

ISPITNA GEOTERMALNA DIZALICA TOPLINE SA SONDOM DUBINE 100 METARA

TEST GEOTHERMAL HEAT PUMP WITH A 100 m DEEP BOREHOLE HEAT EXCHANGER

doc.dr.sc. Vladimir SOLDO*
doc.dr.sc. Miroslav RUŠEVLJAN
prof.dr.sc. Tonko ĆURKO

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Ivana Lučića 5, 10 000 Zagreb

*e-mail: vladimir.soldo@fsb.hr, tel.: +385 1 6168 235, fax.: +385 1 6168 512

SAŽETAK

Na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje, u sklopu znanstvenog projekta koji se provodi uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa pod nazivom *Korištenje tla kao obnovljivog toplinskog spremnika*, izvedena je dizalica topline s izmjenjivačem u vertikalnoj bušotini dubine 100 m. U suradnji s tvrtkom FIL.B.IS. Hidro-Geo u neposrednoj je blizini laboratorija u bušotinu promjera 152 mm postavljena izmjenjivačka sonda u obliku dvostruke U cijevi. Uz izmjenjivač topline u bušotinu su vlastitom originalnom tehnologijom položeni temperaturni osjetnici, koji omogućuju mjerenje temperature tla na različitim dubinama: od 1,5 m pa do 100 m. Temperaturni osjetnici omogućuju praćenje promjene temperature na površini kontakta između tla i bušotine tijekom njezine eksploatacije.

Prilikom izvedbe bušotine od strane geologa su uzeti uzorci tla po visini bušotine, koji će biti korišteni pri analizi prijelaza topline.

Nakon polaganja toplinske i temperaturnih sondi bušotina je zapunjena specijalnom smjesom bentonita i cementa povećane toplinske vodljivosti. Nakon toplinske stabilizacije bušotine na dubini 50 m izmjerena je temperatura 13,5 °C, a na dubini 100 m temperatura 15,2 °C.

1. UVOD

Dizalice topline su visokoučinkoviti sustavi putem kojih se neiskorištena ili neposredno neiskoristiva energija pretvara u iskoristivu toplinsku energiju. Primjenjuju se u svim veličinama, od onih najmanjih za grijanje pojedinačnih životnih prostora, pa sve do sustava koji služe za grijanje čitavih naselja. Više o osnovama i načelima rada dizalica topline može se naći u prethodnim radovima [1, 2].

Korištenje dizalica topline s tлом kao obnovljivim spremnikom topline bilježi u svijetu jedan od najbržih porasta u području primjene obnovljivih izvora energije mjereno brojem instaliranih jedinica. Procjenjuje se da je u svijetu instalirano više od 1,7 milijuna geotermalnih dizalica topline s tлом ili vodom kao izvorom topline, s učinkom grijanja približno 18 GW [3].

Ovakvi su sustavi široko prihvaćeni u tehnološki razvijenom svijetu, primjerice u Švedskoj, SAD, Švicarskoj, Austriji, Njemačkoj i Turskoj. Najveće polje vertikalnih bušotina u Europi nalazi se u Norveškoj, 180 bušotina, svaka dubine 200 m [4]. U SAD je 600 škola opremljeno s dizalicama topline tlo-voda, s vertikalnom izvedbom izmjenjivača topline u tlu [4].

S ciljem istraživanja novih tehnologija pokrenuta je ideja o razvoju ispitnog sustava s geotermalnom dizalicom topline. Eksperimentalni sustav s izmjenjivačem u vertikalnoj bušotini dubine 100 m koji je izveden u sklopu Laboratorija za toplinu i toplinske uređaje pri Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu jedini je takve vrste u Hrvatskoj.

Rezultati mjerenja na ispitnom sustavu poslužiti će optimiranju rada dizalice topline u odnosu na promjenu toplinskog množitelja (COP) dizalice topline, s ogrjevnim i/ili rashladnim učinkom. Iz navedenih razloga, dizalica topline koja je instalirana na FSB-u je reverzibilna. U ljetnom razdoblju ona će hladiti prostor laboratorija, a u zimskom grijati. To znači da će se u ljetnom razdoblju toplina predavati tlu, a u zimskom vremenu oduzimati od tla.

2. IZVEDBA DIZALICE TOPLINE

2.1 Izvedba bušotine dubine 100 m

U suradnji s tvrtkom FIL.B.IS. Hidro-Geo koja sudjeluje u realizaciji znanstvenog projekta koji se provodi uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa pod nazivom *Korištenje tla kao obnovljivog toplinskog spremnika*, u neposrednoj blizini laboratorija izvedena je bušotina promjera 152 mm, dubine 100 m. Bušenje je provedeno primjenom zaštitnih kolona (*Slika 1*). Zaštitne kolone, izvedene u obliku čeličnih cijevi vanjskog promjera 152 mm i dužine 1,5 m, tijekom bušenja se ugrađuju u bušotinu. Ispiranje sastojaka zemlje provodi se pomoću mješavine vode i bentonitne gline, koja se do bazena na površini protiskuje s vanjske strane kolone.



Slika 1. a) Bušilica, pumpa i ostali pribor za bušenje; b) Bušenje u zaštitnoj koloni

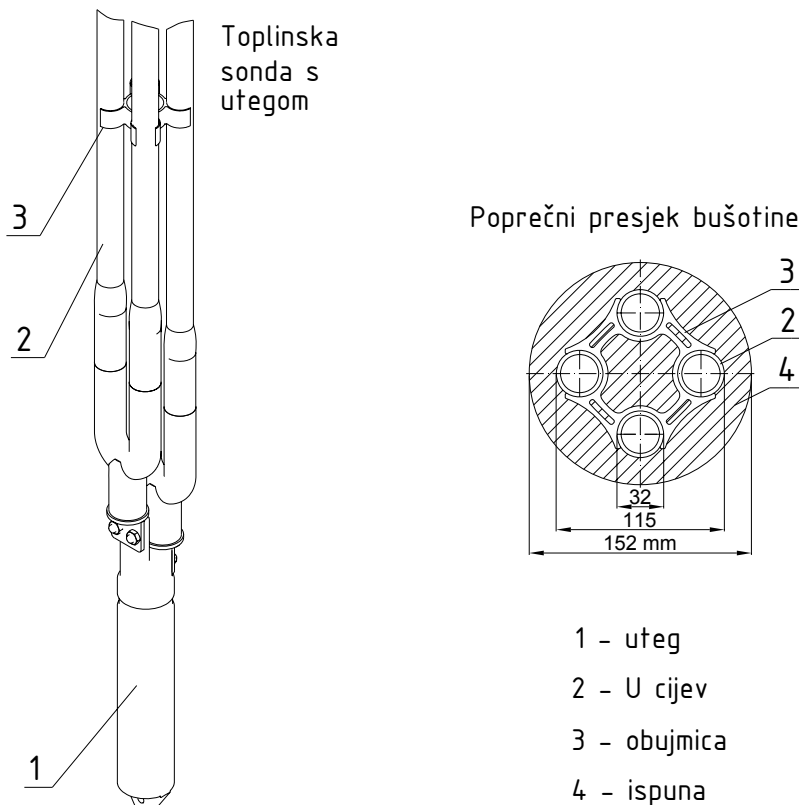
Slika 2 prikazuje dio uzoraka tla koji su uzimani na raznim dubinama bušotine. U početnih desetak metara tlo je sitno šljunčano, zatim postaje pjeskovito, da bi nakon petnaestak metara tlo bivalo zaglinjeno, i tako sve do 100 metara dubine.



Slika 2. Uzorci tla po visini bušotine

2.2. Ugradnja toplinske [5] i temperaturnih sondi

Nakon bušenja u bušotinu je postavljena sonda-izmjenjivač topline u obliku dvostruke U cijevi, koja je proizvedena u tvrtki "Haka Gerodur" iz Švicarske (Slika 3). Dvostruka U cijev izvedena je iz polietilena visoke gustoće PE 100 i promjera je 32 mm.



Slika 3. a) Dvostruka U cijev s utegom; b) Poprečni presjek bušotine s izmjenjivačem topline i ispunom

Prije polaganja sonde u bušotinu provedena je tlačna proba dvostruke U cijevi s vodom tlaka 6 bara u trajanju dva sata (Slika 4a). Cijevi sonde su napunjene vodom prije njezinog polaganja u bušotinu. Uz izmjenjivač topline u bušotinu su vlastitom originalnom tehnologijom položeni i temperaturni osjetnici, koji omogućuju mjerenje temperature tla na različitim dubinama: od 1,5 m pa do 100 m (Slika 4b). Temperaturni osjetnici omogućuju dugoročno praćenje promjene temperature na površini kontakta između tla i bušotine tijekom njezine eksploatacije. Osjetnici su položeni s unutarnje strane lisnatih opruga, koje su učvršćene na distancnim obujmicama.

Distancne obujmice su postavljane na razmacima od 2,5 m, radi što boljeg centriranja sonde u bušotini i održavanja razmaka između PE cijevi. Lakšoj ugradnji sonde i njezinom boljem centriranju pomaže i uteg mase 30 kg, koji je prije ulaganja u bušotinu obješen na donjem kraju sonde.



Slika 4. a) Tlačna proba; b) Polaganje izmjenjivača i temperaturnih osjetnika

Temperaturna sonda s petnaest osjetnika, koja je u bušotinu ugrađena zajedno s toplinskom sondom, prethodno je složena u laboratoriju, pri čemu su žice termoparova tipa K zaštićene ulaganjem u zaštitno crijevo (Slika 5).



Slika 5. a) Priprema temperaturne sonde s termoparovima; b) Pozicioniranje termopara prilikom polaganja sonde

2.3 Cementiranje bušotine

Nakon polaganja toplinske i temperaturne sonde bušotina je zapunjena specijalnom smjesom bentonita i cementa dobre toplinske vodljivosti. Upotrijebljena je gotova smjesa, proizvod tvrtke HeidelbergCement, tip ThermoCem, toplinske vodljivosti 2,0 W/(m K).

Cementiranje bušotine provedeno je korištenjem specijalne pumpe s mješalicom za tu namjenu koja omogućuje računalno kontroliranu pripremu smjese (*Slika 6*). Gustoća smjese za cementiranje je 1460 kg/m^3 , a dobiva se tako da se na 810 kg punila dozira 610 litara vode.



Slika 6. a) Pumpa za cementiranje; b) Završetak cementiranja

Cementiranje bušotine se provodi pomoću pete cijevi, promjera 32 mm, koja se uvlači između cijevi toplinske sonde. Tijekom cementiranja postupno se iz bušotine izvlači zaštitna kolona, pri čemu lisnate opruge nakon uklanjanja cijevi kolone guraju termoparove na površinu kontakta tlo-punilo. Tijekom cementiranja peta cijev se postupno izvlači van.

2.4 Spajanje toplinske sonde s dizalicom topline

Toplinska sonda je spojena s dizalicom topline elektrofuzijskim zavarivanjem njezinih cijevi s polaznom i povratnom PE cijevi koje su uvedene u zgradu laboratorija ispod temelja na dubini 1,5 m (*Slika 7*). Spajanje polazne i povratne cijevi dizalice topline s cijevima dvostruke U sonde izvedeno je korištenjem prelaznih elektro otpornih PE-HD spojnica i "Y" fazonskih komada.



*Slika 7. a) Elektrofuzijsko zavarivanje toplinske sonde s polaznom i povratnom cijevi;
b) Uvođenje temperaturne i toplinske sonde u zgradu laboratorija*

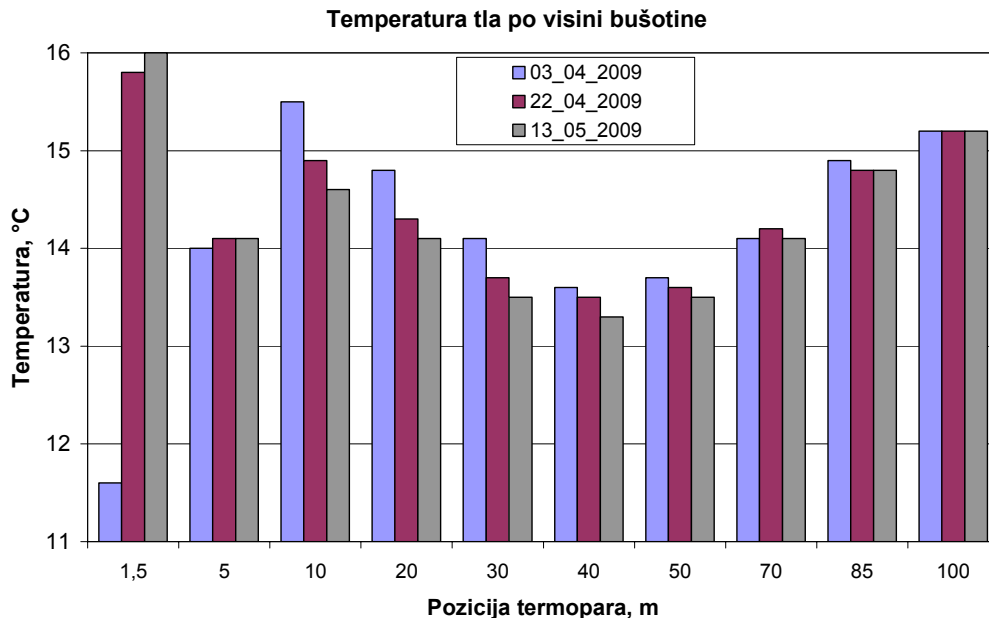
Dizalica topline voda-zrak postavljena je unutar laboratorija i spojena na izmjenjivač topline u bušotini. Koristeći tlo kao toplinski spremnik dizalica topline ima mogućnost rada u režimu hlađenja i režimu grijanja (*Slika 8*), a opremljena je s temperaturnim osjetnicima, te protokomjerom na strani vode. Svi osjetnici su preko akvizicijskog uređaja vezani na računalo, čime je omogućeno praćenje i spremanje podataka.



Slika 8. Dizalica topline voda-zrak s mjernom opremom

3. TEMPERATURA TLA NAKON SMIRIVANJA BUŠOTINE

Smirivanje bušotine nakon cementiranja praćeno je mjerenjem temperature tla po visini bušotine (Slika 9). Na dubini 1,5 i 5 metara primjetan je utjecaj okolišnje temperature na temperaturu tla. Od 10 do 50 metara temperatura tla pada, da bi nakon 50 metara dubine, temperatura rasla sve do 100 m. Izmjerena temperatura tla na dubini 50 m iznosi 13,5 °C. Temperatura tla na dubini 100 m je 15,2 °C.



Slika 9. Rezultati mjerenja temperature tla po visini bušotine

Probni rad dizalice topline izveden je u oba režima s ciljem testiranja sustava. Nakon potpune temperaturne stabilizacije tla, a prije početka eksploatacije sustava, biti će potrebno izvršiti višednevni test s narinutim konstantnim toplinskim tokom, tzv. test termičkog odziva (engl. *thermal response test*).

4. ZAKLJUČAK

U Hrvatskoj su u posljednjih godinu dana izvedene prve dizalice topline tlo-voda s izmjenjivačima topline u vertikalnim bušotinama dubine 100 m. Nešto širu primjenu našle su dizalice topline tlo-voda s horizontalno položenim izmjenjivačima topline. Ispitni sustav s geotermalnom dizalicom topline kakav je izveden na Fakultetu strojarstva i brodogradnje jedini je takve vrste u Hrvatskoj.

Nakon provedenog ispitivanja toplinskog odziva tla slijedit će dugoročna mjerenja u režimu hlađenja i režimu grijanja, koja će pokazati kako se stvarni učinak toplinske sonde u tlu mijenja tijekom eksploatacije.

Ispitni sustav rezultat je kontinuiranog eksperimentalnog rada na razvoju novih uređaja i sustava na Katedri za toplinsku i procesnu tehniku FSB-a. Nove spoznaje predstavljaju i značajan znanstveni doprinos na području istraživanja alternativnih izvora topline.

LITERATURA

1. V. Soldo, M. Ruševljan: *Dizalice topline tlo-voda*, Energetska i procesna postrojenja, Dubrovnik 2008.
2. V. Soldo, M. Grozdek, T. Ćurko: *Konvencionalno grijanje ili grijanje dizalicom topline*, EGE, 2/2009.
3. J. Spitler, J. Cullin: *Misconceptions regarding design of ground-source heat pump systems*, Proceedings of the World Renewable Energy Congress, Glasgow, 2008.
4. J. Lund, B. Sanner, L. Rybach, R. Curtis, G. Hellstrom: *Geothermal (ground source) heat pumps a world overview*, GHC Bulletin, 2004.
5. VDI Richtlinien, *Ground source heat pump systems*, VDI 4640, Part 2, Berlin, 2001.