

Radionica u okviru projekta IR-OVE

Mogućnost suradnje između istraživačkih institucija i poduzeća
u razvijanju i korištenju tehnologija s područja OIE

DIZALICE TOPLINE

dr.sc. Vladimir SOLDO, izv.prof.



Čakovec, 27.02.2013.

SADRŽAJ

1. UVOD
2. UČINKOVITOST KOMPRESIJSKIH DIZALICA TOPLINE
3. IZVORI TOPLINE ZA DIZALICE TOPLINE
 - 3.1 Zrak kao izvor topline
 - 3.2 Solarna dizalica topline
 - 3.3 Podzemna voda kao izvor topline
 - 3.4 Morska voda kao izvor topline
 - 3.5 Geotermalne dizalice topline

Test termičkog odziva tla (TRT test)
4. PRORAČUN DIZALICE TOPLINE ZRAK-VODA (HRN EN 15316-4-2)
5. ZAKLJUČAK

1. UVOD

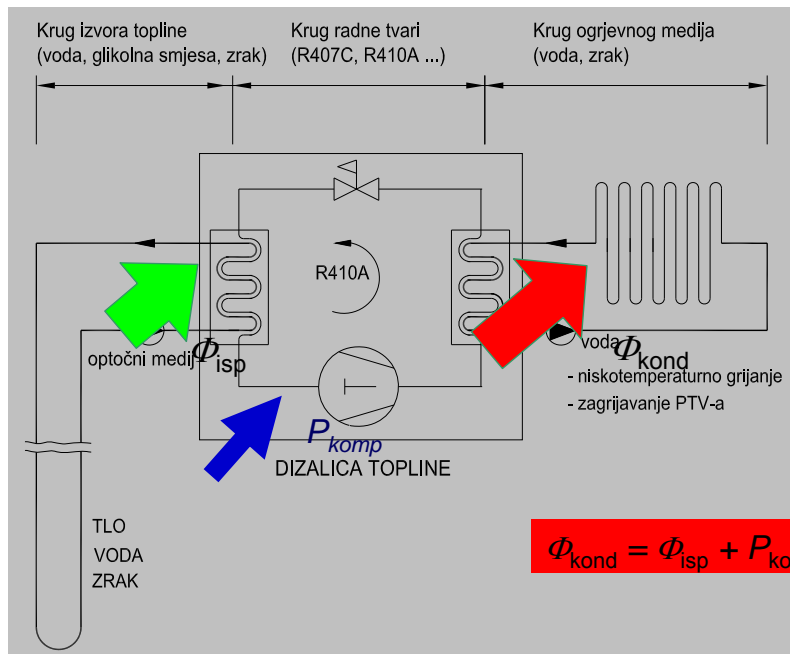
- Dizalice topline primjenjuju se u svim veličinama, od onih najmanjih za grijanje stanova, pa sve do sustava koji služe za grijanje čitavih naselja
 - niskotemperaturni sustavi grijanja
- Primjena dizalica topline u svrhu grijanja u Europi je počela 1939. godine, kada je u Zürichu izvedeno postrojenje za grijanje Gradske vijećnice, izvor energije je bila riječna voda, uređaj je i danas u pogonu.
- U Lučkom terminalu u Splitu 1979. godine ugrađena je jedna od prvih domaćih dizalica topline učinka grijanja 2x375 kW (45°C/40°C), te učinka hlađenja 600 kW (12°C/7°C). Uređaj je proizvela splitska tvrtka Termofriz. Koristila se za grijanje/hlađenje putničkog terminala, a koristila je morsku vodu kao toplinski spremnik.
- Europska smjernica *Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources* svrstava dizalice topline u obnovljive izvore energije u ovisnosti o minimalnoj vrijednosti *sezonskog toplinskog množitelja* (Seasonal Performance Factor).

Broj instaliranih dizalica topline povezanih s tlom u EU zaključno s 2010.

(Izvor 11th EurObserv'ER Report)

Zemlja	Broj DT	Instalirani učinak, MW _{th}
Švedska	378.311	4005
Njemačka	205.150	2570
Finska	60.246	1113
Francuska	151.938	1671,3
Austrija	61.808	729,5
Nizozemska	29.306	745
Danska	20.000	160
Poljska	19.320	257
Velika Britanija	18.390	239,1
Irska	11.658	202,7
Češka	13.349	197
Italija	12.357	231
Belgija	13.085	157
Estonija	6.382	91,8
Slovenija	3.948	54,8
Litva	2.221	41,5
Bugarska	543	20,6
Grčka	350	50
Slovačka	2.000	25,7
Mađarska	4.030	43
Ukupno	1.014.436	12.611

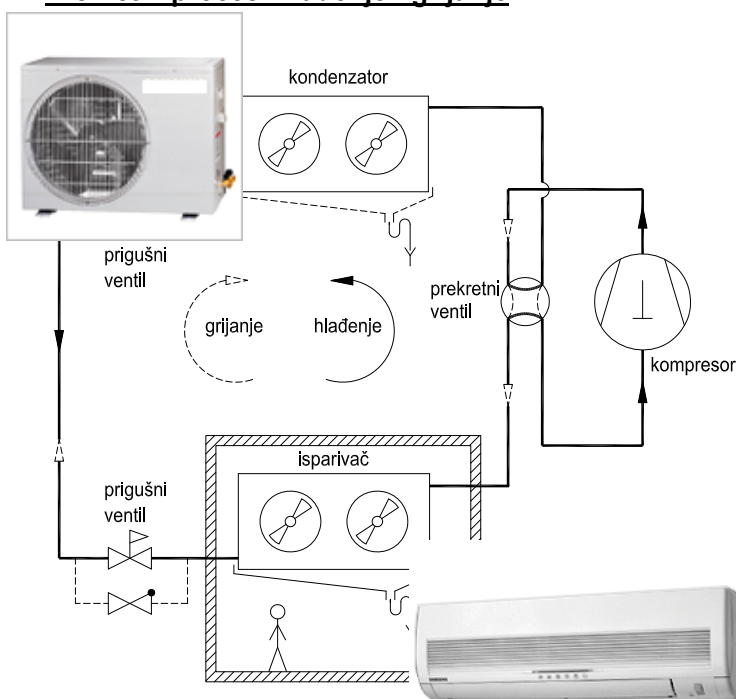
Princip rada kompresijske dizalice topline



- Dizalica topline posreduje u prijenosu topline između dva toplinska spremnika: niskotemperaturnog, kojem se toplina (energija) odvodi, te visokotemperaturnog, kojem se ta toplina (energija) dovodi a uvećana je za energiju kompresije.
- Sustav dizalice topline sastoji se od tri kruga:
 - kruga izvora topline,
 - kruga radne tvari,
 - kruga ponora topline.

Split klima uređaj

Prekretni proces: hlađenje - grijanje



HLAĐENJE

Faktor hlađenja split-klima uređaja:

Primjer.:

$$\Phi_{isp} = 3500 \text{ W},$$

$$P_{EL} = 1084 \text{ W}$$

$$(T_{hl} = 27 \text{ }^\circ\text{C}, T_{ok} = 35 \text{ }^\circ\text{C}; \text{HRN EN 14511})$$

$$\varepsilon_{hl} (EER) = \frac{\Phi_{isp}}{P_{EL}} = \frac{3500}{1084} = 3,23$$

GRIJANJE

Toplinski množitelj e_{gr} dizalice topline:

Primjer:

$$\Phi_{kond} = 3850 \text{ W}, P_{EL} = 1067 \text{ W}$$

$$(T_{gr} = 20 \text{ }^\circ\text{C}, T_{ok} = 7 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\varepsilon_{gr} (COP) = \frac{\Phi_{kond}}{P_{EL}} = \frac{3850}{1067} = 3,61$$

COP i SPF dizalice topline

Toplinski množitelj (COP) ili faktor grijanja dizalice topline definiran je izrazom:

$$\varepsilon_{gr}(COP) = \frac{\Phi_{kond}}{P_{komp}}$$

Godišnji toplinski množitelj $\varepsilon_{gr,G}$ (Seasonal performance factor - SPF) dizalice topline koristi se za proračun i dimenzioniranje sustava grijanja. Računa se preko sljedećeg izraza:

$$SPF = \frac{\sum_{god} (Q_{GR} + Q_{PTV})}{\sum_{god} E_{sust}}$$

ΣQ_{GR} – godišnja potrebna toplinska energija za grijanje prostora, kWh

ΣQ_{PTV} – godišnja potrebna toplinska energija za zagrijavanje PTV-a, kWh

ΣE_{sust} - ukupna godišnja el. energija utrošena na pogon kompresora, pumpi, ventilatora, pomoćnog grijača, te sustava odleđivanja isparivača, kWh



RES direktiva 2009/28/EC: Promotion of the use of energy from renewable sources

Aneks VII RES direktive:

➤ Obnovljivi dio toplinske energije E_{RES} [kWh]:

$$E_{RES} = Q_{usable} * \left(1 - \frac{1}{SPF}\right)$$

➤ Dizalice topline se svrstavaju u obnovljive izvore energije ako je:

$$SPF > 1,15 * \frac{1}{\eta_{el}}$$

η_{el} – električna učinkovitost

$$\text{Za } \eta_{el} = 0,4 \Rightarrow SPF > 2,88$$

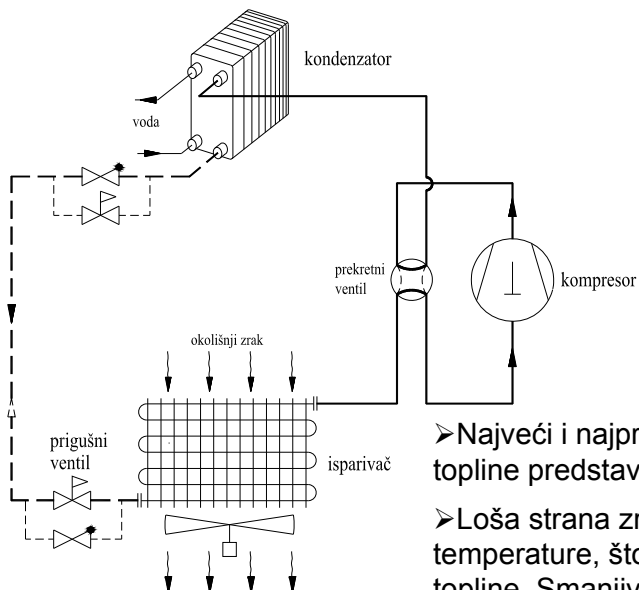
➤ Obnovljivi dio toplinske energije:

$$\frac{E_{RES}}{Q_{usable}} = \left(1 - \frac{1}{2,88}\right) = 0,65 = 65 \%$$



3. IZVORI TOPLINE ZA DIZALICE TOPLINE

3.1 Okolišnji zrak kao izvor topline



➤ Najveći i najpristupačniji ogrjevni spremnik topline za dizalice topline predstavlja okolišnji zrak.

➤ Loša strana zraka kao izvora topline su varijacije njegove temperature, što znatno utječe na toplinski množitelj dizalice topline. Smanjivanjem temperature okoline smanjuje se toplinski množitelj i ogrjevni učinak dizalice topline.

- U većini slučajeva obavezna primjena dodatnog izvora grijanja (ekonomičan rad do $\vartheta_{ok} = -7\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Naslage leda najveće pri temperaturi zraka oko $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Radionica u okviru projekta IR-OVE, Čakovec, 27.02.2013.

9

3.2 SOLARNA DIZALICA TOPLINE

Izrada modela mobilne solarne dizalice topline

- Osnovne komponente:
- hermetički kompresor
 - spiralni kondenzator u spremniku volumena 300 l
 - elektronički ekspanzijski ventil
 - isparivač/neostakljeni solarni kolektor

- Mjerna oprema:
- protokomjer radne tvari R134a
 - osjetnici temperature
 - petvarači tlaka (p_i i p_k)
 - mjerilo el. snage kompresora
 - piranometar
 - frekvencijski pretvarač



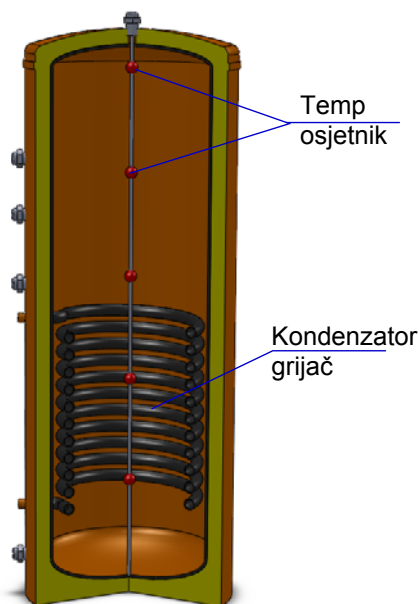
Radionica u okviru projekta IR-OVE, Čakovec, 27.02.2013.

10

Izvedeni prototipa uređaja u radu

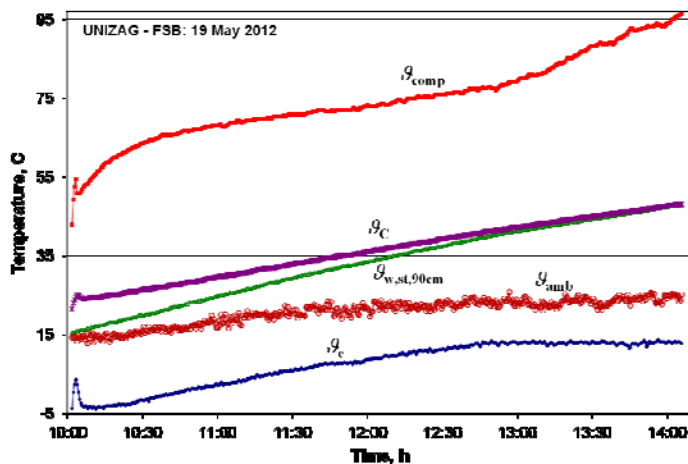
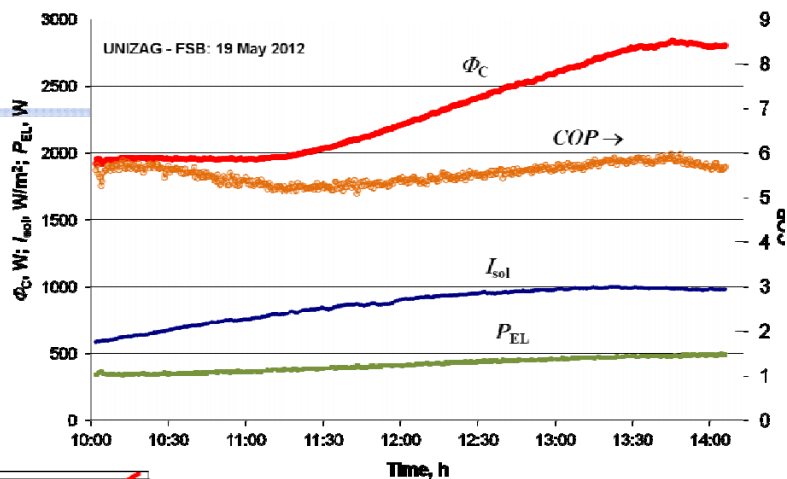


Ispitni sustav u radu, 28.04.2012.



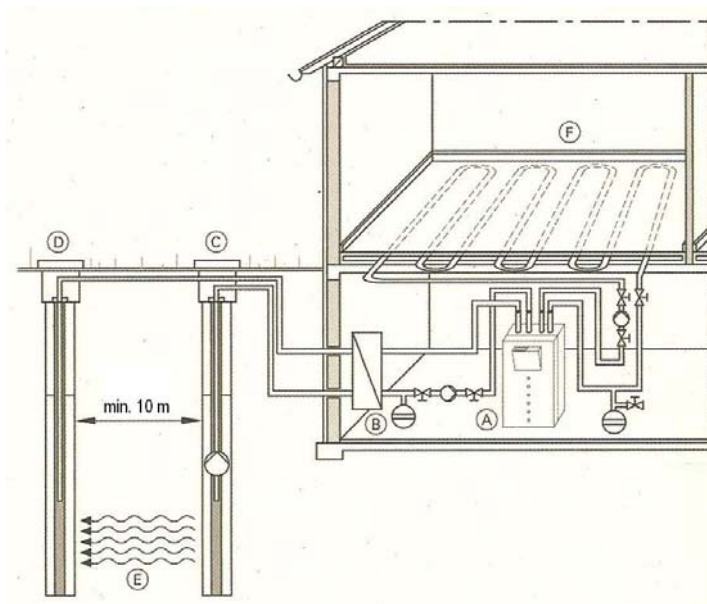
Spremnik potrošne tople vode

REZULTATI MJERENJA



Promjena temperature radne tvari u pojedinim točkama procesa za vrijeme rada uređaja, te promjena temperature vode u spremniku (termopar smješten na visini 90 cm od dna spremnika), 19.05.2012.

3.3 Podzemna voda kao izvor topline

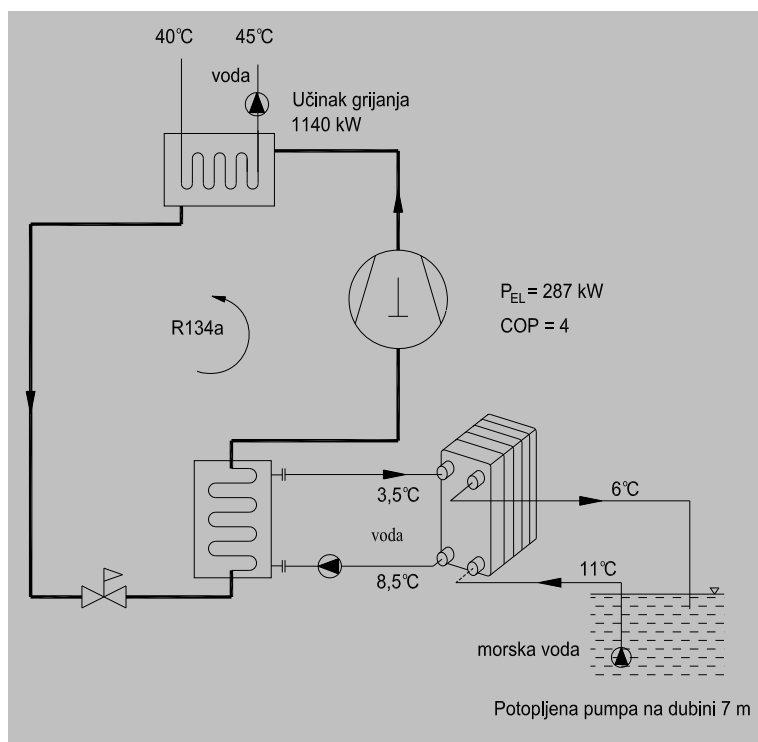


Nadležne institucije postavljaju visoke zahtjeve za izvedbu i rad dizalica topline s podzemnim vodama:

- izrada hidrogeološke preliminarne studije,
- radove smiju izvoditi isključivo ovlašteni izvođači,
- visoki zahtjevi za izradu bunara i filtracijskog sloja,
- iskorištene podzemne vode moraju se utisnuti natrag u podzemlje,
- površinska zaštitna kolona i poklopac za zaštitu od površinskih voda i kiše,
- bunari se ne smiju izvoditi na cestama, ulazima ili parkirališnim prostorima,
- omogućiti pristup za kontrolu bunara.

➤ Protok pumpe za vodu proračunava se na temperaturnu razliku vode na isparivaču od $3 \div 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.4 Morska voda kao izvor topline

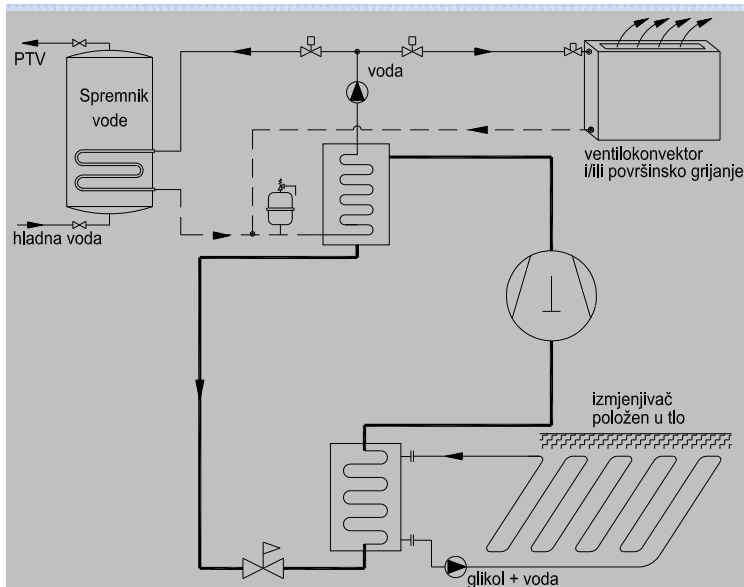


➤ Naselja uz mora, jezera i rijeke imaju izvor topline u mnogim slučajevima pristupačan i jeftin. Takve se vode mogu uobičajeno koristiti pri temperaturama većim od $+4\text{ }^\circ\text{C}$.



Pojednostavljeni shematski prikaz dizalice topline s morem kao izvorom topline, hotel Le Méridien Lav, Split.

3.4 Tlo kao izvor topline – horizontalna izvedba izmjenjivača



Zemlja je kao izvor topline povoljna jer već u malim dubinama ima prilično konstantnu temperaturu ($7 \div 13 \text{ }^\circ\text{C}$ na dubini 2 m).

➤ Izmjenjivač topline se u tlo može položiti u obliku snopa vodoravnih cijevi na dubini od 1,2 do 1,5 m, s međusobnim razmakom cijevi od 0,5 do 1 m, ovisno o sastavu i vrsti tla.

➤ Promjer PE cijevi iznosi 25 ili 32 mm. Dužina jedne izmjenjivačke sekcije iznosi do 100 m. Učinak: 15 do 35 W/m² (VDI 4640).

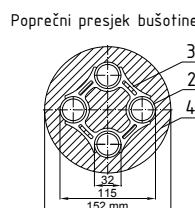
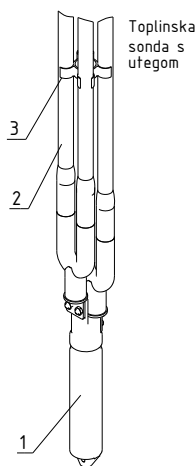
➤ Regeneracija toplinskog izvora događa se zahvaljujući Sunčevom zračenju, kiši ili rosi.

vrsta tla	Specifični učinak, W/m ²
Suho pješčano tlo	10-15
Mokro pješčano tlo	15-20
Suho glinasto tlo	20-25
Mokro glinasto tlo	25-30
Tlo s podzemnom vodom	30-35



Tlo kao izvor topline – vertikalna izvedba izmjenjivača

➤ Geotermalna dizalica topline na FSB-u BIT 100 m dubine

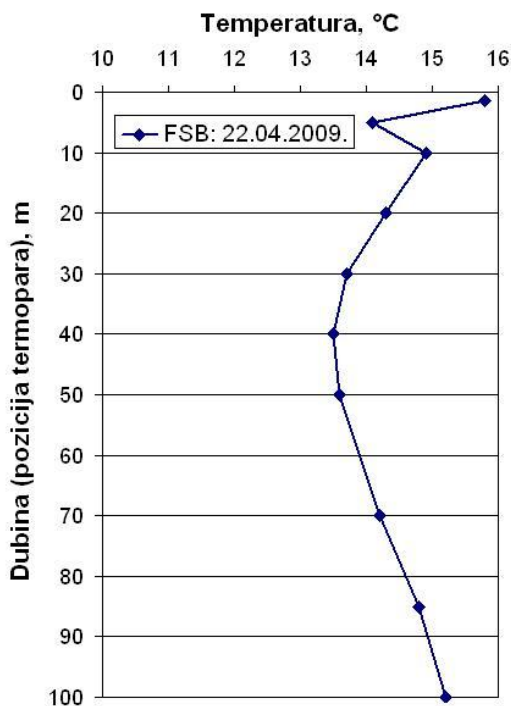


- 1 - uteg
- 2 - U cijev
- 3 - obujmica
- 4 - ispuna



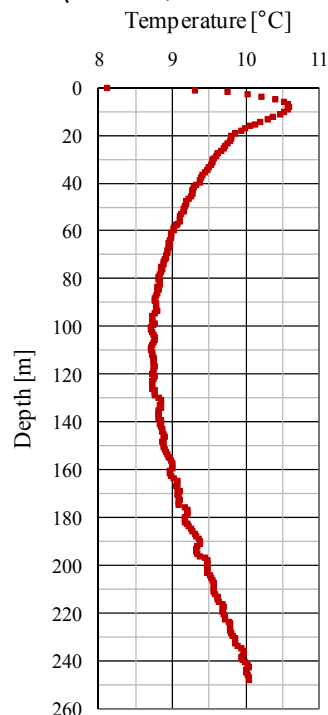
Rezultati mjerenja

Nedirnuta temperatura tla po visini bušotine Zagreb, Ivana Lučića 5



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. **Temperatura tla na dubini 100 m je 15,2°C.**

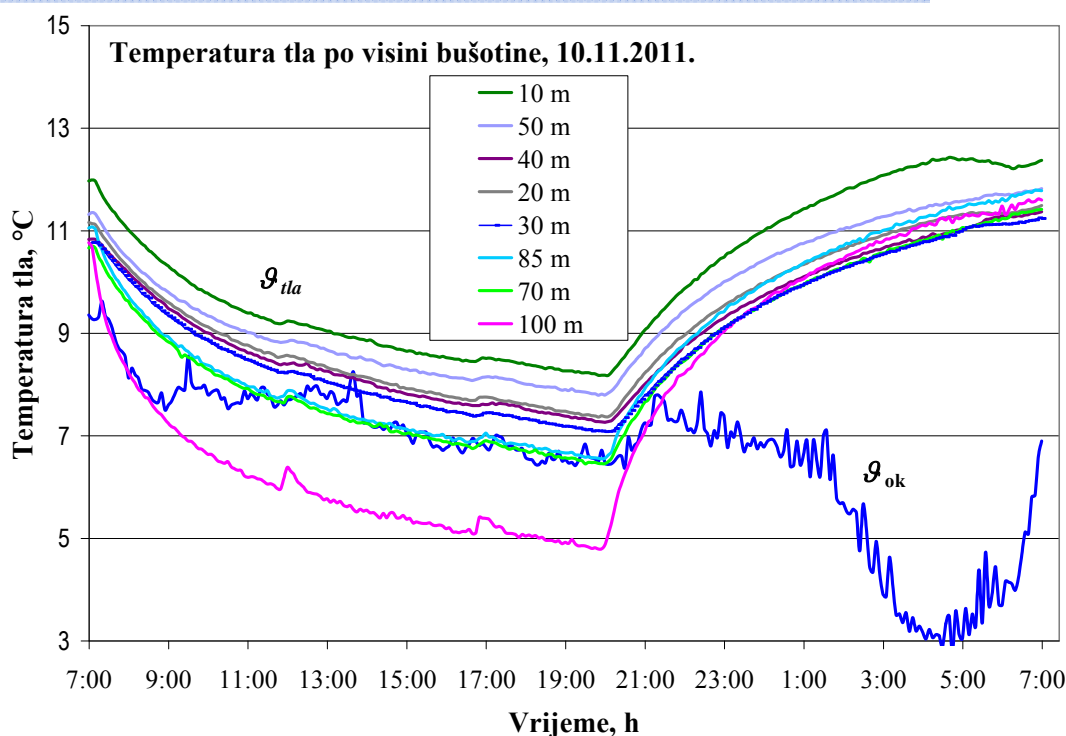
Nedirnuta temperatura tla, Stochkolm (Acuna, KTH 2010.)



Radionica u okviru projekta IR-OVE, Čakovec, 27.02.2013.

17

Rezultati mjerenja - Parametri dizalice topline za karakterističan dan, FSB, 10. studeni 2011.



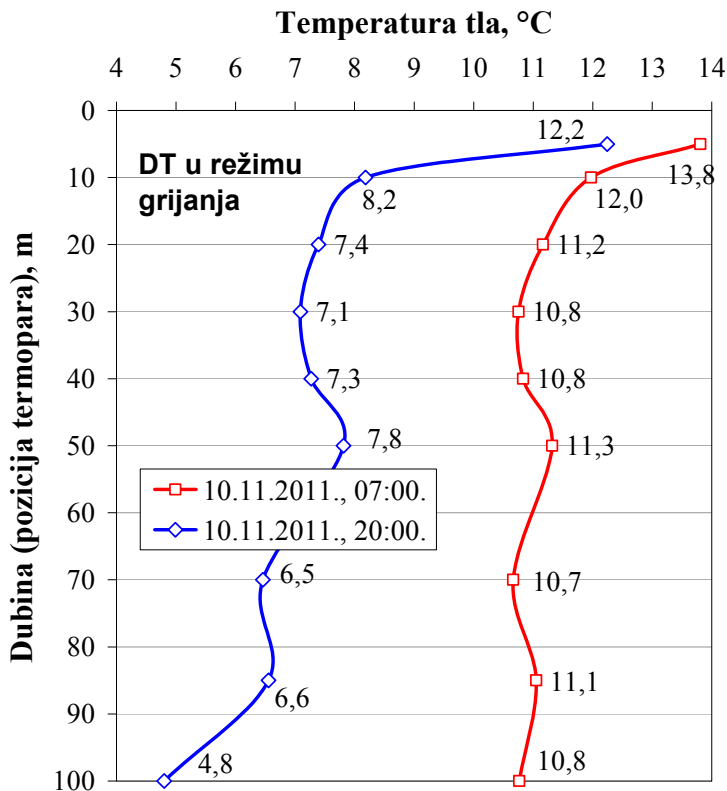
← UREĐAJ U RADU: POTHLAĐIVANJE TLA → | ← TOPLINSKI OPORAVAK BUŠOTINE →



Radionica u okviru projekta IR-OVE, Čakovec, 27.02.2013.

18

Rezultati mjerenja



Temperatura tla po visini bušotine, FSB, 10.11.2011.

- Uključivanje uređaja u 07.00 sati
- Isključivanje uređaja u 20.00 sati



Radionica u okviru projekta IR-OVE, Čakovec, 27.02.2013.

19

Rezultati mjerenja

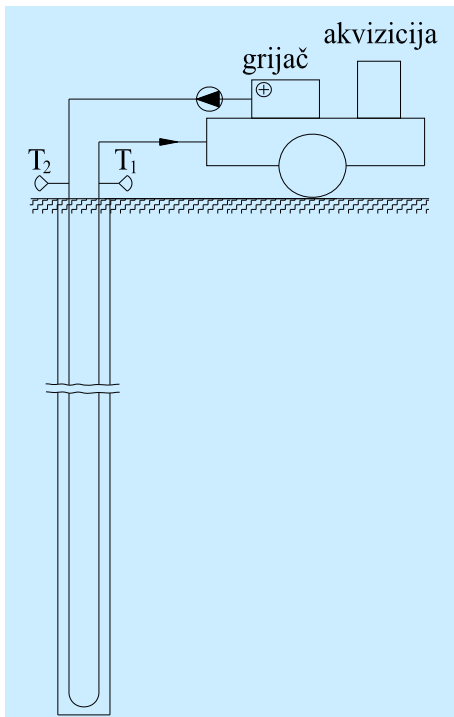
Mjerene veličine	Vrijednost parametra	
	07.00 sati	20.00 sati
Temp. glikolne smjese – POLAZ, °C	5,28	0,91
Temp. glikolne smjese – POVRAT, °C	10,75	4,60
Temperatura okoline, °C	9,36	6,72
Temperatura grijanog prostora, °C	16,78	20,63
Učinci		
Učinak izmjenjivača u tlu, kW	8,11	5,26
El. snaga kompresora, kW	1,78	1,92
Učinak kondenzatora, kW	9,89	7,18
Toplinski množitelj, -	5,56	3,75
Temp. glikolne smjese – srednja, °C	8,0	2,8
Temp. tla – srednja, °C	11,4	7,5
$\Delta\theta_m$, °C	3,4	4,7

Parametri dizalice topline za karakterističan dan, 10. studenog 2011.



Radionica u okviru projekta IR-OVE, Čakovec, 27.02.2013.

20



➤ Test toplinskog odziva tla provodi se u pravilu višednevnim grijanjem bušotinskih izmjenjivača topline (72 sata), uz održavanje konstantne snage grijača

Opis	Parametar
Dubina sonde H	100 m
Promjer bušotine D_b	152 mm
Tip sonde	dvostruka U-cijev, PE 100
Vanjski promjer cijevi	32 mm
Debljina stijenke cijevi	2,9 mm
Oсни razmak cijevi	83 mm
Ispuna	bentonit, cement 1/1
$\rho \cdot c_p$ tla	2,4 MJ/(m ³ K)
Cirkulacijski medij	voda
Prosječni protok vode	1410 l/h
Prosječna snaga grijača	4,26 kW

TRT test na lokaciji Rugvica, Zagreb

PROJEKTIRANJE POLJA BUŠOTINA - Test termičkog odziva tla – TRT test



TRT test na lokaciji IKEA Rugvica

Vrijednosti dobivene mjerenjem toplinskog odziva tla:

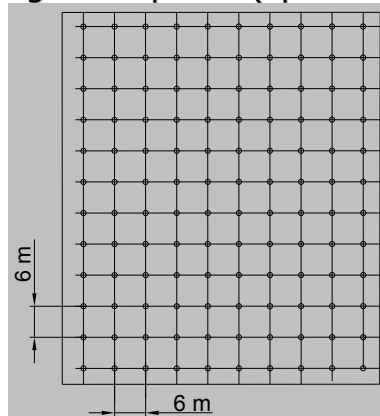
- toplinska vodljivost tla $\lambda = 1,69 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- unutarnji otpor bušotine $R_b = 0,074 \text{ (m}^2\text{K)/W}$



ULAZNI PODACI ZA DIMENZINIRANJE
POLJA BUŠOTINA

$$Q_H, Q_C$$

Programski paketi (npr. EED)



CERTIFIKACIJA IZVOĐAČA RADOVA

- **Certifikacija izvođača radova** mora se regulirati kako bi se osigurala učinkovitost i dugotrajnost dizalica topline.
- Certificiranje se trenutno izvodi u državama:

- Njemačka
- Švedska
- Švicarska

Zemlja	Naziv	Godina
Njemačka	RAL/ZDB	2007
Švicarska	DACH-Gutesiegel EWS	2001
Švedska	C – Borrare	2006

Primjer Švicarskog certifikata



Primjer Njemačkog certifikata



4. Proračun dizalice topline ZRAK-VODA – HRN EN 15316-4-2

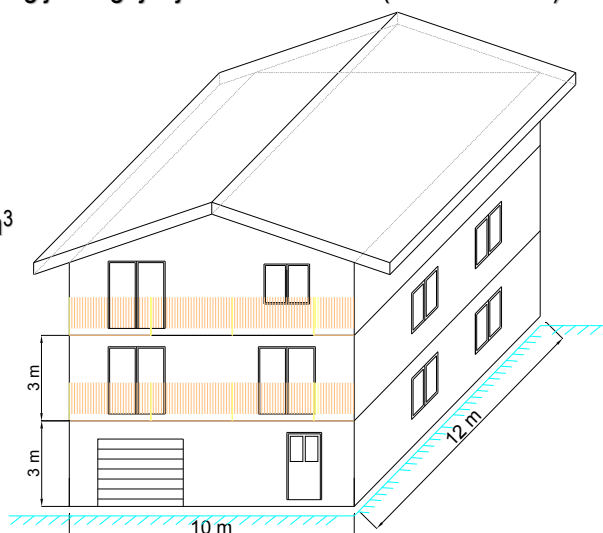
PRIMJER: Proračun godišnjeg toplinskog množitelja i privedene električne energije za pogon dizalice topline za zagrijavanje obiteljske kuće

Proračun je napravljen za:

- niskoenergetsku kuću: godišnja potrebna top. energija za grijanje 7.375 kWh (27,4 kWh/m²a),
- prosječnu kuću: godišnja potrebna toplinska energija za grijanje 46.909 kWh/a (175 kWh/m²a).

Parametri kuće:

- broj etaža 3
- visina etaže 3 m
- korisna površina 268,5 m²
- oplošje 640 m²
- obujam grijanog dijela zgrade 870 m³
- udio prozora 0,2



Proračun dizalice topline ZRAK-VODA

Ulazni podaci:

Parametar	Niskoenergetska kuća	Prosječna kuća
Meteorološki podaci	Zagreb	Zagreb
Vrsta dizalice topline	zrak-voda	zrak-voda
GRIJANJE	podno gr. 35/30 °C	rad. gr. 55/45°C
Učink dizalice topline (A2/W35), kW	10,6	21,1
Vanjska projektna temperatura, °C	-10	-10
Potrebna topl. en. podsustava razvoda, kWh/a	8.070	53.922
Unutarnja projektna temperatura, °C	20	20
Krivulja grijanja podnog grijanja, °C	-10/35; +7/28,3	-10/55; +7/39,4
Granična vanjska temperatura grijanja, °C	15	15
Balansna točka dizalice topline, °C	-4	-4
Režim rada pomoćnog grijača	paralelni	paralelni
PTV		
Potrebna topl. en. podsustava razvoda, kWh/a	8475	8292
Temperatura hladne vode, °C	15	15
Prosječna temp. PTV-a na izlazu iz spremnika, °C	55	55
Volumen spremnika, l	300	300
Temperatura prostorije spremnika, °C	15	15
DODATNI PODACI		
Pumpa spremnika PTV-a, W	45	45
Regulacija, W	12	20



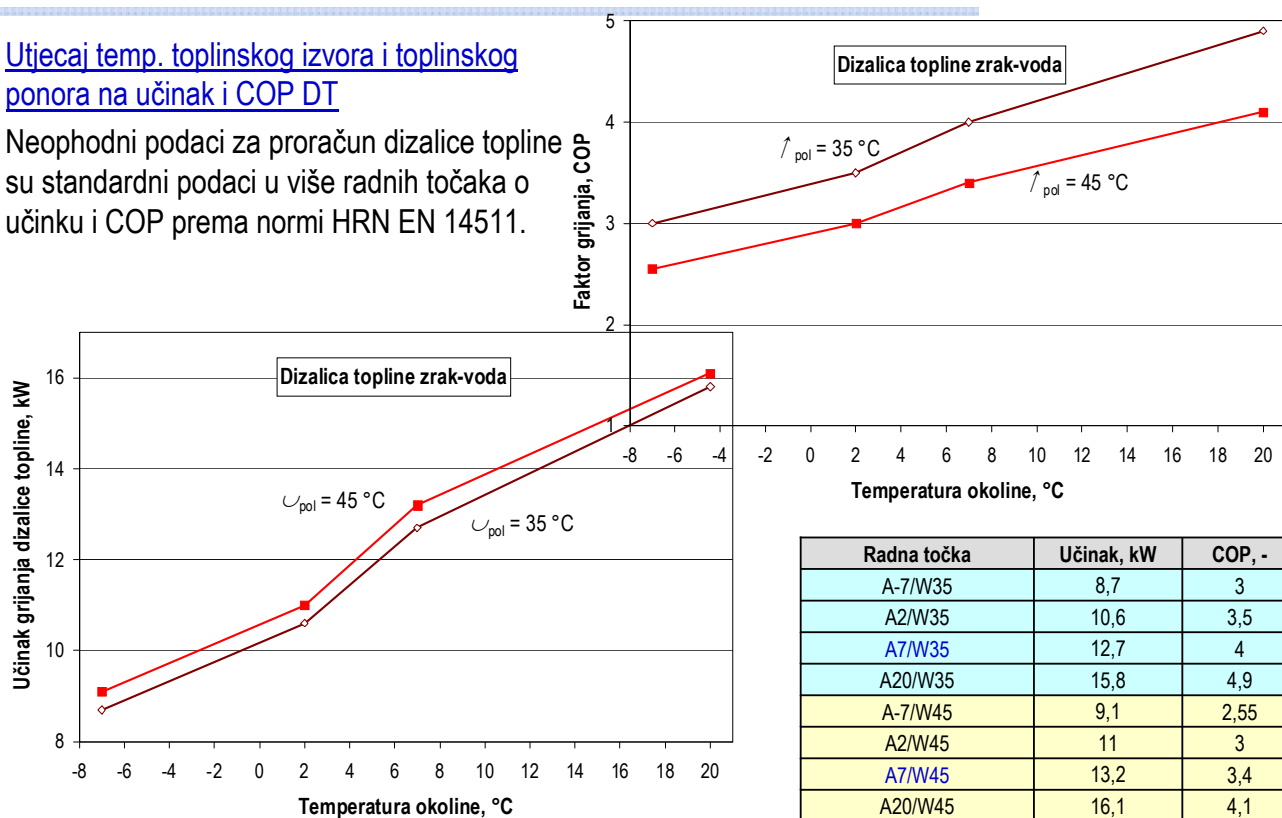
Radionica u okviru projekta IR-OVE, Čakovec, 27.02.2013.

25

Proračun dizalice topline ZRAK-VODA

Utjecaj temp. toplinskog izvora i toplinskog ponora na učinak i COP DT

Neophodni podaci za proračun dizalice topline su standardni podaci u više radnih točaka o učinku i COP prema normi HRN EN 14511.

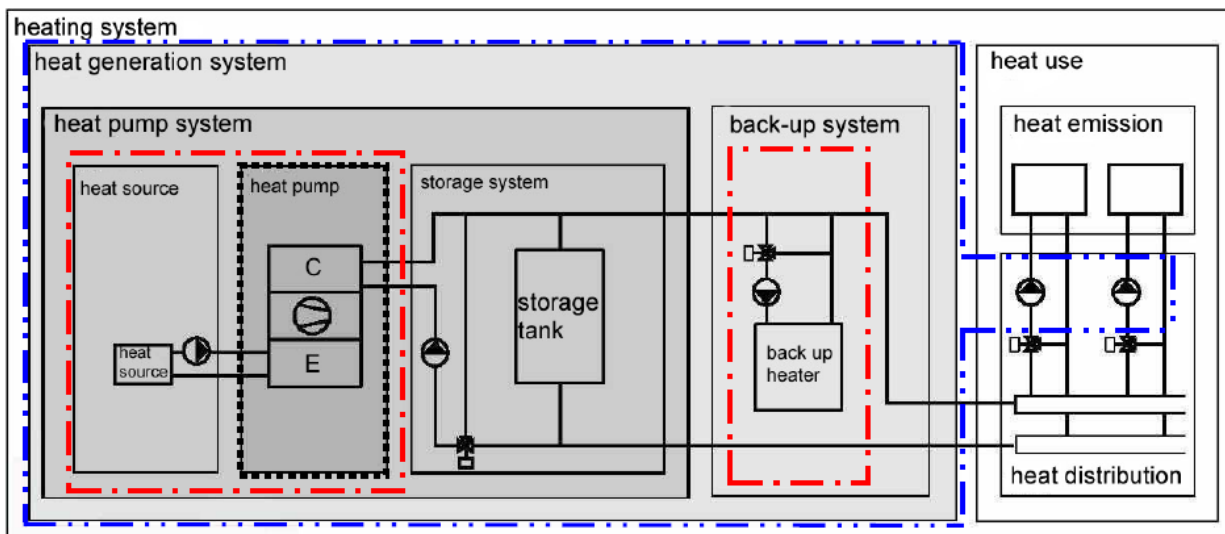


Radionica u okviru projekta IR-OVE, Čakovec, 27.02.2013.

26

Proračun dizalice topline ZRAK-VODA

Granice sustava



Proračun dizalice topline ZRAK-VODA

Rezultati proračuna

Parametar	Niskoenergetska kuća - podno grijanje	Prosječna kuća - radijatorsko grijanje
El. en. dovedena dizalici topline, GR, kWh/a	2.072	18.847
El. en. dovedena dizalici topline, PTV, kWh/a	3.063	3.410
El. en. pomoćnog grijača, kWh/a	61	394
Ukupna pomoćna energija (pumpa, regulacija), kWh/a	290	461
Ukupno isporučena el. en., kWh/a	5.486	23.112
Ukupni toplinski gubici generatora topline, kWh/a	847	877
Iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja, kWh/a	0	0
Toplinska energija izvora topline, kWh/a	12.103	40.316
Ukupno isporučena topl.en., kWh/a	17.298	62.967
God. topl. množitelj podsustava proizvodnje (GR+PTV+pom.gr.+pom.en.)	3,02	2,69
God. topl. množitelj dizalice topline (GR+PTV+pom.en.)	3,18	2,75
God. topl. množitelj dizalice topline (GR+pom.en.)	3,56	2,78
God. topl. množitelj dizalice topline (PTV+pom.en.)	2,83	2,52

5. ZAKLJUČAK

- Iskustva iz europskih zemalja pokazuju da će i u Hrvatskoj doći do ekspanzije u primjeni dizalica topline u sustavima grijanja i hlađenja.
- Postoji više faktora koji utječu na učinkovit rad dizalica topline, počevši od projektiranja preko izvođenja pa do načina rada. Za projektiranje polja bušotina prethodno je potrebno ispitati toplinska svojstva tla koristeći se TRT testom, što je postala standardna metoda za ozbiljnije sustave.
- Nepoznavanje svojstava podzemlja i prirode prijelaznih pojava u njemu, mogu imati za posljedicu smrzavanje i pothlađivanje tla do iznimno niskih temperatura, [nestacionarne promjene u tlu \(vrijeme rada dizalica topline povezane s tlom\)](#).
- Za kvalitetnu primjenu navedene tehnologije neophodno je korištenje tehničkih propisa koji se odnose na učinkovitost i sigurnost rada dizalica topline, zaštitu okoliša, smjernice za dobivanje dozvole za gradnju, te ovlašćivanje bušača i izvođača radova.

HVALA NA PAŽNJI!

PITANJA?

dr.sc. Vladimir SOLDÓ, izv.prof.

Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu

Katedra za toplinsku i procesnu tehniku,

Ivana Lučića 5, Zagreb, E-mail: vladimir.soldo@fsb.hr