

PROBNO CRPLJENJE PODZEMNE VODE ZA POTREBE DIZALICE TOPLINE POSLOVNE GRAĐEVINE U ZAGREBU

IVAN PAŽUR¹, ANA FILIPOVIĆ¹, ALEN FILIPOVIĆ¹

¹SPP d.o.o., Varaždin, Hrvatska

Sažetak

U radu su prikazani rezultati hidrogeoloških istraživanja provedenih na području Zagrebačkog vodonosnika s ciljem procjene mogućnosti korištenja podzemne vode za potrebe sustava dizalice topline tipa voda–voda poslovne građevine u Zagrebu. Istraživanja su obuhvatila izvedbu tri strukturno-piezometarske bušotine dubine 20 m, ispitivanje litološkog sastava vodonosnika, mjerenje statičkih i dinamičkih razina podzemne vode te provođenje probnih crpljenja u koracima i pri konstantnoj crpnoj količini. Na temelju interpretacije rezultata određeni su hidrogeološki parametri vodonosnika, jednadžbe zdenaca, procijenjena izdašnost te analiziran radijus utjecaja crpljenja. Dobiveni rezultati ukazuju na povoljne hidrogeološke uvjete za primjenu sustava dizalice topline uz održivo korištenje podzemnih voda.

Ključne riječi

probno crpljenje, podzemne vode, hidraulička vodljivost, dizalica topline, Zagrebački vodonosnik

1 Uvod

Korištenje obnovljivih izvora energije u zgradarstvu ima sve veću ulogu u smanjenju potrošnje fosilnih goriva i emisija stakleničkih plinova. Sustavi dizalica topline tipa voda–voda posebno su prikladni u urbanim sredinama razvijenim na aluvijalnim vodonosnicima, gdje su osigurane dovoljne količine podzemne vode relativno stabilne temperature tijekom cijele godine.

Za potrebe projektiranja sustava dizalice topline poslovne građevine u Zagrebu provedena su detaljna hidrogeološka istraživanja. Cilj istraživanja bio je utvrditi litološki sastav tla, hidrogeološke parametre vodonosnika, smjer tečenja podzemne vode te procijeniti mogućnost izvedbe eksploatacijskih i upojnih zdenaca.

2 Metode

2.1 Geološko-hidrogeološki okvir istražne lokacije

Istražna lokacija smještena je unutar Zagrebačkog vodonosnika, razvijenog u kvartarnoj aluvijalnoj ravnici rijeke Save. Vodonosnik je otvorenog tipa, pri čemu gornju granicu saturacije čini vodna ploha pod atmosferskim tlakom, dok podinu čine slabopropusne glinovite naslage.

Litološki profil na istražnoj lokaciji karakterizira šljunčano-pjeskoviti vodonosni sloj maksimalne moćnosti oko 8,5 m, koji se nalazi na dubini približno od 4,0 do 12,5 m. Iznad i ispod vodonosnog šljunka prisutne su žuto-smeđe gline koje imaju ulogu krovine i podine vodonosnika. Smjer tečenja podzemne vode određen je na temelju mjerenja apsolutnih razina podzemne vode u piezometrima te iznosi približno zapad–istok (Tablica 1), što je u skladu s regionalnim hidrogeološkim značajkama Zagrebačkog vodonosnika.

Tablica 1. Određivanje apsolutne razine podzemne vode na lokaciji

Oznaka piezometra	Kota ušća piezometra (mnm)	Relativna razina podzemne vode (m)	Apsolutna razina podzemne vode(mnm)
P-1	113,59	5,08	108,51
P-2	114,60	6,08	108,52
P-3	113,74	5,20	108,54

2.2 Metodologija istraživanja

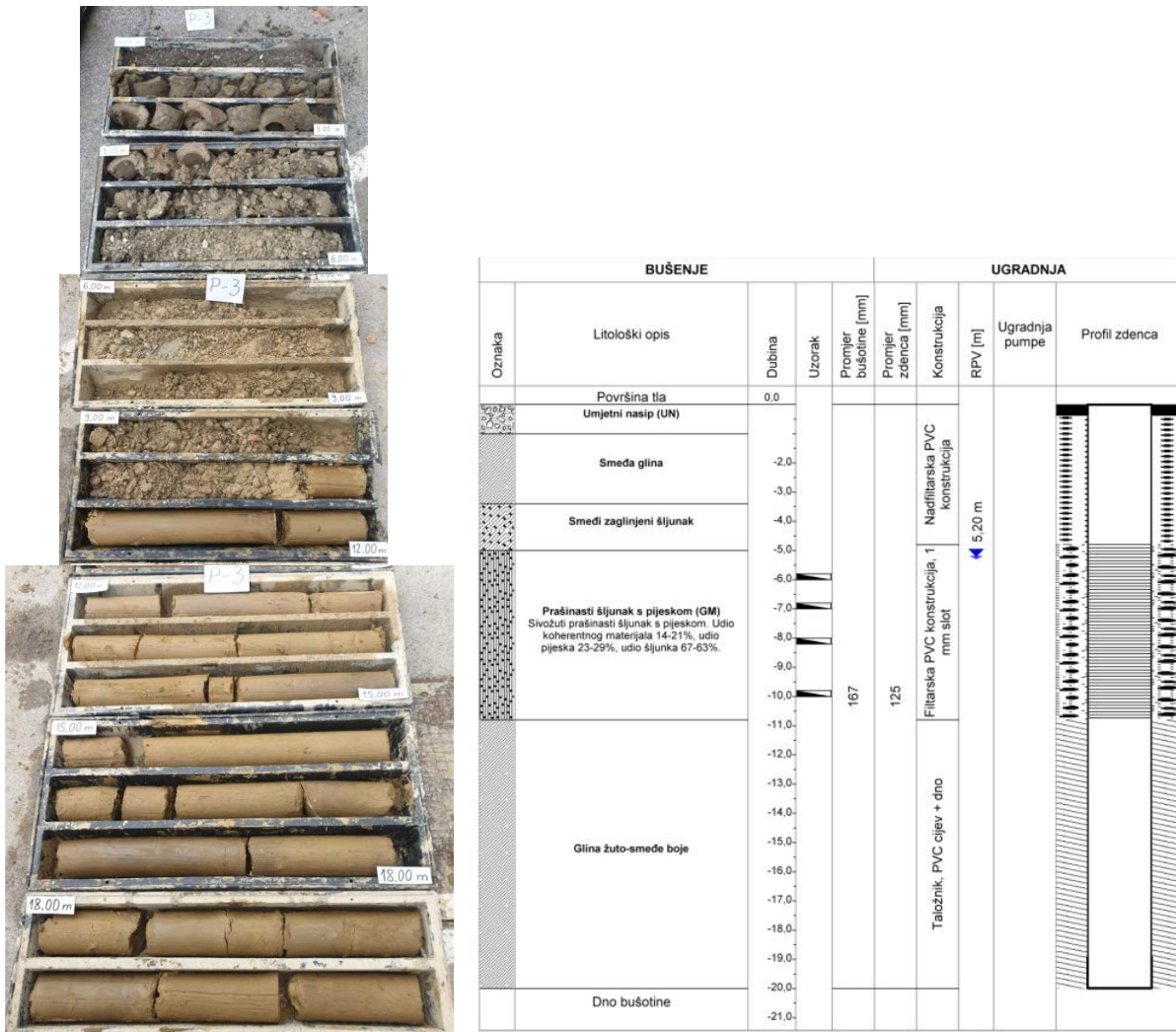
2.2.1 Izvedba strukturno-piezometarskih bušotina

U svrhu istraživanja izvedene su tri strukturno-piezometarske bušotine (P-1, P-2 i P-3) dubine 20 m.



Slika 1. Položaj strukturno-piezometarskih bušotina na katastarskoj podlozi

Bušenje je izvedeno rotacijskom metodom uz kontinuirano jezgrovanje, čime je omogućen detaljan uvid u litološki sastav tla. U bušotine je ugrađena PVC piezometarska konstrukcija s filtarskim intervalima prilagođenima granulometrijskom sastavu vodonosnog sloja. Jezgra je slagana u PVC sanduke sa oznakom dubine radi određivanja točnog rasporeda i dubine ugradnje pojedinih intervala tehničke konstrukcije piezometara (Slika 2).



Slika 2. Prikaz fotodokumentacije jezgre (lijevo) i sondažnog profila (desno) piezometra P-3

Raspored piezometara izveden je u obliku trokuta (Slika 1), čime je omogućeno određivanje smjera tečenja podzemne vode, što je od posebne važnosti za pravilno pozicioniranje eksploatacijskih i upojnih zdenaca.

2.2.2 Probna crpljenja

Probno crpljenje provedeno je na svakoj bušotini zasebno. Ispitivanje je obuhvatilo crpljenje u koracima (step test) u tri različite crpne količine, u trajanju od približno dva sata po koraku. Tijekom crpljenja kontinuirano je praćena dinamička razina podzemne vode pomoću sonde za mjerenje hidrostatskog tlaka.

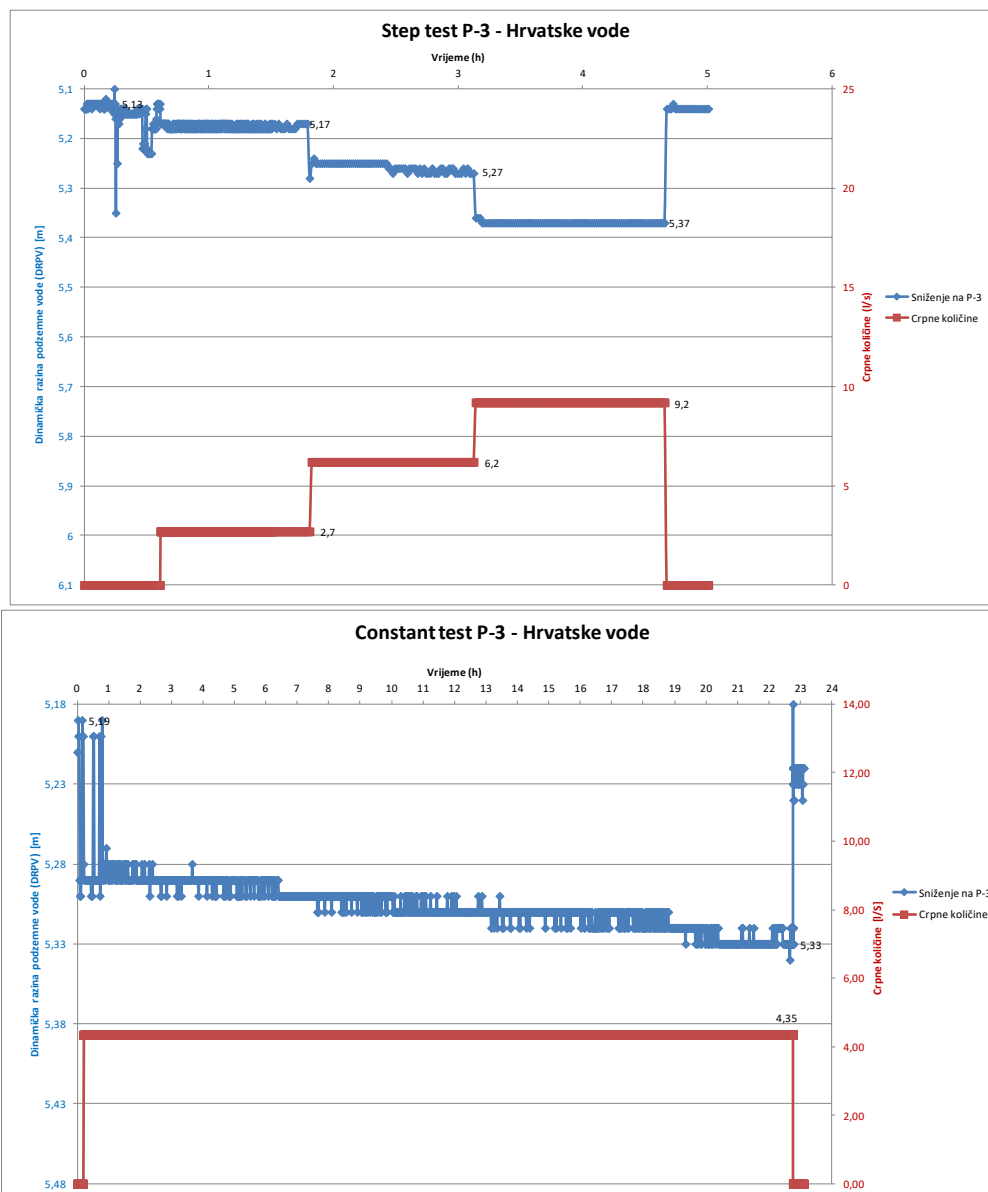
Crpljenjem u koracima određena je jednadžba zdenca pomoću koje se može izračunati sniženje za bilo koju crpnu količinu. Prikaz jednadžbe piezometara je u obliku:

$$s = B \cdot Q + C \cdot Q^2 \quad (1)$$

pri čemu s predstavlja sniženje razine podzemne vode, Q crpnu količinu, dok su B i C parametri otpora vodonosnika i zdenca.

Na temelju rezultata step testa određena je stalna crpna količina za provođenje konstantnog testa, kojim su

utvrđeni hidrogeološki parametri vodonosnika. Paralelno s crpljenjem na piezometrima P-2 i P-3 ispitana je upojnost piezometra P-1 upuštanjem crpljene vode.



Slika 3. Primjer krivulje sniženja razine podzemne vode tijekom step testa (gore) i constant testa (dolje) na piezometru P-3

3 Rezultati

Izračunate vrijednosti koeficijenta hidrauličke vodljivosti kreću se u rasponu od 617 do 2585 m/dan (Tablica 1), što ukazuje na izraženu nehomogenost vodonosnika. Srednja vrijednost hidrauličke vodljivosti iznosi $k = 1480$ m/dan (1,71 cm/s).

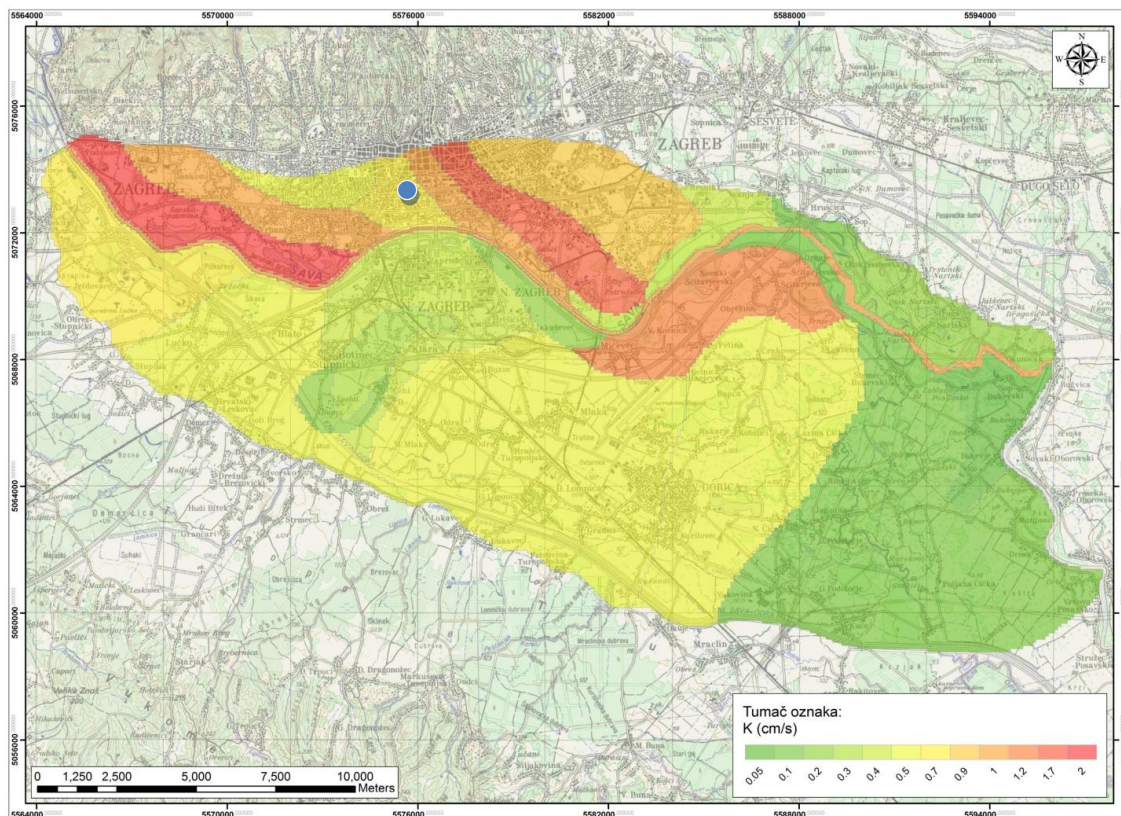
Tablica 1. Rezultati probnog crpljenja

Oznaka piezometra	Jednadžba piezometra	Koeficijent propusnosti [m/dan]	Udio koherentnog materijala vodonosnog sloja [%]
P-1	$s = 8 \cdot Q + 568 \cdot Q^2$	1239	5 - 13
P-2	$s = 3 \cdot Q + 301 \cdot Q^2$	2585	4 - 9
P-3	$s = 10 \cdot Q + 1547 \cdot Q^2$	617	14 - 21

3.1 Analiza i rasprava

Analiza rezultata pokazuje jasnu povezanost između udjela koherentnog materijala u vodonosnom sloju i vrijednosti koeficijenta propusnosti. Povećani udio sitnozrnatih frakcija rezultira smanjenjem hidrauličke vodljivosti, što je vidljivo usporedbom rezultata pojedinih piezometara.

Dobivene vrijednosti dobro se podudaraju s postojećim kartama hidrauličke vodljivosti Zagrebačkog vodonosnika, prema kojima se za prvi vodonosni sloj očekuju vrijednosti u rasponu 1,2–1,7 cm/s (Slika 4).

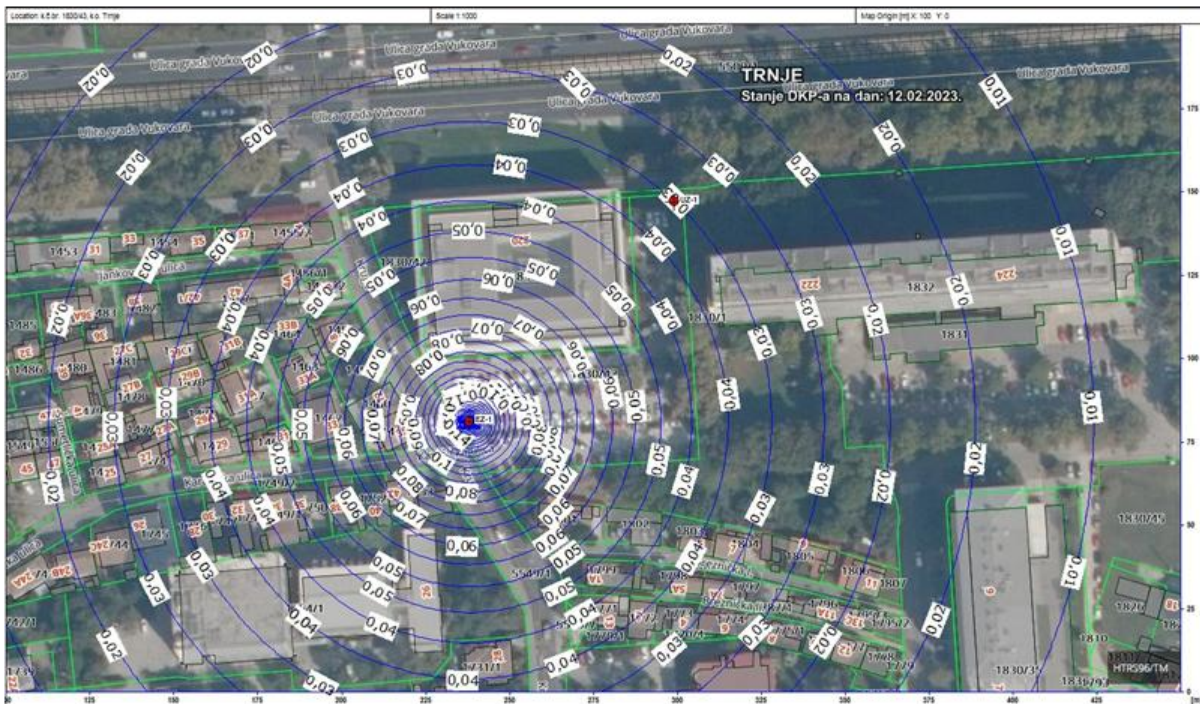


Slika 4. Prostorna raspodjela hidrauličke vodljivosti za 1. vodonosni sloj (preuzeto iz Prva faza izrade programa mjera za zaštitu i sanaciju u zonama zaštite izvorišta, RGN Fakultet 2010.)

3.2 Primjena rezultata na projektiranje dizalice topline

Na temelju provedenih istraživanja usvojen je projektni koeficijent propusnosti $k = 1000$ m/dan. Ova vrijednost korištena je za proračun izdašnosti eksploatacijskih i upojnih zdenaca te projekciju radijusa utjecaja crpljenja (Slika 5).

Analize su pokazale da istražna lokacija zadovoljava uvjete za izvedbu sustava dizalice topline, pri čemu se očekuju mala sniženja razine podzemne vode i ograničen radijus utjecaja, bez negativnog utjecaja na okolne objekte i vodne resurse.



Slika 5. Projekcija radijusa utjecaja crpljenja eksploatacijskog zdenca

4 Zaključak

Provedena hidrogeološka istraživanja pokazala su da istražna lokacija raspolaže povoljnim hidrogeološkim uvjetima za korištenje podzemne vode u energetske svrhe. Visoke vrijednosti hidrauličke vodljivosti, povoljna izdašnost i stabilni uvjeti crpljenja omogućuju primjenu sustava dizalice topline tipa voda–voda.

Prikazana metodologija istraživanja i interpretacije rezultata može poslužiti kao primjer dobre prakse pri planiranju sličnih sustava u urbanim aluvijalnim vodonosnicima.

Literatura

Polak, Z. (1995). Hidrogeologija za građevinare. Zagreb: Poslovna knjiga Zagreb.

Strelec, S., Jug, J., Grabar, K. (2024). Geotehnička i geofizička terenska istraživanja. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu – Geotehnički fakultet.