

Međusobni hidraulički utjecaj eksploatacijskog i upojnog zdenca u sustavu dizalica topline na temperaturu crpljene vode

Hydraulic Influence of Extraction and Injection Well on the Pumped Water Temperature in the Heat Pump System

Ana Filipović, dipl. ing.
SPP d.o.o., Varaždin, Hrvatska
ana.filipovoc@spp.hr

izv. prof. dr. sc. Stjepan Strelec
Geotehnički fakultet Varaždin
Sveučilišta u Zagrebu
stjepan.strelec@gtv.hr



Marina Marcius, mag. ing.
SPP d.o.o., Varaždin, Hrvatska
marina.marcius@spp.hr

Kristijan Grabar, dipl. ing.
SPP d.o.o., Varaždin, Hrvatska
kristijan.grabar@spp.hr

Ključne riječi: voda, dizalice topline, utjecaj, hidraulička vodljivost, temperaturni proboj

Key words: water, heat pumps, influence, hydraulic conductivity, thermal shortcutting

Sažetak

Voda kao izvor obnovljive energije je učinkovit i ekološki prihvatljiv radni medij za grijanje i klimatizaciju industrijskih, komercijalnih, stambenih i drugih objekata opće namjene. Relativno stabilna temperatura podzemnih voda, između +12°/ +15°C tijekom cijele godine, neovisna je o kolebanjima klimatskih parametara na površini pa je stoga pouzdan toplinski izvor. Za sustave dizalica topline se izrađuju minimalno dva zdenca, eksploatacijski (ulaz vode) i upojni (izlaz vode), projektirani za individualne potrebe objekta. U radu je, u cilju ilustracije metodološkog postupka, odabran primjer pri projektiranju zdenaca za potrebe

klimatizacijskog sustava, te ukazano na nastali problem pojave temperaturnog proboja. Kontrolnim mjerenjima temperatura na odabranoj lokaciji u režimu deset satnog konstantnog rada crpki evidentiran je temperaturni proboj na eksploatacijskom zdenca. U konkretnom primjeru udaljenost zdenaca najviše je utjecala na pojavu povećane temperature crpljene vode.

Abstract

Water as a renewable source of energy is efficient and ecology acceptable working media for heating and acclimatization of industrial, commercial, living and similar objects. Relatively stable temperature of underground water through the year that is between +12/ +15 °C is independent of climate change on the surface so it represents a reliable heating source. For the heat pump system the pair of wells are needed, extraction and injection well, which are projected for

individual object need. Purpose of this paper is to illustrate methodological procedure at the example of designing heating pump well and pointed on the appeared problems. Control measurements of temperature in the system after ten hours of constant pump labor the thermal shortcutting was noticed on the extraction well. In this concrete example main role in the higher water temperature on the extraction well was the distance between the wells.

1. Uvod

Voda kao prirodan izvor obnovljive energije jest učinkoviti i ekološki prihvatljiv način za grijanje i klimatizaciju industrijskih, komercijalnih, institucionalnih i stambenih objekata. Hrvatska je zemlja bogata vodnim resursima, stoga, ne iznenađuje činjenica da su sustavi obnovljivih izvora energije sve zastupljeniji na našim prostorima. Dizajniranje sustava dizalice topline voda – voda zahtijeva detaljno poznavanje lokalne hidrogeologije i razumijevanje hidraulike, koja je uključena u eksploataciju i izmjenu vode pri sistemu grijanje/hlađenje. Veoma važna stavka pri dizajniranju dizalice topline je vodonosnik iz kojeg se voda eksploatira. Za instalaciju dizalice topline sistemom voda – voda potrebno je izvesti crpni (eksploatacijski zdenac) i njegov upojni parnjak u kojeg se vraća voda iz dizalice topline. Voda se u vodonosnik vraća s nepromijenjenim kemijsko – biološkim svojstvima. Eksploatirana podzemna voda vraća se pothlađena ili zagrijana (ovisno o grijanju ili hlađenju) za temperaturnu razliku od oko 3°C u odnosu na početnu temperaturu u sustavu vodonosnik - upojni zdenac. Voda – voda je zatvoren sustav i ničim ne ugrožava vodonosnik. Važno je znati da jedan kubik vode može dati oko 4 -5 kW toplinske ili rashladne energije.

Pri projektiranju ove vrste bunara uobičajeni su pokazatelji vodonosnika poput poroznosti, hidrauličke vodljivosti, transmitivnosti, uskladištenja te debljine vodonosnika. Kroz istraživanja objavljenih radova na lokalnom području, traže se i podaci iz blizine postojećih bunara ili putem provođenja stvarnih testova na terenu. Crpljenjem podzemne vode iz zdenaca određuju se hidrauličke karakteristike vodonosnika, a temeljem podataka o izdašnosti zdenaca i o sniženjima razine u zdencu određuje se kapacitet zdenca. Probe (testovi) za određivanje karakteristika vodonosnika izvode se na terenu, tako da se prate pijezometarske razine koje nastaju zbog dodavanja odnosno crpljenja vode iz vodonosnog sloja. Voda u vodonosnom sloju na

zadane promjene reagira promjenom razine vodnoga lica. Opažanja je moguće izvesti na samom probnom zdenцу, odnosno na obližnjim pijezometrima.

Pri projektiranju udaljenosti zdenaca parametrima vodonosnika određuje se udaljenost zdenaca kako bi se maksimalno iskoristio sistem dizalice topline. Relativno stabilna temperatura podzemnih voda od +12° do +15°C tijekom godine neovisno o klimatskim parametrima na površini, osigurava stalan i pouzdan izvor topline. Toplinsku energiju pohranjenu u podzemnoj vodi, pri temperaturi 10-15°C, dizalica topline pomoću električne energije za pogon kompresora u rashladnom sustavu, podiže na višu energetska razinu s temperaturom polaznog voda od 45°C prema potrošaču.

2. Mjerenje vodopropusnosti

Određivanje vodopropusnosti slojeva tla i stijena nužno je kako bi se dovelo u vezu površinsko i podzemno prodiranje vode kroz tijelo zemljane brane, za određivanje količine podzemne vode koja se infiltrira u građevinski iskop, procjeđivanje otpadne vode iz odlagališta opasnog otpada te drugih parametara koji uključuju vodopropusnost.

Otvoreni vodonosni horizont djelomično je saturiran vodom, a leži na nepropusnoj podlozi. Gornja granica saturiranog dijela čini vodno lice pod atmosferskim tlakom. Razina vode u piezometru uglavnom se podudara s vodnim licem. Slobodni vodonosni slojevi izgrađeni od sitnih čestica imaju karakteristiku tzv. zakašnjelog otpuštanja tj. drenažu pora gravitacijom s određenim vremenskim zakašnjenjem. Voda se otpušta poslije određenog vremena nakon snižavanja razine podzemne vode. Kako otvoreni vodonosnici obično imaju relativno visok koeficijent uskladištenja, može se dogoditi relativno dugi period prije nego se sniženje stabilizira. U pojedinim vodonosnicima to se nikada ne postigne.

Propusnost neke stijene definirana je koeficijentom propusnosti, odnosno hidrauličkom provodljivošću. Vodopropusnost tla nije temeljno svojstvo tla, no ovisi o brojnim čimbenicima kao što su: granulometrijski sastav tla, oblik i tekstura čestica, mineralni sastav, koeficijent pora, stupanj zasićenosti, priroda fluida, tip toka, temperatura i slično.

Hidraulička provodljivost (K) određena je veličinom i oblikom pora, djelotvornošću međusobnih spojeva pora i fizikalnim svojstvima fluida. Vrijednost tog pokazatelja ovisi o veličini i rasporedu zrna u nekonsolidiranom stanju, o veličini i vrsti šupljina,

lomova i solucijskih otvora u konsolidiranom stanju te o viskoznosti fluida koja je ovisna o temperaturi.

Hidrogeološki pokazatelj koji opisuje propusnu moć vodonosne stijene je koeficijent transmisivnosti (T) i jednak je umnošku koeficijenta hidrauličke provodljivosti k i debljine propusne stijene:

$$T = k \cdot m \text{ [m}^2 \text{ / dan, cm}^2 \text{ / s, m}^2 \text{ / s]} \quad (1)$$

gdje je:

k - koeficijent hidrauličke provodljivosti [m/dan]

m - debljina propusnog sloja [m]

Uz koeficijent transmisivnosti važan pokazatelj vodonosnika je i koeficijent uskladištenja (S) koji predstavlja volumen vode koju će otpustiti jedinični volumen vodonosnika pod djelovanjem jediničnog pada pijezometarske visine.

Koeficijent uskladištenja („storage coeff“) odnosi se na ukupnu debljinu saturiranog vodonosnog horizonta, što znači da je jednak umnošku specifične vrijednosti (S_s) i debljine horizonta (m).

$$S = S_s \cdot m \text{ [/]} \quad (2)$$

Za određivanje vodopropusnosti poznato je nekoliko metoda kao što su:

- pokusno crpljenje (metoda Lefranc);
- metode temeljene na empirijskim formulama uz uporabu podataka o granulometrijskom sastavu.

Koja će se metoda upotrijebiti ovisi o cilju istraživanja i raspoloživim tehničkim sredstvima. Metoda pokusnog crpljenja je najtočnija metoda, a temelji se na crpljenju vode iz zdenca kojemu je filtarski dio u vodonosnom sloju koji se želi testirati, određenim kapacitetom tijekom određenoga vremena. Pokusno crpljenje se provodi glede dva osnovna cilja:

- (a) Određivanja hidrauličkih karakteristika vodonosnog sloja te testiranja vodonosnog sloja i dobivanje podataka o izdašnosti zdenca;
- (b) O sniženjima u zdencu na osnovu kojih se određuje kapacitet zdenca i dozvoljeno sniženje kod eksploatacije.

Osnova probnog crpljenja sastoji se u opažanju sniženja (pada) vode (w) u zdencu, odnosno na jednom ili više kontrolnih pijezometara raznih udaljenosti (r) od zdenca. Sniženje (pad) vode može se proučavati konstantim testom (nema promjene crpne količine tijekom vremena) ili „step“ testom, dakle u koracima (crpna količina mijenja se tijekom vremena).

3. Projektiranje zdenaca u sustavu dizalica topline

3.1. Probno crpljenje

U svrhu dobivanja parametara vodonosnika izbušen je istražno – eksploatacijski zdenac na području Međimurja. Međimurje je geografski definirano kao područje koje je gotovo sa svih strana omeđeno rijekama i to: na sjeveru i istoku Murom, na jugu Dravom, a dio zapadne granice prema Sloveniji predstavlja potok Šantavec. Osnovna značajka geološke građe Međimurja je prisutnost na površini isključivo sedimentnih stijena i to (Miletić i dr. 1992): pleistocenske starosti u središnjem ravničarskom dijelu tzv. čakovečkom ravnjaku, te rubnim područjima međimurskih gorica i holocenske starosti u nizinama Drave i Mure, te duž tokova njihovih pritoka.

U erozijskom odsjeku kojeg je oblikovala Mura na potezu Križovec - Podturen, otvorene su mjestimice naslage šljunka i pijeska čiji vršni horizont diskordantno naliže na slojeve gornjeg pontaa.

Prikupljeni podaci (vrijeme od početka crpljenja ili završetka u slučaju oporavka, udaljenost kontrolnog zdenca i sniženje razine vode izmjerene u kontrolnom zdencu) prikazuju se grafički na dijagramima. Iz njih se tada mogu izvesti raznovrsni hidraulički parametri vodonosnoga sloja.

Istražnim bušenjem, geološkom prospekcijom do dubine 0,8 (m) identificirani su prašinasto-glinoviti šljunci dok u dubini zaliježu šljunkoviti i šljunkovito-pjeskoviti vodonosni sedimenti. Tehnička konstrukcija zdenaca, dubine 16 (m), većim svojim dijelom nalazi se u šljunkovitim sedimentima, u kojima se zahvaćaju značajnije količine podzemne vode. Zdenac je osvajan metodom ispuhivanja (airlift-a). Iz utvrđenog geološkog profila, te laboratorijskih granulometrijskih analiza vidljivo je kako su vodopropusnije formacije vodonosnika utvrđene gotovo od razine terena, dok aluvijalni šljunak zaliježe od 0,8 m dubine. Šljunak odgovara dobro graduiranim šljuncima (GW), s granulometrijskim koeficijentom vodopropusnosti $k > 150$ (m/dan). Specifični kapacitet najčešće je jedini pokazatelj izdašnosti vodonosnog sloja i obično se izračunava iz probnog crpljenja za vrijeme izrade i opremanja zdenca. Prihvatljivo je da se specifični kapacitet odredi nakon 24- satnog crpljenja. Međutim, u praksi izrada zdenca pa tako i probno crpljenje ne traju duže od nekoliko sati [5]. Kod ovakvih premisa moguće je napisati izraz za količinu crpljenja:

$$q = \frac{Q}{s} = \frac{0,022}{0,5} = 0,043 \text{ [m}^3 \text{ / s / m]} - (\text{cca. } 10 \text{ sati}) \quad (3)$$

Tablica 1. Dinamička razina razine podzemne vode u zdencima prilikom »KONSTANT TESTA«

OZNAKA ZDENCA	statička razina RPV 02.07.2012	stalna crpna količina	dinamička razina podzemne vode DPV (nakon cca. 11 sati)	sniženje (s)
Z-1	3,40 m	23,75 l/s	3,83 m	0,43 m
Z-2	3,40 m	19,16 l/s	3,68 m	0,28 m
UKUPNA CRPNA KOLIČINA:		42,91 l/s		

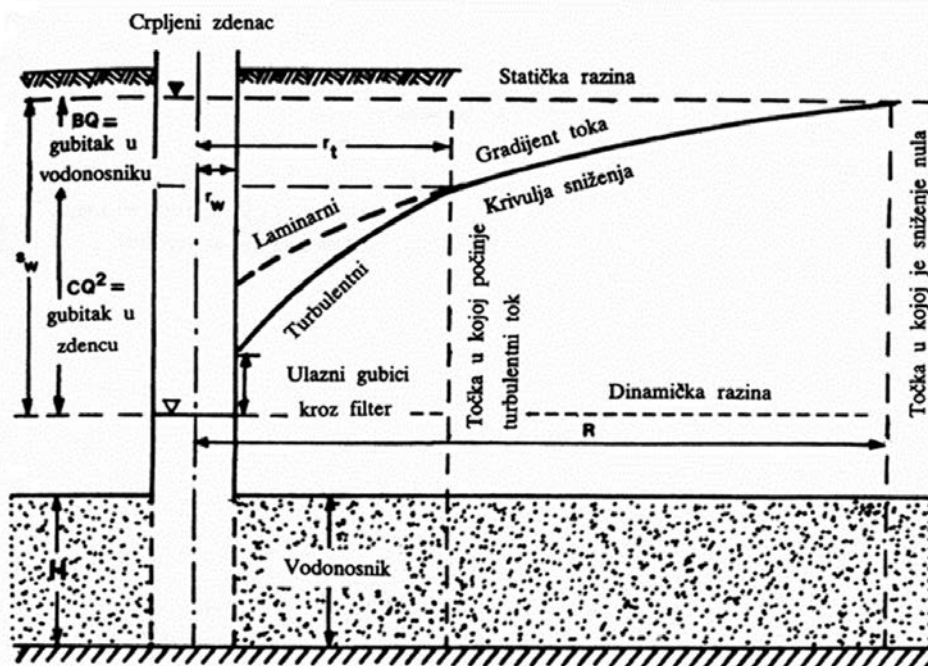
Jedan dio podataka o vodonosnom sloju moguće je dobiti samo na bazi analiza podataka iz mjernih pijezometara, dok se drugi podaci mogu postići iz podataka na samom zdencu. Pokusno crpljenje u stvari čini ispitivanje vodonosnog sloja odnosno karakteristike samog zdenca. Sukladno tome, ukupno ostvareno sniženje razine eksploativanoga zdenca čine slijedeće komponente:

$$s_w = BQ + CQ^2 \quad (4)$$

gdje su: s_w - sniženje u zdencu [m], Q količina vode kojom se zdenac crpi [m^3/s], B parametar otpora sloja [s/m^2] i C parametar otpora zdencu [s^2/m^5].

Rješenje jednadžbe sniženja dobiveno je grafičkim putem prema Jacobovoj metodi (Slika 2.). Vrijednosti dinamičke razine podzemne vode za različite kapacitete crpke prikazane su tabelarno u Tablici 1.

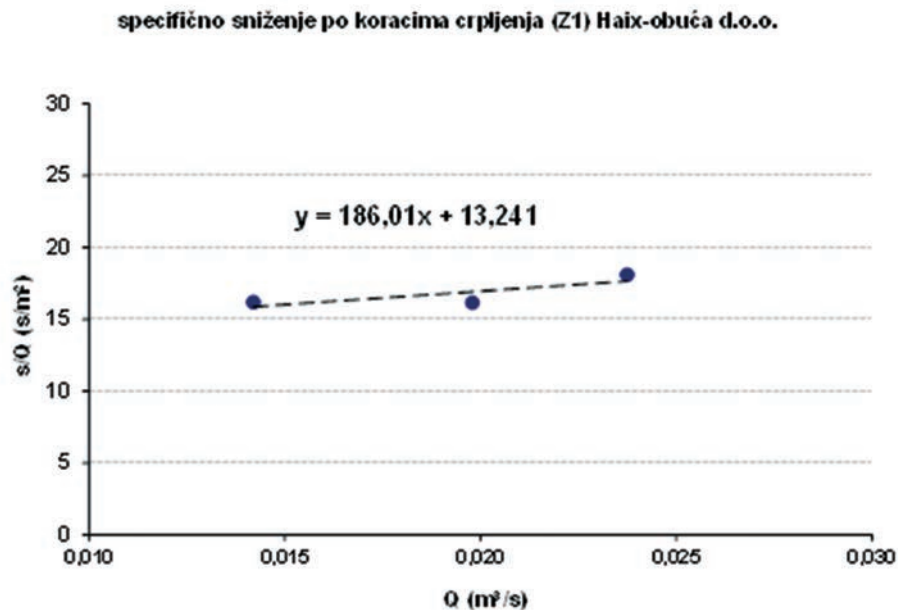
Komponenta BQ predstavlja gubitak u vodonosnom sloju u kojemu je sniženje uzrokovano otporom laminarnog toka u samom vodonosnom sloju, a komponenta CQ^2 predstavlja gubitak u zdencu uzrokovanim turbulentnim tokom vode u filterskom dijelu konstrukcije zdenca i dijelu vodonosnog sloja što je vidljivo na slici 1.



Slika 1. Prikaz sniženja na crpljenom zdencu

Tablica 2. Mjerenja dinamičke razine podzemne vode na pijezometru. Rezultat testa crpljenja u koracima (STEP TEST)

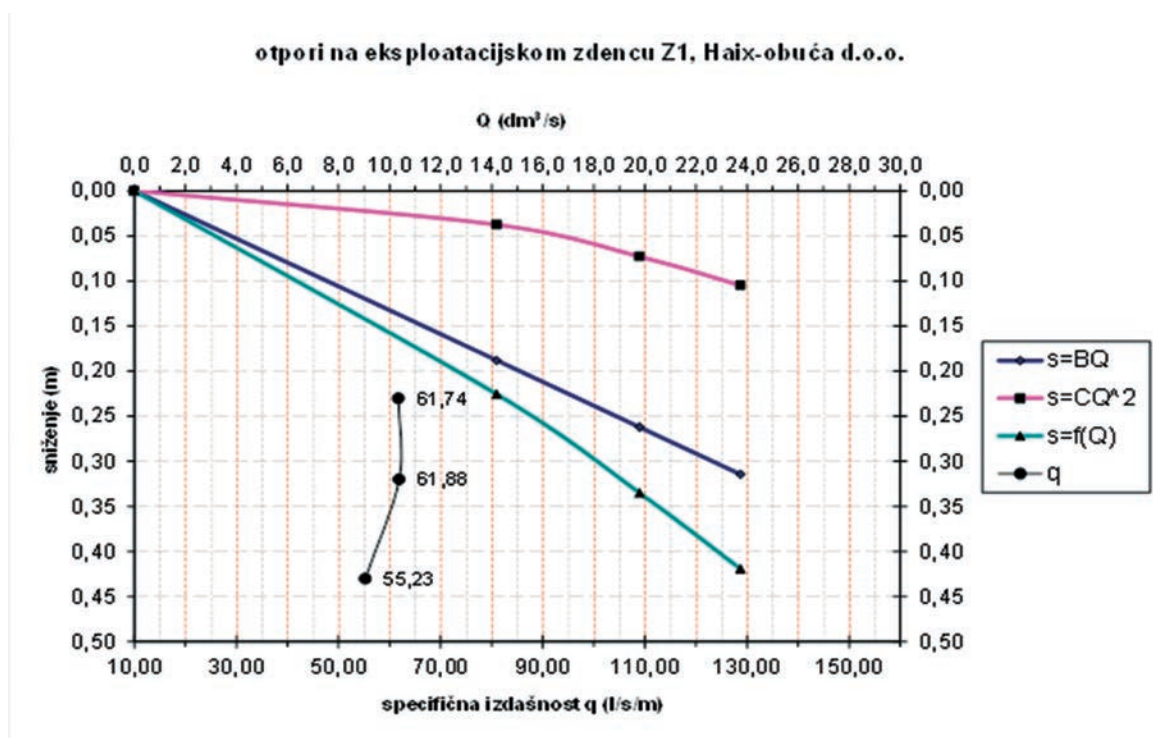
KORAK "T"	Crpna količina Q_i (m^3/s)	Sniženje s_i (m)	Prirast crp. Količine δQ_i (m^3/s)	Prirast sniženja δs_i (m)	Specifično sniženje s/Q (s/m^2)
1.	0.00000	0.0000			
2.	0.00750	0.1700	0.00750	0.1700	22.67
3.	0.01150	0.2600	0.00400	0.0900	22.61
4.	0.01700	0.4000	0.00550	0.1400	23.53



Slika 2. Izračun parametara gubitaka prema Jacobovoj metodi, zdenac

U Tablici 2. izračunate su za različite količine crpljenja vrijednosti specifičnog sniženja koje su prema Jacobovoj metodi potrebne za izračunavanje parametara otpora sloja $(B)(B)$ i otpora zdenca $(C)(C)$ što je vidljivo na Slici 2. Vrijednost za B dobivena je kao odsječak na ordinati i iznosi $B = 22,25 \text{ s/m}^2$, dok je vrijednost za parametar C dobivena iz omjera $C = \Delta(s/Q) / \Delta Q = 51,41 \text{ s}^2/\text{m}^5$.

Poznavanjem pokazatelja B i C može se izračunati sniženje u zdenču za bilo koju količinu crpljenja. Budući da parametar C nije ovisan od vremena trajanja crpljenja, komponenta sniženja uslijed otpora u zdenču koristi se za određivanje ukupnog sniženja u zdenču, ako se prethodno odredi teoretsko sniženje za određeni kapacitet crpljenja.



Slika 3. Gubici u eksploatacijskom zdenču i vodonosnom sloju

Jednadžba sniženja razine zdenca tada glasi:

$$s = 2,3 \cdot Q + 1,4 \cdot Q \quad (5)$$

Dobro projektiranje filtarskog dijela konstrukcije bunara može u većoj mjeri smanjiti gubitke, no ne može ih nikad potpuno eliminirati što je zorno predloženo na Slici 3. Odnos između nelinearnog parametra otpora zdenca (C) i konstrukcijskog stanja zdenca dan je prema Waltonu u Tablici 3.

Tablica 3. Odnos parametra C i stanja bunara

Koeficijent gubitaka na zdenca C (min ² /m ⁵)	Stanje zdenca
<0,5	Dobro projektiran i osvojen
0,5 do 1.0	Blago pogoršano zbog kolmatacije
1.0 do 4.0	Ozbiljno pogoršano zbog kolmatacije, začepljenja
> 4.0	Teško se regenerira na prvobitnu izdašnost

U ovom radu je obrađeno probno crpljenje s ciljem određivanja jednadžbe istražno-eksploatacijskog zdenca, te optimalnog režima crpljenja, hidrogeoloških parametara vodonosnika s analizom potrebnih utjecaja na okolne građevine kao i postojeće vodozahvate. Prilikom konstantnog crpljenja ujednačenom količinom Q = 42,91 l/s u trajanju od 11 sati, sniženje u eksploatacijskom zdencau pokazuje minimalno kolebanje dinamičke razine vode, odnosno vrlo brzo postiže se ravnotežno stanje crpljene količine i prihrane iz vodonosnika što je vidljivo na Grafikonu 5. Prilikom probnog crpljenja sniženje u eksploatacijskom zdencau pokazuje minimalna kolebanja dinamičke razine vode, čime se postiže relativno brzo ravnotežno stanje crpljene količine i dotoka iz vodonosnika.

3.2. Određivanje hidrogeoloških pokazatelja vodonosnika

Hidrogeološki parametri vodonosnika određeni su iz provedenog probnog crpljenja, s opažanjem sniženja razine podzemne vode na samom crpnom zdencau primjenom metode superpozicije za rješenje prema metodi Theis a uz korekciju Jacob-a.

$$s = \frac{Q}{4\pi \cdot T} \left(-0,5772 - \ln \frac{r^2}{4 \cdot T \cdot t} \right) \quad (6)$$

Hidrogeološki parametri vodonosnika određeni su iz provedenog povrata razine (recovery) na početnu razinu, opažanog na crpljenom pijezometru primjenom metode superpozicije za rješenje »Agarwal + Papadopulos & Cooper« u otvorenom vodonosniku prikazano u Tablici 4. Metoda ilustrira pretpostavku da ugrađeni filter zahvaća cijelu visinu vodonosnika. Analiza je provedena upotrebom računalnog programa »AquiferTest Pro 4.0«, proizvođača »Waterloo Hydrogeologic, Inc. 2004«.

3.3. Temperaturni probaj

Termin temperaturnog probaja pojavljuje se u kontekstu smanjenja temperaturne razlike eksploatacijskog i upojnog zdenca u sustavu dizalica topline. Naime, projektiranjem je važno pravilno odrediti udaljenost zdenaca baš zbog spomenutog problema. Pri projektiranju zdenaca važan je tok podzemne vode, geografski položaj, stupanj konsolidacije, prirodne temperature, geometrije i strukture vodonosnika, uskladištenje i faktor propusnosti slojeva.

U primjeru izvedenih zdenaca u Međimurju, zbog ograničenosti dimenzija parcele na kojoj su izvedeni zdenca pristupilo se izradi zdenaca na najvećoj mogućoj udaljenosti s obzirom na projektiranu crpnu količinu.

Zdenca su postavljena na udaljenost koja odgovara projektiranim primjerima udaljenosti od 40 m. No, nakon izvjesnog vremena, što najviše ovisi

Tablica 4. Hidrogeološki parametri vodonosnika dobiveni probnim crpljenjem

proba	hidraulička vodljivost – K [m/dan]	koeficijent vodoprovodnosti (transmisivnost) – T [m ² /dan]	koeficijent uskladištenja – S
probno crpljenje*	347	5200	0,12

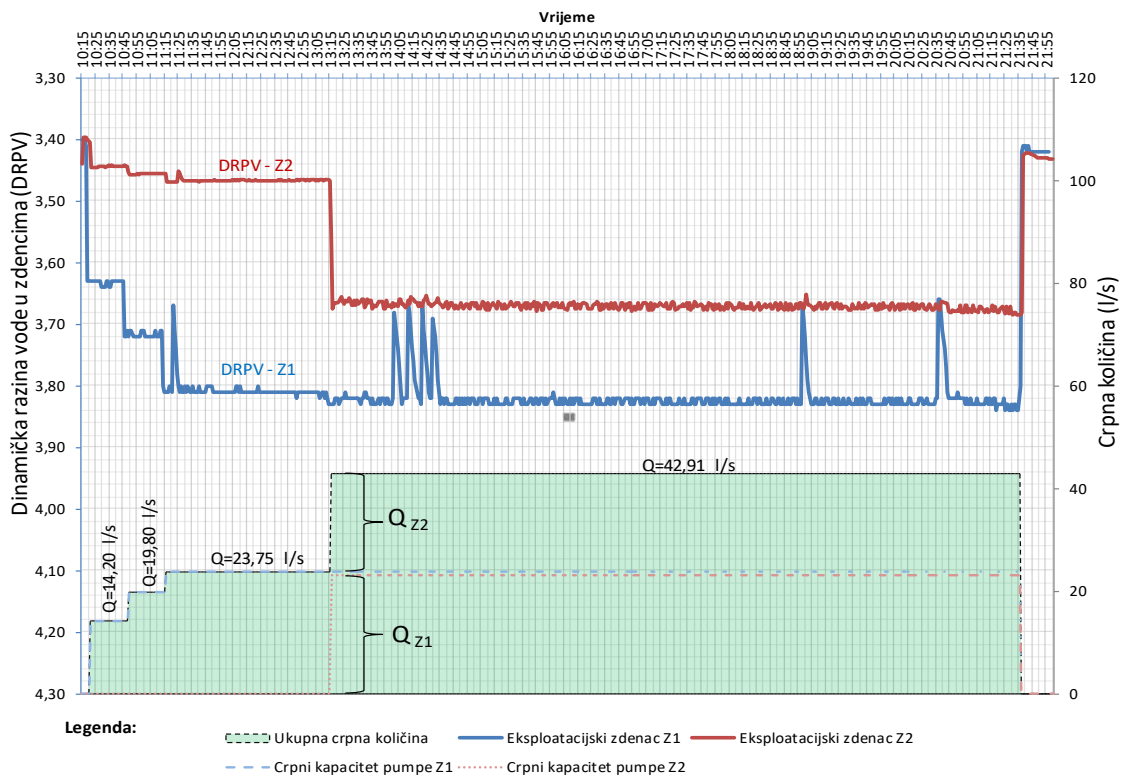
* Podaci za eksploatacijski zdenac »SC1« - RECOVERY TEST (mjerodavno)

Probno crpljenje eksploatacijskih zdenaca u sustavu hlađenja Haix OBUĆA d.o.o.

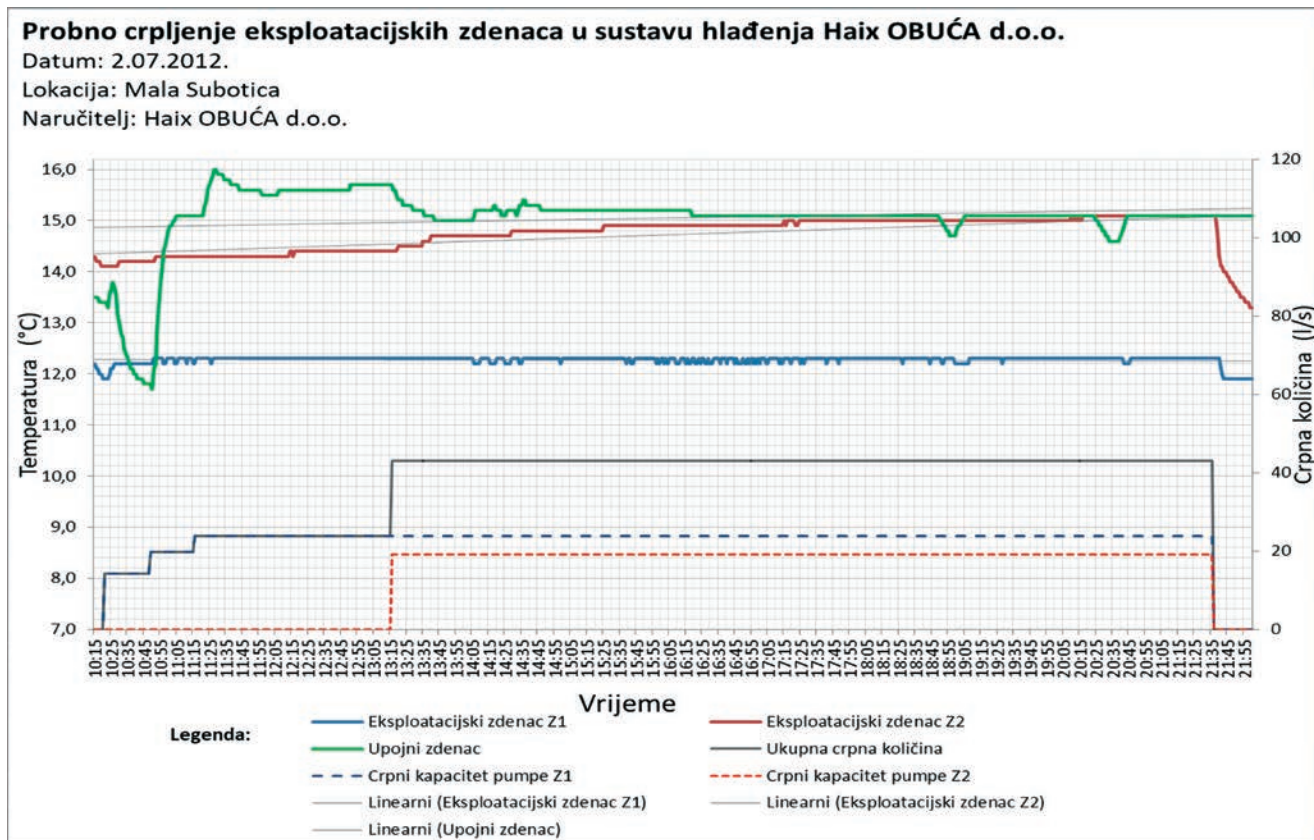
Datum: 02.07.2012.

Lokacija: Mala Subotica

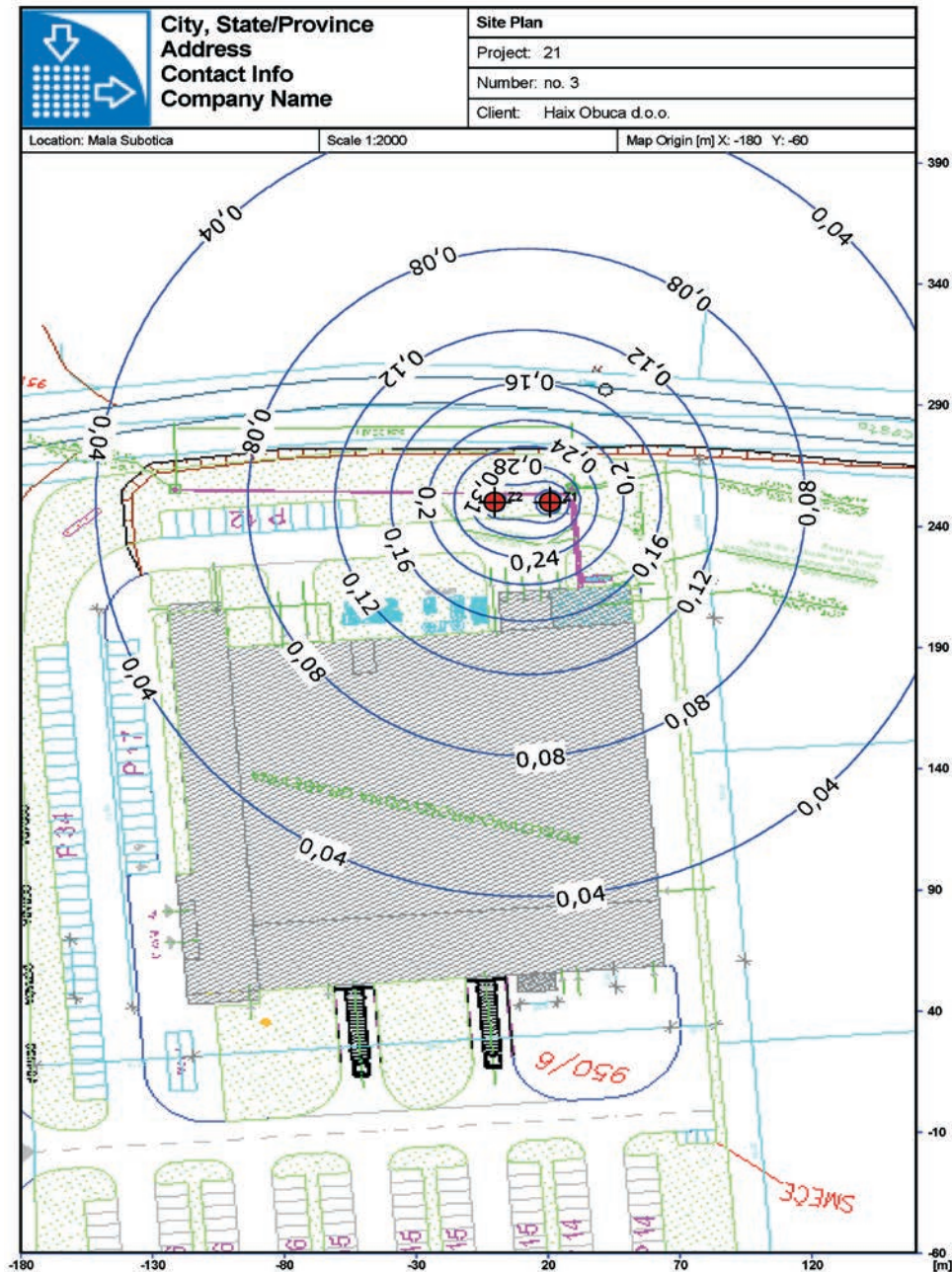
Naručitelj: Haix OBUĆA d.o.o.



Slika 5. Snižnja na zdencima za „konstant test“



Slika 6. Primjer temperaturnog proboga na zdencima u Međimurju



Slika 7. Utjecaj na sniženja razine podzemne vode zbog crpljenja eksploatacijskih zdenaca Z-1 i Z-2, maksimalnim crpnim količinama ukupno = 42,91 l/s, te uvjet 16 satnog neprekidnog crpljenja.

o udaljenosti zdenaca, godišnjoj crpnoj količini i debljini vodonosnog sloja, izlazni parametri grijane ili hlađene vode mogu dostići crpne parametre što dovodi do nepovoljne temperature crpne vode. Pri pojavi temperaturnog proboja, temperatura na upojnom zdencu se ne može prilagoditi, što znači da je premala temperaturna razlika na eksploatacijskom i upojnom zdencu. Kao posljedica javlja se potreba za većom količinom vode koju je potrebno crpiti kako bi se postigao isti energetski učinak, što uzrokuje pove-

ćanje termalnog proboja. Sve to rezultira smanjenom učinkovitošću grijanja ili hlađenja u sustavu dizalica topline.

Kako bi se spriječili nedostaci potrebno je povratiti ravnotežu energije, a to se postiže ubrzgavanjem više hladne vode ljeti ili više tople vode zimi.

Na konkretnom primjeru prikazanom na Slici 6. možemo vidjeti povećanje temperature na upojnom zdencu u relativno kratkom periodu crpljenja podzemne vode.

Zaključak

Dizalice topline u sistemu bunarske eksploatacije podzemne vode su pouzdan i efikasan način hlađenja i grijanja te mogu biti korištene u širokom spektru primjene. Područje sjeverozapadne Hrvatske prirodno je bogato podzemnom vodom te se potiče upotreba navedenog klimatizacijskog sistema. Dobrim projektiranjem može se u potpunosti iskoristiti podzemna voda kao obnovljivi izvor energije te time dugoročno ostvariti i znatne uštede unatoč početnim visokim financijskim ulaganjima.

Crpljenjem određene količine vode iz zdenca i mjerenjem sniženja razina podzemne vode u zdencu i pripadajućim pijezometrima određuju se hidrauličke

karakteristike vodonosnog sloja. Kod bušenja istražnih bušotina za zdenac iz pijezometra se uzimaju uzorci iz svake nove geološke formacije. Posebna pažnja odnosi se na veličinu zrna pojedinih materijala. Iz tih podataka razabire se hidraulička provodljivost slojeva koji tvore vodonosni sloj. Broj pokusnih crpljenja, konstruktivne karakteristike zdenaca i zahtjevi korisnika ishodišne su premise za primjenu metoda koje su ovdje predstavljene.

Može se zaključiti da se istražnim radovima u području inženjerstva okoliša, a koje nastavnim planom i programom obuhvaća Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, mogu znanstveno i stručno valorizirati podzemne vode kao obnovljivi izvor energije u sustavu dizalica topline, kako je ovim radom ilustrirano.

Literatura

1. AQTESOLV for Windows, developed by Glenn M. Duffield, HydroSOLVE Inc.
2. Bačani A. , Vlahović T. : Hidrogeologija primjena u graditeljstvu, Sveučilište u Splitu, fakultet građevinstva, arhitekture i geodezije, Split 2012.
3. Grdjan, D.: Teorija filtracije podzemnih voda i primjena (skripta), Geotehnički Fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin 2002.
4. Miletić P, Miletić Heinrich M. : Uvod u kvantitativnu hidrogeologiju, RGN-Fakultet sveučilišta u Zagrebu, Varaždin 1981.
5. Pollak, Z.: Hidrogeologija za građevinare, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 1995.
6. Strelec S., Grabar K, Filipović A.: Izvješće o izvedbi i probnom crpljenju istražno-eksploatacijskog zdenca »SC1« u sustavu dizalica topline za potrebe studentskog restorana i doma u Varaždinu, SPP d.o.o., Varaždin, 2013.
7. Todd K., Ground water hydrology, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1959.