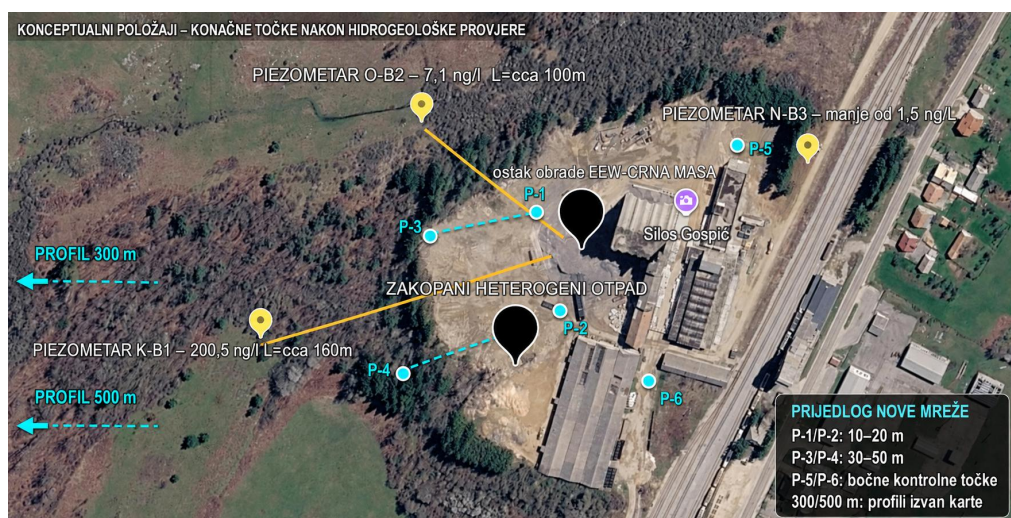


PRIJEDLOG IZGRADNJE SUSTAVA PIEZOMETARA

Utvrđivanje stvarnog stanja, prostornog obuhvata i dinamike PFAS onečišćenja na lokaciji PPK Velebit u Gospiću

Stručni koncept - konačne koordinate i filtarske intervale potrebno je potvrditi hidrogeološkim projektom i terenskim mjerenjima.



Slika 1. Konceptualni položaji novih piezometara i smjer nastavka udaljenih profila.

1. Polazište i razlog izgradnje sustava

Na lokaciji su postojeća tri piezometra: N-B3 s vrijednošću manjom od 1,5 ng/L, O-B2 s 7,1 ng/L na približno 100 m od površinske EEW crne mase te K-B1 s 200,5 ng/L na približno 160-170 m. Rezultat K-B1 pokazuje ozbiljno onečišćenje podzemne vode, ali postojeća mreža nije dovoljna za određivanje neposrednog izvora, mjesta ulaska PFAS-a u podzemlje, širine, dubine i vanjske granice onečišćenog oblaka.

U raspucanoj stijenskoj podlozi migracija može biti usmjerena pojedinim pukotinama. Zato visoka koncentracija u udaljenijem piezometru ne mora značiti ravnomjerno onečišćenje cijelog prostora između otpada i piezometra. Potreban je višerazinski sustav koji povezuje izvor, neposrednu zonu, prijelazne točke, bočne granice i udaljene profile.

2. Ciljevi istraživanja

- utvrditi stvarni smjer i hidraulički gradijent podzemne vode u različitim hidrološkim uvjetima;
- potvrditi ili isključiti crnu EEW masu i zakopani heterogeni otpad kao izvore PFAS-a;
- odrediti duljinu, širinu i vertikalni raspored onečišćenog oblaka;
- utvrditi utjecaj većih oborina na koncentracije i brzinu migracije;
- odrediti vanjsku granicu onečišćenja i ugroženost bunara, izvora, vodotoka i drugih receptora;
- uspostaviti mjerljivu početnu osnovu za praćenje učinka interventne i konačne sanacije.

3. Koncept mreže

Predlaže se fazna mreža od najmanje šest novih piezometara u neposrednoj zoni, uz dva udaljena poprečna profila. Postojeći N-B3, O-B2 i K-B1 zadržavaju se kao stalne kontrolne točke. Broj novih bušotina može se povećati ako geofizika, traserski pokus ili prvi rezultati pokažu dodatne putove migracije.

3.1. Neposredne i prijelazne točke

Oznaka	Zona	Konceptualni položaj	Svrha
P-1	EEW, 10-20 m	Neposredno nizvodno, zapadno-sjeverozapadno od ruba crne mase.	Dokazivanje veze EEW mase i podzemne vode.
P-2	Zakopani otpad, 10-20 m	Neposredno nizvodno, zapadno-jugozapadno od granice zakopane mase.	Odvajanje utjecaja zakopane mase od EEW izvora.
P-3	EEW, 30-50 m	Na koridoru P-1 - O-B2.	Praćenje promjene koncentracije prema O-B2.
P-4	Zakopani otpad, 30-50 m	Na koridoru P-2 - K-B1.	Praćenje migracije prema K-B1.
P-5	Bočna kontrola sjever	Izvan otpada, sjeverno/sjeveroistočno od izvorišne zone.	Određivanje sjeverne granice oblaka.
P-6	Bočna kontrola jug	Izvan otpada, južno/jugoistočno od izvorišne zone.	Određivanje južne granice oblaka.

3.2. Udaljeni profili 300 i 500 m

Udaljeni piezometri ne postavljaju se kao pojedinačne točke samo u osi toka. Za utvrđivanje širine potrebno je formirati poprečne profile, svaki s najmanje tri točke: središnjom u pretpostavljenoj osi migracije te sjevernom i južnom bočnom točkom.

- Profil 300 m: tri piezometra (P-300C, P-300N i P-300S). Izvodi se u prvoj fazi nakon potvrde smjera toka. Ako je bilo koja koncentracija povišena u odnosu na referentnu vrijednost, mreža se obvezno nastavlja prema 500 m.
- Profil 500 m: tri piezometra (P-500C, P-500N i P-500S). Izvodi se ako se PFAS potvrdi na 300 m ili ako se između 300 i 500 m nalaze osjetljivi receptori. Ako je PFAS potvrđen i na 500 m, istraživanje se nastavlja dalje nizvodno do utvrđivanja vanjske granice oblaka.

Prikazana karta ne obuhvaća vjerodostojno područje 300 i 500 m, pa su na njoj označeni samo smjerovi nastavka. Koordinate udaljenih profila moraju se odrediti na široj georeferenciranoj podlozi.

4. Određivanje konačnih položaja

1. geodetski snimiti granice EEW mase i zakopanog otpada te koordinate i kote svih postojećih piezometara;
2. sinkrono mjeriti razine vode i izraditi karte hidrauličkih potencijala najmanje u sušnom razdoblju i nakon većih oborina;
3. provesti površinsku geofiziku i bušotinsko snimanje pukotina;
4. po potrebi provesti traserski pokus radi potvrde smjera i brzine toka;

5. provjeriti položaj bunara, izvora, vodotoka, drenaža i drugih receptora najmanje do 500 m, a prema rezultatima i dalje.

5. Dubina i konstrukcija piezometara

Jedinstvenu dubinu nije opravdano propisati prije istraživanja. Na P-1, P-2 te središnjim točkama profila 300 i 500 m treba razmotriti ugniježdene parove: plitki piezometar koji zahvaća prvi vodonosni ili raspucani interval i dublji piezometar u nižoj vodonosnoj zoni. Svaka bušotina mora imati zaseban kratki filtarski interval, pravilno izveden filtarski zasip i bentonitnu brtvu kako ne bi povezivala različite vodonosne horizonte.

- materijali bez fluoropolimernih dijelova koji mogu kontaminirati PFAS uzorak;
- zaštitna glava, zaključavanje i geodetska oznaka kote;
- razvoj bušotine do stabilizacije mutnoće i fizikalno-kemijskih pokazatelja;
- bušotinski profil, konstrukcijski zapisnik i kontrola kvalitete izvedbe;
- automatski logger razine i temperature na ključnim točkama.

6. Program uzorkovanja i analiza

Svi postojeći i novi piezometri uzorkuju se istodobno prema jedinstvenom PFAS protokolu, uz terenske slijepe uzorke, duplikate i transportne kontrole. Potrebno je spriječiti kontakt uzoraka s PTFE/Teflon materijalima i drugom opremom koja može unijeti PFAS.

Minimalni analitički paket:

- prošireni paket PFAS spojeva, najmanje PFBS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFOS i PFOA;
- pH, električna vodljivost, temperatura, otopljeni kisik, redoks-potencijal, mutnoća i DOC;
- kloridi, bromidi, sulfati i drugi pokazatelji procjednih voda;
- Cu, Pb, Zn, Sb, Hg i drugi relevantni metali i metaloidi;
- po potrebi mikroplastika i mikrobiološki pokazatelji radi razlikovanja izvora.

Dinamika: početno nultu uzorkovanje; ponavljanje nakon značajnih oborina; mjesečno tijekom najmanje šest mjeseci; zatim najmanje tromjesečno do završetka sanacije i potvrde stabilnog trenda. Rezultati se uvijek povezuju s količinom oborina i razinama vode.

7. Paralelna karakterizacija izvora

Piezometri ne mogu zamijeniti analizu otpada. Istodobno treba provesti ciljanu analizu PFAS-a u krutoj EEW masi, njezinu eluatu, zakopanom otpadu i prepoznatljivim morfološkim frakcijama. Uzorci se moraju povezati s mjestom i dubinom uzimanja te, tijekom pakiranja, s konkretnim FIBC spremnicima. Tek usporedba izvora, eluata, neposrednih piezometara, prijelaznih točaka i udaljenih profila može dokazati izvor i put migracije.

8. Faze provedbe

- Faza 0 - 0-15 dana: geodetska podloga, inventar receptora, sinkrono mjerenje razina i plan kvalitete.
- Faza 1 - 15-45 dana: P-1 do P-6, razvoj bušotina i prvo cjelovito uzorkovanje.
- Faza 2 - 45-90 dana: profil 300 m, geofizika/traser i drugo uzorkovanje nakon oborina.
- Faza 3 - 90-150 dana: profil 500 m ako je aktiviran kriterij širenja.
- Faza 4 - najmanje 12 mjeseci: sezonski monitoring i provjera učinka interventne sanacije.

9. Kriteriji za proširenje i završetak istraživanja

- Mreža se proširuje ako PFAS na vanjskom profilu prelazi lokalnu uzvodnu pozadinu, ako trend raste nakon oborina ili ako postoji osjetljivi receptor nizvodno.
- Granica oblaka smatra se preliminarno utvrđenom tek kada najmanje dva uzastopna vanjska profila pokažu vrijednosti usporedive s lokalnom pozadinom i stabilan hidraulički smjer.
- Monitoring se ne ukida uklanjanjem otpada; mora potvrditi padajući trend i odsutnost ponovnog porasta kroz najmanje jedan puni hidrološki ciklus.

10. Očekivani rezultati

- georeferencirana karta smjera toka i PFAS koncentracija;
- 2D prikaz duljine i širine oblaka te vertikalni presjeci na ključnim točkama;
- razlikovanje doprinosa EEW mase, zakopanog otpada i drugih mogućih izvora;
- procjena ugroženosti receptora i prioriteta sanacije;
- mjerljiva početna osnova za dokazivanje učinka uklanjanja i privremenog pokrivanja otpada.

11. Zaključni prijedlog

Postojeći piezometri treba zadržati, ali ih nije dovoljno samo povremeno uzorkovati. Predlaže se hitna izgradnja P-1 do P-6, zatim poprečnog profila na 300 m i uvjetno profila na 500 m. Konačne lokacije moraju potvrditi ovlašteni hidrogeolog i projektant nakon geodetskih, geofizičkih i hidrauličkih mjerenja. Sustav se mora izvoditi istodobno s analizom krutog otpada i eluata, jer se samo povezivanjem izvora i podzemne vode može utvrditi stvarno stanje i puni obuhvat onečišćenja.

Ključna odluka: ne graditi pojedinačne udaljene piezometre bez poprečnih profila i ne proglašavati izvor PFAS-a dokazanim prije prostorno povezane analize otpada, eluata i podzemne vode.

dr. sc. Tomislav Lukić

Predsjednik Međunarodne akademije održivog razvoja