

Kakvoća podzemne i sirove vode u tijelu podzemne vode "Donji tok Kupe"

Agatić, Marin

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:169:930134>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij geološkog inženjerstva

KAKVOĆA PODZEMNE I SIROVE VODE U TIJELU PODZEMNE VODE
DONJI TOK KUPE

Završni rad

Marin Agatić

GI2131

Zagreb, 2021.

KAKVOĆA PODZEMNE I SIROVEVODE U TIJELU PODZEMNE VODE

„DONJI TOK KUPE“

Marin Agatić

Završni rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Osnovna svrha ovog završnog rada jest definiranje stanja kakvoće podzemne i sirove vode u tijelu podzemne vode „Donji tok Kupe“. Uz prikaz općih obilježja kakvoće podzemne i sirove vode, napravljena je statistička analiza parametara kakvoće podzemne vode istraživanog tijela podzemne vode. U radu su prikazane glavne hidrogeološke i geološke značajke vodonosnika u istraživanom području. Mjerenjem koncentracija i analizom odabranih kemijskih parametara (arsen, nitrati, kloridi, amonij ion, mangan, željezo) te usporedbom istih s dozvoljenim vrijednostima utvrđen je stupanj ugroženosti podzemnih voda donjeg toka rijeke Kupe. Definirana su i opća obilježja sirove vode na četiri vodocrpilišta „Gaza“, „Švarča“, „Mekušje“ i „Borlin“.

Ključne riječi: kakvoća podzemne i sirove vode, MDK vrijednosti, tijelo podzemne vode „Donji tok Kupe“, geološke i hidrogeološke značajke

Završni rad sadrži: 32 stranice, 11 tablica, 8 slika

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentor: Prof. dr. sc. Zoran Nakić

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Zoran Nakić

Izv. prof. dr. sc. Jelena Parlov

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

Datum obrane: 21. rujna 2021.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. GEOLOŠKE ZNAČAJKE	2
3. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE	5
4. GEOGRAFSKE I KLIMATSKE ZNAČAJKE	8
5. RANJIVOST PODZEMNE VODE	10
6. IZVORI ONEČIŠĆENJA PODZEMNE VODE.....	12
7. OPĆA OBILJEŽJA KAKVOĆE SIROVE VODE.....	14
8. ZAKONSKA OSNOVA ZA OCJENU KAKVOĆE PODZEMNE VODE	15
9. KAKVOĆA PODZEMNE VODE U TIJELU PODZEMNE VODE „DONJI TOK KUPE“	18
9.1. REZULTATI PRIJAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	18
9.2. ANALIZA KAKVOĆE PODZEMNE VODE	20
9.3. OCJENA STANJA UGROŽENOSTI KAKVOĆE PODZEMNE VODE.....	28
10. ZAKLJUČAK.....	29
11. LITERATURA	31
11.1. STUDIJE I ELABORATI.....	31
11.2. ZAKONSKI PROPISI	31
11.3. OBJAVLJENI RADOVI	32
11.4. WEB IZVORI	32

POPIS SLIKA

Slika 3-1. produktivni vodonosnici tijela podzemne vode „Donji tok Kupe“ i zaštitne zone vodocrpilišta (Nakić, et. al., 2018.)	5
Slika 3-2. Prostiranje glavnih hidrogeoloških značajki grupiranog vodnog tijela Donji tok Kupe (Nakić, et. al., 2016.).....	6
Slika 3-3. Uzdužni shematski hidrogeološki profil u grupiranom vodnom tijelu Donji tok Kupe (Nakić, et. al., 2016.).....	7
Slika 3-4. Poprečni shematski hidrogeološki profil u grupiranom vodnom tijelu Donji tok Kupe (Nakić, et. al., 2016.).....	7
Slika 4-1. Način korištenja zemljišta u grupiranom vodnom tijelu Donji tok Kupe (CORINE, 2012; AZO, 2013)	8
Slika 8-1. Shematski prikaz klasifikacijskih testova za ocjenu kemijskog stanja podzemnih voda prema CIS vodiču br. 18 (Nakić, et. al., 2016.).....	15
Slika 9-1. Shematski prikaz konceptualnog modela GTPV-a Donji tok Kupe (Nakić, et. al., 2018.).....	18
Slika 9-2. Prikaz statistički i okolišno značajnog uzlaznog trenda željeza u tijelu podzemne vode „Donji tok Kupe“ (Nakić, et.al. 2018.).....	20

POPIS TABLICA

Tablica 4-1. Udio pokrova zemljišta u tijelu „Donji tok Kupe“ (Nakić, et. al., 2016.).....	9
Tablica 5-1. Udio prirodne ranjivosti u postotcima prema slici 5-1. (Nakić, et. al., 2016.).	10
Tablica 9-1. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištima „Gaza I“, „Gaza II“ i „Gaza III“ u Karlovcu	21
Tablica 9-2. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Švarča“ u Karlovcu	22
Tablica 9-3. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Mekušje“ u Karlovcu	23
Tablica 9-4. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Borlin“ u Karlovcu	24
Tablica 9-5. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Petrinja-Sisak“	24
Tablica 9-6. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Meljun“	25
Tablica 9-7. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Cetingrad“	26
Tablica 9-8. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Perna“	27
Tablica 9-9. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Glina“	28

1. UVOD

Područje istraživanja ovog završnog rada je kakvoća sirove i podzemne vode u tijelu podzemne vode „Donji tok Kupe“, koje se prostire dijelom na području Karlovačke, a dijelom na području Sisačko – moslavačke županije. Tijelo podzemne vode „Donji tok Kupe“ rasprostire se na površini od 2.871,41 km², a uključuje Karlovačku depresiju i sliv rijeke Gline. Obuhvaća sliv donjeg toka rijeke Kupe, tj. južnu padinu Vukomeričkih gorica, Karlovački bazen (Crna Mlaka), kao i Petrovu i Zrinsku goru (Nakić, et. al., 2018.). Glavnina podzemne vode iz tog tijela podzemne vode eksploatira se upravo iz aluvijalnih naslaga s područja depresije, koja je smještena jugoistočno od žumberačko – samoborskog gorja.

Na području koje zauzima tijelo podzemne vode „Donji tok Kupe“ nalazi se nekoliko gradova: Karlovac, Petrinja, Glina, Jastrebarsko i jugo-zapadni dio Grada Siska. U navedenim gradovima i drugim naseljima te selima koja se nalaze unutar granica promatranog tijela podzemne vode nalazi se veliki broj stanovnika kojima je potrebno osigurati zalihe kvalitetne pitke vode. Stoga je od izrazite važnosti vršiti redovitu analizu kakvoće podzemne vode. Na pretežito šumskom i poljodjelskom istraživanom području obrađeni su podaci s 11 vodocrpilišta, od kojih se veći dio (njih šest) nalaze u teritorijalnim granicama grada Karlovca: „Gaza I“, „Gaza II“, „Gaza III“, „Švarča“, „Mekušje“ i „Berlin“. Preostalih 5 vodocrpilišta su redom: „Petrinja-Sisak“, „Meljun“, „Cetingrad“, „Perna“ te „Glina“.

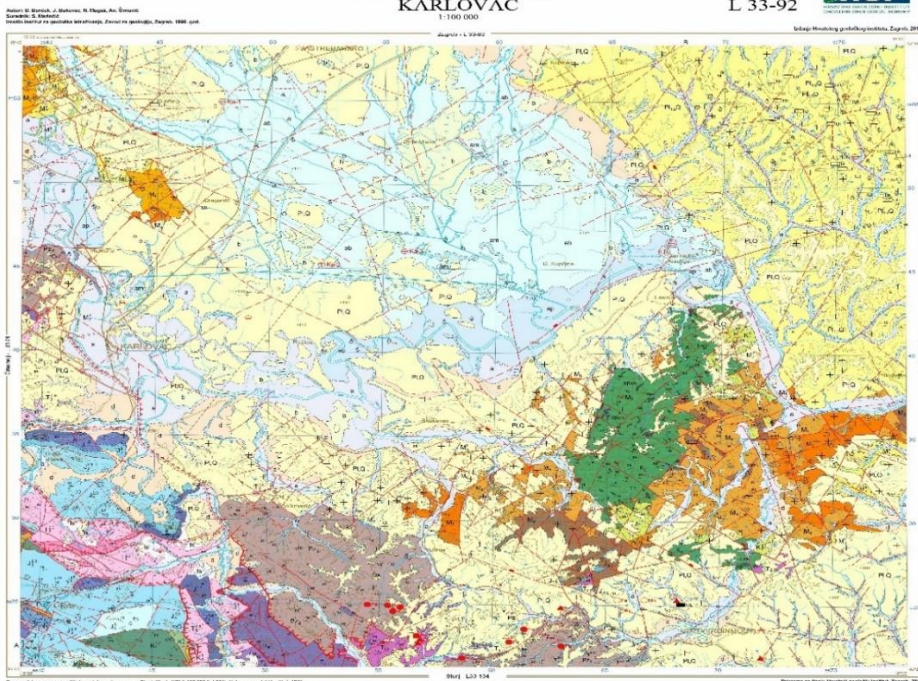
Cilj ovog rada je prikazati stanje kakvoće podzemne i sirove vode u tijelu podzemne vode „Donji tok Kupe“, na temelju analiziranih parametara i maksimalne dopuštene koncentracije, definirane pravilnikom s maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK) – *Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe* (NN br. 125/17). Osim usporedbe s MDK, mjerene vrijednosti parametara kakvoće podzemne vode uspoređuju se i s graničnim vrijednostima definiranim *Uredbom o standardu kakvoće voda* (NN 96/2019).

2. GEOLOŠKE ZNAČAJKE

Istraživano područje sliva donjeg toka rijeke Kupe i njezinih pritoka izgrađeno je od naslaga paleozojske do kvartarne starosti međuzrnske poroznosti, pri čemu su stijene iz paleozoika najstarije naslage vodonosnika (Pavlič, et. al., 2016.). Najpogodnije područje vodonosnika (Karlovačka depresija) većinom je prekriveno debelim kvartarnim naslagama (Slika 2-1.), u kojemu završava sedimentacija popraćena taloženjem grubog i finoklastičnog materijala u izmjeni, skladno s neotektonskim pokretima i donosom materijala (Nakić, et. al., 2018.). Za odlaganje i sedimentaciju, krupnozrnih kvartarnih sedimenata Karlovačke depresije, zaslužne su rijeke Kupa i Dobra zajedno s potocima na istočnim padinama Žumberačkog i Samoborskog gorja. Sredinu veće propusnosti čine pjeskoviti slojevi unutar slabije propusnih glinovitih naslaga kvartara, i slojevi pijeska, porijeklom iz mlađeg neogena (Brkić, et. al., 2016.). Najveće debljine pjeskovito-šljunčanog vodonosnika koje su veće od 10 m zabilježene su u središnjem dijelu depresije, dok je debljina manja od 10 m vidljiva je uz rubove. Bušenjem do dubine od 81 m na ušću Kupe i Korane kod Karlovca, zastupljeni su velikim dijelom pijesci, a manjim dijelom nepropusne naslage (Nakić, et. al., 2018.). Podzemna voda "zaštićena" je debelim slojem nepropusne gline. Ukupna debljina taloženog materijala (dobivena bušenjem) na području Crne Mlake je približno 150 m. Akumulacija znatnijih količina podzemne vode omogućena je i unutar organogenih vapnenaca badenske starosti koje karakterizira pukotinska, mjestimice i kavernoza poroznost i relativno dobra propusnost. Takve naslage nalaze se na području između Križa Hrastovačkog, Hrastovice, naselja Pecki i Cepeliša. Izdašnosti tamošnjih izvora variraju od onih manjih od 0,1 l/s pa do onih od 5 l/s.

LEGENDA IZDVOJENIH LITOSTRATIGRAFSKIH JEDINICA

PLEISTOCEN	KREDA	NEOGEN	PALEOGEN	KREDA	TRIAS	PALEOZOIK
b Barske tvorevine: mulj, gline, silt	ββ Dijabazi	M₇¹ Laporj, pijesci, gline (d. pont)	J₃^{2,3} Mikriti s Campbelliella striata	η Keratofini	T₁ Crveni dolomitni tinčasti siliti, silitni dolomitni šejlovi i pločasti zalaporeni mikriti	Se Serpentiniti
ab Aluvijalno - barski sedimenti: gline, pijesci, šljunci	K₂ Vulkanogeno - sedimentni kompleks: silitni, silitozni šejl, grauuvake, sitnozrnat konglomerati, radiolanti i magmatske stijene	M₇ Kompleks pontskih naslaga (samo na profilu)	J₃^{2,3} Algalno - foraminiferski vapnenci i dolomiti	ββub Spiliti	T_{2,3} Sivi kristalični dolomiti	J_{2,3} Dijabaz - rožnjačka serija: pješčenjaci, šejlovi, rožnjaci, silicificirani sedimenti, serpentiniti i serpentinizirani peridotiti
ap Povodanj: silt, glinoviti - pjeskoviti silt, pijesak, mulj	K_{1,2} Flis kalkitruditi, kalkitareniti i silitni pješčenjaci, šejlovi, rožnjaci (samo na profilu)	M₆ Vapnoviti laporj, pijesci, pješčenjaci, konglomerati, vapnenci i gline (panon)	J₃^{2,3} Intrabiosparuditi, biolititi i bioklastični vapnenci	ββub Spiliti	T₃^{2,3} Kalkilitički pješčenjaci, šejlovi, crni pločasti mikriti, tufovi	J₂ Bankoviti mikriti
a Aluvij: pijesci, pjeskovite gline, gline, šljunci, silt, barski talozj	K₁⁵ Mikriti i bioinframikriti	M₅ Pijesci, pješčenjaci, šljunci, konglomerati, gline, laporj, pijesci (sarmat)	J₃^{2,3} Vapnenci s rožnjacima i vapnene sedimentne breče	ββub Spiliti	T_{2,3} Sivi kristalični dolomiti	J₃³ Mrjasti laporoviti mikriti (fleckenkalk) i dolomiti
am Aluvij mrtvaja: silt, gline, pijesci, organogeni mulj	K₁^{3,4} Bioinframikriti i spariti	M₄ Pjeskovito - vapnenački laporj, gline, pijesci, pješčenjaci, šljunci, konglomerati i bioklastični vapnenci (baden)	J₃^{2,3} Vapnenci i dolomiti (samo u stupu)	ββub Spiliti	T₂ Pješčenjaci s prosljocima crnih pločastih mikrita, rožnjaci i tufti	J_{1,2}^{1,2} Mikriti i oomikriti
d Deluvij: ilovine, resedimentirani šljunci, pijesci, gline, kršje stijena	K₁^{1,2} Mikriti i favreinski intramikriti	M₂ Pijesci, šljunci, pješčenjaci, konglomerati, laporj, gline, vapnenci, ugljeni (otrang)	J₃^{1,2} Vapnenci i dolomiti (samo u stupu)	ββub Spiliti	T₂ Tamnosivi kristalični dolomiti i crni dolomitni mikriti	J₁^{1,2} Dolomiti
ts Terra rossa: crvene boksitične gline	J₃³ Mikriti s Campbelliella striata	O₁M Laporj, pješčenjaci	J₃^{2,3} Vapnenci s rožnjacima i vapnene sedimentne breče	ββub Spiliti	T₃^{2,3} Stromatolitski vapnoviti dolomiti	T₃^{2,3} Stromatolitski vapnoviti dolomiti
lb-Q₁ Barski les (samo na stupu)	J₃^{2,3} Algalno - foraminiferski vapnenci i dolomiti	P_c, E Flis: breče, pješčenjaci, laporj	J₃^{2,3} Vapnenci s rožnjacima i vapnene sedimentne breče	ββub Spiliti	T₃^{2,3} Kalkilitički pješčenjaci, šejlovi, crni pločasti mikriti, tufovi	T₃^{2,3} Kalkilitički pješčenjaci, šejlovi, crni pločasti mikriti, tufovi
Pl,Q Pijesci, šljunci, gline, pješčenjaci i konglomerati	J₃^{2,3} Intrabiosparuditi, biolititi i bioklastični vapnenci	P_c Flis: mikrobreče, litoarenitski pješčenjaci, silitni i glinoviti laporj	J₃^{2,3} Vapnenci s rožnjacima i vapnene sedimentne breče	ββub Spiliti	T_{2,3} Sivi kristalični dolomiti	T_{2,3} Sivi kristalični dolomiti
Pl_{1,2}Q Kompleks paludinskih i kvartarnih naslaga (samo na profilu)	J₃^{2,3} Vapnenci s rožnjacima i vapnene sedimentne breče	K₂³ Flis: tuftični litoareniti, pelitski tufovi, peliti i Scaglia facies: pločasti mikriti, kalcitni peliti i laporj s rožnjacima	J₃^{2,3} Vapnenci s rožnjacima i vapnene sedimentne breče	ββub Spiliti	T₂ Pješčenjaci s prosljocima crnih pločastih mikrita, rožnjaci i tufti	T₂ Pješčenjaci s prosljocima crnih pločastih mikrita, rožnjaci i tufti
Pl_{1,2} Gline, pijesci, šljunci, pješčenjaci, pjeskoviti laporj, ugljen, paludinske naslaga	J₃^{1,2} Vapnenci i dolomiti (samo u stupu)	K₂³ Flis: konglomerati, kalkilitički pješčenjaci i silitni laporj	J₃^{1,2} Vapnenci i dolomiti (samo u stupu)	ββub Spiliti	T₂ Tamnosivi kristalični dolomiti i crni dolomitni mikriti	T₂ Tamnosivi kristalični dolomiti i crni dolomitni mikriti
M₇² Pijesci, laporj, pješčenjaci, konglomerati, gline, ugljen (g. pont)	J₃ Pločasti mikriti s pelagičkom mikrofaunom i rožnjacima	η Keratofini	J₃ Pločasti mikriti s pelagičkom mikrofaunom i rožnjacima	ββub Spiliti	T₁ Crveni dolomitni tinčasti siliti, silitni dolomitni šejlovi i pločasti zalaporeni mikriti	T₁ Crveni dolomitni tinčasti siliti, silitni dolomitni šejlovi i pločasti zalaporeni mikriti
M₇¹ Laporj, pijesci, gline (d. pont)	Se Serpentiniti	ββub Spiliti	Se Serpentiniti	ββub Spiliti	Pz₂ Kvarcni konglomerati, pješčenjaci (pretežno kvarcgrauvakni), silitni i crni šejlovi	Pz₂ Kvarcni konglomerati, pješčenjaci (pretežno kvarcgrauvakni), silitni i crni šejlovi



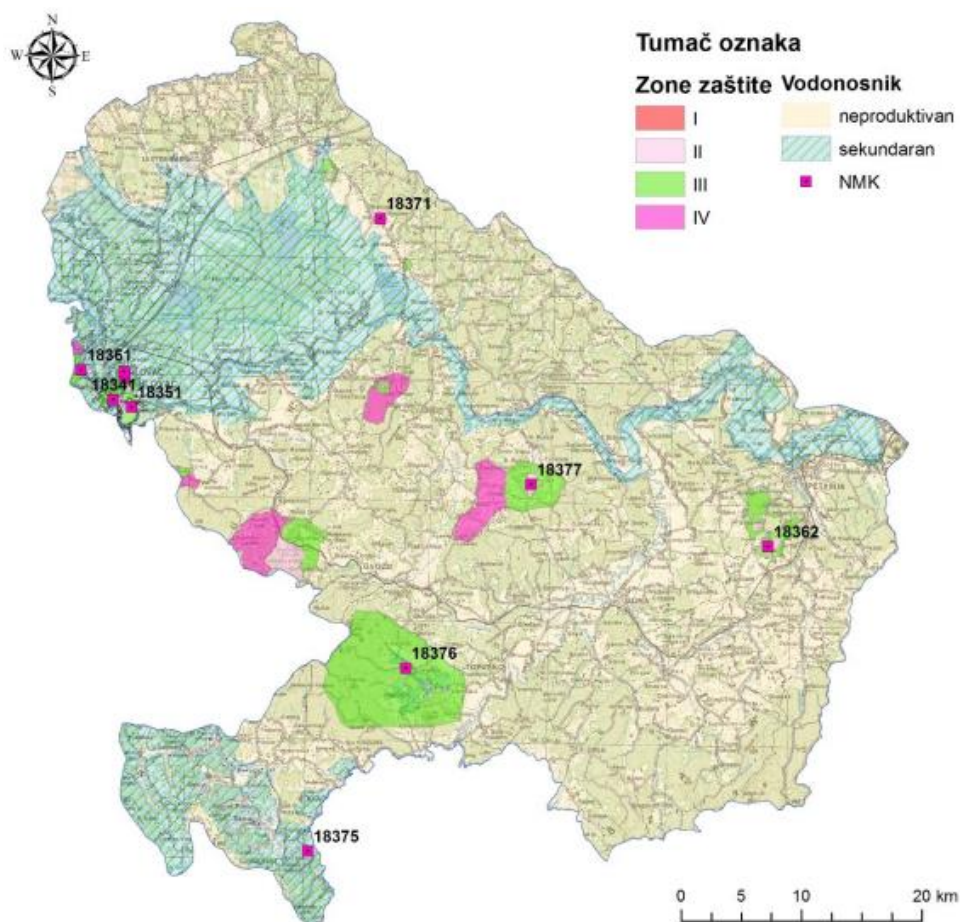
Slika 2-1. BENČEK, Đ., BUKOVAC, J., MAGAŠ N., ŠIMUNIĆ AN., MARINČIĆ S. (1990.) Osnovna geološka karta Republike Hrvatske M 1:100000, list Karlovac

U manjoj mjeri pojave trijaskih dolomita unutar tijela podzemne vode nalaze se na površini padina Petrove gore. Desna obala rijeke Kupe koja uključuje pritoke vodotoka Utinje, Gline i Petrinjčice izgrađena je od miocenskih naslaga. Znatno manja zastupljenost rasprostiranja propusnih članova kao i izmjena karbonatnih i klastičnih naslaga uzrok su vidljivo razvijenog površinskog otjecanja vode (Nakić, et. al., 2018.). Vodonosnik je prekriven prašinasto – glinovitim naslagama čije su debljine i do 20-ak metara (Nakić, et. al., 2016.).

3. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Desna obala rijeke Kupe zbog prostiranja manjeg broja propusnih članova ima razmjerno nizak stupanj infiltriranje oborina u podzemlje, a odvija se uglavnom plitko ispod površine. Podzemna voda obnavlja se podzemnim dotokom od površinskih tokova, neposredno u njihovoj blizini. Prosječna hidraulička vodljivost iznosi približno 50 m/dan, dok aluvijalni vodonosnik zahvaćen na karlovačkim vodocrpilištima (Gaza, Švarča, Mekušje) ima hidrauličku vodljivost i do 400 m/dan (Nakić, et. al., 2018.).

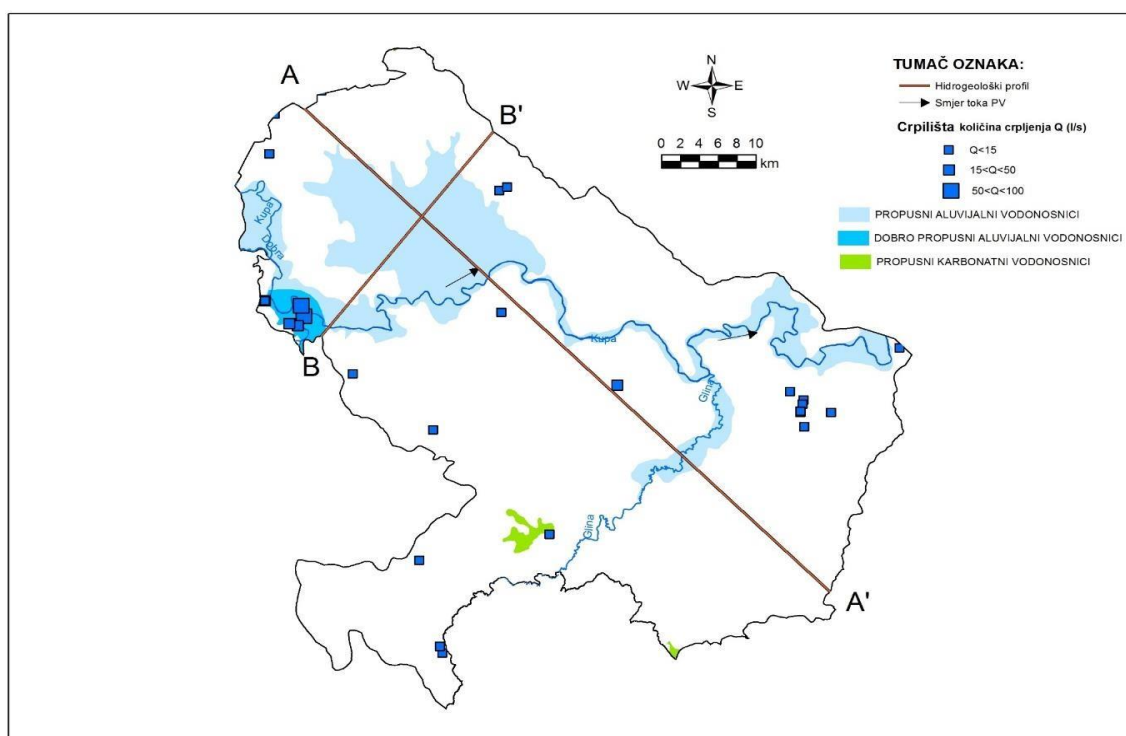
Za pojedina vodocrpilišta na području tijela podzemne vode izrađene su i usvojene zaštitne zone, te je 80% površine osnovnih i 3% površine sekundarnih aluvijalnih vodonosnika pod zaštitnim zonama s usvojenim pripadajućim mjerama zaštite (Nakić, et. al., 2018.)



Slika 3-1. produktivni vodonosnici tijela podzemne vode „Donji tok Kupe“ i zaštitne zone vodocrpilišta (Nakić, et. al., 2018.)

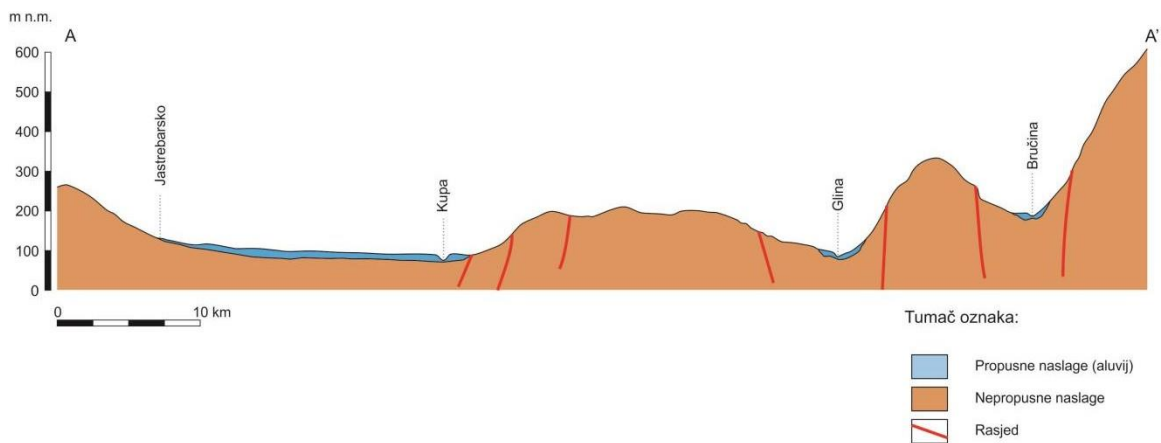
Procijenjene količine obnovljivih zaliha vode na ispitivanom području znatno su veće od količina koje se trenutno crpe. Na vodocrpilišta Gaza, Švarča, Borlin i Mekušje, koja zahvaćaju podzemnu vodu iz osnovnog vodonosnika, te crpilištima Pecki, Hrastovica, Kljajića vrelo, Križ, Krmarevac, Prezdan i Živo vrelo, koja zahvaćaju podzemnu vodu iz sekundarnog vodonosnika crpi se ukupno oko 370 l/s. U odnosu na procijenjenu količinu zaliha podzemne vode koja iznosi $2,87 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{god}$ to je svega oko 4% (Nakić, et. al., 2018.).

S obzirom na prikazane podatke jasno je da se izvori najveće izdašnosti nalaze u užem krugu grada Karlovca (primarni vodonosnik), dok se oni manje izdašnosti (do 10 l/s) nalaze na padinama Petrove gore (naslage trijaskih dolomita) – Slika 3-2.

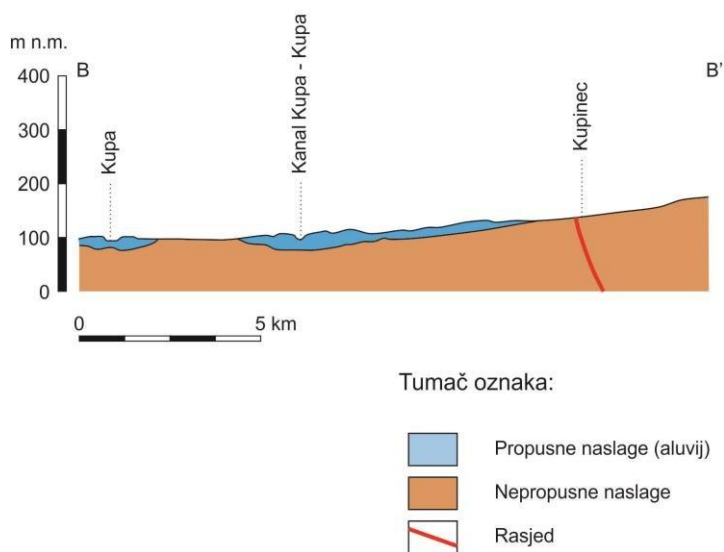


Slika 3-2. Prostiranje glavnih hidrogeoloških značajki grupiranog vodnog tijela Donji tok Kupe (Nakić, et. al., 2016.)

Na prikazanoj karti ucrtana su dva profila, prvi uzdužni s pružanjem SZ – JI (Slika 3-3.), te drugi poprečni s pružanjem JZ – SI (Slika 3-4.). Modeli profila prikazuju odnos aluvija i nepropusnih naslaga uz predočenje visinskih razlika danog reljefa.



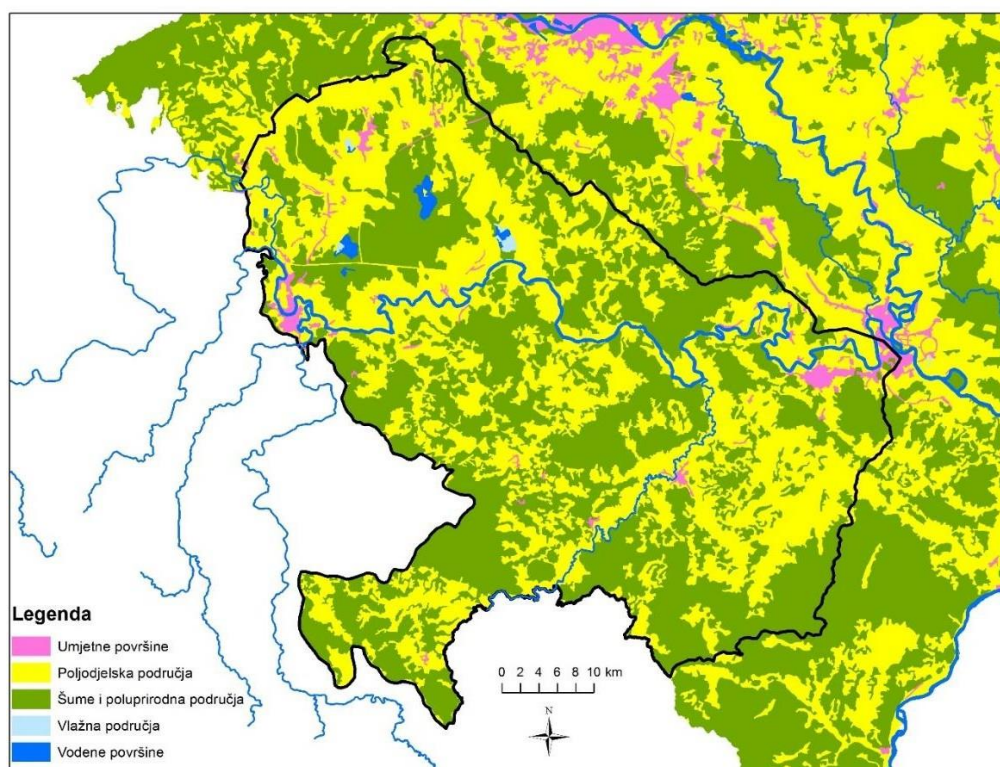
Slika 3-3. Uzdužni shematski hidrogeološki profil u grupiranom vodnom tijelu Donji tok Kupe (Nakić, et. al., 2016.)



Slika 3-4. Poprečni shematski hidrogeološki profil u grupiranom vodnom tijelu Donji tok Kupe (Nakić, et. al., 2016.)

4. GEOGRAFSKE I KLIMATSKE ZNAČAJKE

Tijelo podzemne vode „Donji tok Kupe“ nalazi se na rubnoj jugozapadnoj zoni Panonskog bazena prema Dinaridima. Promatrajući regionalni položaj vodonosnika u RH, nalazi se na prijelazu između Karlovačkog Pokuplja i Korduna, a na istoku graniči s Banovinom. Površine osnovnih produktivnih vodonosnika koreliraju s umjetnim i poljodjelskim područjima, dok se na području sekundarnih vodonosnika bilježi ujednačena izmjena poljodjelskih i šumskih područja (AZO, 2013). Srednja godišnja količina oborina na području ovog tijela podzemne vode iznosi između 1000 i 1250 mm (Nakić, et. al., 2016.), dok se srednja godišnja temperatura kreće između 10° i 12° C. (DHMZ, 2020.)



Slika 4-1. Način korištenja zemljišta u grupiranom vodnom tijelu Donji tok Kupe (CORINE, 2012; AZO, 2013)

Uočljivo je da veći dio terena prekriva šumsko raslinje, no poljoprivredna zemljišta također imaju značajan udio u pokrivenosti promatranog vodonosnika. Rasprostranjenost umjetnih površina korelira s naseljima i gradovima.

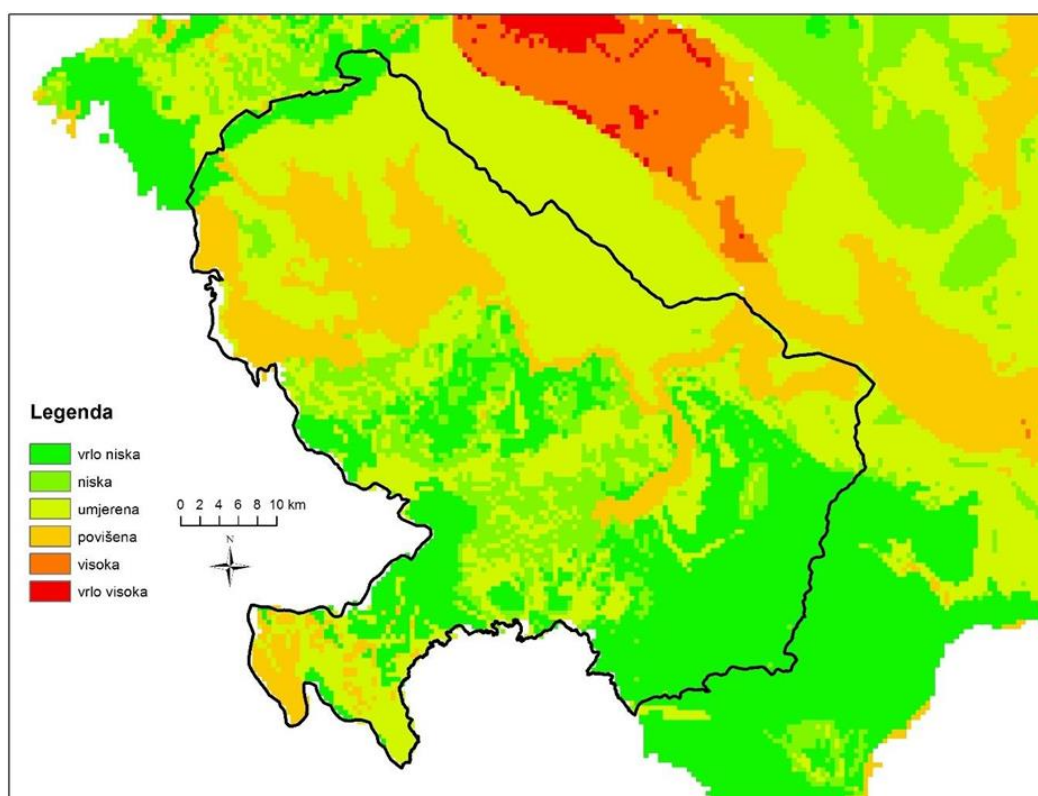
U sljedećoj tablici (Tablica 4-1.) prikazan je kvantitativni odnos pokrova zemljišta na datom području.

Tablica 4-1. Udio pokrova zemljišta u tijelu „Donji tok Kupe“ (Nakić, et. al., 2016.)

Pokrov zemljišta	%
Umjetne površine	1,8
Poljodjelska područja	46,9
Šume i poluprirodna područja	49,9
Vlažna područja	0,2
Vodene površine	1,2

5. RANJIVOST PODZEMNE VODE

U skladu procjene rizika cjelina podzemne vode, primjenom SINTACS metode izvršena je analiza prirodne ranjivosti vodonosnika na čitavom području panonskog dijela Republike Hrvatske (Brkić, et. al., 2009.) Izvršena je upotrebom SINTACS postupka (Civita & De Maio, 1997.) koji se ubraja u skupinu svjetski priznatih parametarskih metoda, odnosno „point count“ modela (Brkić, et. al., 2009.). Povišena ranjivost zabilježena je na aluvijalnim vodonosnicima te dijelom na karbonatnim vodonosnicima tijela podzemne vode Donji tok Kupe (Slika 5-1.).



Slika 5-1. Prikaz prostorne raspodjele prirodne ranjivosti tijela „Donji tok Kupe“ na temelju SINTACS metode (Brkić, et. al., 2009.)

Tablica 5-1. Udio prirodne ranjivosti u postotcima prema slici 5-1. (Nakić, et. al., 2016.)

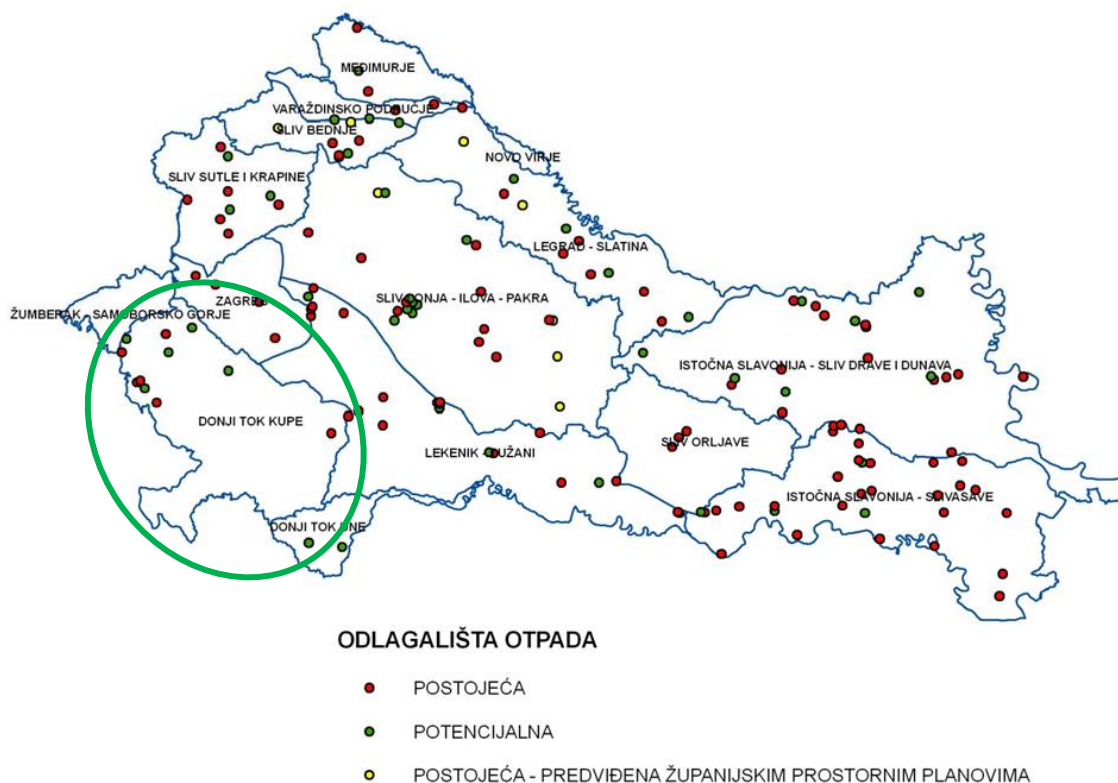
Prirodna ranjivost tijela „Donji tok Kupe“	%
Vrlo niska	29,0
Niska	13,0
Umjerena	38,5
Povišena	19,5
Visoka	-
Vrlo visoka	-

Područje tijela podzemne vode „Donji tok Kupe“ većim dijelom karakterizira vrlo niska te niska ranjivost vodonosnika, izuzev sjeverozapadnog dijela tijela podzemne vode gdje se nalaze karbonatni vodonosnici, a ranjivost se bilježi kao povišena. S obzirom na ranjivost podzemne vode, rizik za nepostizanje kemijskog stanja na području tijela podzemne vode „Donji tok Kupe“ je izuzetno nizak, odnosno tijelo nije u riziku (Nakić, et. al., 2018.).

6. IZVORI ONEČIŠĆENJA PODZEMNE VODE

Omjer između površine tijela podzemne vode i broja aktivnih odlagališta na istoj toj površini, nešto je povoljniji odnosno veći u usporedbi s ostatkom panonskog dijela u RH.

Na području navedenog tijela podzemne vode (Slika 6-1.) 2009. god. nalazilo se 7 postojećih te 5 potencijalnih odlagališta otpada. Novijim podacima iz 2017. god. utvrđeno je da je broj aktivnih odlagališta otpada smanjen na 5 (Nakić, et. al., 2018.).



Slika 6-1. Prostorna distribucija odlagališta otpada (Brkić, et. al., 2009.)

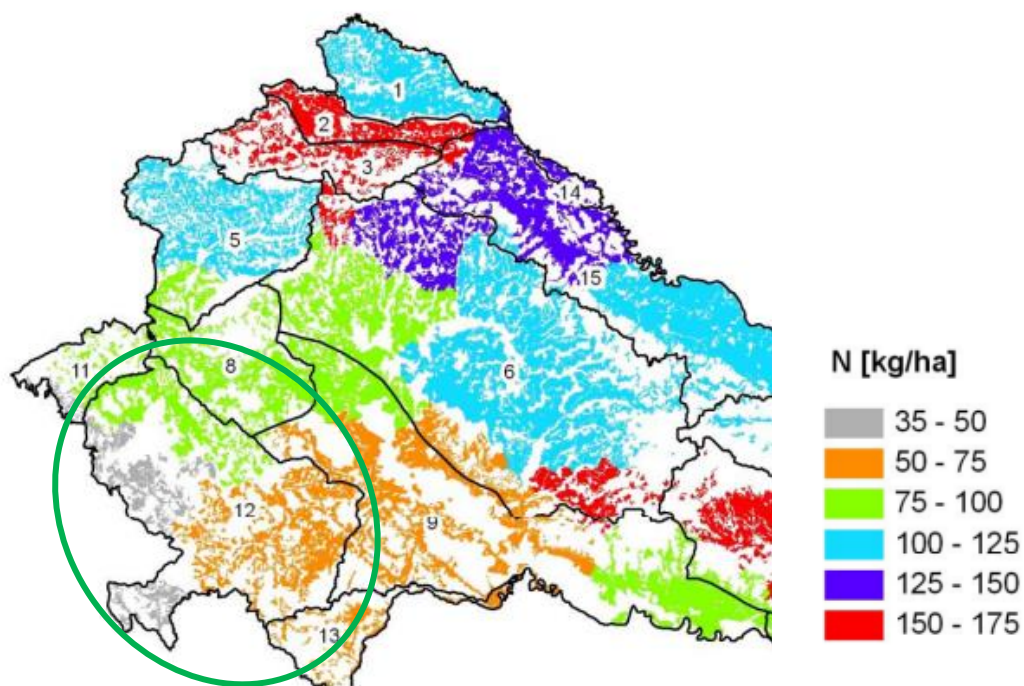
Izvori onečišćenja dijele se na aktivne i potencijalne. Aktivni izvori su oni koji stalno ili povremeno emitiraju onečišćivača izravno u podzemlje. Stalni aktivni izvori okarakterizirani su kontinuiranim ispuštanjem onečišćivača u okoliš, dok povremene definiramo kao izvore onečišćenja koji samo u određenom periodu vrše onečišćenje. Stalni izvori onečišćenja podijeljeni su na točkaste i raspršene izvore (Nakić, et. al., 2018.). Točkaste izvore onečišćenja predstavljaju industrijski influenti, uređaji za pročišćavanje otpadnih voda, septičke jame i dr., dok su stalni raspršeni izvori onečišćenja uglavnom

produkt poljoprivredne aktivnosti. Različiti kvarovi, nepažnja ili neke slične aktivnosti su glavni uzrok emisije onečišćenja iz potencijalnih izvora onečišćenja, odnosno u normalnim tj. idealnim uvjetima ne bilježi se emisija iz potencijalnih izvora onečišćenja.

Ovisno o veličini i zastupljenosti dokazanog i potencijalnog učinka na kakvoću podzemne vode razmatraju se pojedine kategorije raspršenih izvora: 1. poljoprivreda 2. naselja 3. industrija (Brkić, et. al., 2009.).

Utjecaj odlagališta otpada povećava rizik onečišćenja podzemne vode, budući da manji broj njih nije u skladu s uvjetima propisanim za sanitarna odlagališta otpada, stoga su značajni izvori štetnih tvari širokog spektra (Nakić, et. al., 2018.). Također, povećanje količina oborina na području nekog tipa odlagališta otpada ili poljoprivrednih površina ima negativan utjecaj na stanje podzemlja, a posljedično procjeđivanjem tako onečišćenih fluida u vodonosnik i na kakvoću podzemne vode.

Budući da su na području tijela podzemne vode „Donji tok Kupe“ poljoprivredna zemljišta druga po zastupljenosti površine nakon šuma, zabilježene su koncentracije nitrata čije porijeklo dolazi od mineralnih i organskih gnojiva (Slika 6-2.). Relativno mala količina dušika (35-75 kg/ha) primjenjuje se na obradivim površinama koje su smještene na cjelinama podzemne vode „Donji tok Kupe“ (Brkić, et. al., 2009.).



Slika 6-2. Dušik iz mineralnih i organskih gnojiva, 2000. god. (Brkić, et. al., 2009.)

7. OPĆA OBILJEŽJA KAKVOĆE SIROVE VODE

Sirova podzemna voda predstavlja vodu namijenjenu za piće koja nije tehnički prerađena. Podaci o kakvoći sirove vode manje su zastupljeni od podataka kakvoće podzemne vode neovisno o području istraživanja. Takva istraživanja namijenjena su prvenstveno za dobivanje podataka o kvaliteti sirove vode kojom se raspolaže, te u svrhu tehnoloških postupaka koje je potrebno primijeniti. Opisana su stanja na izvorištima u tijelu podzemne vode „Donji tok Kupe“, koja su podvrgnuta detaljnijoj statističkom obradi u ovom radu („Gaza“, „Mekušje“, „Švarča“ i „Borlin“). Analize i uzorkovanja provedena su u skladu s važećim i prihvaćenim propisima i normama RH (Nakić, et. al., 2015.).

U periodu od 2009. do 2013. godine na izvorištu Gaza prikupljeno je 46 uzoraka vode. Voda na izvorištu je Ca-Mg-HCO₃ tipa. 28 od 46 uzoraka bilo je ispravno s obzirom i na kemijske i mikrobiološke analize, dok 18 uzoraka ne ispunjava kriterije *Pravilnika o propisanim MDK vrijednostima* (NN br. 125/17) na temelju fizikalno-kemijskih, kemijskih ili mikrobioloških pokazatelja za parametre: mangan, ukupne suspenzije i silikati (Nakić, et. al., 2015.).

U periodu od 2009. do 2013. godine na izvoru Mekušje prikupljeno je 22 uzorka vode, od kojih je 7 uzoraka bilo kemijski i mikrobiološki ispravno, a 15 uzoraka nije zadovoljavalo *Pravilnik* (NN br. 125/17) propisanih MDK vrijednosti za mikrobiološke pokazatelje, dok odstupanja kemijskih pokazatelja uočena su za mangan i ukupne suspenzije (Nakić, et. al., 2015.).

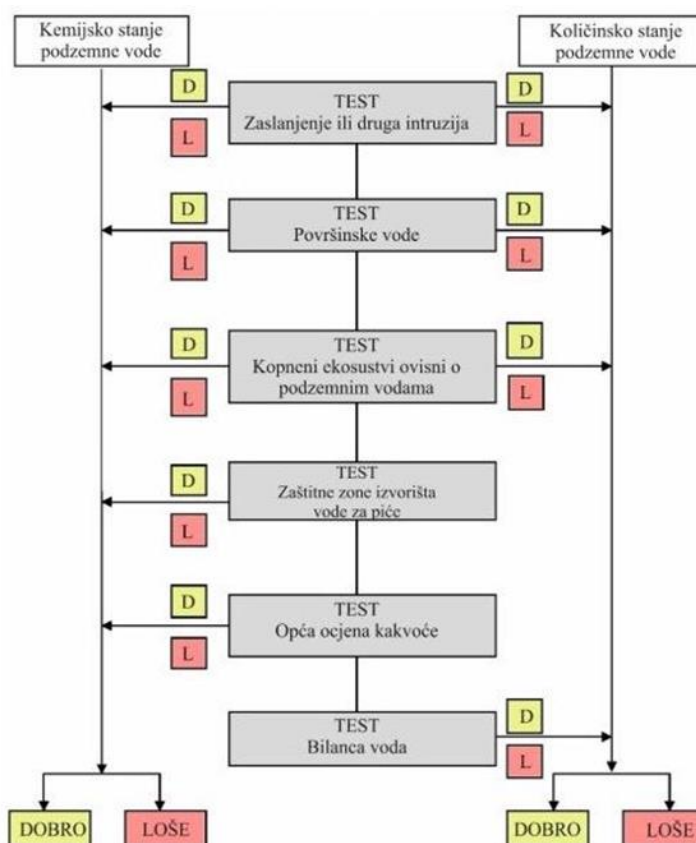
U istom periodu na izvorištu Švarča uzeto je 20 uzoraka vode. Voda je na ovom izvorištu također Ca-Mg-HCO₃ tipa, 16 uzoraka bilo je ispravno i kemijski i mikrobiološki, dok je kod 4 uzorka dokazana mikrobiološka neispravnost (Nakić, et. al., 2015.).

Na izvorištu Borlin prikupljen je 21 uzorak vode. Samo 1 uzorak nije bio ispravan, budući da nije zadovoljavao propisanu MDK vrijednost za pokazatelj ukupne suspenzije (Nakić, et. al., 2015.).

8. ZAKONSKA OSNOVA ZA OCJENU KAKVOĆE PODZEMNE VODE

Sukladno *Direktivi o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće* (*Direktiva opodzemnim vodama, DPV, 2006/118/EZ; 2014/80/EZ*) i *Okvirnoj direktivi o vodama (ODV, 2000/60/EZ)* podzemne vode mogu biti dobrog ili lošeg kemijskoga stanja.

Klasifikacijski testovi (prema *CIS vodiču br. 18*, engl. *Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment, 2009*) služe za određivanje kemijskog stanja podzemnih voda, gdje se najlošiji rezultat uzima kao reprezentativni za ocjenu kemijskog stanja (slika 4-1) (Nakić, et. al., 2016.).



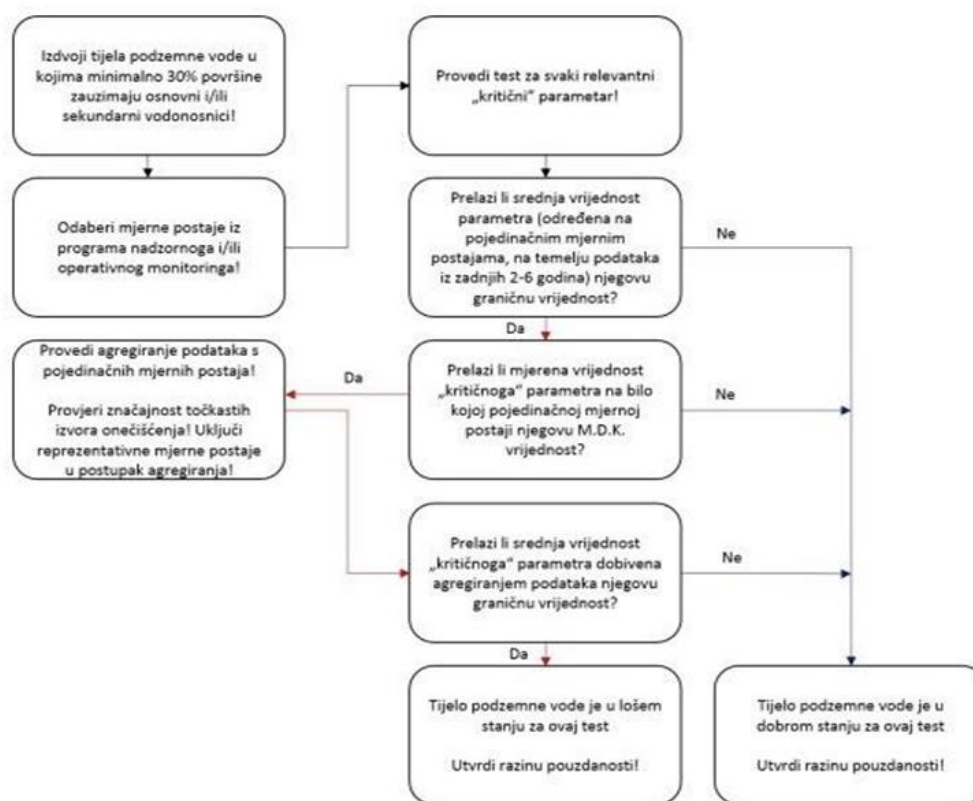
Slika 8-1. Shematski prikaz klasifikacijskih testova za ocjenu kemijskog stanja podzemnih voda prema CIS vodiču br. 18 (Nakić, et. al., 2016.)

Prilikom ocjene kemijskog stanja tijela podzemnih voda iznimno su bitni parametri iz *Uredbe o standardu kakvoće voda* (NN 96/19), a to su: arsen, olovo, sulfati, kadmij, nitriti, kloridi, amonij, živa, zbroj trikloretana i tetrakloretana, ukupni fosfati i električna vodljivost. No, kako za te određene parametre nisu propisani standardi kakvoće podzemne

vode, za njih je nužno odrediti graničnu vrijednost prema *Uredbi o standardu kakvoće voda* (NN 96/19). Parametri koji mogu ugroziti kemijsko stanje podzemnih voda zovu se kritični parametri (Nakić, et. al., 2018.).

Ako srednja vrijednost koncentracije pojedinih parametara ne prelazi niti graničnu vrijednost ni standarde kakvoće za podzemne vode, tada se ne provode klasifikacijski testovi. Ako su srednje vrijednosti koncentracija više od bilo granične vrijednosti i/ili standarda kakvoće podzemne vode, u tom je slučaju nužno provođenje klasifikacijskih testova (prema *Direktivi za podzemne vode i CIS vodiču br. 18*) da bi se zaključilo ima li prekoračenje utjecaj na kemijsko stanje podzemne vode (Nakić, et. al. 2018.).

Test koji je od iznimne važnosti prilikom ocjene kemijskog stanja je test *Ocjena opće kakvoće* (slika 8-2.). Ovim testom se nastoji odrediti površina tijela podzemne vode gdje srednja vrijednost parametara premašuje graničnu vrijednost. Ovaj test služi za zaštitu funkcije vode koja se koristi za piće pa se najčešće koristi standard kakvoće za pitke vode (MDK) (Nakić, et. al., 2018.).



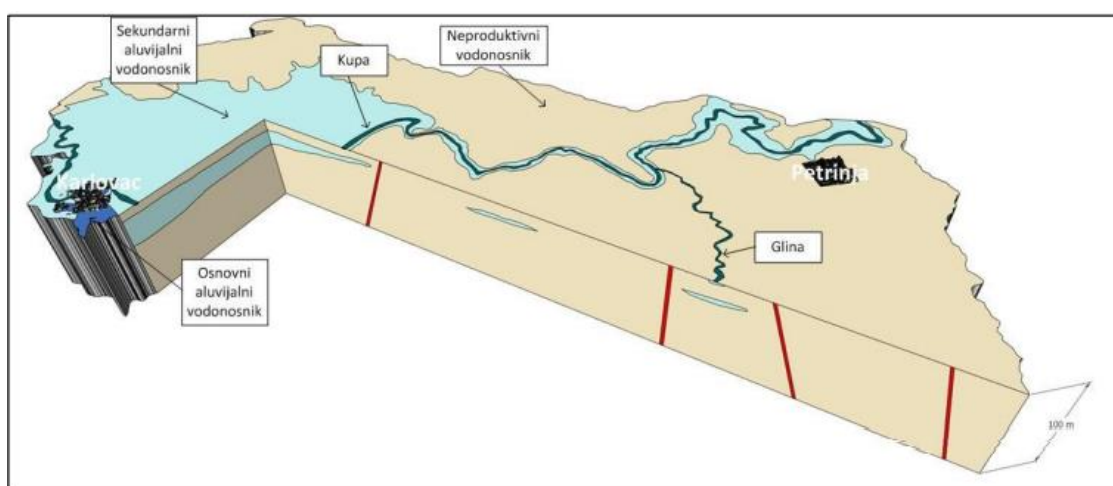
Slika 8-2. Shematski prikaz provedbe testa Ocjena opće kakvoće (Nakić, et. al., 2018.)

Kakvoća sirove vode sa vodocrpilišta određuje se prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analiza, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe* (NN br. 125/17) usvojen osnovom *Zakona o vodi za ljudsku potrošnju* (NN 16/20). Osnovna svrha monitoringa sirove vode je određivanje njene kakvoće te ukoliko je potrebno, koje postupke treba provoditi da bi bila zdravstveno ispravna za piće. Stoga se može reći da se monitoring sirove vode nadovezuje na monitoring kakvoće podzemne vode (Nakić, et. al., 2018).

9. KAKVOĆA PODZEMNE VODE U TIJELU PODZEMNE VODE „DONJI TOK KUPE“

9.1. REZULTATI PRIJAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Promatrane podzemne vode (prema osnovnom ionskom sastavu) klasificiraju se od CaMg-HCO₃ do CaMgNa-HCO₃ tipu voda. Facijes takvog sastava uzrokovan je otapanjem karbonatnih minerala u vodonosnicima (Brkić, et. al., 2009.).



Slika 9-1. Shematski prikaz konceptualnog modela GTPV-a Donji tok Kupe (Nakić, et. al., 2018.)

Vodonosnici ovog tijela podzemne vode kroz dosadašnja istraživanja nisu bilježila značajnija odstupanja.

Kroz 2007. i 2008. god. napravljena su istraživanja u svrhu ocjene stanja podzemnih voda na području tijela „Donji tok Kupe“. Upotrijebljeni su podaci iz nacionalnog monitoringa dostupnih od Hrvatskih voda.

U okviru nacionalnog (državnog) monitoringa kakvoća vode rijeka Kupa 2012. god. podvrgnuta je analizi na tri lokacije: Brest, Rečica i Sisak (Brkić, et. al., 2016.). Istraživanja su provedena s naglaskom na povezanost s površinskim vodama. Analizom parametara za ocjenu kemijskog stanja podzemne vode, provedenom od 2009. do 2013. god. vidljivo je da su koncentracije ispod granice registriranja instrumenata, definirane u *Uredbi o standardu kakvoće vode* (NN 73/2013; 151/14). Parametri koji su birani za analizu nalaze se na listi prioritetnih tvari (otopljeni kadmij, nikal, olovo, živa, benzen,

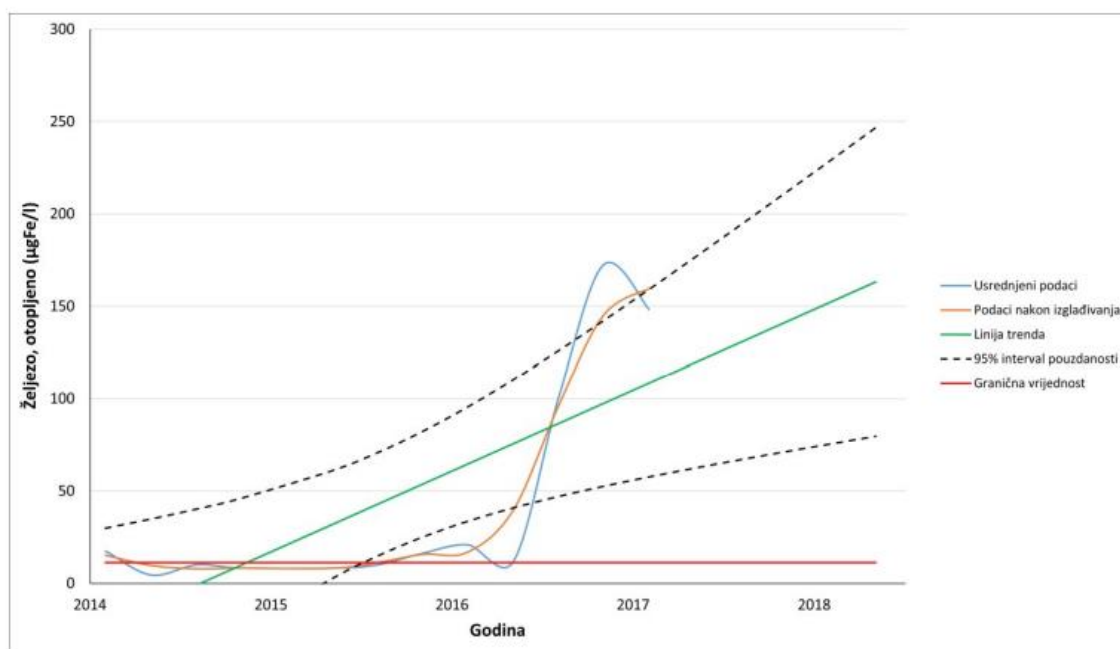
naftalen, diklormetan, dikloretan i dr.). S obzirom na rezultate, tijelo podzemne vode je na temelju povezanosti podzemnih voda s površinskim tokovima, ocijenjeno dobrim stanjem (Brkić, et. al., 2016.).

Prilikom izrade trendova onečišćivala na području tijela podzemne vode „Donji tok Kupe“ analizirani su podatci o kakvoći podzemne vode na sedam piezometara. Na temelju analiziranih podataka kakvoće podzemne vode određena su četiri kritična parametra (sulfati, mangan, željezo i kloridi), dok je na osnovu podataka sirove vode određen 1 kritičan parametar: mangan. No, ni na jednom objektu nisu dobiveni podaci u minimalno 12 potrebnih uzastopnih kvartala pa s obzirom na to nije bilo moguće izraditi trendove onečišćivala (Nakić, et. al., 2016.).

Studijom iz 2016. god. Tijelo podzemne vode „Donji tok Kupe“ ubraja se u skupinu neproduktivnih vodonosnika, te se u tom slučaju ne provodi test opće kakvoće, ali „DWPA“ testom vidljiv je problem povremenog povišenja koncentracija mangana. Zbog malog broja analiziranih podataka, izrada trendova nije bila moguća, te je u idućim razdobljima potrebno detaljnije motriti i proučiti uzroke povećanih koncentracija. Generalno je stanje vode ocijenjeno dobrim, ali zbog navednog razloga (nedostatka podataka) razina pouzdanosti je vrlo niska (Nakić, et. al. 2016.).

U odnosu na stanje iz prethodne studije (Nakić, et.al., 2016.) studija iz 2018. godine (Nakić, et. al., 2018.) prikazuje veći broj izračunatih trendova za promatrane parametre. Na području tijela podzemne vode „Donji tok Kupe“ bilježene su koncentracije sljedećih parametara: fosfor, kloridi, sulfati, krom, željezo i nitrati. Statistički značajan uzlazni trend koncentracije pojavljuje se za nitrata i željezo, pri čemu je trend povećanja koncentracije željeza okolišno značajan trend za razliku od nitrata (Nakić, et. al., 2018.). Promatrajući period od 2014. do 2018. god. na području tijela podzemne vode „Donji tok Kupe“ ustanovljen je uzlazni trend za parametar željeza (Slika 9-2.).

Pojavu kontinuiranog povećanja koncentracije željeza kao i pojavu povišene koncentracije mangana na području ovog tijela podzemne vode potrebno je pažljivo motriti, budući da o takvim povišenjima koncentracije ovisi kakvoća podzemne vode. Povišene koncentracije mangana i željeza u podzemnim vodama uzrokovano je uslijed otapanja minerala. Na prisutnost željeza i mangana utječe pH vrijednost sredine, viši pH znači manje koncentracije mangana i željeza.



Slika 9-2. Prikaz statistički i okolišno značajnog uzlaznog trenda željeza u tijelu podzemne vode „Donji tok Kupe“ (Nakić, et.al. 2018.)

9.2. ANALIZA KAKVOĆE PODZEMNE VODE

Statističkom analizom utvrđene su srednje vrijednosti, minimumi, maksimumi i standardna devijacija podataka obrađenih u ovom radu, u periodu od 2007. do 2016. godine. Te vrijednosti uspoređivane su s maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK) sukladno *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* (NN br. 125/17) te graničnim vrijednostima parametara, temeljem *Uredbe o standardu kakvoća voda* (NN 96/19). Na temelju prijašnjih istraživanja, odnosno dokumentiranjem koncentracija određenih parametara čiji su trendovi bili uzlazni odabrani su sljedeći kemijski parametri: arsen i nitrati, i indikatorski: amonij, kloridi, mangan i željezo.

Napravljena je statistička analiza parametara kakvoće podzemne vode za vodocrpilišta:

- „Gaza I“, „Gaza II“ i „Gaza III“ u Karlovcu (Tablica 9-1.),
- „Švarča“ u Karlovcu (Tablica 9-2.),
- „Mekušje“ u Karlovcu (Tablica 9-3.),

- „Borlin“ u Karlovcu (Tablica 9-4.),
- „Petrinja-Sisak“ u Petrinji i Sisku (Tablica 9-5.),
- „Meljun“ (Tablica 9-6.),
- „Cetingrad“ (Tablica 9-7.),
- „Perna“ (Tablica 9-8.),
- „Glina“ (Tablica 9-9.)

Ovom statističkom analizom prikazana su odstupanja pojedinih mjerenih koncentracija parametara od MDK, prema Pravilniku (NN br. 125/17) i graničnih vrijednosti, prema *Uredbi o standardu kakvoće voda* (NN 96/19)

Iz rezultata statističke analize prikazane u tablici 9-1., vidljivo je da nema odstupanja navedenih parametara kakvoće podzemne vode od MDK vrijednosti, analiziranih u razdoblju od 2007. do 2016. g. na području vodocrpilišta Giza I“, „Giza II“ i „Giza III“ u Karlovcu. Isto tako nema odstupanja izračunatih srednjih vrijednosti od graničnih vrijednosti, odnosno koncentracije parametara niže su od onih dopuštenih.

Tablica 9-1. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištima „Giza I“, „Giza II“ i „Giza III“ u Karlovcu

Parametri	Mjerna jedinica	Ukupan broj analiziranih podataka	Srednja vrijednost (x)	Minimum (min)	Maksimum (max)	Std. Devijacija (S)	MDK	Granična vrijednost
Arsen	µg/l	47	0,4	0,05	1	0,25	10	10
Nitrati	mg/l	51	0,78	0,1	2,38	0,47	50	28,1
Kloridi	mg/l	51	6,2	1,8	22,3	4,45	250	140,6
Amonij	mg/l	51	0,01	0,01	0,13	0,02	0,50	0,5
Mangan	µg/l	47	6,02	0,17	45	8,1	50	28,1
Željezo	µg/l	47	9,33	0,5	95	14,44	200	112,5

* MDK je definirana iz *Pravilnika 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).

** 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 9-2. prikazuje mjerene vrijednosti parametara u razdoblju od 2007. do 2016. g. na području vodocrpilišta „Švarča“ u Karlovcu. Mjerene vrijednosti parametara kakvoće ne premašuju MDK te su srednje vrijednosti odabranih parametara manje od graničnih vrijednosti.

Tablica 9-2. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Švarča“ u Karlovcu

Parametri	Mjerna jedinica	Ukupan broj analiziranih podataka	Srednja vrijednost (x)	Minimum (min)	Maksimum (max)	Std. Devijacija (S)	MDK	Granična vrijednost
Arsen	µg/l	25	0,6	0,25	1,5	0,35	10	10
Nitrati	mg/l	29	0,98	0,1	2,08	0,44	50	28,1
Kloridi	mg/l	29	22,16	1,3	38,2	7,53	250	140,6
Amonij	mg/l	29	0,01	0,001	0,1	0,02	0,50	0,5
Mangan	µg/l	25	4,6	0,5	34	7,21	50	28,1
Željezo	µg/l	25	10,1	0,5	55	14,04	200	112,5

* MDK je definirana iz *Pravilnika 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).

** 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 9-3. vidljivo je da mjerene vrijednosti promatranih parametara kakvoće podzemne vode, u periodu od 2007. do 2016. god., ne odstupaju od MDK vrijednosti. Nije zabilježeno niti odstupanje srednjih vrijednosti od graničnih vrijednosti, sve koncentracije su u dopuštenom rasponu.

Tablica 9-3. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Mekušje“ u Karlovcu

Parametri	Mjerna jedinica	Ukupan broj analiziranih podataka	Srednja vrijednost (x)	Minimum (min)	Maksimum (max)	Std. Devijacija (S)	MDK	Granična vrijednost
Arsen	µg/l	25	0,52	0,1	1	0,27	10	10
Nitrati	mg/l	29	0,78	0,3	1,83	0,35	50	28,1
Kloridi	mg/l	29	3,68	2,3	5,42	1,02	250	140,6
Amonij	mg/l	29	0,01	0,001	0,18	0,03	0,50	0,5
Mangan	µg/l	25	2,53	0,16	16	3,43	50	28,1
Željezo	µg/l	25	4,6	0,5	13	3,77	200	112,5

* MDK je definirana iz *Pravilnika 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).

** 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 9-4. pokazuje da su koncentracije parametara na crpilištu „Berlin“ u Karlovcu, u razdoblju od 2007. do 2016. g., većim dijelom niže od dozvoljenih MDK vrijednosti. Primjećuje se da je maksimalna koncentracija željeza znatno viša u odnosu na propisanu MDK, ali srednje vrijednosti svih parametara nisu više od graničnih vrijednosti.

Tablica 9-4. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Borlin“ u Karlovcu

Parametri	Mjerna jedinica	Ukupan broj analiziranih podataka	Srednja vrijednost (x)	Minimum (min)	Maksimum (max)	Std. Devijacija (S)	MDK	Granična vrijednost
Arsen	µg/l	25	0,6	0,25	2	0,37	10	10
Nitrati	mg/l	29	2,6	0,1	4	0,83	50	28,1
Kloridi	mg/l	29	20,55	10,1	36,9	6,62	250	140,6
Amonij	mg/l	29	0,01	0,001	0,21	0,03	0,50	0,5
Mangan	µg/l	25	4,59	0,5	18	4,78	50	28,1
Željezo	µg/l	25	45,98	0,5	421	110,4	200	112,5

* MDK je definirana iz *Pravilnika 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).

** 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.)

Prikazana tablica 9-5. pokazuje kako su sve koncentracije izuzev mangana na crpilištu „Petrinja-Sisak“, za razdoblje od 2007. do 2016. g., niže od MDK vrijednosti. Maksimalna koncentracija mangana neznatno premašuje MDK. Sve srednje vrijednosti svih parametara u granicama su propisanih graničnih vrijednosti.

Tablica 9-5. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Petrinja-Sisak“

Parametri	Mjerna jedinica	Ukupan broj analiziranih podataka	Srednja vrijednost (x)	Minimum (min)	Maksimum (max)	Std. Devijacija (S)	MDK	Granična vrijednost
Arsen	µg/l	6	0,78	0,25	3,44	1,3	10	10
Nitrati	mg/l	6	0,59	0,045	1,08	0,36	50	28,1
Kloridi	mg/l	6	2,47	1	3,9	0,76	250	140,6
Amonij	mg/l	6	0,09	0,01	0,23	0,99	0,50	0,5
Mangan	µg/l	6	18,26	4,76	68,3	24,95	50	28,1
Željezo	µg/l	25	33,72	1	104	43,84	200	112,5

* MDK je definirana iz *Pravilnika 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).

** 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 9-6. vidljivo je da su srednje vrijednosti promatranih parametara, na vodocrpilištu “Meljun“, za razdoblje od 2007. do 2016. g., niže od dozvoljenih graničnih vrijednosti, s izuzetkom mangana. Maksimalna vrijednost mangana premašuje propisanu MDK, a srednja vrijednost koncentracije viša je od granične za 21,66 µg/l.

Tablica 9-6. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu “Meljun“

Parametri	Mjerna jedinica	Ukupan broj analiziranih podataka	Srednja vrijednost (x)	Minimum (min)	Maksimum (max)	Std. Devijacija (S)	MDK	Granična vrijednost
Arsen	µg/l	6	2,48	0,5	6,3	2,5	10	10
Nitrati	mg/l	29	0,58	0,26	1,2	0,19	50	28,1
Kloridi	mg/l	29	3,1	1,27	4,2	0,79	250	140,6
Amonij	mg/l	29	0,31	0,08	0,81	0,27	0,50	0,5
Mangan	µg/l	29	49,76	9,7	110	30,98	50	28,1
Željezo	µg/l	22	20,5	1,3	177	37,75	200	112,5

* MDK je definirana iz *Pravilnika 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).

** 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 9-7. koja prikazuje mjerene koncentracije odabranih parametara u razdoblju od 2007. do 2016. g. na vodocrpilištu „Cetingrad“ , nisu uočena odstupanja mjerenih vrijednosti parametara od MDK. Srednje vrijednosti nisu povišene u odnosu na granične vrijednosti.

Tablica 9-7. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Cetingrad“

Parametri	Mjerna jedinica	Ukupan broj analiziranih podataka	Srednja vrijednost (x)	Minimum (min)	Maksimum (max)	Std. Devijacija (S)	MDK	Granična vrijednost
Arsen	µg/l	10	0,41	0,25	1	0,23	10	10
Nitrati	mg/l	12	1,52	0,7	2,23	0,41	50	28,1
Kloridi	mg/l	12	3,5	1	5,28	0,97	250	140,6
Amonij	mg/l	12	0,04	0,001	0,34	0,18	0,09	0,5
Mangan	µg/l	11	4,82	0,2	15	3,85	50	28,1
Željezo	µg/l	11	10,1	5	29	9,13	200	112,5

* MDK je definirana iz *Pravilnika 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).

** 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.)

Promatrajući tablicu 9-8. evidentno je da promatrani parametri kakvoće podzemne vode za razdoblje od 2007. do 2016. g. na području crpilišta „Perna“ ne odstupaju od MDK i graničnih vrijednosti.

Tablica 9-8. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Perna“

Parametri	Mjerna jedinica	Ukupan broj analiziranih podataka	Srednja vrijednost (x)	Minimum (min)	Maksimum (max)	Std. Devijacija (S)	MDK	Granična vrijednost
Arsen	µg/l	6	0,95	0,25	3,42	1,28	10	10
Nitrati	mg/l	6	0,93	0,81	1,06	0,09	50	28,1
Kloridi	mg/l	6	3,16	2,31	4,25	0,77	250	140,6
Amonij	mg/l	6	0,29	0,06	0,52	0,32	0,50	0,5
Mangan	µg/l	6	1,78	0,5	4,63	1,69	50	28,1
Željezo	µg/l	6	17,23	2,84	51,4	20,76	200	112,5

* MDK je definirana iz *Pravilnika 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).

** 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.)*

Kakvoća podzemne vode s obzirom na promatrane parametre na vodocrpilištu „Glina“, prikazana je u tablici 9-9. Odabrani parametri za provjeru kakvoće podzemne vode promatrani za razdoblje od 2007. do 2016. g. na području crpilišta, ne odstupaju od MDK i graničnih vrijednosti.

Tablica 9-9.. Statistički prikaz kakvoće podzemne vode na vodocrpilištu „Glina“

Parametri	Mjerna jedinica	Ukupan broj analiziranih podataka	Srednja vrijednost (x)	Minimum (min)	Maksimum (max)	Std. Devijacija (S)	MDK	Granična vrijednost
Arsen	µg/l	6	0,69	0,25	1,3	0,43	10	10
Nitrati	mg/l	6	0,03	0,004	0,05	0,02	50	28,1
Kloridi	mg/l	6	2,83	1	3,54	0,92	250	140,6
Amonij	mg/l	6	0,09	0,005	0,015	0,005	0,50	0,5
Mangan	µg/l	6	5,78	2,04	17,8	6,28	50	28,1
Željezo	µg/l	6	24,58	1	68,3	28,42	200	112,5

* MDK je definirana iz *Pravilnika 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).

** 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.)

9.3. OCJENA STANJA UGROŽENOSTI KAKVOĆE PODZEMNE VODE

Promatrajući rezultate provedenih analiza na zasebnim vodocrpilištima bilježe se mala odstupanja u dva parametra, odnosno na tri vodocrpilišta („Borlin“, „Petrinja-Sisak“, i „Meljun“). Željezo i mangan su kritični parametri čija maksimalna vrijednost premašuje definiranu „MDK“ vrijednost. Bez obzira na minimalna odstupanja motrećih parametara kakvoća podzemne vode na promatranom tijelu nije ugrožena. Kakvoća vode iz tijela podzemne vode „Donji tok Kupe“ visoke je kakvoće, no potrebno je nastaviti monitoring te s povećanim nadzorom pratiti trend kritičnih parametara, kako bi i ostala na visokoj razini.

Kontinuirano povišene koncentracije željeza i mangana na istaknutim područjima, produkt su otapanje minerala bogatih željezom i manganom u uvjetima promjenjivih oksidacijsko-redukcijskih uvjeta u vodonosnoj sredini.

10. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj ovoga završnog rada je ocjena ugroženosti podzemnih voda na području tijela podzemne vode „Donji tok Kupe“, definiranje geoloških, hidrogeoloških i općih obilježja vodonosnika donjeg toka rijeke Kupe te ocjena ranjivosti odnosno ugroženosti kakvoće podzemnih voda. Područje istraživanja rada odnosi se na tijelo podzemne vode „Donji tok Kupe“, smješteno na području Karlovačke i Sisačko-moslavačke županije.

Kakvoća podzemne vode od iznimne je regionalne važnosti za stanovništvo naseljeno na tom području, ali i širu okolicu. Tijelo podzemne vode izgrađeno je dijelom od karbonatnih, a dijelom od šljunkovito-pjeskovitih vodonosnika sa pokrovnim slojem gline i podinskim slojem prahova i gline. Podzemne vode (prema ionskom sastavu) pripadaju od CaMg-HCO₃ do CaMgNa-HCO₃ tipu voda. Facijes takvog sastava upućuje na dominantan utjecaj otapanja karbonatnih minerala u vodonosnicima. Vodocrpilišta „Gaza“, „Mekušje“, „Švarča“ i „Borlin“ zahvaćaju podzemnu vodu iz osnovnog vodonosnika, dok crpilišta „Pecki“, „Prezdan“, „Križ“, „Hrastovica“, „Kljajića vrelo“, „Krmarevac“ i „Živo vrelo“ iz sekundarnog aluvijalnog vodonosnika, izgrađenog uglavnom od debelih naslaga pijeska kvartarne starosti. Na desnoj obali Kupe prisutne su i manje zastupljene karbonatne naslage.

U ovom radu analizirano je 11 crpilišta: „Gaza I“, „Gaza II“, „Gaza“, „Gaza III“, „Švarča“, „Mekušje“, „Borlin“, „Petrinja-Sisak“, „Meljun“, „Cetingrad“, „Perna“ i „Glina“ pomoću odabranih kemijskih i indikatorskih parametara: arsena, nitrata, klorida, amonija, mangana i željeza.

U razdoblju od 2007. do 2016. god. na vodocrpilištu „Borlin“ zabilježena je dvostruko viša maksimalna koncentracija željeza od „MDK“ vrijednosti definirane prema Pravilniku (NN br. 125/17). Na vodocrpilištima „Petrinja-Sisak“ i „Meljun“ u istom periodu utvrđena su odstupanja koncentracije mangana. Preciznije, koncentracija parametra mangana na vodocrpilištu „Meljun“ viša je od „MDK“, kao i srednja vrijednost koja bilježi povećanje u odnosu na propisanu graničnu vrijednost (NN 96/2019). Vodocrpilište „Meljun“ ujedno je i jedina točka ispitivanja unutar ove analize, na kojoj je zabilježeno odstupanje srednje vrijednosti od dozvoljene norme. Na vodocrpilištu „Petrinja-Sisak“ također je registrirana koncentracija mangana koja premašuje „MDK“ vrijednost, dok srednje vrijednosti svih parametara ne odstupaju od granične vrijednosti.

Povišene i promjenjive koncentracije željeza i mangana na istaknutim područjima, ukazuju na otapanje minerala bogatih željezom i manganom u uvjetima promjenjivih oksidacijsko-redukcijskih uvjeta u vodonosnoj sredini. Naime, oksidacijsko-redukcijski uvjeti variraju s dubinom te utječu na geokemijsku stabilnost određenih spojeva u podzemlju. Sirova i podzemna voda ovog tijela podzemnih voda pokazuju visok stupanj kakvoće. S obzirom na provedene analize kakvoća podzemne vode nije izložena riziku te se ne očekuje značajna degradacija kakvoće tijela podzemnih voda „Donji tok Kupe“.

11. LITERATURA

11.1. STUDIJE I ELABORATI

Biondić R., Rubinić J., Biondić B., Meaški H., Radišić M.: Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području krša u Hrvatskoj (2016.), Studija, Geotehnički fakultet Varaždin, Građevinski fakultet Rijeka.

Brkić Ž., Kuhtla M., Larva O., Gottstein Sanja., Briški M., Dolić M.: Ocjena stanja podzemnih voda na područjima koja su u direktnoj vezi s površinskim vodama i kopnenim ekosustavima ovisnim o podzemnim vodama (2016.), Stručni elaborat, Hrvatski geološki institut, Zagreb.

Brkić Ž., Larva O., Marković T., Lukač Reberski J., Urumović K., Kolarić J., (2009): Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske, Zagreb. Stručni elaborat, Hrvatski geološki institut.

Nakić Z., Dadić Ž.: „Ocjena stanja sirove vode na crpilištima koja se koriste za javnu vodoopskrbu u republici hrvatskoj“ (2015), Studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Zagreb.

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

11.2. ZAKONSKI PROPISI

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

Direktiva o podzemnim vodama (DPV, 2006/118/EZ; 2014/80/EZ)

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

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 125/17)

Uredba o standardu kakvoće voda (NN 96/19)

Zakon o vodi za ljudsku potrošnju (NN 16/20)

11.3. OBJAVLJENI RADOVI

Pavlič K.: „Regionalna hidrološka analiza krškog porječja Kupe „(2016), Doktorski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Zagreb, Sveučilište u Zagrebu

11.4. WEB IZVORI

Hrvatski geološki institut, preuzeto 15. kolovoza 2021.: <http://www.hgi-cgs.hr/>

Klimatski atlas Hrvatske, preuzeto 17. kolovoza 2021.:

https://klima.hr/razno/publikacije/klimatski_atlas_hrvatske.pdf

Narodne novine, preuzeto 22. kolovoza 2021.: [https://narodne-](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2017_12_125_2848.html)

[novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2017_12_125_2848.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2017_12_125_2848.html)

Vodovod i kanalizacija d.o.o, KARLOVAC, preuzeto 28. kolovoza 2021.:

<https://www.vik-ka.hr/vodoopskrba/kvaliteta-vode.html>



KLASA: 602-04/21-01/165
URBROJ: 251-70-14-21-2
U Zagrebu, 15.9.2021.

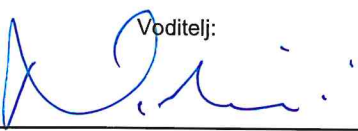
Marin Agatić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/165, URBROJ: 251-70-14-21-1 od 30.4.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

KAKVOĆA PODZEMNE I SIROVE VODE U TIJELU PODZEMNE VODE DONJI TOK KUPE

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.

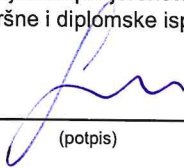
Voditelj:


(potpis)

Prof. dr. sc. Zoran Nakić

(titula, ime i prezime)

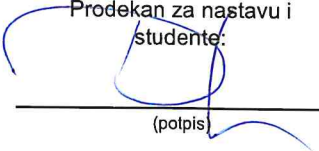
Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:



(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko
Ružičić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i
studente:


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor
Kuhinek

(titula, ime i prezime)