011. do 2019. g. na području vodocrpilišta „Centar“ Orolik, od MDK vrijednosti. Nisu utvrđena niti odstupanja izračunatih srednjih vrijednosti od graničnih vrijednosti dakle sve su koncentracije parametara niže od dopuštenih.

Podzemna voda, na području istočne Slavonije, koja se dobiva crpljenjem iz zdenaca, često može sadržavati željezo, arsen, mangan i amonij koji su pokazatelji postepenih promjena u vremenu te zbog raznih reduktivnih pojava unutar vodonosnika, može doći do povećanja njihovih koncentracija (Kopić, 2016.).

Tablica 5-5. Statistički pokazatelji kakvoće podzemne vode na području vodocrpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci

Parametri	Mjerna jedinica	Ukupan broj analiziranih podataka	Srednja vrijednost (x)	Minimum (min)	Maksimum (max)	Std. Devijacija (S)	MDK	Granična vrijednost
Arsen	µg/l	15	1,89	1	2,47	0,51	10	53,2
Nitrati	mg/l	460	2,02	0	7,30	0,93	50	28,1
Aluminij	mg/l	14	2,15	0,01	13	3,49	200	/
Amonij	mg/l	460	0,05	0	0,58	0,05	0,50	4,06
Mangan	µg/l	460	20,75	1	167	13,4	50	386
Željezo	µg/l	460	43,09	0	1374	101,17	200	3800

* Prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe* utvrđena je MDK (NN br. 125/17).

** Granična vrijednost preuzeta je iz Studije: „Definiranje kriterija za određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tijelima podzemne vode u panonskom dijelu Hrvatske“ (Nakić et al., 2018.)

Iz tablice 5-5. se vidi da neke koncentracije parametara, u razdoblju 2009.-2019. g. na području Sikirevaca (piezometri Z-2, Z-3, Z-4 i Z-5), premašuju MDK vrijednosti. Maksimalne koncentracije mangana i željeza značajno su veće od MDK vrijednosti, dok su njihove srednje vrijednosti znatno niže od graničnih vrijednosti. Kod ostalih parametara nisu zabilježena odstupanja.

Prisutnost aluminija, amonija, arsena, mangana i željeza na području Sikirevaca ukazuje na proces hidrolize silikatnih minerala (Kopić, 2016.).

Tablica 5-6. Statistički pokazatelji kakvoće podzemne vode na području vodocrpilišta „Veliki kraj“ u Starima Jankovcima

Parametri	Mjerna jedinica	Ukupan broj analiziranih podataka	Srednja vrijednost (x)	Minimum (min)	Maksimum (max)	Std. Devijacija (S)	MDK	Granična vrijednost
Arsen	µg/l	12	1,01	0,55	1,42	0,22	10	53,2
Nitrati	mg/l	12	16,63	13	19	1,92	50	28,1
Aluminij	mg/l	6	5,07	2,8	8,7	2,84	200	/
Amonij	mg/l	12	0,07	0,04	0,1	0,02	0,50	4,06
Mangan	µg/l	12	24,77	3	39	10,41	50	386
Željezo	µg/l	12	152,87	97,8	232,67	41,45	200	3800

* Prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe* utvrđena je MDK (NN br. 125/17).

** Granična vrijednost preuzeta je iz Studije: „Definiranje kriterija za određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tijelima podzemne vode u panonskom dijelu Hrvatske“ (Nakić et al., 2018.)

Tablica 5-6. pokazuje da su koncentracije parametara na području vodocrpilišta Veliki kraj u Starim Jankovcima, u razdoblju od 2011. do 2019. g., uglavnom manje od dozvoljenih MDK vrijednosti. Zabilježena je nešto viša maksimalna koncentracija željeza u odnosu na propisanu MDK vrijednost, no srednja vrijednost parametra nije viša od granične vrijednosti. Vrijednosti ostalih parametara manje su od dozvoljenih vrijednosti.

Tablica 5-7. Statistički pokazatelji kakvoće podzemne vode na području vodocrpilišta „Banovina“ i „Mlaka“ u Tovarniku

Parametri	Mjerna jedinica	Ukupan broj analiziranih podataka	Srednja vrijednost (x)	Minimum (min)	Maksimum (max)	Std. Devijacija (S)	MDK	Granična vrijednost
Arsen	µg/l	16	0,87	0,25	3,7	0,83	10	53,2
Nitrati	mg/l	16	15,99	14	19,8	1,52	50	28,1
Aluminij	mg/l	10	5,81	2,8	15,1	4,82	200	/
Amonij	mg/l	16	0,1	0,04	0,54	0,12	0,50	4,06
Mangan	µg/l	16	8,46	0,19	23,3	8,11	50	386
Željezo	µg/l	16	18,95	3,38	96	23,19	200	3800

* Prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe* utvrđena je MDK (NN br. 125/17).

** Granična vrijednost preuzeta je iz Studije: „Definiranje kriterija za određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tijelima podzemne vode u panonskom dijelu Hrvatske“ (Nakić et al., 2018.)

Tablica 5-7. pokazuje da niti jedna mjerena vrijednost parametara, u razdoblju od 2011. do 2019. g. na području Tovarnika, ne premašuje MDK vrijednosti. Također, sve izračunate srednje vrijednosti manje su od graničnih vrijednosti tj. ne odstupaju od njih.

Tablica 5-8. Statistički pokazatelji kakvoće podzemne vode na području vodocrpilišta „Sojara“ u Vrbanji

Parametri	Mjerna jedinica	Ukupan broj analiziranih podataka	Srednja vrijednost (x)	Minimum (min)	Maksimum (max)	Std. Devijacija (S)	MDK	Granična vrijednost
Arsen	µg/l	12	8,53	7,78	10	0,62	10	53,2
Nitrati	mg/l	12	1,75	0,58	3,1	1,2	50	28,1
Aluminij	mg/l	6	16,59	2,8	84	33,03	200	/
Amonij	mg/l	12	0,47	0,19	0,61	0,17	0,50	4,06
Mangan	µg/l	12	203,32	186	220,5	9,36	50	386
Željezo	µg/l	12	757,92	596	982	124,55	200	3800

* Prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe* utvrđena je MDK (NN br. 125/17).

** Granična vrijednost preuzeta je iz Studije: „Definiranje kriterija za određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tijelima podzemne vode u panonskom dijelu Hrvatske“ (Nakić et al., 2018.)

Iz tablice 5-8., koja pokazuje mjerenja u razdoblju od 2011. do 2019. g. na području vodocrpilišta Sojara u Vrbanji, vidljiva su odstupanja mjerenih vrijednosti nekih parametara od MDK. Naime, minimalne i maksimalne koncentracije mangana i željeza značajno su više od dozvoljenih MDK vrijednosti, ali srednje vrijednosti ovih parametara ne premašuju granične vrijednosti. Ostale vrijednosti parametara niže su od propisanih MDK i graničnih vrijednosti.

6. ZAKLJUČAK

Područje istraživanja ovoga završnog rada jest savski vodonosni sustav istočne Slavonije. Osnovni cilj rada bio je prikaz geoloških i hidrogeoloških značajki te hidrokemijskih obilježja podzemnih voda promatranog područja istraživanja.

Prostor na kojem su provedena istraživanja dijeli se na savsku ravnicu i praporne ravnjake koji su taloženi za vrijeme srednjeg i gornjeg pleistocena. Dvije su hidrogeološke sredine, osnovni i sekundarni vodonosnik. Osnovni vodonosnik, smješten uz rijeku Savu, predstavlja povoljan šljunkovito-pjeskoviti vodonosni sloj gdje dominira sitno do srednje zrnasti šljunak, a sjeverno i istočno od njega, nalazi se sekundarni vodonosnik tj. sredina pjeskovitih slojeva. U istočnoj Slavoniji, uz Savu, prevladavaju kvartarne naslage s izraženom transmisivnosti. Krovina savskog vodonosnog sustava sastoji se od glinovito-prahovitih naslaga dok je podina izgrađena od prahovite gline odnosno slojeva gline.

Na promatranom području nalaze se 34 vodocrpilišta, no u ovom završnom radu obrađeno ih je šest: vodocrpilište „Igralište“ Orolik, vodocrpilište „Istočna Slavonija“ Sikirevci, vodocrpilište „Veliki kraj“ u Starim Jankovcima, vodocrpilišta „Banovina“ i „Mlaka“ u Tovarniku i vodocrpilište „Sojara“ u Vrbanji.

Kako bi se moglo odrediti kemijsko stanje podzemnih voda istraživanog područja, provedena je statistička analiza za svih šest vodocrpilišta. Razmatrani su odabrani kemijski i indikatorski parametri: arsen, nitrati, aluminij, amonij, mangan i željezo.

Na području vodocrpilišta „Centar“ Orolik nema odstupanja parametara, koji ukazuju na kakvoću podzemne vode, od MDK vrijednosti prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinom vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe* (NN br. 125/17). Također, izračunate srednje vrijednosti parametara arsena, aluminijska, amonija, nitrata, mangana i željeza manje su od dopuštene granične vrijednosti.

Na području vodocrpilišta „Istočna Slavonija“ Sikirevci (piezometri Z-2, Z-3, Z-4 i Z-5) uočeno je da su izračunate maksimalne koncentracije mangana i željeza znatno više od MDK vrijednosti, no srednje vrijednosti svih parametara ne premašuju propisanu graničnu vrijednost. Nazočnost ovih parametara, na području Sikirevaca, upućuju na proces hidrolize silikatnih minerala.

Na području vodocrpilišta „Veliki kraj“ u Starim Jankovcima, statističkom analizom utvrđeno je odstupanje nekih mjerenih vrijednosti parametara od MDK zbog nešto više vrijednosti koncentracije mangana od dopuštene MDK. Srednja vrijednost ovoga parametra manja je od granične vrijednosti. Kod ostalih parametara nisu zabilježena odstupanja mjerenih vrijednosti od propisanih standarda.

Na području vodocrpilišta „Banovina“ i „Mlaka“ u Tovarniku, sve vrijednosti parametara arsena, aluminija, amonija, nitrata, mangana i željeza niže su od MDK i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari.

Na području vodocrpilišta „Sojara“ u Vrbanji pojavljuju se odstupanja mjerenih vrijednosti parametara od MDK jer su maksimalne i minimalne koncentracije mangana i željeza značajno više od dopuštene MDK, dok su srednje vrijednosti ova dva kritična parametra niže od graničnih vrijednosti. Kod ostalih parametara nisu zabilježena odstupanja.

Koncentracije željeza, arsena, mangana i amonija, koji su često prisutni u podzemnim vodama istočne Slavonije, pokazuju prisutnost reduktivnih uvjeta taloženja u mirnim sredinama, bez značajnog prisustva kisika. U takvim uvjetima, vrlo često su mjerene vrijednosti spomenutih parametara više od propisanih standarda. Povišene vrijednosti razmatranih parametara kakvoće podzemne vode posljedica su prirodnih uvjeta taloženja te nisu uzrokovane ljudskim utjecajima.

7. LITERATURA

7.1. Objavljeni radovi

Bačani A. (1997): Značajke hidrauličkih granica vodonosnih slojeva na vododjelnici savskog i dravskog porječja u istočnoj Slavoniji. Doktorska disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Briški M., Brkić Ž., Urumović, K. (2013): Konceptualni model vodonosnog sustava na širem području Sikirevaca. Znanstveni rad. Udruženje/udruga geologa Bosne i Hercegovine.

Damjanović M. (2015): Arsen u vodama istočne Hrvatske. Završni rad. Odjel za kemiju, Sveučilište u Osijeku.

Galović, I. (1984): Osnovna geološka karta, list Bačka Palanka, 1:100000. Geološki zavod, Zagreb; OOUR za geologiju i paleontologiju.

Kopić J. (2016): Određivanje specifične ranjivosti vodonosnika u priljevnom području regionalnog crpilišta „Istočna Slavonija“. Doktorski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Ešegović R. (2016): Željezo i mangan u podzemnim vodama istočne Slavonije. Diplomski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

7.2 Studije i elaborati

Nakić Z., Kovač Z. (2017): Elaborat zona sanitarne zaštite izvorišta „Topolik“ - Privlaka i „Sojara“ - Vrbanja. Elaborat. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Nakić Z., Kovač Z. (2017): Elaborat zona sanitarne zaštite izvorišta „Banovina“ – Tovarnik i „Veliki kraj“ – Stari Jankovci. Elaborat. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu..

Nakić Z., Kovač Z. (2019): Elaborat zona sanitarne zaštite izvorišta „Orolik“. Elaborat. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Nakić Z., Kovač Z. (2019): Elaborat zona sanitarne zaštite izvorišta „Banovina“ u Tovarniku, lokacija „Mlaka“. Elaborat. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Nakić Z., Kovač Z. (2020): Elaborat zona sanitarne zaštite izvorišta Sajmište u Tovarniku. Elaborat. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Nakić, Z., Bačani, A., Parlov, J., Duić, Ž., Perković, D., Kovač, Z., Dražen, T., Mijatović, I., Špoljarić, D., Ugrina, I., Stanek, D., & Slavinić, P. (2016): Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske, Studija, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Nakić, Z., Parlov, J., Perković, D., Kovač, Z., Buškulić, P., Špoljarić, D., Ugrina, I., Stanek, D., (2018): Definiranje kriterija za određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tijelima podzemne vode u panonskom dijelu Hrvatske, Studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Čulinović, D. (2014): Izrada detaljnih geoloških i vodoistražnih radova odnosno bušenja pokusno-eksploatacijskog zdenca ZSV-1/14 na crpilištu „Sojara“ Vrbanja za javnu vodoopskrbu. Stručna studija, DRILL Co. d.o.o.

Nakić, Z. & Žugaj, R. (2007): Elaborat zaštitnih zona izvorišta „Šumarija“ – Otok, „Skorotinci“ – Otok, „Viganj-2“ – Slakovci i „Veliki kraj“ – Stari Jankovci. Stručna studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Nakić, Z. & Žugaj, R. (2008): Elaborat zaštitnih zona izvorišta „Ilača” - Ilača, „Banovina” - Tovarnik, „Stara Ciglanica” – Nijemci i „Barbine” – Lipovac. Stručna studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Šimundić, Z. & Tolarić, I. (2019): Elaborat o provedenim detaljnim geološkim i vodoistražnim radovima s tehničkim izvješćem o izradi pokusno-eksploatacijskog zdenca ZOr-1/18 na izvorištu „Igralište“ u Oroliku. Stručna studija, Vodovod-hidrogeološki radovi d.o.o., Osijek.

Šimundić, Z. & Tolarić, I. (2018): Elaborat o provedenim detaljnim geološkim i vodoistražnim radovima sa tehničkim izvješćem o izradi pokusno-eksploatacijskog zdenca ZT-2/18 na izvorištu „Banovina“ u Tovarniku. Stručna studija, Vodovod-hidrogeološki radovi d.o.o., Osijek.

Šimundić, Z., Jazvac, I. & Tolarić, I. (2019): Elaborat o provedenim detaljnim geološkim i vodoistražnim radovima s tehničkim izvješćem o izradi strukturno-piezometarske bušotine PT-1/19 i pokusno-eksploatacijskog zdenca ZT-3/19 na lokaciji „Sajmište“ u Tovarniku. Stručna studija, Vodovod-hidrogeološki radovi d.o.o., Osijek.

7.3 Zakonski propisi

CIS vodič 18 (Vodič o ocjeni stanja i trendova podzemnih voda - 2009)

Direktiva o podzemnim vodama (DPV, 2006/118/EC)

Okvirna direktiva o vodama (ODV, 2000/60/EC)

Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN br. 125/2017)

Uredba o izmjenama i dopuni Uredbe o standardu kakvoće voda (NN br. 80/2018)

Uredba o standardu kakvoće voda (NNbr. 96/2019)

Vodič o kemijskoj klasifikaciji podzemnih voda (UKTAG paper br. 11.b)

Direktiva o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće (2006/118/EZ)

Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN br. 46/07)

7.4 Mrežne stranice

Godišnji izvještaj o kvaliteti vode u Slavonskom Brodu za 2020. Godinu, Vodovod Slavonski Brod, preuzeto 11. ožujka 2021.:

<https://www.vodovod-sb.hr/index.php/voda/kvaliteta-vode/analiza-vode>

Analiza vode iz lokalnih vodocrpilišta za 2013., 2015. i 2017. godinu, Vinkovački vodovod i kanalizacija, preuzeto 24. svibnja 2021.:

<http://vvk.hr/prilozi/analize/2013-Analiza%20LOK%20%28VZ%29.pdf>

<http://vvk.hr/prilozi/analize/analiza2015.pdf>

https://www.vvk.hr/images/PDF/analiza_sela_2017.pdf
[http://vvk.hr/prilozi/analize/analiza2015.p
df](http://vvk.hr/prilozi/analize/analiza2015.pdf)

Arsen u podzemnoj vodi iz prirodnih izvora, preuzeto 15. lipnja
2021.:https://www.voda.hr/sites/default/files/pdf_clanka/hv_74_2010_297-304_vasiljevic.pdf



KLASA: 602-04/21-01/96
URBROJ: 251-70-14-21-2
U Zagrebu, 2.9.2021.

Klara Ljaljić, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/96, URBROJ: 251-70-14-21-1 od 21.4.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

HIDROGEOLOŠKE I HIDROKEMIJSKE ZNAČAJKE VODONOSNOG SUSTAVA SAVSKOG DIJELA ISTOČNE SLAVONIJE

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Prof. dr. sc. Zoran Nakić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i suvoditeljicu Dr. sc. Jasna Kopic.

Voditelj:

(potpis)

Prof. dr. sc. Zoran Nakić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko
Ružičić

(titula, ime i prezime)

Suvoditeljica

(potpis)

Dr. sc. Jasna Kopic

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor
Kuhinek

(titula, ime i prezime)