Primer energetski efikasnog korišćenja subgeotermalnog resursa za potrebe klimatizacije prodajnog kompleksa

DEJAN R. MILENIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

PETAR B. DOKMANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

ANA M. VRANJEŠ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

MILAN R. VUKIĆEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Stručni rad

UDC: 620.97:550.36

DOI: 10.5937/tehnika2001038M

Za potrebe grejanja i hlađenja prodajnog kompleksa IKEA, u Beogradu, primenjeno je zahvatanje i iskorišćavanje podzemnih voda, kao subgeotermalnog resursa, posredstvom toplotne pumpe. Sa tri bušena bunara, čije su dubine 87-103 m, zahvaćene su podzemne vode karstne izdani. Na osnovu rezultata 1-godišnje probne eksploatacije bunara, u periodu juli 2017-avgust 2018, bilansne rezerve podzemnih voda, čija je temperatura u opsegu 22,0-22,9°C, iznose 10,8 l/s, što daje nominalnu raspoloživu toplotnu snagu sistema od 774 kW. Primenjeno rešenje klimatizacije prostora može da se oceni kao energetski efikasno, kako zbog efikasnosti sistema sa toplotnom pumpom „voda-voda“, tako i zbog ekološkog doprinosa, kroz supstituciju fosilnih goriva. Preliminarna ekonomska analiza pokazuje da se ukupna finansijska ulaganja u primenjeni sistem klimatizacije, u poređenju sa „konvencionalnim“ alternativnim rešenjem, isplate nakon nepunih šest godina.

Ključne reči: podzemne vode, toplotna pumpa, klimatizacija, energetska efikasnost, Beograd

1. UVOD

Na području opštine Grocka, u Beogradu (slika 1) izgrađena je robna kuća sa pratećim sadržajima Kompanije IKEA. Generalno opredeljenje ove Kompanije, u pogledu grejanja i hlađenja prostora, bilo je korišćenje obnovljivih izvora energije. S obzirom na povoljne hidrogeološke (HG) karakteristike prostora na kome je izgrađen prodajni kompleks, konačno opredeljenje bilo je zahvatanje i iskorišćavanje podzemnih voda (PV) kao subgeotermalnog resursa (SGTR). Pod SGTR se podrazumeva PV sa temperaturom nižom od 30°C, koja se, kada je u pitanju grejanje prostora, ne može koristiti direktno, već posredstvom toplotnih pumpi (TP) [1]. Istraživanja su sprovedena u periodu 2016–2018. godina, po sledećim fazama: I faza–istražno bušenje, izrada i testiranje tri bušena bunara; II faza - monitoring izdašnosti bunara, nivoa i kvaliteta

PV na budućem izvoristu i izrada elaborata o bilansnim rezervama PV. U pogledu resursa, sistem se sastoji iz tri bunara: B-1, B-2 i B-3, od kojih bunar B-2 pored eksploatacione funkcije ima i funkciju upojnog bunara. Bunar B-2 prima deo „energetski iskorišćenih“ PV, a deo se upušta u otvoreni površinski tok, koji se nalazi neposredno pored prodajnog kompleksa.

Slika 1 - Geografski položaj istražnog područja sa ucrtanom lokacijom objekta „IKEA Beograd“

Adresa autora: Dejan Milenić, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Đušina 7
e-mail: dejan.milenic@rgf.bg.ac.rs

Rad primljen: 23.09.2019.

Rad prihvaćen: 12.02.2020.

2. HIDROGEOLOŠKA SVOJSTVA TERENA

Na širem području istraživanja mogu da se izdvoje sledeći tipovi izdani (slika 2):

1. Zbijena izdan, formirana u okviru aluvijuma (al) Zavojničke reke.
2. Uslovno bezvodni delovi terena, koje čine deluvijalni (d) i lesni (l) nanosi.
3. HG kompleks, koji čini smena uslojenih vodo-
propusnih (i vodonosnih) klastita i vodonepropu-
snih glinovitih sedimenata. Formiran je u okviru
panonske (M_3^1) serije sedimenata.
4. Karstna izdan, u okviru badenskih i sarmatskih
(M_2^1 , M_2^2) krečnjaka i u okviru turon-senonskih
($K_2^{2,3}$) krečnjaka.
5. Pukotinska izdan, u okviru (krednih) serpentinita
(Se) i paleogenih lamprofira i andenzita (λPg).

Slika 2 - Šematizovana hidrogeološka karta i profil terena u široj zoni prodajnog kompleksa IKEA (geološka podloga: OGK SFRJ, 1:100000, list Pančevo [2])

U fokusu istraživanja bila je karstna izdan u okviru baden-sarmatskog kompleksa, koja je, na širem području Beograda, već bila verifikovana kao produktivna vodonosna sredina, čije su PV kaptirane za različite namene korišćenja [3, 4, 5, 6]. U neposrednoj okolini istražnog područja, PV karstne izdani bile su kaptirane bušenim bunarima za potrebe komunalnog vodosnabdevanja u naseljima Vrčin i Leštane, kao i za tehničko vodosnabdevanje nekoliko privrednih subjekata. Bitan argument za realizaciju ovako koncipiranih istraživanja bio je taj da je (daskorašnje) izvoriste za komunalno vodosnabdevanje naselja Vrčin, čiji su

bunari kaptirali PV karstne izdani, napušteno, zbog priključenja ovog naselja na centralizovano vodosnabdevanje, na nivou grada Beograda. Time je eliminisana mogućnost da, zbog prostorne blizine, rad budućeg izvorišta IKEA ostvari negativan hidraulički uticaj i smanji kapacitet (bivšeg) komunalnog izvorišta.

Dodatni argument za realizaciju ovako koncipiranih istraživanja bio je i taj što se PV karstne izdani, na širem području, istraživanja odlikuju povišenim (u odnosu na prosečni geotermijski gradijent) temperaturama, što je u vezi sa avalskim tercijarnim magmatizmom [4, 6]

3. REALIZOVANI ISTRAŽNI RADOVI I DOBIJENI REZULTATI

Na osnovu analogije sa susednim terenima, u kojima su izvođena HG istražna bušenja i bunari, projektovana je izrada tri istražne bušotine okvirnih dubina do oko 100 m, odnosno, do „ulaska“ u serpentinite, koji čine neposrednu podinu karstne izdani [7].

Na osnovu rezultata istražnih bušenja i karotažnih merenja, konstatovano je prisustvo vodonosnih krečnjaka u sva tri nabušena profila (tabela 1).

Sve tri bušotine su proširene i „pretvorene“ u bunare (B-1, B-2 i B-3) sa odgovarajućim tehničkim profilima, pri čemu, vodoprijemni delovi nisu „pokrivljeni“ bunarskim filtrima niti zasipom, već je ostavljen „open hole“ (tabela 1).

Tabela 1. Osnovne tehničke i litološke karakteristike bunara na izvoristu IKEA

		B -1		B -2		B -3	
Dubine istražnih bušotina (m)		97		103		87	
Proširenja istražnih bušotina (Bušenje bunara)	Dubina(m)	0 -66	66-97	0-51	51-70	0-61,7	61,7-80
	Prečnik (mm)	444,5	311	444,5	311	444,5	311
Bunarske obložne kolone	Dubina (m)	0-66		0 - 51		0-61,7	
	Prečnik (mm)	323					
Vodoprijemni „open hole“ intervali dubine (m)		66 - 97		51 - 103		61,7 – 87	
Intervali dubine vodonosnih krečnjaka (m)		66 – 91,7		51 - 93		61,7 – 65,5	

Hidrodinamički parametri karstne izdani sračunati su na osnovu podataka merenja (neustaljenog) sniženja NPV (S) i ustaljene izdašnosti (Q), tokom realizacije kratkotrajnih pojedinačnih testova crpenja svakog od

tri (subarteska) bunara (tabela 2). Podaci su obradjeni u softveru „Aquifer Test Pro“, po metodi Tajsa. Veličine transmisivnosti su u opsegu $T = 2,26 - 4,4 \times 10^{-3}$ m²/s, a veličine hidrauličkog konduktiviteta u opsegu $K = 1,13 - 1,57 \times 10^{-4}$ m/s

Tabela 2. Osnovni parametri kratkotrajnih pojedinačnih testova crpenja bunara

Bunar ↓	Parametar →	Q (l/s)	S (m)	T (m ² /s)	K (m/s)
B-1		9	2,78	$4,4 \times 10^{-3}$	$1,57 \times 10^{-4}$
B-2		8	2,79	$2,26 \times 10^{-3}$	$1,13 \times 10^{-4}$
B-3		7	1,89	$2,91 \times 10^{-3}$	$1,45 \times 10^{-4}$

Dugotrajni spregnuti testovi crpenja tri bunara nisu sprovedeni, s obzirom da se, ubrzo nakon njihove izrade krenulo sa probnom eksploatacijom, u skladu sa energetskim potrebama tada novoootvorenog prodajnog kompleksa. Na osnovu procene energetskih potreba, u probnu eksploataciju su bila uključena dva bunara: B-1 i B-3, dok je bunar B-2 ostavljen kao rezerva. U tehničkom smislu, bunar B-1 je definisan kao primarni eksploatacioni bunar, koji obezbeđuje zahvat PV do 10 l/s, dok se bunar B-3 uključivao u rad samo povremeno. Jednogodišnji monitoring izdašnosti bunara, nivoa i kvaliteta zahvaćenih PV sproveden je u periodu 01.08.2017-31.07.2018, u skladu sa odredbama aktuelnog Pravilnika [8]. Na osnovu rezultata sprovedenog monitoringa (slika 3), bilansne rezerve PV iznose 10,8 l/s, od čega prosečni doprinos bunara B-1 iznosi 8,6 l/s [9].

Režim probne eksploatacije (slika 3) je bio takav da se bunar B-3 uključivao samo povremeno, te da je, sa prosečnim proticajem od 2,2 l/s, bio značajno ispod svog maksimalnog kapaciteta. Kolebanja NPV takođe

ukazuju da je prosečan režim sumarne eksploatacije izvorišta bio ispod njegovog maksimalnog kapaciteta, s obzirom da, ni u jednom od crpenih bunara, NPV nije bio ispod 53 m dubine, dok njihovi vodoprijemni intervali počinju na dubinama (tabela 1) od 66 m (B-1) i 61.7 m (B-3).

Temperature zahvaćenih PV (iz oba bunara) bile su u opsegu 22,0-22,9 °C, što predstavlja izuzetno stabilan godišnji temperaturni režim. Kada je u pitanju hemijski sastav, PV iz oba bunara odlikuju se velikom sličnošću. U pitanju su malomineralizovane (suvi ostatak je 299-310 mg/l), hidrokarbonatno-natrijumsko-magnezijumske vode, sa $pH=8$ i ukupnom tvrdoćom od 9,6-10 °dH [9].

Relativno niske koncentracije kalcijuma mogu da se objasne time što badensko-sarmatski vodonosni kompleks, pored krečnjaka, izgrađuju i (vodonosni) peskovi i šljunkovi, dok je relativno visok sadržaj magnezijuma, verovatno posledica hidrauličke veze sa PV u okviru podinskih (relativno vodonosnih) serpentinita.

Slika 3 - Uporedni dijagrami 5-dnevno merenih proticaja i NPV u bunarima

Osnovne karakteristike kaptiranih PV prikazane su formulom Kurlova (1):

$$M_{299-310} \frac{HCO_{81}^3 CL_{17} SO_2^4}{Na + K_{52} Mg_{36} Ca_{12}} Q_{10,8} T_{22,06-22,97} (1)$$

4. EFIKASNOST PRIMENJENOG REŠENJA

Efikasnost primenjenog rešenja klimatizacije objekta ogleda se u sledećem: 1/energetskoj efikasnosti sistema, 2/ekonomskoj isplativosti i 3/ekološkom doprinosu.

Energetska efikasnost - Koeficijent efikasnosti TP (COP) predstavlja odnos između dobijenog toplotnog kapaciteta i električne energije angažovane za pogon TP [10, 11]. Generalno, u slučaju TP „voda-voda“, vrednost COP je 3,0-6,5 [1]. To znači da, za 1 kW uložene električne energije (za pogon TP), može da se dobije od 3 do 6,5 kW_t toplotne energije, zavisno od većeg broja faktora: visina i odnosa spoljne i unutrašnje temperature vazduha, da li je u pitanju grejanje ili hlađenje prostora, vrste unutrašnjih instalacija za grejanje/hlađenje prostora i dr. U opštem slučaju, količina toplotne snage koja se može generisati posredstvom TP „voda-voda“, izražava se obrascem (2) [12-modifikovano]

$$E = C_p \cdot Q \cdot \Delta T \quad (2)$$

gde je:

E - nominalna raspoloživa snaga (kW)

C_p - specifična toplota PV: 4,2 KJ/kg/°C

Q - izdašnost vodozahvata (kg/s)

ΔT - temperaturna redukcija koja se može ostvariti u TP (°C)

Kada se u gornji obrazac unesu reprezentativne (proistekle iz sprovedenih istraživanja) veličine Q (10,8 l/s) i ΔT (17,06°C), dobija se nominalna raspoloživa količina toplotne snage od 774 kW_t.

Ekonomska isplativost - Preliminarna ekonomska analiza primenjenog rešenja izvedena je kroz poređenje sa alternativnom opcijom uvođenja daljinskog grejanja „Beogradskih elektrana“ [9]. Analiza je bazirana na procenjenim investicionim i eksploatacionim troškovima oba rešenja. Iz odnosa navedenih troškova period povrtaka investicije u sistem sa toplotnim pumpama u odnosu na daljinsko grejanje je nepunih 6 godina.

Isplativost sistema TP je i veća uzimajući u obzir da sistem pri istim investicionim troškovima obezbeđuje i energiju za hlađenje objekta, dok drugo rešenje zahteva instalaciju dodatnih sistema za hlađenje, poput čilera, te povećanje investicionih i eksploatacionih troškova.

Tabela 3. Osnovni ekonomski pokazatelji uporedne analize primenjenog i alternativnog rešenja

		Primenjeno rešenje (TP)	Daljinsko grejanje
1	Ukupna kapitalna investicija (EUR)	712,120	245,000
2	Razlika u kapitalnoj investiciji (EUR)	+467.120	
3	Eksploatacioni troškovi (EUR/god.)	24,153	107,600
4	Razlika u ekspl. troškovima (EUR/god.)	-83,447	
Period povraćaja ulagaja: 2/4		5,6 godina	

Ekološki doprinos - Ogleda se u supstituciji, odnosno, smanjenju potrošnje fosilnih goriva i smanjenju emisije „gasova staklene bašte“. TP koje, kao pogon, koriste električnu energiju, doprinose smanjenju emisije CO₂ za oko 45%, u odnosu na naftne kotlove i za oko 33%, u odnosu na gasne kotlove [13]. Za proizvodnju 1 kWh energije iz gasa u atmosferu emituje se od oko 450 g do 1250 g CO₂, odnosno od oko 850 g do 1300 g CO₂ sagorevanjem uglja [14].

5. ZAKLJUČAK

Zahvatanje i iskorišćavanje PV kao SGTR, posredstvom TP „voda-voda“, primenjeno je kao rešenje za namirenje energetskih potreba za grejanje i hlađenje prodajnog kompleksa IKEA, u Beogradu. Sa 3 bušena bunara, čije su dubine 87-103 m, zahvaćene su PV karstne izdani, formirane u okviru krečnjaka sarmatortonskog kompleksa. Na osnovu 1-godišnjeg monitoringa efekata probne eksploatacije, bilansne rezerve PV iznose 10,8 l/s, što je manje od realnog kapaciteta izvorišta.

Sa minimalnom temperaturom kaptiranih malomineralizovanih PV od 22,0°C, nominalna raspoloživa snaga sistema iznosi 774 kW_t. Primenjeno rešenje klimatizacije prostora može se oceniti kao energetski efikasno, kako zbog efikasnosti sistema TP „voda-voda“, tako i zbog supstitucije fosilnih goriva što se ogleda u smanjenju emisije štetnih gasova.

Preliminarna ekonomska analiza pokazuje da se ukupna finansijska ulaganja u primenjeni sistem klimatizacije (u poređenju sa „konvencionalnim“ alternativnim rešenjem) isplate nakon nepunih šest godina. Primenjeno rešenje može se oceniti kao održivo, pre svega zato što se koristi lokalno raspoloživi obnovljivi izvor energije, sa postojanim količinama, temperaturom i kvalitetom.

LITERATURA

- [1] Milenic D, Vranjes A, *Istraživanje i valorizacija subgeotermalnih resursa*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2015.
- [2] Grupa autora: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list „Pančevo“, Savezni geološki zavod, Beograd, 1984.
- [3] Milojević N, Filipović B, Dimitrijević N, *Hidrogeologija teritorije grada Beograda*, Univerzitet u Beogradu, 1977.
- [4] Milivojević M, *Paleohidrogeotermalne pojave Avale*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1982.
- [5] Dokmanović P, *Hidrogeologija tercijarnih basena Srbije*, Zadužbina Andrejević, Beograd, 1999.
- [6] Vranješ A, *Hidrogeotermalni resursi teritorije Grada Beograda*, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, 2012.
- [7] Doroslovac N, *Projekat primenjenih hidrogeoloških i geotermalnih istraživanja za potrebe višenameenskog korišćenja podzemnih voda u krugu poslovnog kompleksa IKEA u naselju Bubanj Potok-opština Grocka*, „Quince M Pro“, Beograd, 2016.
- [8] Pravilnik o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi podzemnih voda i vođenju evidencije o njima, Službeni list SFRJ 34/79
- [9] Dokmanović P, Vukićević M, *Elaborat o rezervama podzemnih voda sa izvorišta u krugu robne kuće IKEA u Beogradu*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2018.
- [10] Milenic D, et al, *Criteria for use of groundwater as renewable energy source in geothermal heat pump systems for building heating/cooling purposes*, Energy and Buildings 42, pp. 649–657, 2010.
- [11] Stober I, Bucher K, *Geothermal Energy. From Theoretical Models to Exploration and Development*, Springer, pp. 75, 2013.
- [12] Lund J, Freeston H, World-wide Direct Uses of Geothermal Energy 2000, *Geothermics*, Vol. 30, No.1, pp. 29-68, 2001.
- [13] Fridleifsson I, et al. The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change, *Proceedings of IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources*, Luebeck, Germany, pp. 59-80, 2008.
- [14] Armannsson H, CO₂ emission from geothermal plants, *Proceedings of International Conference Reykjavik*, Iceland, 2003.

SUMMARY

AN EXAMPLE OF ENERGY EFFICIENT USE OF SUBGEOTHERMAL RESOURCE FOR THE AIR- CONDITIONING OF SALES COMPLEX

For the air-conditioning of the IKEA sales complex in Belgrade, the exploitation of groundwater, as a subgeothermal resource, was carried out, using a heat pump. The groundwater from a karst aquifer is abstracted by the three drilled wells, the depths of which are 87-103m. Based on the results of the 1-year trial exploitation, in the period August 2017-July 2018, balance reserve of the groundwater is 10.8 l/s, with temperatures in the range 22.0-22.9 °C, which gives the nominal available thermal power of the system of 774 kWt. The applied air-conditioning solution can be assessed as energy efficient, due to the efficiency of the "water-water" heat pump system, as well as to an environmental contribution, by the substitution of fossil fuels. Preliminary economic analysis shows that total financial investments in the system, compared with the "conventional" alternative solution, are paid after less than six years.

Key words: groundwater, heat pump, air-conditioning, energy efficiency, Belgrade