



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



**Dopuna Nalaza i mišljenja vještaka zaštite okoliša za
lokaciju industrijskog kompleksa Gospić, Bilajska 50**

Varaždin, srpanj 2026.



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



IZRAĐIVAČ	SVEUČILIŠTE U ZAGREBU, GEOTEHNIČKI FAKULTET Hallerova aleja 7, 42 000 Varaždin
NARUČITELJ	Državno odvjetništvo, Ured za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta (Broj: Kis-US-12/2025 od 10. srpnja 2026)
VRSTA DOKUMENTA	Dopuna vještačenja zaštite okoliša određenog nalogom ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta Kis-US-12/2025 od 29. rujna 2025
ZADATAK	Vještačenje zaštite okoliša – analiza vode iz piezometara
BROJ DOKUMENTA	KLASA: 303-01/25-01/22 URBROJ: 2186-73-12-26-42
Datum:	15. srpnja 2026.



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

STUDIJ
INŽENJERSTVA
OKOLIŠA



Sadržaj

1	Uvod	1
1.1	Povod izrade nalaza i mišljenja	1
1.2	Sažetak prethodnih aktivnosti	3
2	Rezultati provedenih istraživanja za dopunu vještačenja	8
3	Utjecaj na podzemne vode	21
3.1.1	Geološko-hidrogeološki okvir lokacije	21
3.1.2	Položaj i svojstva otpada u hidrogeološkom profilu	22
3.1.3	Stanje podzemnih voda prema rezultatima monitoringa	23
3.1.4	Zaključak	33
4	Zaključak i mišljenje	34
4.1	Utvrđene činjenice	34
4.2	Promjene u okolišu	35
4.3	Opseg, trajnost i reverzibilnost štete	35
4.4	Razina opasnosti	36
4.5	Vjerojatnost nastanka štete	36
4.6	Zaključak i mišljenje	36
5	Literatura	38
6	Popis slika	39
7	Popis tablica	40



1 Uvod

1.1 Povod izrade nalaza i mišljenja

Ovaj nalaz i mišljenje izrađeni su temeljem **Naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta (USKOK), broj Kis-US-12/2025 od 10. srpnja 2026. godine**, kojim je određena provedba dopune prethodno izrađenog vještačenja zaštite okoliša u kaznenom predmetu koji se vodi protiv više okrivljenika zbog kaznenih djela protiv okoliša.

Povod za dopunu vještačenja predstavljaju novo pribavljeni rezultati ispitivanja uzoraka podzemnih voda prikupljenih tijekom očevida provedenog 8. svibnja 2026. godine, kao i rezultati dodatnih laboratorijskih analiza koje su proveli Hrvatski zavod za javno zdravstvo, Nastavni zavod za javno zdravstvo „Dr. Andrija Štampar“ te Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Navedeni rezultati nisu bili dostupni u trenutku izrade prethodnog nalaza i mišljenja te predstavljaju novu stručnu podlogu za ocjenu mogućeg utjecaja odloženog otpada na sastavnice okoliša.

Sukladno nalogu USKOK-a, predmet dopune vještačenja obuhvaća:

- utvrđivanje razine onečišćenja podzemnih voda i drugih promjena u okolišu povezanih s nepropisnim odlaganjem otpada na području nekretnina navedenih u nalogu,
- procjenu mogućeg oštećenja voda, tla, podzemlja, biološke raznolikosti, divljih biljnih i životinjskih vrsta te drugih sastavnica okoliša,
- ocjenu opsega, trajnosti i reverzibilnosti utvrđenih promjena,
- utvrđivanje eventualnih prekoračenja propisanih regulatornih vrijednosti te procjenu razine opasnosti i vjerojatnosti nastanka štete za okoliš i zdravlje ljudi,
- usporedbu rezultata novih analiza podzemnih voda s rezultatima prethodno provedenih ispitivanja radi utvrđivanja eventualnih promjena razine i prostornog obuhvata onečišćenja,
- očitovanje o svim drugim činjenicama i okolnostima utvrđenima tijekom provedbe dopune vještačenja koje su relevantne za predmetnu inkriminaciju.

Dopuna nalaza i mišljenja izrađena je na temelju analize cjelokupne raspoložive dokumentacije dostavljene uz spis, rezultata prethodno provedenih istraživanja i vještačenja te novoizrađenih laboratorijskih analiza. Cilj dopune je pružiti cjelovitu i znanstveno utemeljenu stručnu ocjenu



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

STUDIJ
INŽENJERSTVA
OKOLIŠA



novoutvrđenih činjenica te procijeniti njihov značaj u odnosu na zaključke prethodno izrađenog nalaza i mišljenja.

1.2 Sažetak prethodnih aktivnosti

Prije izrade ove dopune Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu proveo je cjelovito vještačenje zaštite okoliša za predmetnu lokaciju te izradio „Nalaz i mišljenje vještaka zaštite okoliša za lokaciju industrijskog kompleksa Gospić, Bilajska 50“, od ožujka 2026. godine. Tim vještačenjem obuhvaćena je procjena utjecaja nepropisno odloženog otpada na tlo, podzemlje, podzemne vode, zrak, biološku raznolikost i zdravlje ljudi, uključujući karakterizaciju otpada, geološke i hidrogeološke karakteristike lokacije, rezultate laboratorijskih analiza te procjenu okolišnih rizika.

S obzirom na činjenicu da je na lokaciji utvrđeno dugotrajno nepropisno odlaganje i zakapanje otpada, jedan od ključnih ciljeva vještačenja bio je utvrditi postoji li utjecaj odloženog otpada na podzemne vode te koliki je prostorni opseg eventualnog onečišćenja.

Prije izvođenja istražnih radova provedena su detaljna geološka, hidrogeološka i geofizička istraživanja radi utvrđivanja geološke građe podzemlja, hidrogeoloških karakteristika lokacije, smjera tečenja podzemnih voda te određivanja optimalnih lokacija za izvođenje piezometarskih bušotina. Na temelju rezultata tih istraživanja izvedena su tri piezometra dubine približno 30 m: jedan uzvodni piezometar B-3, koji predstavlja referentnu (pozadinsku) lokaciju, te dva nizvodna piezometra B-1 i B-2, postavljena u očekivanom smjeru pronosa mogućeg onečišćenja iz zone zakopanog otpada.

Tijekom izrade piezometara provedeno je jezgreno bušenje, determinacija stijenske mase, određivanje indeksa kvalitete stijene (RQD) te analiza raspucanosti stijenskog masiva. Na temelju tih podataka određeni su položaji filterskih sekcija piezometara kako bi uzorkovanje obuhvatilo najpropusnije pukotinske zone kroz koje se odvija tok podzemne vode.

Istraživanja su pokazala da područje izgrađuju Jelarske vapnenačke breče s izraženom pukotinskom poroznošću i lokalnim kavernama ispunjenim glinovitim materijalom. Takva geološka građa omogućuje kretanje podzemnih voda prvenstveno kroz pukotinski sustav, zbog čega se eventualna onečišćenja mogu relativno brzo širiti u smjeru podzemnog toka. Upravo zbog tih hidrogeoloških obilježja bilo je nužno uspostaviti sustav monitoringa podzemnih voda putem piezometara.

U okviru prvog vještačenja, nakon stabilizacije piezometara, provedena su dva ciklusa uzorkovanja podzemnih voda, čime su dobiveni početni podaci o njihovom kemijskom sastavu i kvaliteti. Rezultati tih analiza predstavljali su početno stanje na temelju kojeg je izrađen prvi nalaz i mišljenje.

Dopunom vještačenja provedeno je **ново узorkovanje svih piezometara**, nakon čega su rezultati uspoređeni s prethodnim mjerenjima kako bi se utvrdilo postoje li promjene u kvaliteti podzemnih voda, eventualno širenje onečišćenja ili promjena koncentracija pojedinih pokazatelja tijekom vremena. Takav pristup omogućio je procjenu postojećeg stanja te usporedbu s prethodnim rezultatima radi procjene mogućih promjena u kvaliteti podzemnih voda te procjenu odloženog otpada na podzemne vode, što je bio jedan od ključnih zadataka dopune vještačenja.



Slika 1. Lokacije piezometara označene crvenom točkom

Geološke i hidrogeološke karakteristike lokacije opisane su u dokumentu *Nalaz i mišljenje po nalozima Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta KIS US 12/2025 od 9.svibnja 2025 i 2. srpnja 2025., lokacija Gospić – neinvazivni istražni radovi, GFV, srpanj 2025.*

Tablica 1. Oznaka uzorka, lokacija i GPS koordinate

Oznaka uzorka	Uzorak K1 -B1	Uzorak N1 -B3	Uzorak O1 – B2
Lokacija (Opis traga)	Pijezometarska bušotina (Trag K)	Pijezometarska bušotina (Trag N)	Pijezometarska bušotina (Trag O)
Koordinate (GPS - N / E)	N 44°32.182 E 015°23.905	N 44°32.003 E 015°23.917	N 44°32.132 E 015°23.978

Temperatura

Temperatura podzemne vode je parametar koji se u krškim vodonosnicima mjeri po dubini vodonosnika. Promjene u temperaturi po dubini vodonosnika mogu ukazivati, uz ostale parametre, na zone jače dinamike tečenja vode (ako dođe do smanjenja vrijednosti), ali i na određene prodore onečišćenja ili zaslanjenja ukoliko se radi o priobalnim vodonosnicima (ako dođe do povišenja vrijednosti).

U bušotinama se nakon završetka bušenja temperatura podzemne vode kretala u bušotini B-1 od 11,2 do 10,5 °C pri čemu je viša temperatura zabilježena u najplićem dijelu bušotine (10 m dubine), a najniža u najdubljem (29 m dubine). Nisu izmjerene anomalije po dubini bušotine B-1. U bušotini B-2 temperatura se kretala nakon završetka bušenja u rasponu od 10,7 do 9,7 °C pri čemu je viša temperatura zabilježena u najplićem dijelu bušotine (10 m dubine), a najniža u najdubljem (29 m dubine). Nisu izmjerene anomalije po dubini bušotine B-2. Na B-3 temperatura se kretala nakon završetka bušenja u rasponu od 11,7 do 10,3 °C pri čemu je viša temperatura zabilježena u najplićem dijelu bušotine (10 m dubine), a najniža u najdubljem (29 m dubine). Nisu izmjerene anomalije po dubini bušotine B-3. Obzirom da je temperatura podzemne vode mjerena neposredno po završetku bušenja moguć je utjecaj i vode koja se koristi prilikom bušenja. Za dobivanje kvalitetnije slike distribucije temperature po dubini bušotina potrebno je više mjerenja, a postavljeni su i automatski mjerači koji svakih 30 minuta izmjere temperaturu podzemne vode.

Električna vodljivost

Slično, kao i kod temperature, vrijednost električne vodljivosti upućuje na zone jače dinamike podzemne vode (ukoliko dođe do npr. smanjenja vrijednosti u određenom intervalu). Obično je vrijednost električne vodljivosti po dubini vodonosnika odgovarajuća vrsti vodonosnika i količini otopljenih tvari (mineralizaciji) podzemne vode. U zonama priobalnih vodonosnika koji su podložni zaslanjenju, vrijednost električne vodljivosti je dobar indikator zaslanjenja. Također, može biti i indikator određenog prodora u podzemne vode, npr. iz pojedinih vrsta topljivih naslaga, ili od prodora onečišćenja.

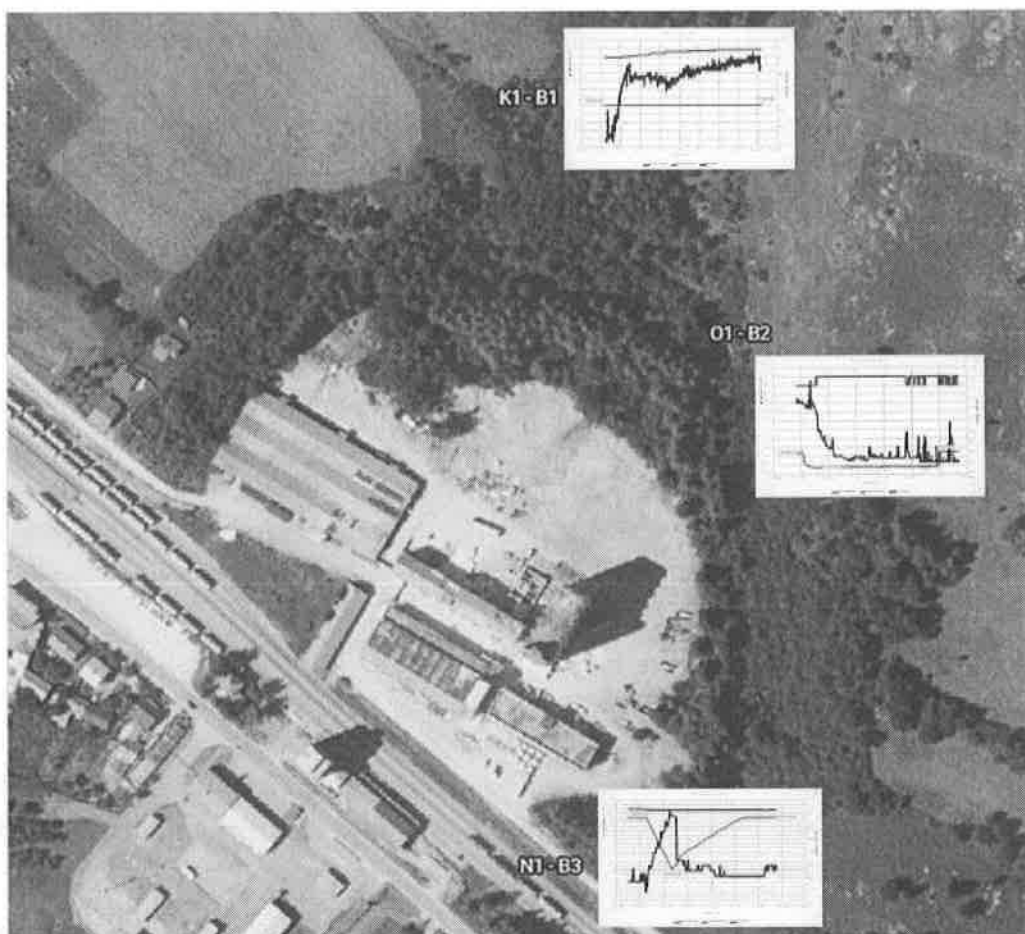
Nakon završetka bušenja, izmjerena je vrijednost električne vodljivosti po dubini bušotina. Na bušotini B-1 izmjerene vrijednosti su se kretale u rasponu od 0,414 mS/cm u gornjoj zoni bušotine (10 m dubine) do 0,316 mS/cm (29 m dubine). U bušotini B-2 izmjerene vrijednosti su se kretale u rasponu od 0,392 mS/cm u gornjoj zoni bušotine (10 m dubine) do 0,610 mS/cm (29 m dubine). U bušotini B-3 izmjerene vrijednosti su se kretale u rasponu od 0,564 mS/cm u gornjoj zoni bušotine (10 m dubine) do 0,629 mS/cm (29 m dubine).

Razina

Razina podzemne vode je vrlo indikativan podatak koji govori o dinamici vodonosnika i propusnosti bušotine. Nakon završetka bušenja dubine do podzemne vode izmjerene su na svakoj od tri bušotine, ali su u bušotine ugrađeni automatski mjerači temperature, električne vodljivosti koji kontinuirano mjere svakih 30 minuta te parametre i pohranjuju u unutrašnju memoriju. Rezultati su dani u nastavku.

Prilikom crpljenja na bušotini B-1, kod uzimanja uzoraka, temperatura podzemne vode kretala se u početku od 10,9 °C do konačnih 11,8 °C nakon crpljenja trajanja 11 minuta. Za razliku od ostalih bušotina, izmjeren je određeni rast temperature podzemne vode, ali i porast vrijednosti električne vodljivosti tijekom samog crpljenja. To ukazuje da je crpljenje aktiviralo vodonosnik u zoni bušotine B-1 i povuklo podzemnu vodu nešto više mineralizacije i temperature što može ukazivati i na to da je „povuklo“ određeno onečišćenje. Također, prilikom crpljenja na bušotini B-1 nije zabilježeno sniženje razine podzemne vode što ukazuje na vrlo aktivan vodonosnik.

Prilikom bušenja na B-2 zabilježeno je sniženje od 15-tak centimetara, ali s vrlo malom crpnom količinom (0,27 l/s). Nakon početnog sniženja dolazi do ustaljenja razine podzemne vode, a nakon isključenja crpke, vrlo brzo do povrata u početnu razinu podzemne vode. Prilikom crpljenja nije zabilježena promjena temperature podzemne vode, a zabilježeno je određeno smanjenje vrijednosti električne vodljivosti od oko 0,480 mS/cm do 0,420 mS/cm što ukazuje na dotok svježije vode u bušotinu.



Slika 2. Piezometri sa dobivenim vrijednostima mjerenja
Na bušotini B-3 vrlo brzo je zabilježeno sniženje razine podzemne vode i „pražnjenje“ bušotine te je crpka morala biti isključena te je mjeren povrat. Temperatura podzemne vode se nije mijenjala tijekom crpljenja i povrata, a zabilježen je određeni porast vrijednosti električne vodljivosti tijekom snižavanja razine podzemne vode, ali i brzi povrat na početne vrijednosti po završetku crpljenja.

Bušotina B-3 ima najslabiju povezanost s vodonosnikom i crpljenjem 0,26 l/s, u razdoblju od svega tri minute zabilježen je pad razine podzemne vode za 4,43 m. Nakon toga je mjeren povrat u trajanju od 8 minuta dok se razina nije vratila u početnu vrijednost.

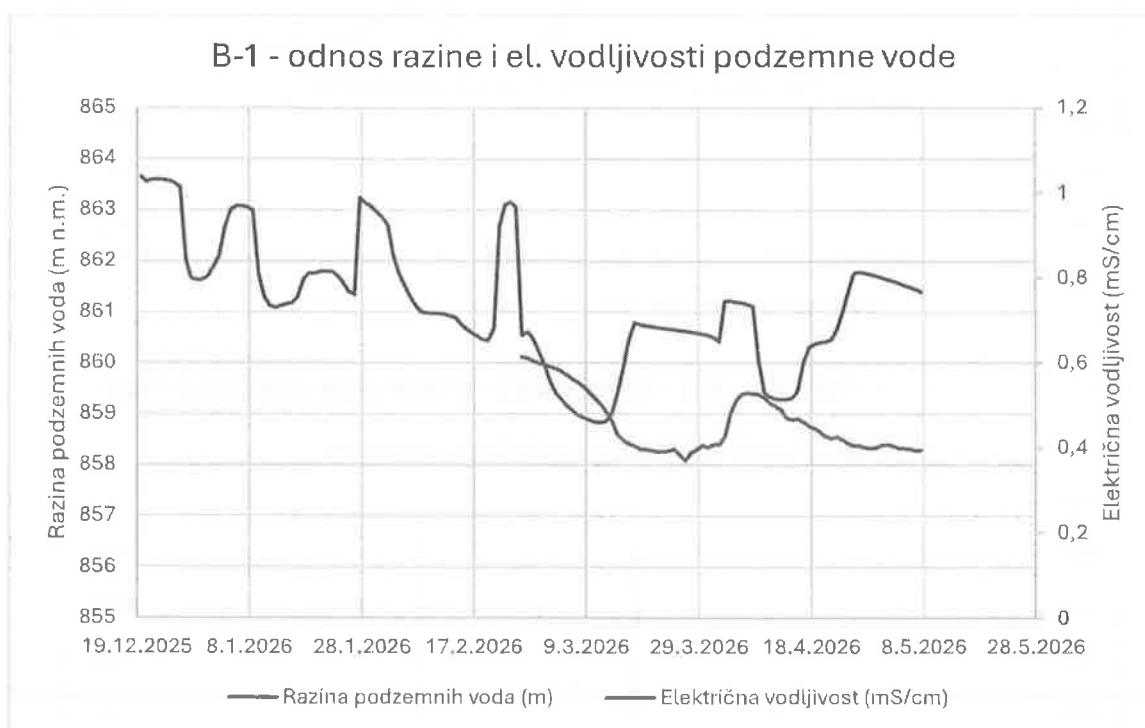
Daleko najbolju povezanost s vodonosnikom ima bušotina B-1 na kojoj tijekom 10 minuta crpljenja potopnom crpkom kapaciteta 0,26 l/s nije zabilježeno sniženje razine niti promjena temperature podzemne vode.



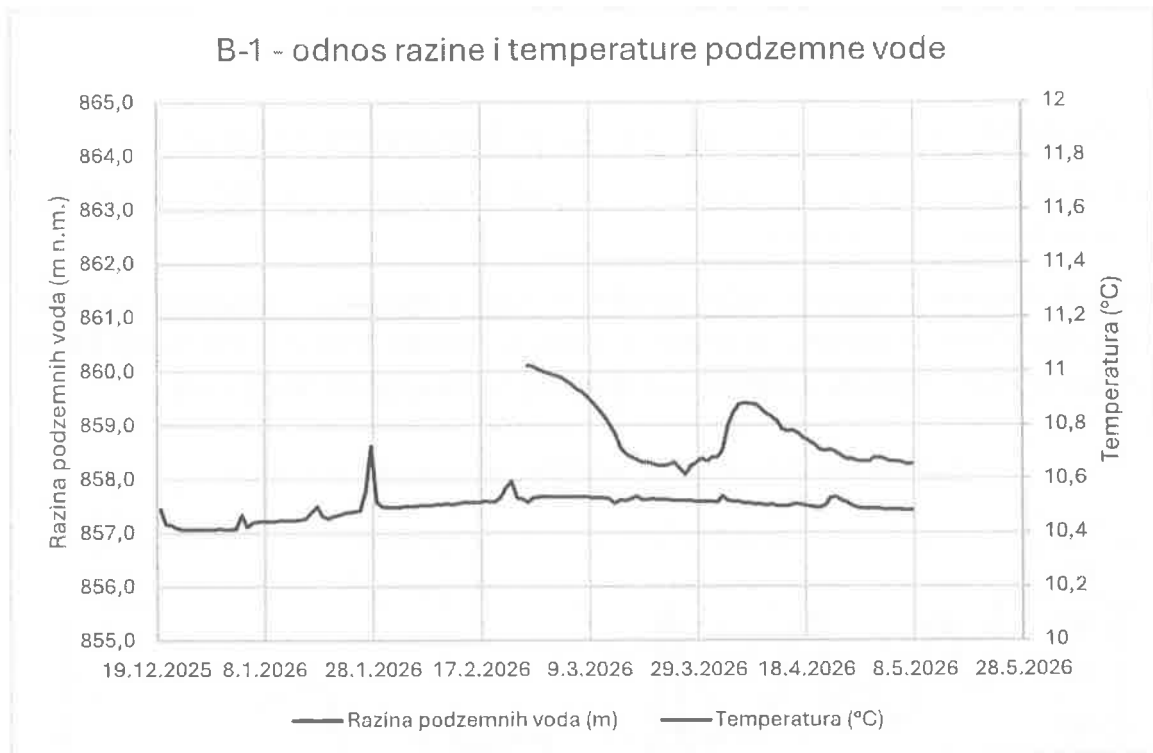
2 Rezultati provedenih istraživanja za dopunu vještačenja

Sumarni prikaz mjerenja razine i električne vodljivosti u periodu od 19.12.2025. – 7.5.2026. u piezometrima dani su u nastavku.

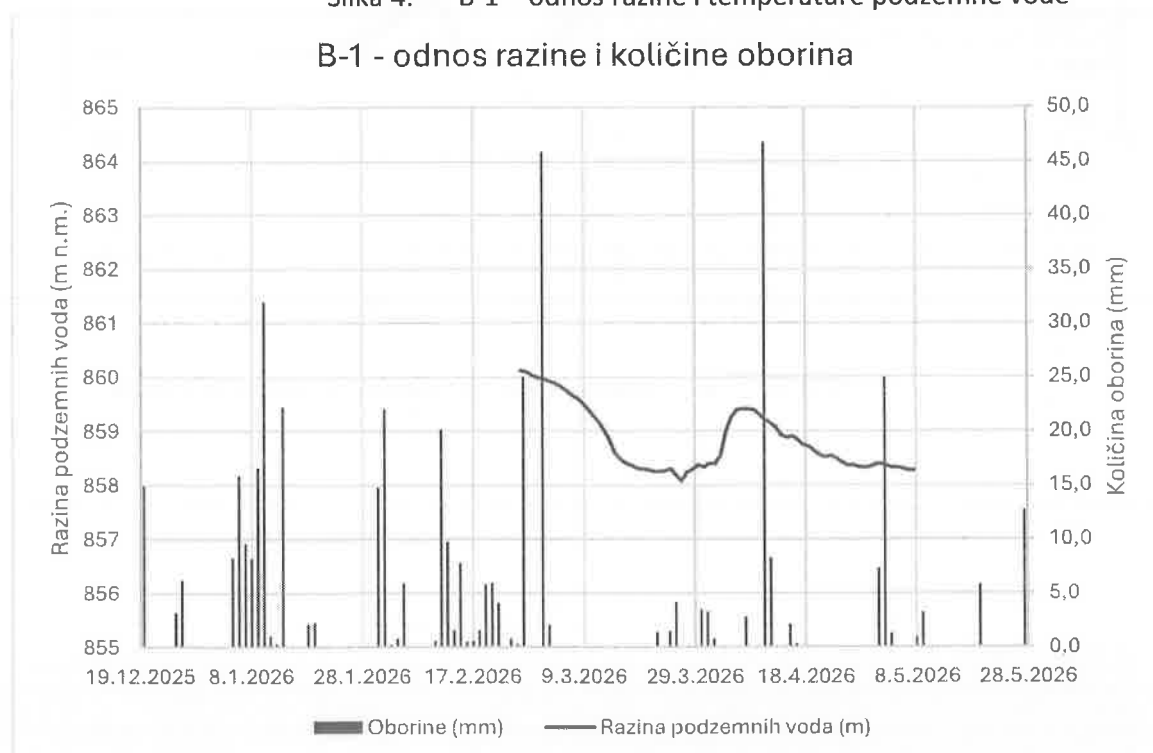
Mjerenje električne vodljivosti i razine podzemnih voda u piezometru nastavljeno je i nakon izrade vještačenja. U nastavku se prikazuju dobiveni rezultati. Podaci o oborinama koji su korišteni u prikazu rezultata su dobiveni od Državnog hidrometeorološkog zavoda.



Slika 3. B1 – odnos razine i el. vodljivosti podzemne vode

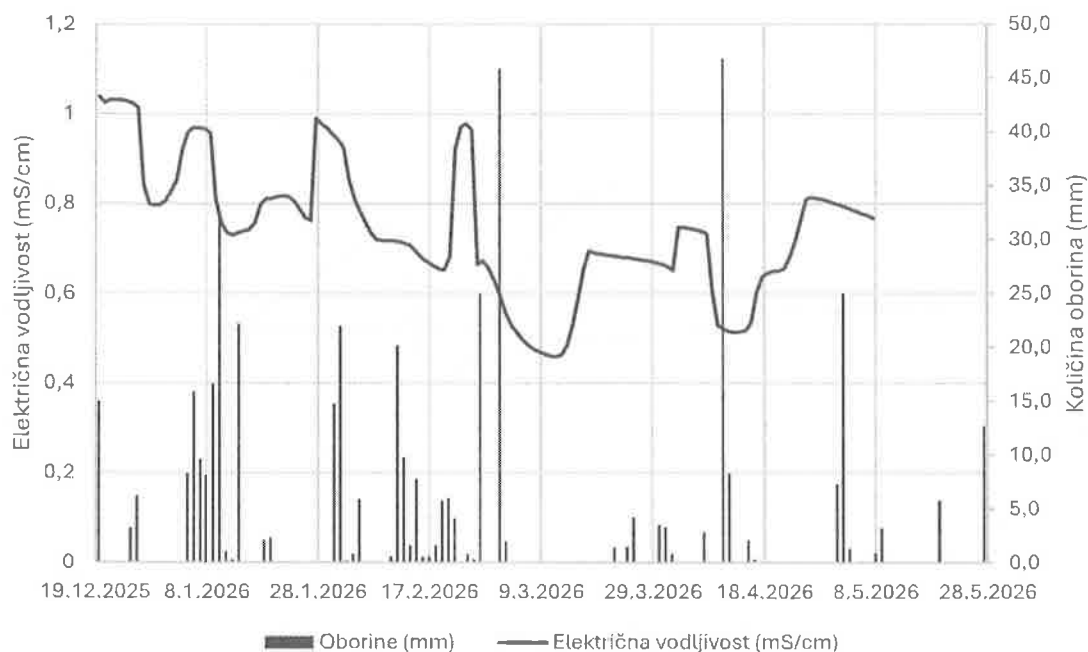


Slika 4. B-1 – odnos razine i temperature podzemne vode



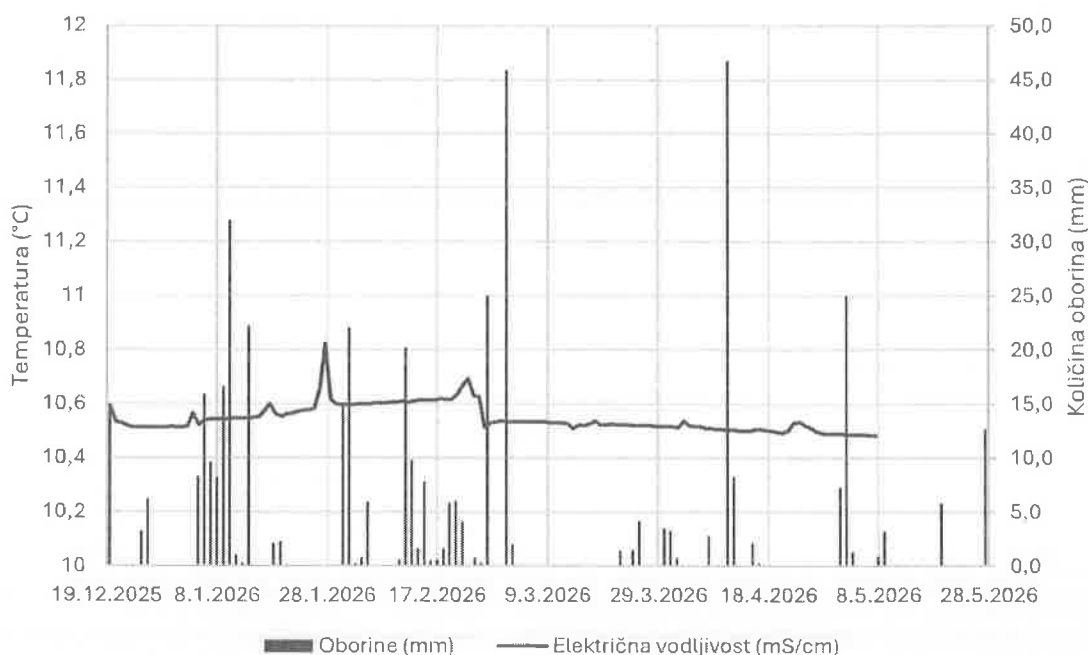
Slika 5. B-1 – odnos razine i količine oborina

B-1 - odnos električne vodljivosti i količine oborina



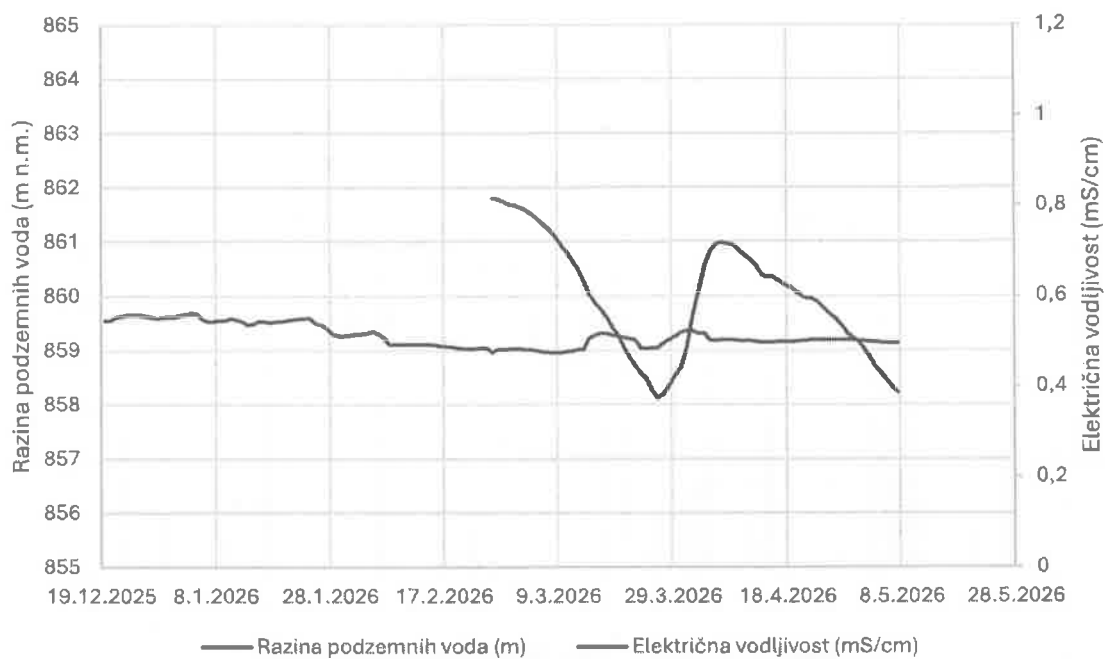
Slika 6. B-2 – odnos električne vodljivosti i količine oborina

B-1 - odnos temperature i količine oborina



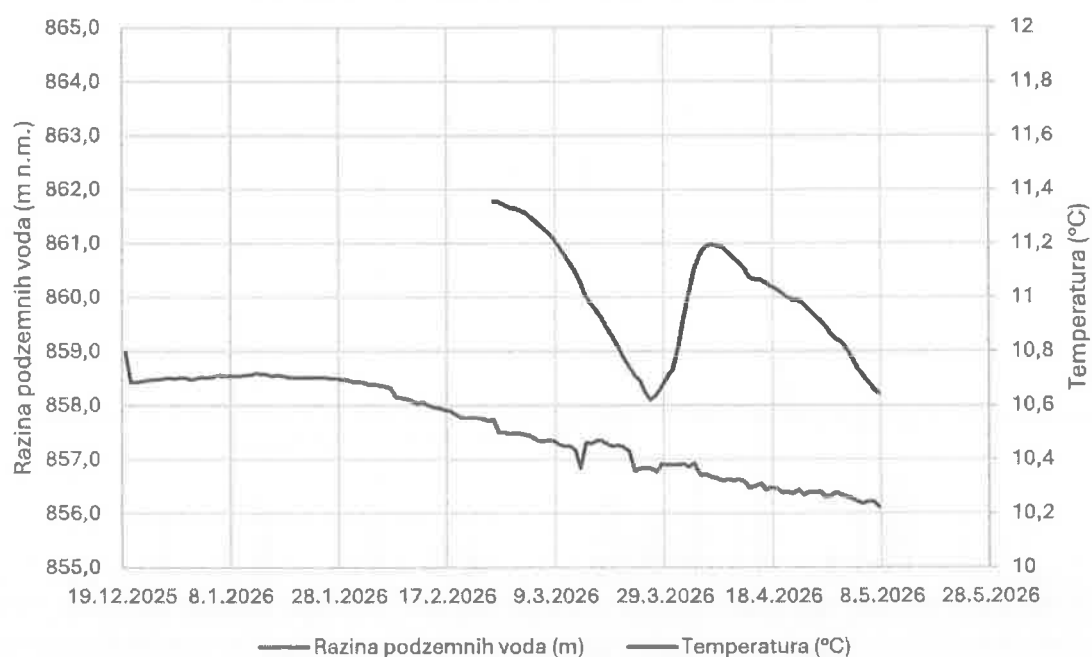
Slika 7. B-1 – odnos temperature i količine oborina

B-2 - odnos razine i el. vodljivosti podzemne vode

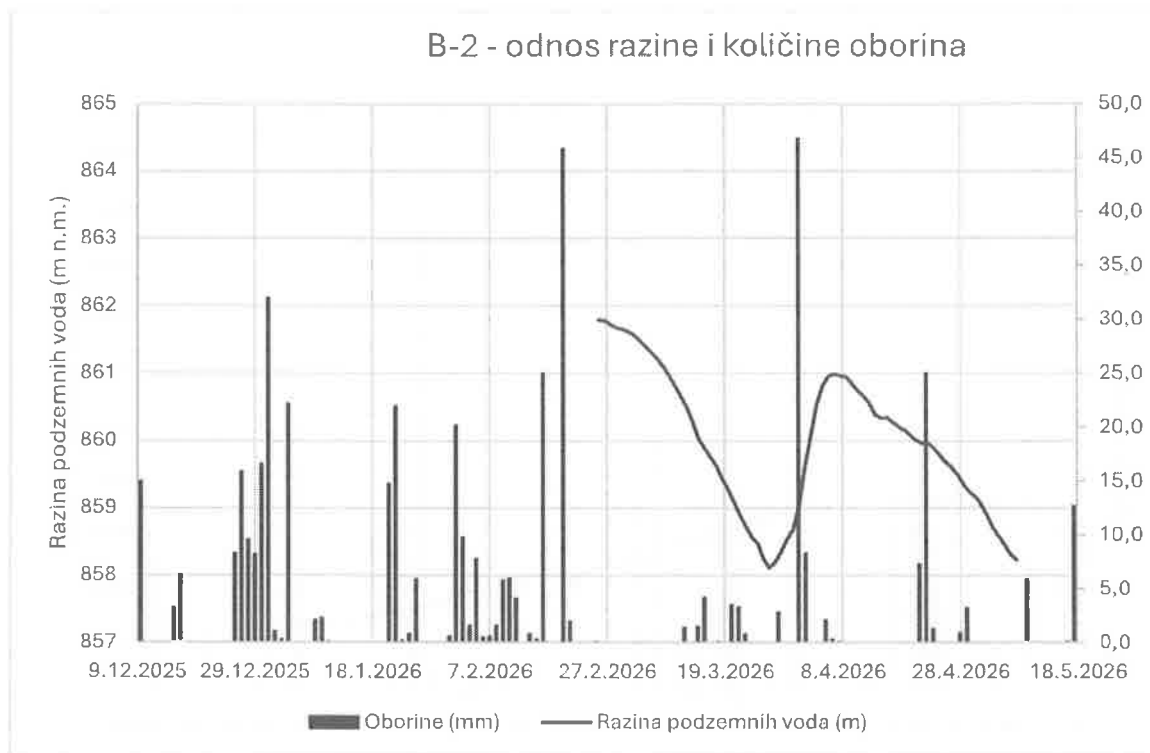


Slika 8. B-2 – odnos razine i el. vodljivosti podzemne vode

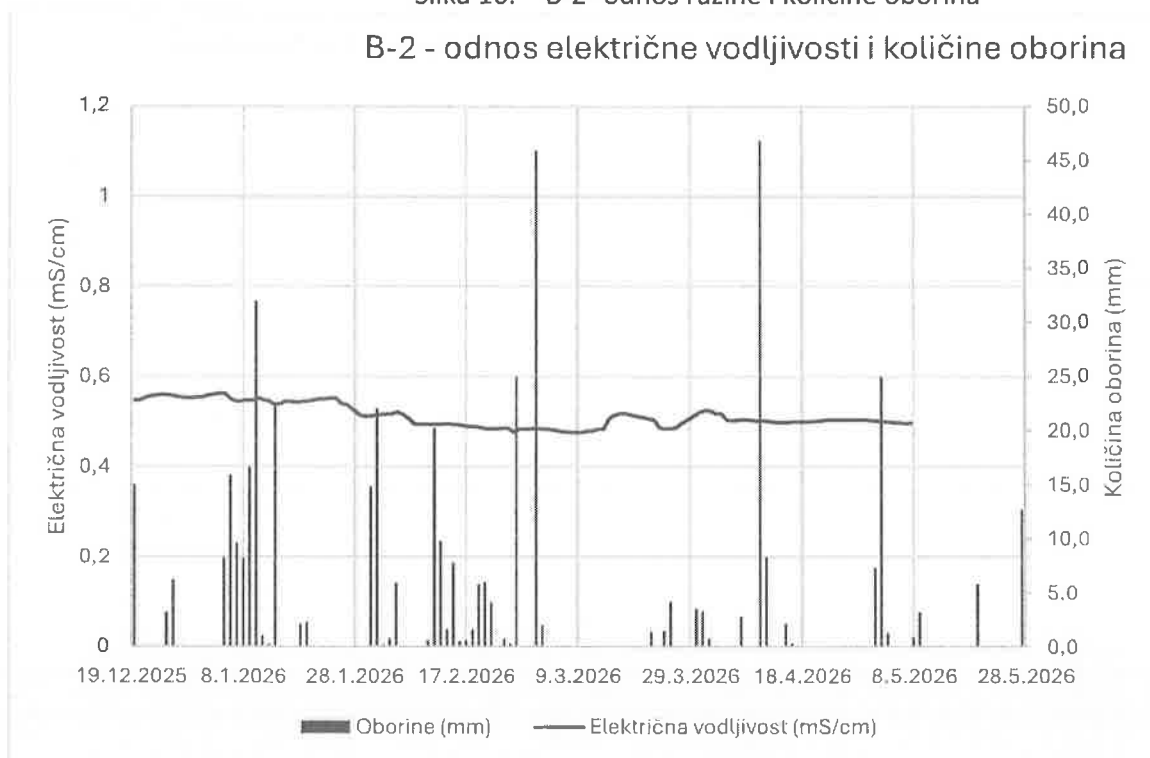
B-2 - odnos razine i temperature podzemne vode



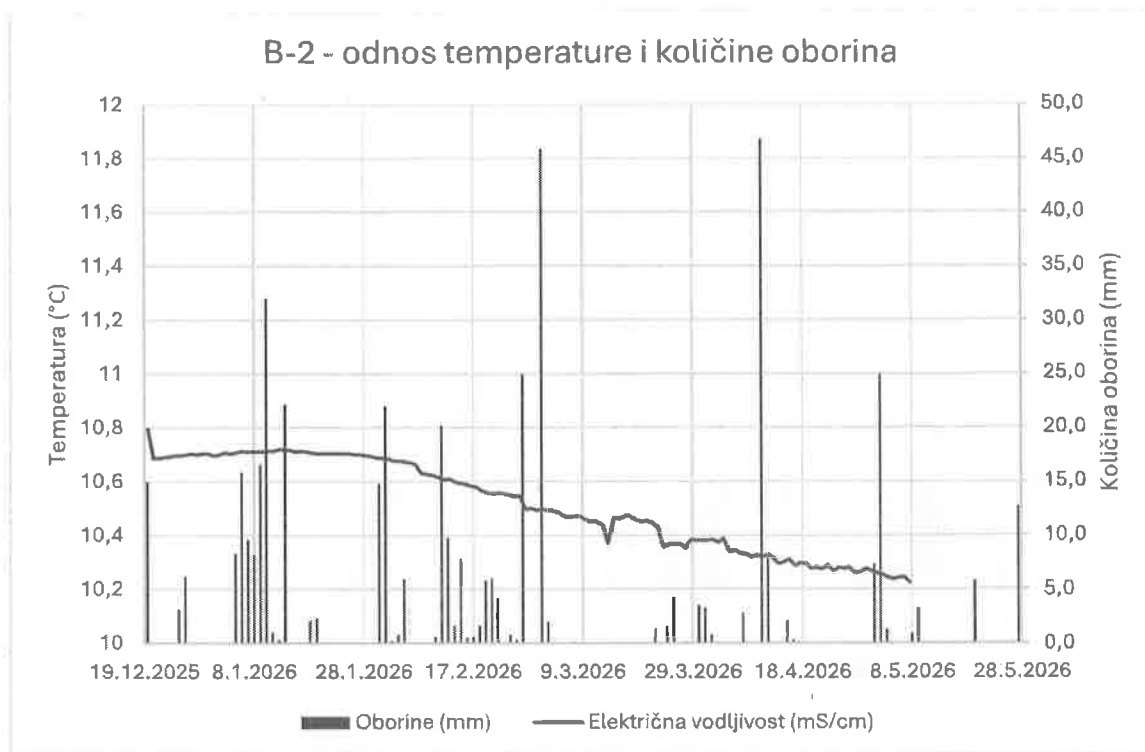
Slika 9. B-2 – odnos razine i temperature podzemne vode



Slika 10. B-2- odnos razine i količine oborina

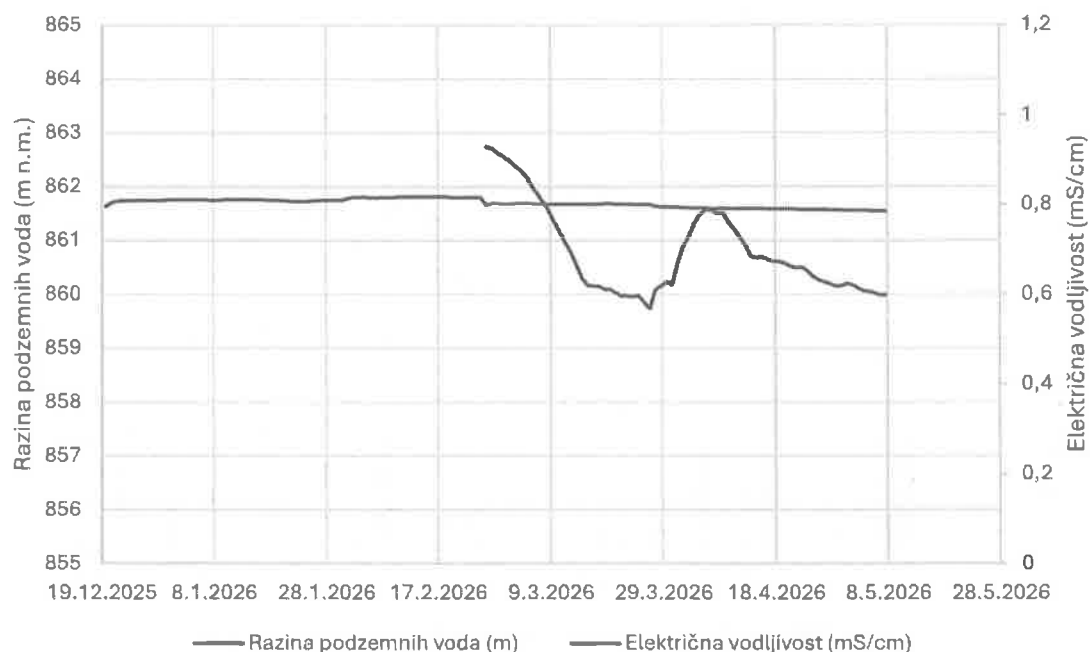


Slika 11. B-2- odnos električne vodljivosti i količine oborina



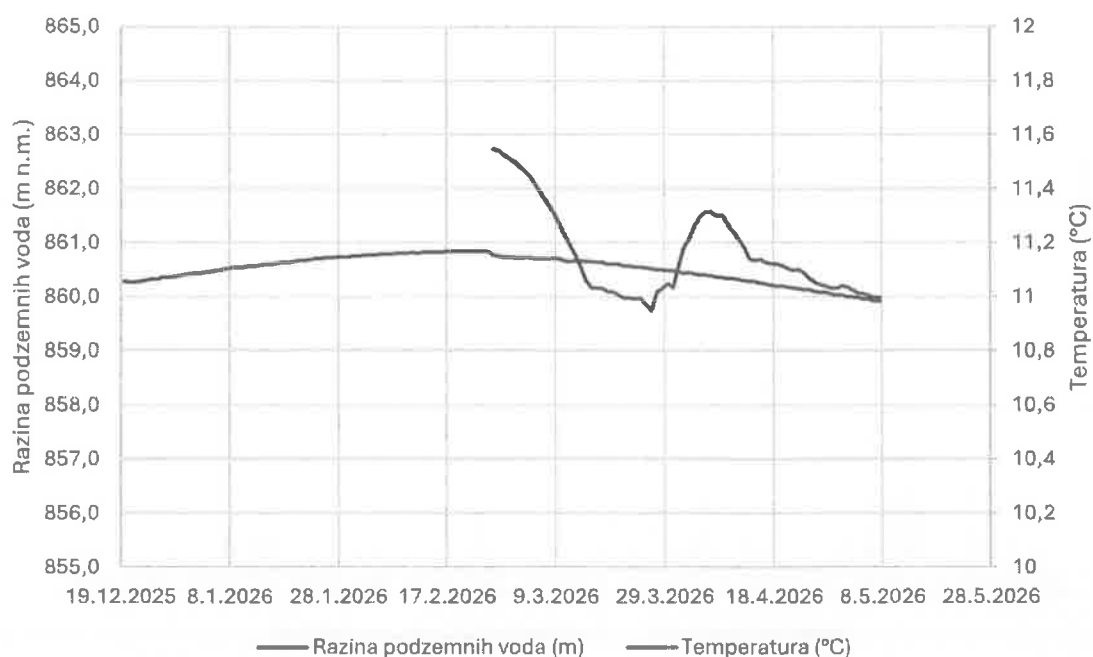
Slika 12. B-2 – odnos temperature i količine oborina

B-3 - odnos razine i el. vodljivosti podzemne vode

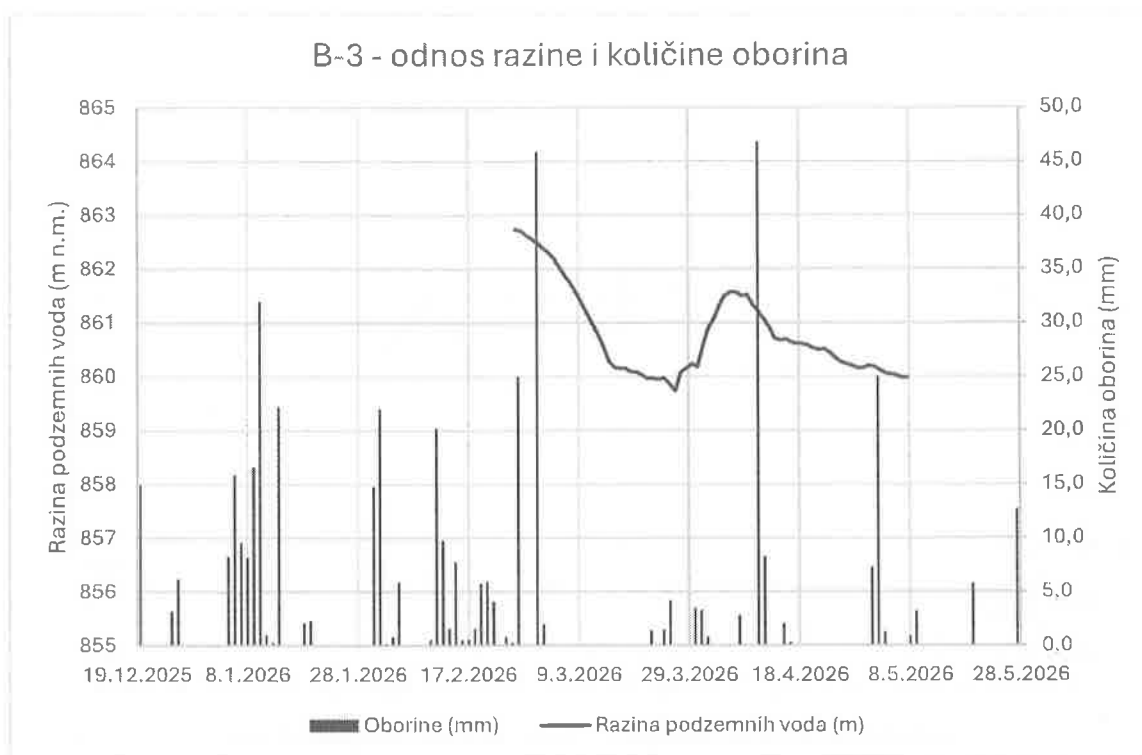


Slika 13. B-3 – odnos razine i el. vodljivosti podzemne vode

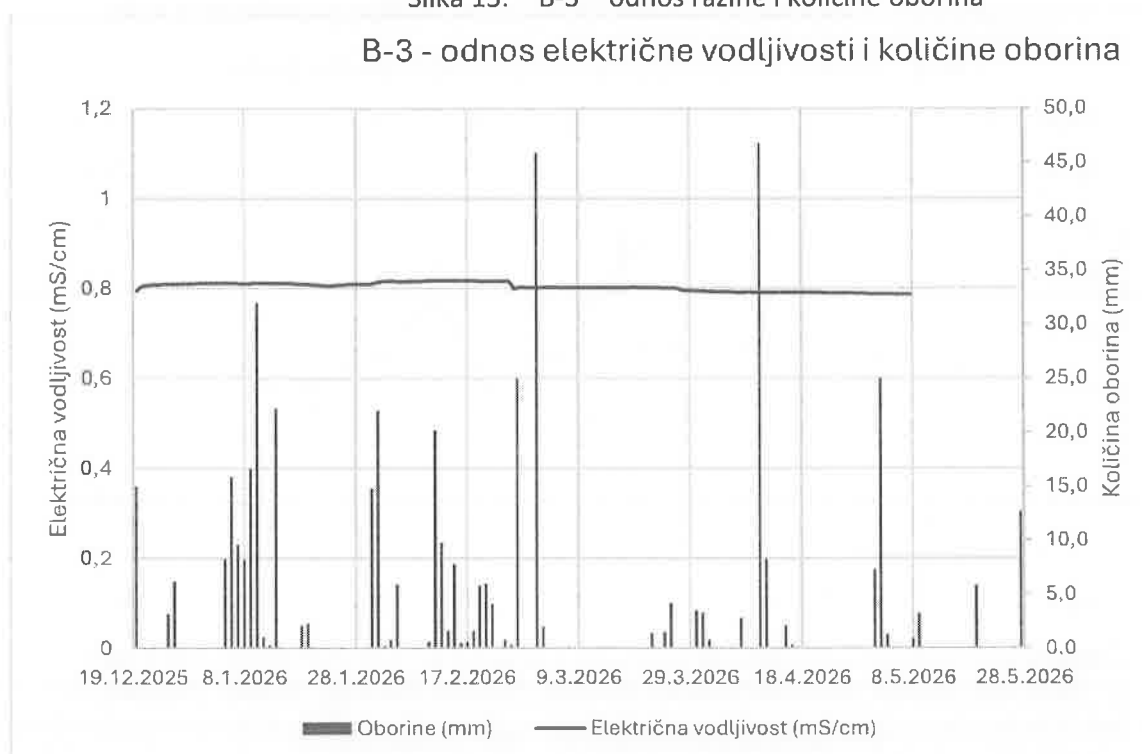
B-3 - odnos razine i temperature podzemne vode



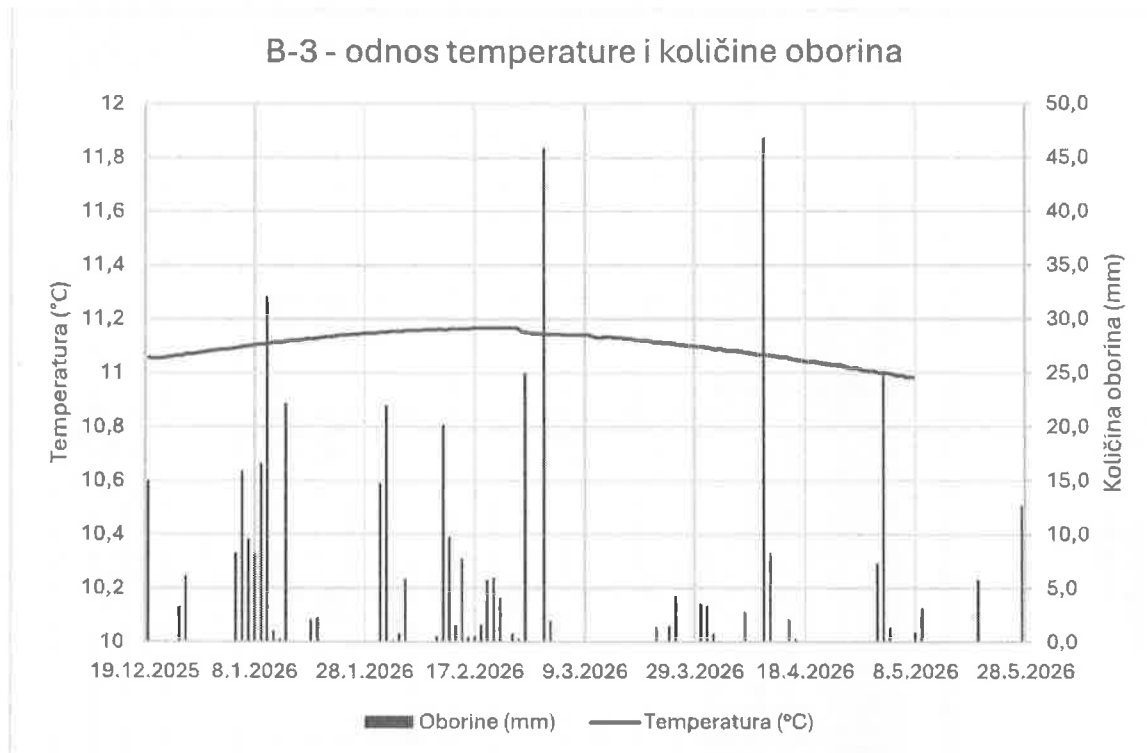
Slika 14. B-3 – odnos razine i temperature podzemne vode



Slika 15. B-3 – odnos razine i količine oborina



Slika 16. B-3- odnos električne vodljivosti i količine oborina



Slika 17. B-3- odnos temperature i količine oborina



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET



Hallerova aleja 7 | HR-42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

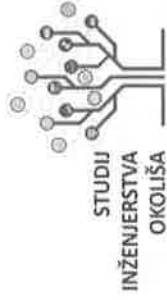
Tablica 2. Rezultati mjerenja kvalitete vode iz piezometara (uzorkovano 19.12.2025. i 24.2.2026. i 11.5.2026)

Oznaka uzorka	Bušotina B-1 (oznaka K)				Bušotina B-3 (oznaka N)			Bušotina B-2 (oznaka O)			
	Uzorak K-1 19.12.2025.	Uzorak K-2 26.02.2026	Uzorak K-3 11.5.2026	Uzorak N-1 19.12.2025.	Uzorak N-2 26.02.2026	Uzorak N-3 11.5.2026	Uzorak O-1 19.12.2025.	Uzorak O-2 26.02.2026	Uzorak O-3 11.5.2026	MDK	
Cink	(µg/L) < 5,00	< 5,00	23,9	22,5	< 5,00	< 5,00	15,4	< 5,0	< 5,00	3000	
Nikal	(µg/L) < 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	20	
Olovo	(µg/L) < 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	10	
Živa	(µg/L) < 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	1	
Arsen	(µg/L) < 0,50	0,86	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	10	
Kadmij	(µg/L) < 0,20	0,29	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	5	
Krom	(µg/L) < 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	25	
Molibden	(µg/L) < 1	< 1	< 1	< 1	< 1	2,2	< 1	< 1	< 1	70	
Kobalt	(µg/L) < 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	nema propisano	
Barij	(µg/L) 47	22,2	27,1	22	9,97	46,4	14	9,56	45,3	700	
Antimon	(µg/L) < 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	10	
Selen	(µg/L)	< 1,0	1,3	1,3	< 1,0	< 1,0		< 1,0	1,4	20	
Vanadij (V)	(µg/L)	< 1,0	-	-	< 1,0	-		< 1,0	-	5	
Bor (B)	(µg/L)	186	< 5,0	< 5	7,4	21		5,9	21	1500	
Ukupni PAH	(µg/L)	< 0,005	< 0,025		< 0,005	< 0,025		< 0,005	< 0,025	0,0005	
PCB	(µg/L)	3,27	< 0,005		1,28	< 0,005		1,17	< 0,005	nema	
BTEX	(µg/L)		< 0,25			< 0,25			< 0,25	nema	



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Broj kolonija (22°C/72h)	cfu/1mL	680	-	360	810	bez
<i>Clostridium perfringens</i>	cfu/100m	35	-	22	16	0/100 mL
<i>Salmonella</i>	L ⁻¹	nije izolirana	-	izolirana	nije izolirana	mora biti
<i>Shigella</i>	L ⁻¹	nije izolirana	-	nije izolirana	nije izolirana	mora biti
<i>Campylobacter spp.</i>	cfu/mL	< 1	-	< 1	< 1	mora biti
<i>Listeria monocytogenes</i>	cfu/mL	< 1	-	< 1	< 1	mora biti
<i>Candida albicans</i>	cfu/mL	< 1	-	< 1	< 1	mora biti
<i>Stafilocoki</i> (koag. poz.)	cfu/mL	< 1	-	< 1	< 1	mora biti
Ukupni PAH	(µg/L)	<0,025				
Poliklorirani bifenili (PCB)	(µg/L)	<0,005				
BTEX	(µg/L)	<0,25				
Tetrakloreten i trikloreten	(µg/L)	<0,5				
1,2-Dikloreten	(µg/L)	<0,9				

Tablica 4. Rezultati analize PFAS spojeva

Naziv parametra (Spoj) ¹	MDK	Trag K (3148/26)	Trag N (3150/26)	Trag O (3152/26)
Perfluorobutanska kiselina (PFBA)	—	0,0025	< 0,0015	< 0,0015
Perfluorobutan sulfonska kiselina (PFBS)	—	0,1740	< 0,0015	0,0071
Perfluoroheksanska kiselina (PFHxA)	—	0,0162	< 0,0015	< 0,0015
Perfluoropentanska kiselina (PFPeA)	—	0,0078	< 0,0015	< 0,0015
Perfluorodekanska kiselina (PFDA)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluorododekanska kiselina (PF Doda)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluorodekan sulfonska kiselina (PFDS)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluoroheptanska kiselina (PFHpA)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluoroheptan sulfonska kiselina (PFHpS)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluoroheksan sulfonska kiselina (PFHxS)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluorononanska kiselina (PFNA)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluorononan sulfonska kiselina (PFNS)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluorooktanska kiselina (PFOA)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluorooktan sulfonska kiselina (PFOS)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluoropentan sulfonska kiselina (PFPeS)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluorotridekanska kiselina (PFTTrDA)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluoroundekanska kiselina (PFUnDA)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluorotridekanska sulfonska kis. (PFTTrDS)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluorododekanska sulfonska kis. (PFDoDS)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Perfluoroundekanska sulfonska kis. (PFUnDS)	—	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015
Zbroj PFAS-ova	0,10	0,2005	< 0,0015	0,0071
OCJENA SUKLADNOSTI		NESUKLADNO	SUKLADNO	SUKLADNO

¹ Svi rezultati i MDK vrijednosti izraženi su u mikrogramima po litri (µg/L).



3 Utjecaj na podzemne vode

Zbog potrebe razumijevanja konteksta u nastavku se ponavlja dio teksta vezan uz utjecaj na podzemne vode iz dokumenta „Nalaz i mišljenje vještaka zaštite okoliša za lokaciju industrijskog kompleksa Gospić, Bilajska 50“ iz ožujka 2026. godine uz dodatno mišljenje temeljem novo napravljenih analiza.

3.1.1 Geološko-hidrogeološki okvir lokacije

Geološko-hidrogeološkom prospekcijom šire i užje lokacije ilegalnog odlagališta utvrđeno je da područje pripada strukturnoj jedinici Ličkog sredogorja, unutar sliva rijeke Like. Terenskim rekognosciranjem, izradom hidrogeološke karte te provedbom neinvazivnih geofizičkih istraživanja (geoelektrična tomografija – ERT, georadar – GPR, seizmička refrakcija i MASW) izdvojene su tri osnovne litostratigrafske jedinice: Jelar naslage (E, Ol), proluvijalne naslage (pr) i recentni nanos (n).

Jelar naslage, koje čine vapnenačke breče, konglomerati i vapnenci eocenske do oligocenske starosti, karakterizirane su vrlo slabom vodopropusnošću, osobito u dubljim dijelovima stijenske mase. Okršavanje je ograničeno pretežito na plitku pripovršinsku zonu, dok prema većim dubinama prevladava kompaktna, slabo propusna karbonatna stijena. Takva svojstva potvrđena su i geofizičkim mjerenjima, gdje su ispod približno 10 m dubine izmjerene vrlo visoke vrijednosti geoelektrične otpornosti ($>1000\text{--}3000\ \Omega\text{m}$), koje upućuju na slabo okršenu do nepropusnu stijensku podlogu. Terenski je slaba vodopropusnost Jelar naslaga dodatno potvrđena pojavom zadržavanja oborinske vode na površini (lokve) istočno od lokacije odlagališta.

Proluvijalne naslage, sastavljene od glina, ilovača, pijesaka i šljunaka, imaju promjenjivu, ali zbog relativno male debljine ograničenu hidrogeološku funkciju. Recentni nanos, procijenjene debljine oko 4–5 m, predstavlja antropogeno izmijenjeni sloj koji sam po sebi nema značajnu ulogu u regionalnom toku podzemnih voda, ali je ključan s aspekta okolišnog rizika jer u njemu leži ilegalno odloženi otpad, u izravnom kontaktu s infiltracijskim vodama.

Opći smjer tečenja podzemne vode na istraživanom području je od zone Ličkog rasjeda prema sjeveru i sjeveroistoku. Najbliži zahvati podzemne vode za javnu vodoopskrbu (Mrđenovac i Divoselo) nalaze se znatno uzvodno i hidrogeološki nisu povezani s predmetnom lokacijom, zbog čega se utjecaj ilegalnog odlagališta na javne vodoopskrbne izvore može isključiti.

Unatoč općenito slaboj vodopropusnosti Jelar naslaga, geofizičkim istraživanjima (posebno geoelektričnom tomografijom i seizmičkom refrakcijom) na lokaciji su evidentirane **lokalne**



pukotinske i rasjedne zone, prepoznate kao područja snižene geoelektrične otpornosti i izmijenjenih seizmičkih brzina. Te zone predstavljaju **lokalno povećanu sekundarnu poroznost i vodopropusnost** u odnosu na okolnu, kompaktniju stijensku masu.

Navedene pukotinske zone:

- pojavljuju se **lokalno i diskontinuirano**,
- prostorno su uglavnom ograničene na **pliće dijelove stijenske mase**,
- ne čine regionalno razvijen vodonosnik, već potencijalne **preferencijalne putove lokalne infiltracije i procjeđivanja**.

Upravo su te zone uzete u obzir pri određivanju lokacija piezometarskih bušotina, kako bi se obuhvatile najnepovoljnije hidrogeološke okolnosti s aspekta mogućeg prijenosa onečišćivala.

3.1.2 Položaj i svojstva otpada u hidrogeološkom profilu

Neinvazivnim geofizičkim istraživanjima utvrđeno je da se tijelo ilegalnog odlagališta nalazi pretežito u zoni recentnog nanosa i gornjih dijelova proluvijalnih naslaga, do dubine približno 3–5 m, lokalno do oko 10 m. U tom se rasponu preklapaju zona otpada i zona lokalno razlomljene stijenske mase, što znači da je moguć lokalni prijenos procjednih voda u plitke pukotinske sustave. Ispod te zone nalazi se slabo okršena do kompaktna karbonatna stijenska masa male vodopropusnosti, koja predstavlja prirodnu barijeru daljnjoj vertikalnoj migraciji onečišćivala prema dubljim hidrogeološkim razinama.

U bušotinama H1, H3 i H5 neposredno ispod otpada utvrđen je sloj gline male vodopropusnosti ($2,7 \times 10^{-11}$ m/s). Međutim, na bušotini H2 sloj gline koji se nalazi između otpada i razlomljene stijenske mase neznatne je debljine čime je utvrđen položaj preferencijalnog puta tečenja procjednih voda iz tijela odlagališta u plitke pukotinske sustave.



Slika 18. Nedostatna debljina glinenog sloja na bušotini B2

Automatska mjerenja na sva tri piezometra pokazala su da u bušotini B1 postoji kolebanje saliniteta temperature i vodljivosti u periodu od 19. prosinca 2025. do 24. veljače 2026. godine. Izmjerene vrijednosti su još uvijek bile ispod MDK za pitku vodu, dok na ostalim piezometrima ista nije evidentirana. Evidentirano kolebanje ukazuje postojanje preferencijalnog puta tečenja prema piezometru B1 iz tijela odlagališta.

Rezultati kemijske karakterizacije otpada i testova procjeđivanja (eluata), pokazuju da otpad sadrži elemente koji imaju mobilnu frakciju u vodenj fazi. Posebno se ističe antimon (Sb), čije su koncentracije u eluatu u pojedinim uzorcima veće od granične vrijednosti propisane za neopasni otpad (0,7 mg/kg s.t.), dok su niže od granične vrijednosti za opasni otpad. Takvi rezultati ukazuju da otpad ima potencijal ispiranja Sb u okoliš, osobito u uvjetima dugotrajnog kontakta s vodom.

Povišene vrijednosti otopljenih krutih tvari (TDS) i otopljenog organskog ugljika (DOC) dodatno povećavaju kemijsku reaktivnost procjednih voda te mogu pogodovati lokalnoj mobilnosti antimona u pukotinskim zonama.

3.1.3 Stanje podzemnih voda prema rezultatima monitoringa

3.1.3.1 Električna vodljivost i razina podzemne vode

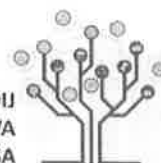
Na bušotini B-1 (zapadno od šume, nizvodno od odlagališta; oznaka K) automatska mjerenja su pokazala da se je u razdoblju od 19. prosinca 2025. do 7. svibnja 2026. godine vrijednost



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

STUDIJ
INŽENJERSTVA
OKOLIŠA



električne vodljivosti (conductivity) kretala u rasponu od 0,460 mS/cm do 1,039 mS/cm, dok se je vrijednost temperature kretala u rasponu od 10,41 do 10,81 °C. Električna vodljivost izrazito reagira na oborine u slivu na način da nakon značajnih količina oborina dolazi do smanjenja vrijednosti električne vodljivosti. Također, dolazi do porasta razine podzemne vode dok nema značajne promjene temperature.

Na bušotini B-2 (istočno od šume, nizvodno od odlagališta; oznaka O) automatska mjerenja su pokazala da se je u razdoblju od 19. prosinca 2025. do 7. svibnja 2026. godine vrijednost električne vodljivosti (conductivity) kretala u rasponu od 0,475 mS/cm do 0,562 mS/cm, dok se je vrijednost temperature kretala u rasponu od 10,22 do 10,80 °C. Električna vodljivost ne reagira značajno na oborine u slivu, kao niti temperatura, ali dolazi do porasta razine podzemnih voda nakon značajnijih oborina.

Na bušotini B-3 (na cesti uz prugu, uzvodno od odlagališta; oznaka N) automatska mjerenja su pokazala da se je u razdoblju od 19. prosinca 2025. do 7. svibnja 2026. godine vrijednost električne vodljivosti (conductivity) kretala u rasponu od 0,786 mS/cm do 0,817 mS/cm, dok se je vrijednost temperature kretala u rasponu od 10,98 do 11,35 °C. Ova bušotina najslabije reagira na oborine u slivu. Slično je i sa temperaturom, ali dolazi do porasta razine podzemnih voda nakon značajnijih oborina.

Rezultati kontinuiranih mjerenja električne vodljivosti, temperature i razine podzemnih voda potvrđuju hidrogeološki model izrađen tijekom osnovnog vještačenja. Utvrđeno je da piezometar B-1 (K), smješten nizvodno od područja odlaganja otpada, pokazuje najveću osjetljivost na oborinske događaje, pri čemu nakon značajnijih oborina dolazi do porasta razine podzemne vode i istodobnog smanjenja električne vodljivosti. Takvo ponašanje upućuje na aktivnu infiltraciju oborinskih voda i njihovo miješanje s podzemnom vodom, što je karakteristično za pukotinske karbonatne vodonosnike s izraženom sekundarnom propusnošću.

Nasuprot tome, piezometar B-2 (O), iako također smješten nizvodno od odlagališta, pokazuje znatno manje promjene električne vodljivosti, uz očekivani porast razine podzemne vode tijekom oborinskih događaja. Uzvodni piezometar B-3 (N) pokazuje najmanju osjetljivost na promjene uzrokovane oborinama, uz vrlo stabilne vrijednosti električne vodljivosti i temperature tijekom cijelog razdoblja praćenja. Takvo ponašanje potvrđuje njegov položaj izvan neposrednog utjecaja infiltracijskih voda koje prolaze kroz područje odlagališta.

Dobiveni rezultati u skladu su s zaključcima osnovnog vještačenja prema kojima je hidrogeološki sustav na predmetnoj lokaciji heterogen te je tok podzemnih voda dominantno kontroliran pukotinskim sustavima stijenske mase. Razlike u reakciji pojedinih piezometara na



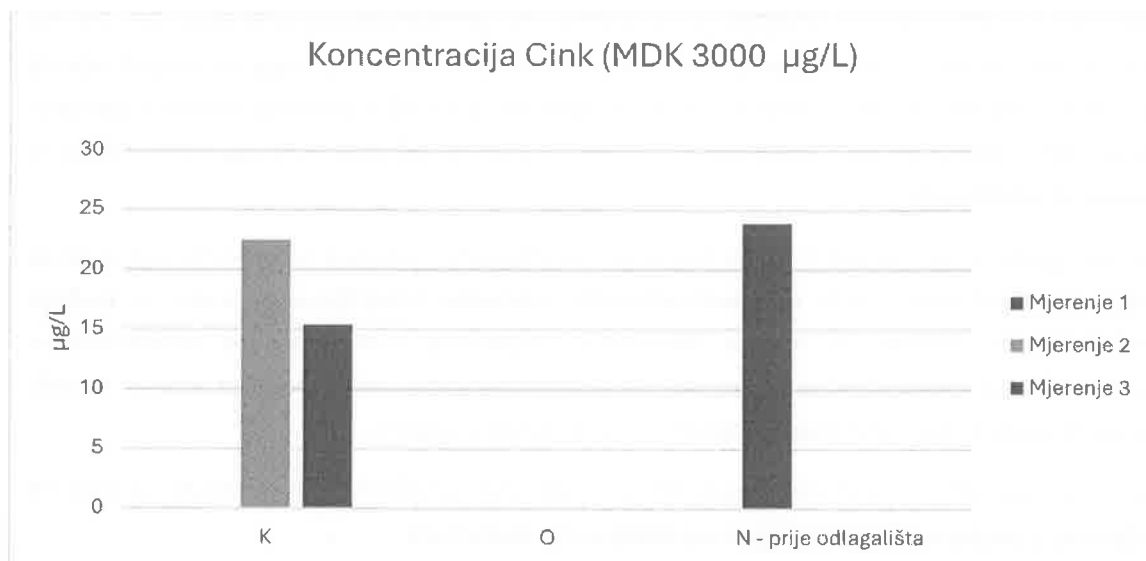
oborinske događaje potvrđuju postojanje različitih hidrauličkih uvjeta unutar vodonosnika i različit stupanj povezanosti pojedinih piezometara s infiltracijskim vodama.

Nova kontinuirana mjerenja ne mijenjaju zaključke prethodno izrađenog nalaza i mišljenja, već ih dodatno potvrđuju. Ona dodatno ukazuju da hidrogeološke značajke lokacije omogućuju infiltraciju oborinskih voda i njihovo kretanje kroz pukotinski vodonosnik, što predstavlja mehanizam kojim se eventualne otopljene onečišćujuće tvari mogu prenositi iz područja odlaganja otpada prema podzemnim vodama.

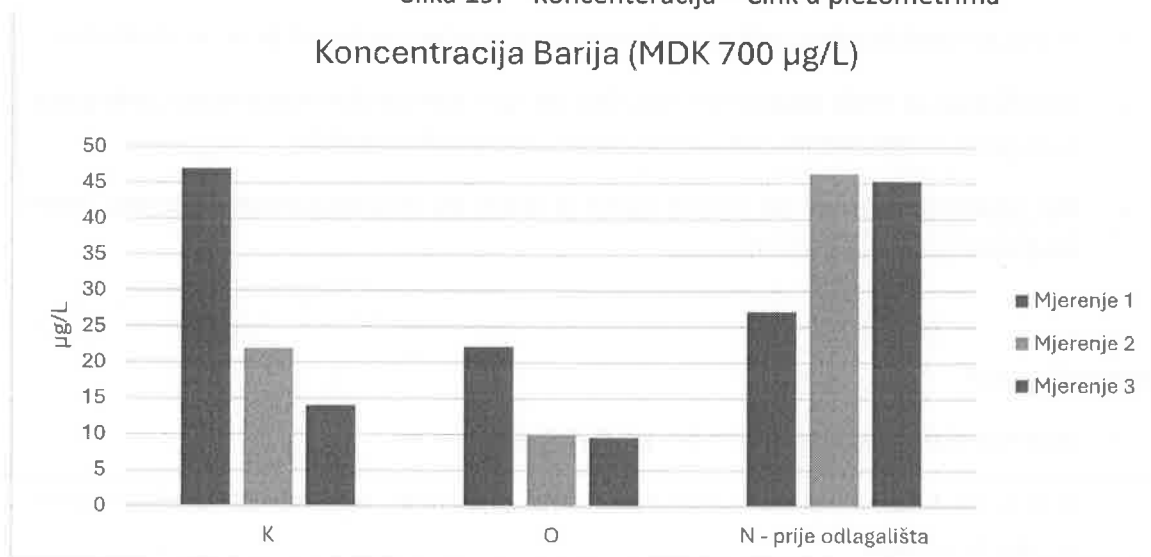
3.1.3.2 Kvaliteta podzemne vode

U okviru vještačenja provedeno je uzorkovanje podzemnih voda (19.12.2025, 26.2.2026. i 11.5.2026.) iz piezometarskih bušotina smještenih uzvodno i nizvodno od tijela odlagališta, uključujući bušotine pozicionirane u blizini identificiranih pukotinskih zona. Analize su pokazale da su koncentracije antimona i ostalih analiziranih metala u podzemnoj vodi ispod granica detekcije ili na vrlo niskim razinama, bez prekoračenja relevantnih graničnih vrijednosti.

U pojedinim piezometrima zabilježene su umjerene razlike u koncentracijama cinka (Zn) i barija (Ba) između uzvodnih i nizvodnih točaka, bez konzistentnog prostornog ili hidrogeološkog obrasca koji bi nedvosmisleno upućivao na tijelo ilegalno odloženog otpada kao izvor tih elemenata. Takva varijabilnost može biti povezana s prirodnom heterogenošću geološke podloge i lokalnim geokemijskim uvjetima. Svi fizikalno kemijski parametri u sve tri bušotine odgovaraju zahtjevima MDK za pitku vodu.



Slika 19. Koncenteracija – Cink u piezometrima



Slika 20. Koncentracija – Barij u piezometrima

Rezultati mikrobiološke analize podzemnih voda iz piezometara (26.2.2026) pokazuju odstupanja od kriterija propisanih za vodu namijenjenu za ljudsku potrošnju. Prema **Direktivi (EU) 2020/2184 o kvaliteti vode za ljudsku potrošnju i Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analiza i monitorinzima vode namijenjene za ljudsku potrošnju NN 64/2023**, parametarska vrijednost za *Escherichia coli* iznosi **0/100 mL**, odnosno bakterija mora biti potpuno odsutna. U uzorcima je utvrđena prisutnost *E. coli* u piezometrima N1-B3 (2 cfu/100 mL) i O1-B2 (6 cfu/100 mL), što predstavlja mikrobiološku nesukladnost vode.



Također je u svim uzorcima utvrđena prisutnost bakterije *Clostridium perfringens* (35, 22 i 16 cfu/100 mL), za koju je također propisana vrijednost **0/100 mL**, što ukazuje na mogući utjecaj fekalnog ili organskog onečišćenja. U uzorku iz piezometra N1-B3 dodatno je izolirana bakterija *Salmonella*, koja se prema sanitarnim kriterijima u vodi za ljudsku potrošnju mora nalaziti u **potpunoj odsutnosti**.

Ukupno gledano, prisutnost *E. coli*, *Clostridium perfringens* i izolirane *Salmonella* pokazuje da analizirana podzemna voda **nije mikrobiološki sukladna kriterijima za vodu za ljudsku potrošnju**, što upućuje na utjecaj fekalnog ili organskog mikrobiološkog opterećenja u vodonosniku, a ne na djelovanje otpada na podzemnu vodu. Mikrobiološke analize otpada pokazale su da ovdje detektirane bakterije nisu prisutne u otpadu.

Važno je naglasiti da izostanak povišenih koncentracija onečišćivala u podzemnoj vodi ne isključuje u potpunosti utjecaj ilegalnog odlagališta, budući da:

- provedena mjerenja predstavljaju vremenski ograničen presjek stanja,
- migracija onečišćivala u krškim i pukotinskim sustavima može biti brza i kratkotrajna,
- onečišćenje se može pojavljivati isključivo tijekom hidrauličkih maksimuma, primjerice za vrijeme ili neposredno nakon intenzivnih oborinskih događaja,
- dio onečišćivala može se kretati ispod ili izvan osi piezometarskih bušotina, izvan obuhvata postojećeg monitoringa.

Uzimajući u obzir:

- općenito slabo propusnu geološku građu lokacije,
- postojanje lokalnih, plitkih pukotinskih zona koje mogu predstavljati preferencijalne putove migracije,
- položaj otpada u zoni infiltracije,
- dokazanu mobilnost antimona u eluatu,
- trenutačno neonečišćeno stanje podzemnih voda (osim indikatora fekalnog zagađenja koja ne potiču od odloženog otpada), uz uočene, ali nekonzistentne razlike u Zn i Ba,

utvrđuje se da ilegalno odloženi otpad trenutno ne uzrokuje dokazivo onečišćenje podzemnih voda, ali predstavlja potencijalni izvor lokalnog, ograničenog utjecaja, prvenstveno na plitke podzemne vode u zoni lokalnih pukotinskih sustava putem utvrđenog preferencijalnog puta



tečenja. Regionalni hidrogeološki rizik i utjecaj na javne vodoopskrbne izvore procjenjuju se kao niski do zanemarivi.

3.1.3.3 Perfluoroalkilne i polifluoroalkilne tvari (PFAS)

Perfluoroalkilne i polifluoroalkilne tvari (engl. *Per- and Polyfluoroalkyl Substances – PFAS*) predstavljaju veliku skupinu sintetskih organskih spojeva koje karakterizira prisutnost potpuno ili djelomično fluoriranih ugljikovih lanaca. Zbog izrazito stabilne veze ugljik–fluor (C–F), koja predstavlja jednu od najstabilnijih kemijskih veza u organskoj kemiji, PFAS spojevi vrlo su postojani u okolišu, slabo podliježu kemijskoj, biološkoj i fotolitičkoj razgradnji te se zbog svoje dugotrajne postojanosti često nazivaju „vječnim kemikalijama“ (*forever chemicals*) (Buck i sur., 2011).

PFAS spojevi koriste se više od šest desetljeća u brojnim industrijskim procesima i proizvodima zbog svojih hidrofobnih, oleofobnih i površinski aktivnih svojstava. Prisutni su u proizvodnji plastike, tekstila, papira, ambalaže za hranu, elektroničke opreme, vatrogasnih pjena, zaštitnih premaza, impregnacijskih sredstava, maziva i brojnih drugih proizvoda (Buck i sur., 2011; OECD, 2021).

Posebnost PFAS spojeva jest njihova izrazita pokretljivost u okolišu. Za razliku od brojnih organskih onečišćujućih tvari koje se tijekom migracije adsorbiraju na tlo ili razgrađuju, mnogi PFAS spojevi, osobito kratkolančani predstavnici (PFBA, PFPeA, PFHxA i PFBS), odlikuju se velikom topljivošću u vodi, slabom adsorpcijom na mineralne čestice i velikom mobilnošću u podzemnim vodama. Upravo zbog tih svojstava danas predstavljaju jedne od najvažnijih pokazatelja antropogenog onečišćenja podzemnih voda (Hamid i sur., 2018).

U okviru ovog istraživanja određene su koncentracije pojedinačnih PFAS spojeva (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFBS, PFOS, PFOA i drugi) (11.5.2026) te ukupna koncentracija analiziranih PFAS spojeva (Σ PFAS), koja predstavlja pokazatelj ukupnog opterećenja podzemnih voda fluoriranim organskim spojevima.

Analize su provedene (11.5.2026) na uzorcima podzemne vode prikupljenim iz tri piezometra izvedena tijekom ovog vještačenja:

- **N** – uzvodno od lokacije odlaganja otpada (referentni piezometar),
- **O** – nizvodno od lokacije,
- **K** – nizvodno od lokacije, u području izraženog pukotinskog sustava utvrđenog tijekom geološke determinacije bušotine.



U uzvodnom piezometru nisu utvrđeni PFAS spojevi iznad granice kvantifikacije, dok su u oba nizvodna piezometra detektirani PFAS spojevi. Najveća ukupna koncentracija izmjerena je u piezometru K (**200,5 ng/L**), pri čemu dominira PFBS, uz prisutnost PFHxA, PFPeA i PFBA.

Takav prostorni raspored pokazuje da PFAS spojevi nisu prisutni u referentnoj podzemnoj vodi uzvodno od lokacije, dok se pojavljuju nizvodno od područja na kojem je tijekom vještačenja utvrđeno dugotrajno ilegalno odlaganje heterogenog industrijskog otpada.

Dobiveni rezultati u potpunosti su u skladu s hidrogeološkim modelom izrađenim tijekom ovog vještačenja, prema kojem podzemlje nije jednoliko propusno već sadrži lokalne pukotinske zone koje predstavljaju preferencijalne putove migracije podzemnih voda i otopljenih onečišćujućih tvari. Posebno je značajno da je upravo u piezometru K, u kojem je utvrđena najveća koncentracija PFAS spojeva, tijekom bušenja zabilježena izražena pukotinska zona s vrlo niskim RQD vrijednostima u pojedinim intervalima, što ukazuje na povećanu sekundarnu propusnost stijenske mase.

Dominacija kratkolančanih PFAS spojeva (PFBS, PFBA, PFPeA i PFHxA) dodatno potvrđuje mogućnost njihove migracije kroz pukotinski karbonatni vodonosnik jer upravo ti spojevi pokazuju najveću pokretljivost u podzemnim vodama (Hamid i sur., 2018).

Tablica 5. Usporedba rezultata ovog vještačenja s međunarodno objavljenim koncentracijama PFAS u podzemnim i pitkim vodama

Lokacija / vrsta vode	ΣPFAS (ng/L)	Naziv rada	Autori
Ovo vještačenje – piezometar N (uzvodno)	<1,5	Nalaz i mišljenje vještaka	
Ovo vještačenje – piezometar O (nizvodno)	7,1	Nalaz i mišljenje vještaka	
Ovo vještačenje – piezometar K (nizvodno)	200,5	Nalaz i mišljenje vještaka	
Referentne podzemne vode (lokacije izvan utjecaja odlagališta)	oko 26	<i>Contamination of groundwater with per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) from legacy landfills in an urban re-development precinct</i>	Hepburn i sur. (2019)

Podzemne vode nizvodno od odlagališta	100–1000	<i>Review of the fate and transformation of PFASs in landfills</i>	Hamid, Li i Grace (2018)
Maksimalne koncentracije uz stara odlagališta	do 5200	<i>Contamination of groundwater with PFAS from legacy landfills</i>	Hepburn i sur. (2019)
Procjedne vode odlagališta	1 000–100 000	<i>Review of the fate and transformation of PFASs in landfills</i>	Hamid, Li i Grace (2018)
Pitka voda – Direktiva (EU) 2020/2184	100	<i>Directive (EU) 2020/2184</i>	Europski parlament i Vijeće (2020)
Danska – pitka voda	2 (Σ4 PFAS)	National Drinking Water Quality Criteria	Danish EPA (2021)
SAD – PFOA/PFOS	4 ng/L	National Primary Drinking Water Regulation for PFAS	U.S. EPA (2024)

Rezultati ovog istraživanja pokazuju da izmjerena koncentracija **200,5 ng/L** u piezometru K:

- višestruko premašuje koncentraciju izmjerenu u referentnom uzvodnom piezometru (<1,5 ng/L-detekcijski limit),
- prelazi parametarsku vrijednost od **100 ng/L** propisanu Direktivom (EU) 2020/2184 za ukupne PFAS u vodi namijenjenoj ljudskoj potrošnji,
- nalazi se unutar raspona koncentracija koje međunarodna literatura opisuje za podzemne vode pod utjecajem odlagališta otpada,
- znatno je niža od koncentracija karakterističnih za procjedne vode odlagališta i neposredne industrijske izvore PFAS-a.

Dobiveni rezultati predstavljaju dodatnu potvrdu ranijih zaključaka ovog vještačenja prema kojima predmetna lokacija predstavlja aktivni izvor migracije onečišćujućih tvari u podzemlje. Posebno je značajno da su PFAS spojevi utvrđeni isključivo nizvodno od lokacije, dok u uzvodnom referentnom piezometru nisu detektirani. U kombinaciji s utvrđenim hidrogeološkim značajkama lokacije, prisutnošću razvijenih pukotinskih sustava, utvrđenim sastavom odloženog otpada te prethodno uočenim mehanizmima migracije drugih onečišćujućih tvari, rezultati PFAS analiza snažno ukazuju postojanje lokalnog utjecaja predmetnog odlagališta na kvalitetu podzemnih voda.

3.1.3.3.1 Procjena mogućeg utjecaja PFAS spojeva na okoliš

Rezultati provedenih analiza potvrđuju prisutnost PFAS spojeva u podzemnim vodama nizvodno od lokacije ilegalno odloženog otpada, dok u uzvodnom referentnom piezometru PFAS spojevi nisu utvrđeni iznad granice kvantifikacije. Utvrđeni prostorni raspored koncentracija, zajedno s hidrogeološkim karakteristikama lokacije i utvrđenim sastavom odloženog otpada, ukazuje da predmetna lokacija predstavlja lokalni izvor emisije PFAS spojeva u podzemni vodonosnik. Takav prostorni obrazac u skladu je s rezultatima međunarodnih istraživanja koja pokazuju da se PFAS spojevi u pravilu pojavljuju nizvodno od odlagališta otpada, dok su koncentracije na referentnim lokacijama izvan utjecaja odlagališta znatno niže (Hamid i sur., 2018; Hepburn i sur., 2019).

3.1.3.3.2 Utjecaj na podzemne vode

PFAS spojevi zbog svoje izrazite kemijske stabilnosti, velike topljivosti u vodi i slabe adsorpcije na mineralne čestice predstavljaju onečišćujuće tvari koje se u podzemnim vodama mogu zadržavati tijekom vrlo dugih vremenskih razdoblja. Za razliku od brojnih organskih onečišćujućih tvari koje tijekom transporta podliježu razgradnji ili se vežu na čestice tla, kratkolančani PFAS spojevi (PFBA, PFPeA, PFHxA i PFBS) pokazuju vrlo visoku pokretljivost te se rutinski detektiraju u procjednim vodama odlagališta i podzemnim vodama nizvodno od njih (Hamid i sur., 2018).

Na predmetnoj lokaciji tijekom osnovnog vještačenja utvrđeno je da podzemlje nije homogeno propusno, već ga karakteriziraju lokalne pukotinske zone koje predstavljaju preferencijalne putove migracije podzemnih voda. Posebno je značajno da je upravo u piezometru K, u kojem je tijekom geološke determinacije utvrđena izražena pukotinska zona, izmjerena najveća koncentracija ukupnih PFAS spojeva. Takav rezultat u skladu je s očekivanim ponašanjem visoko mobilnih organskih onečišćujućih tvari u pukotinskim karbonatnim vodonosnicima.

Utvrđeno prekoračenje parametarske vrijednosti za ukupne PFAS ($\Sigma 20$ PFAS = 0,10 $\mu\text{g/L}$) propisane Direktivom (EU) 2020/2184 ukazuju da je u trenutku uzorkovanja došlo do lokalnog utjecaja na kvalitetu podzemne vode. Dobiveni rezultati potvrđuju da migracija PFAS spojeva iz područja odlaganja otpada prema podzemnim vodama postoji te da se odvija kroz lokalni hidrogeološki sustav. Parametarska vrijednost za pitku vodu namijenjenu ljudskoj potrošnji korištena je isključivo kao referentna vrijednost za interpretaciju rezultata jer za podzemne vode na predmetnoj lokaciji ne postoje posebne granične vrijednosti za ukupne PFAS.

3.1.3.3.3 Potencijal daljnjeg širenja

PFAS spojevi ubrajaju se među najpostojanije organske onečišćujuće tvari poznate u okolišu. Njihova kemijska struktura omogućuje vrlo ograničenu prirodnu razgradnju, zbog čega jednom



uneseni u vodonosnik mogu ostati prisutni desetljećima. Osim postojanosti, karakterizira ih i velika pokretljivost, osobito kod kratkolančanih predstavnika, što povećava mogućnost njihovog širenja kroz podzemne vode (Buck i sur., 2011; Evich i sur., 2022).

U slučaju da izvor onečišćenja ostane aktivan, postoji mogućnost daljnjeg prostornog širenja PFAS spojeva u smjeru prirodnog toka podzemnih voda. Opseg i brzina mogućeg širenja ovisit će o hidrogeološkim uvjetima, intenzitetu infiltracije oborinskih voda, količini i sastavu odloženog otpada te hidrauličkoj povezanosti pukotinskih sustava.

3.1.3.3.4 Utjecaj na površinske vode

Ukoliko postoji hidraulička povezanost između podzemnog vodonosnika i površinskih voda ili izvora, postoji mogućnost prijenosa PFAS spojeva prema nizvodnim recipijentima. Zbog njihove velike mobilnosti takav transport zabilježen je na brojnim lokacijama u svijetu, osobito u okolici odlagališta otpada i industrijskih zona (Evich i sur., 2022). Međutim, na temelju rezultata ovog vještačenja nije moguće utvrditi da je do takvog prijenosa na predmetnoj lokaciji već došlo te bi za takav zaključak bila potrebna dodatna hidrogeološka istraživanja i monitoring.

3.1.3.3.5 Utjecaj na ekosustave

PFAS spojevi mogu prelaziti iz vode u biljke, beskralježnjake, ribe i druge organizme te se prenositi hranidbenim lancem. Dugotrajna prisutnost PFAS spojeva u podzemnim i površinskim vodama može predstavljati potencijalni rizik za vodene i kopnene ekosustave zbog njihove izrazite postojanosti i mogućnosti bioakumulacije pojedinih spojeva (Buck i sur., 2011; Evich i sur., 2022). Kratkolančani PFAS spojevi koji dominiraju u ovom istraživanju pokazuju manju sklonost bioakumulaciji od PFOS-a i PFOA-e, ali veću pokretljivost u okolišu te veći potencijal prostornog širenja.

3.1.3.3.6 Utjecaj na zdravlje ljudi

Na predmetnoj lokaciji nije utvrđeno korištenje podzemnih voda za javnu vodoopskrbu niti postoje dokazi da su stanovnici bili izloženi izmjeranim koncentracijama PFAS spojeva putem vode za piće. Međutim, prekoračenje parametarske vrijednosti za ukupne PFAS propisane Direktivom (EU) 2020/2184 ukazuje da voda iz piezometra K u trenutku uzorkovanja ne bi zadovoljavala zahtjeve propisane za vodu namijenjenu ljudskoj potrošnji bez prethodne obrade.

Potrebno je naglasiti da navedena parametarska vrijednost predstavlja regulatorni kriterij za zaštitu zdravlja ljudi, a ne prag nastanka neposrednih štetnih učinaka. Samo utvrđivanje prekoračenja ne znači da su štetni učinci na zdravlje nastupili, već ukazuje na potrebu uklanjanja izvora onečišćenja i provedbe daljnjeg monitoringa.

3.1.3.3.7 Ograničenja procjene

Procjena mogućeg utjecaja PFAS spojeva izrađena je na temelju rezultata **jednog ciklusa uzorkovanja**, provedenog 11. svibnja 2026. godine. Dobiveni rezultati predstavljaju vjerodostojan prikaz stanja podzemnih voda u trenutku uzorkovanja, ali ne omogućuju procjenu sezonskih oscilacija koncentracija PFAS spojeva niti njihove vremenske dinamike.

Slijedom navedenoga, nije moguće sa sigurnošću procijeniti dugoročni trend promjene koncentracija niti brzinu eventualnog daljnjeg širenja onečišćenja. Takva procjena zahtijevala bi višekratni monitoring tijekom različitih hidroloških uvjeta i duljeg vremenskog razdoblja.

Međutim, unatoč navedenom ograničenju, prostorni raspored dobivenih rezultata ima značajnu činjeničnu vrijednost. Činjenica da u uzvodnom referentnom piezometru PFAS spojevi nisu utvrđeni, dok su u oba nizvodna piezometra detektirani, pri čemu je u piezometru K utvrđeno prekoračenje regulatorne vrijednosti, predstavlja jasan prostorni obrazac koji je u skladu s prethodno utvrđenim hidrogeološkim modelom lokacije i rezultatima ostalih provedenih analiza.

3.1.4 Zaključak

Na temelju svih provedenih istraživanja, rezultata kemijskih analiza, hidrogeoloških karakteristika lokacije te dodatno provedenih analiza PFAS spojeva može se zaključiti da je na predmetnoj lokaciji utvrđen lokalni utjecaj na kvalitetu podzemnih voda.

Dobiveni rezultati ukazuju da predmetno odlagalište predstavlja vrlo vjerojatan izvor migracije PFAS spojeva u podzemni vodonosnik. Ovakav zaključak temelji se na međusobno usklađenim podacima, odnosno prostornoj raspodjeli izmjerenih koncentracija, odsutnosti PFAS spojeva u uzvodnom referentnom piezometru, njihovoj prisutnosti u oba nizvodna piezometra, hidrogeološkim značajkama lokacije te utvrđenom sastavu ilegalno odloženog otpada.

Iako se procjena temelji na rezultatima jednog ciklusa uzorkovanja i ne omogućuje donošenje zaključaka o vremenskoj dinamici ili sezonskoj varijabilnosti koncentracija, dobiveni rezultati ukazuju da je migracija PFAS spojeva u podzemne vode nastupila. U kombinaciji s rezultatima prethodno provedenog geološkog, hidrogeološkog i okolišnog vještačenja, oni dodatno povećavaju razinu pouzdanosti zaključka da ilegalno odlaganje otpada na predmetnoj lokaciji uzrokuje stvarni lokalni utjecaj na podzemne vode.



4 Zaključak i mišljenje

4.1 Utvrđene činjenice

Na temelju rezultata dodatno provedenih istraživanja, kontinuiranog monitoringa podzemnih voda te laboratorijskih analiza provedenih u okviru dopune vještačenja utvrđeno je sljedeće:

1. Proveden je dodatni ciklus uzorkovanja podzemnih voda iz sva tri prethodno izvedena piezometra (B-1, B-2 i B-3) te su rezultati uspoređeni s rezultatima prethodno provedenog vještačenja.
2. Nastavljen je kontinuirani monitoring razine podzemnih voda, električne vodljivosti i temperature u razdoblju od 19. prosinca 2025. do 7. svibnja 2026. godine.
3. Kontinuirana mjerenja potvrđuju da razina podzemnih voda u sva tri piezometra reagira na oborinske događaje, pri čemu je intenzitet reakcije različit ovisno o hidrogeološkim značajkama pojedinog piezometra.
4. Piezometar B-1 (Trag K) pokazuje najveću hidrauličku povezanost s vodonosnikom te najveću dinamiku izmjene podzemnih voda, što potvrđuje prethodno utvrđene hidrogeološke značajke lokacije.
5. Piezometar B-3 (Trag N), smješten uzvodno od područja odlaganja otpada, pokazuje najmanju hidrauličku povezanost s vodonosnikom te predstavlja referentnu (pozadinsku) lokaciju.
6. Nisu utvrđene značajne promjene temperature podzemnih voda koje bi upućivale na anomalije ili nove izvore onečišćenja.
7. Većina fizikalno-kemijskih pokazatelja kvalitete podzemnih voda ostala je u rasponima usporedivim s prethodnim mjerenjima te nije utvrđeno značajno pogoršanje opće kemijske kvalitete podzemnih voda.
8. Analizama teških metala nisu utvrđena prekoračenja propisanih graničnih vrijednosti za većinu analiziranih elemenata, čime nije potvrđeno postojanje značajnog širenja metalnog onečišćenja u podzemnim vodama.
9. Analizama organskih onečišćujućih tvari (PCB, BTEX, tetrakloreten, trikloreten, 1,2-dikloreten i ostali analizirani spojevi) nisu utvrđena prekoračenja propisanih regulatornih vrijednosti.



10. Dodatnim analizama PFAS spojeva utvrđena je njihova prisutnost u oba nizvodna piezometra (B-1 i B-2), dok u uzvodnom piezometru B-3 nisu utvrđeni iznad granice kvantifikacije.
11. Najveća ukupna koncentracija PFAS (Σ PFAS = 200,5 ng/L) utvrđena je u piezometru B-1 (Trag K), pri čemu dominiraju kratkolančani PFAS spojevi (PFBS, PFBA, PFPeA i PFHxA).
12. U piezometru B-1 utvrđeno je prekoračenje parametarske vrijednosti za ukupne PFAS propisane Direktivom (EU) 2020/2184 i Pravilnikom o parametrima sukladnosti vode namijenjene za ljudsku potrošnju.
13. Prostorna raspodjela PFAS spojeva odgovara smjeru podzemnog toka utvrđenom tijekom prethodnih hidrogeoloških istraživanja, pri čemu su PFAS spojevi utvrđeni isključivo nizvodno od područja odlaganja otpada.
14. Rezultati novih analiza kvalitete podzemnih voda u skladu su s geološkim i hidrogeološkim modelom izrađenim tijekom osnovnog vještačenja te potvrđuju postojanje preferencijalnih putova migracije podzemnih voda kroz pukotinski karbonatni vodonosnik.
15. Novi rezultati ne mijenjaju zaključke prethodno izrađenog nalaza i mišljenja, već ih dodatno potvrđuju i nadopunjuju.

4.2 Promjene u okolišu

Dodatnim istraživanjima potvrđene su promjene u sastavnici okoliša podzemne vode. Rezultati kontinuiranog monitoringa potvrđuju aktivnu hidrauličku povezanost pukotinskog karbonatnog vodonosnika te mogućnost infiltracije i migracije otopljenih tvari kroz pukotinski sustav. Novi rezultati kemijskih analiza potvrđuju lokalni utjecaj odloženog otpada na kvalitetu podzemnih voda, pri čemu prostorna raspodjela utvrđenih onečišćujućih tvari odgovara smjeru podzemnog toka utvrđenom tijekom prethodnog vještačenja. Rezultati dopune u skladu su sa zaključcima osnovnog nalaza te ih dodatno potvrđuju.

4.3 Opseg, trajnost i reverzibilnost štete

Na temelju dostupnih rezultata procjenjuje se da je utvrđeni utjecaj lokalnog prostornog karaktera, ograničen prvenstveno na područje nizvodno od lokacije nepropisnog odlaganja otpada. S obzirom na utvrđene hidrogeološke značajke lokacije, izraženu pukotinsku propusnost stijenske mase te trajnu prisutnost odloženog otpada, utjecaj se može smatrati dugotrajnim. Uklanjanjem izvora onečišćenja i provedbom odgovarajućih sanacijskih mjera moguće je postupno smanjenje utjecaja, međutim prirodna obnova može zahtijevati dulje



vremensko razdoblje. Procjena se temelji na rezultatima jednoga dodatnog ciklusa uzorkovanja te kontinuiranom monitoringu podzemnih voda.

Prekoračenje regulatornih vrijednosti

Većina analiziranih pokazatelja kvalitete podzemnih voda ne prelazi propisane regulatorne vrijednosti. Međutim, dodatnim analizama PFAS spojeva utvrđeno je prekoračenje parametarske vrijednosti za ukupne PFAS ($\Sigma 20$ PFAS) u piezometru B-1 (Trag K) u odnosu na vrijednost propisanu Direktivom (EU) 2020/2184 i nacionalnim propisima za vodu namijenjenu ljudskoj potrošnji. Ostali analizirani pokazatelji (metali, BTEX, PCB, klorirana otapala i drugi organski spojevi) nisu pokazali prekoračenja propisanih graničnih vrijednosti.

4.4 Razina opasnosti

Na temelju svih provedenih istraživanja procjenjuje se da je razina opasnosti za sastavnicu okoliša podzemne vode umjerena do povećana. Takva procjena proizlazi iz kombinacije utvrđenih hidrogeoloških karakteristika lokacije, dugotrajnog nepropisnog odlaganja heterogenog otpada, potvrđene mogućnosti migracije onečišćujućih tvari kroz pukotinski vodonosnik te rezultata novih analiza podzemnih voda. Istodobno, nije utvrđeno opsežno ili akutno onečišćenje podzemnih voda većeg prostornog obuhvata.

4.5 Vjerojatnost nastanka štete

Na temelju svih raspoloživih podataka procjenjuje se da je vjerojatnost nastanka daljnje štete za podzemne vode visoka ukoliko odloženi otpad ostane na lokaciji bez provedbe odgovarajućih sanacijskih mjera. Ova procjena temelji se na utvrđenoj hidrauličkoj povezanosti vodonosnika, potvrđenom mehanizmu infiltracije oborinskih voda kroz zonu odloženog otpada, rezultatima kontinuiranog monitoringa te prostornoj raspodjeli utvrđenih onečišćujućih tvari. Međutim, procjena intenziteta i dinamike budućih promjena ograničena je činjenicom da se dodatne kemijske analize temelje na jednom ciklusu uzorkovanja, zbog čega bi za pouzdanu procjenu dugoročnih trendova bilo potrebno nastaviti monitoring podzemnih voda.

4.6 Zaključak i mišljenje

Na temelju dodatno provedenih istraživanja, kontinuiranog monitoringa podzemnih voda te rezultata novih laboratorijskih analiza može se zaključiti da su dobiveni rezultati **u skladu sa zaključcima osnovnog vještačenja**. Kontinuirana mjerenja potvrđuju prethodno utvrđeni hidrogeološki model pukotinskog karbonatnog vodonosnika i mehanizme infiltracije te



migracije podzemnih voda, dok rezultati kemijskih analiza potvrđuju lokalni utjecaj nepropisno odloženog otpada na kvalitetu podzemnih voda.

Dodatnim analizama utvrđeno je prekoračenje parametarske vrijednosti za ukupne PFAS u piezometru B-1 (Trag K), dok kod ostalih analiziranih pokazatelja nisu utvrđena prekoračenja regulatornih vrijednosti. Prostorni raspored utvrđenih onečišćujućih tvari odgovara smjeru podzemnog toka utvrđenom tijekom osnovnog vještačenja te dodatno potvrđuje prethodno utvrđene mehanizme migracije onečišćujućih tvari kroz pukotinski karbonatni vodonosnik.

Dodatnim istraživanjima nisu utvrđene činjenice koje bi dovele u pitanje zaključke osnovnog vještačenja. Naprotiv, rezultati dopunskih istraživanja povećavaju razinu pouzdanosti prethodno donesenih stručnih zaključaka o utjecaju ilegalno odloženog otpada na podzemne vode te potvrđuju hidrogeološki model izrađen tijekom osnovnog vještačenja.

Potrebno je naglasiti da se rezultati novih kemijskih analiza temelje na jednom dodatnom ciklusu uzorkovanja te predstavljaju procjenu stanja u trenutku uzorkovanja. Zbog toga nije moguće donositi konačne zaključke o dugoročnim trendovima ili sezonskoj dinamici promjena kvalitete podzemnih voda, već bi za takvu procjenu bilo potrebno provoditi daljnji monitoring.

S obzirom na to da je utvrđeni utjecaj povezan s prisutnošću nepropisno odloženog otpada kao izvora onečišćenja, može se očekivati da će se nakon njegove cjelovite sanacije i uklanjanja, uz prirodne procese razrjeđivanja i obnavljanja vodonosnika, intenzitet utjecaja postupno smanjivati. Brzina oporavka ovisit će o hidrogeološkim uvjetima lokacije, svojstvima pojedinih onečišćujućih tvari te vremenu tijekom kojeg je onečišćenje bilo prisutno. Stoga se potpuni oporavak kvalitete podzemnih voda može očekivati tek nakon provedene sanacije i odgovarajućeg razdoblja praćenja putem monitoringa.

Slijedom svega navedenog, rezultati dopunskog vještačenja predstavljaju međusobno usklađen i znanstveno utemeljen skup činjenica koji snažno ukazuju da je na predmetnoj lokaciji postoji **lokalni utjecaj nepropisno odloženog otpada na podzemne vode**, pri čemu dopunska istraživanja ne mijenjaju zaključke osnovnog nalaza i mišljenja, već ih dodatno potvrđuju. Također, rezultati ukazuju da je riječ o utjecaju koji se, uz uklanjanje izvora onečišćenja i provedbu odgovarajućih sanacijskih mjera, može postupno smanjiti, a nakon uklanjanja izvora onečišćenja i prirodne obnove vodonosnika može doći do postupnog oporavka kvalitete podzemnih voda, što potvrđuje važnost pravovremene sanacije predmetne lokacije.



5 Literatura

Buck, R.C., Franklin, J., Berger, U., Conder, J.M., Cousins, I.T., de Voogt, P., Jensen, A.A., Kannan, K., Mabury, S.A. i van Leeuwen, S.P.J. (2011). *Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins. Integrated Environmental Assessment and Management*, 7(4), 513–541. DOI: 10.1002/ieam.258. ([Wiley Online Library](#))

Evich, M.G. i sur. (2022). *Per- and polyfluoroalkyl substances in the environment. Science*, 375(6580), eabg9065. DOI: 10.1126/science.abg9065. ([PubMed](#))

Hamid, H., Li, L.Y. i Grace, J.R. (2018). *Review of the fate and transformation of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in landfills. Environmental Pollution*, 235, 74–84. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.12.030. ([PubMed](#))

Hepburn, E., Madden, C., Szabo, D., Coggan, T.L., Clarke, B. i Currell, M. (2019). *Contamination of groundwater with per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) from legacy landfills in an urban re-development precinct. Environmental Pollution*, 248, 101–113. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.02.018. ([PubMed](#))

OECD (2021). *Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): Recommendations and Practical Guidance*. Paris: OECD.



6 Popis slika

Slika 1.	Lokacije piezometara označene crvenom točkom	4
Slika 2.	Piezometri sa dobivenim vrijednostima mjerenja.....	7
Slika 3.	B1 – odnos razine i el. vodljivosti podzemne vode	8
Slika 4.	B-1 – odnos razine i temperature podzemne vode	9
Slika 5.	B-1 – odnos razine i količine oborina	9
Slika 6.	B-2 – odnos električne vodljivosti i količine oborina	10
Slika 7.	B-1 – odnos temperature i količine oborina.....	10
Slika 8.	B-2 – odnos razine i el. vodljivosti podzemne vode	11
Slika 9.	B-2 – odnos razine i temperature podzemne vode	11
Slika 10.	B-2- odnos razine i količine oborina	12
Slika 11.	B-2- odnos električne vodljivosti i količine oborina	12
Slika 12.	B-2 – odnos temperature i količine oborina.....	13
Slika 13.	B-3 – odnos razine i el. vodljivosti podzemne vode	14
Slika 14.	B-3 – odnos razine i temperature podzemne vode	14
Slika 15.	B-3 – odnos razine i količine oborina	15
Slika 16.	B-3- odnos električne vodljivosti i količine oborina.....	15
Slika 17.	B-3- odnos temperature i količine oborina	16
Slika 18.	Nedostatna debljina glinenog sloja na bušotini B2	23
Slika 19.	Koncentracija – Cink u piezometrima	26
Slika 20.	Koncentracija – Barij u piezometrima	26



7 Popis tablica

Tablica 1.	Oznaka uzorka, lokacija i GPS koordinate.....	5
Tablica 2.	Rezultati mjerenja kvalitete vode iz piezometara (uzorkovano 19.12.2025. i 24.2.2026. i 11.5.2026).....	17
Tablica 3.	Fizikalno-kemijski i mikrobiološki rezultati (uzorkovano 26.02.2026.).....	18
Tablica 4.	Rezultati analize PFAS spojeva.....	20
Tablica 5.	Usporedba rezultata ovog vještačenja s međunarodno objavljenim koncentracijama PFAS u podzemnim i pitkim vodama	29

