

Geotermalne dizalice topline u sustavima grijanja i hlađenja



Vladimir SOLDO



Zagreb, 04. travnja 2019.

SADRŽAJ

1. Uvod
2. Princip rada dizalice topline
3. Geotermalne dizalice topline
4. Pilot projekti izvedeni u sklopu IPA projekta Geothermal Mapping
5. Primjeri iz prakse
6. Primjena demo sustava tlo-voda: CheapGSHPs - Hrizon 2020 (u realizaciji)

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. Većinom se koriste za niske temperature sustave grijanja, s temperaturom polaznog voda već od 35 °C u slučaju površinskog grijanja, te s temperaturom polaznog voda do 55 °C kod zagrijavanja PTV.
- 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 prva domaća 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.
- Primjena dizalica topline: stambeni i nestambeni sektor, industrija, specifične namjene.
- Europska direktiva naziva *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 **prosječnog sezonskog toplinskog množitelja** (SPF).

UVOD

Zgrada gotovo nulte energije -nZEB (engl. nearly Zero Energy Building) jest zgrada koja ima vrlo visoka energetska svojstva. Ta gotovo nulta odnosno vrlo niska količina energije trebala bi se u vrlo značajnoj mjeri pokrivati energijom iz obnovljivih izvora, uključujući energiju iz obnovljivih izvora koja se proizvodi na zgradi ili u njezinoj blizini, a za koju su zahtjevi utvrđeni ovim propisom.

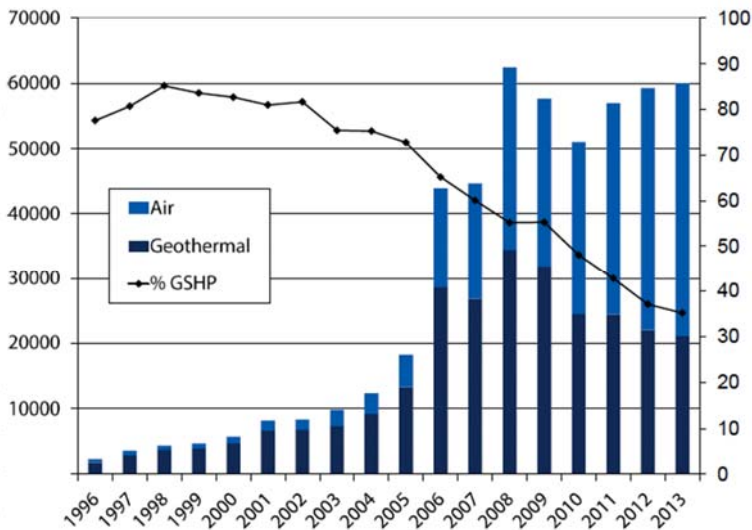
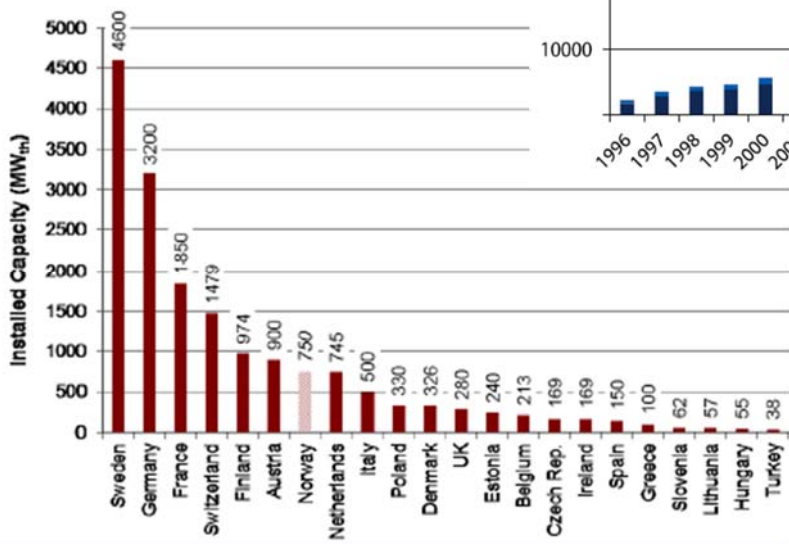
Od 31. prosinca 2020. sve nove zgrade moraju biti »zgrade gotovo nulte energije«; a nakon 31. prosinca 2018. nove zgrade koje kao vlasnici koriste tijela javne vlasti moraju biti »zgrade gotovo nulte energije« (2010/31/EC).

ZAHTEVI ZA NOVE ZGRADE i G0EZ	$Q_{H,nd}^+ [kWh/(m^2 \cdot a)]$						$E_{prim} [kWh/(m^2 \cdot a)]$			
	NOVA ZGRADA i G0EZ						NOVA		G0EZ	
	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3 \text{ } ^\circ\text{C}$			primorje, $\theta_{mm} > 3 \text{ } ^\circ\text{C}$			kont $\theta_m \leq 3 \text{ } ^\circ\text{C}$	prim $\theta_{mm} > 3 \text{ } ^\circ\text{C}$	kont $\theta_{mm} \leq 3 \text{ } ^\circ\text{C}$	prim $\theta_{mm} > 3 \text{ } ^\circ\text{C}$
VRSTA ZGRADE	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$				
Višestambena	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	120	90	80	50
Obiteljska kuća	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$17,16 + 38,42 \cdot f_0$	57,50	115	70	45	35
Uredska	16,94	$8,82 + 40,58 \cdot f_0$	51,43	16,19	$11,21 + 24,89 \cdot f_0$	37,34	70	70	35	25
Obrazovna	11,98	$3,86 + 40,58 \cdot f_0$	46,48	9,95	$4,97 + 24,91 \cdot f_0$	31,13	65	60	55	55
Bolnica	18,72	$10,61 + 40,58 \cdot f_0$	53,21	46,44	$41,46 + 24,89 \cdot f_0$	67,60	300	300	250	250
Hotel i restoran	35,48	$27,37 + 40,58 \cdot f_0$	69,98	11,50	$6,52 + 24,89 \cdot f_0$	32,65	130	80	90	70
Sportska dvorana	96,39	$88,28 + 40,58 \cdot f_0$	130,89	37,64	$32,66 + 24,91 \cdot f_0$	58,82	400	170	210	150
Trgovina	48,91	$40,79 + 40,58 \cdot f_0$	83,40	13,90	$8,92 + 24,91 \cdot f_0$	35,08	450	280	170	150
Ostale nestambene	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	150	100	/	/

Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama NN 70/18, NN128/15

UVOD

EGEC izvješće o instaliranom kapacitetu dizalica topline, 2014



➤ Broj instaliranih dizalica topline u Njemačkoj

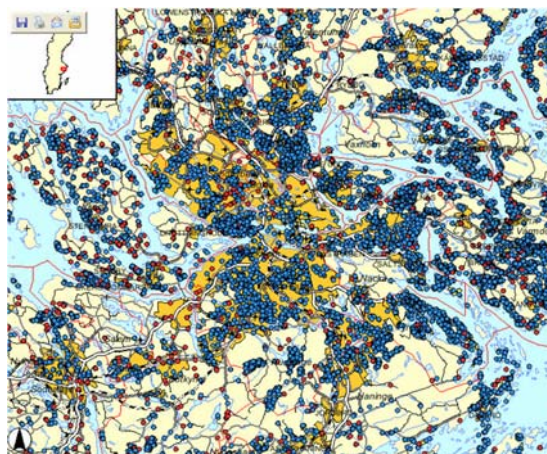


UVOD

Dizalica topline Ropsten 250 MW, voda-voda, pokriva 60 % potreba grijanja grada Stockholma

Cjevovod 370 km

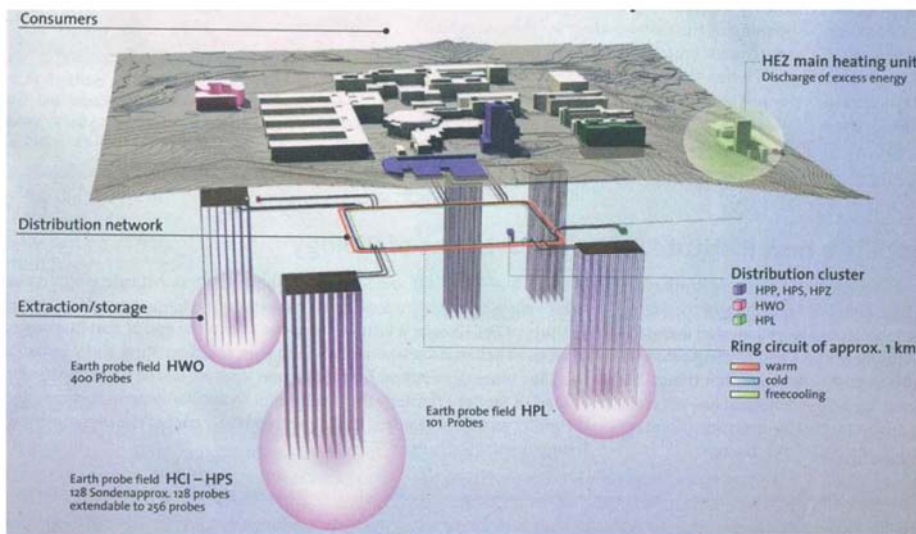
- 30.000 novih bušotina u godini
- Mapa bušotina grada Stockholma



UVOD

Primjeri iz prakse – ETH Zurich

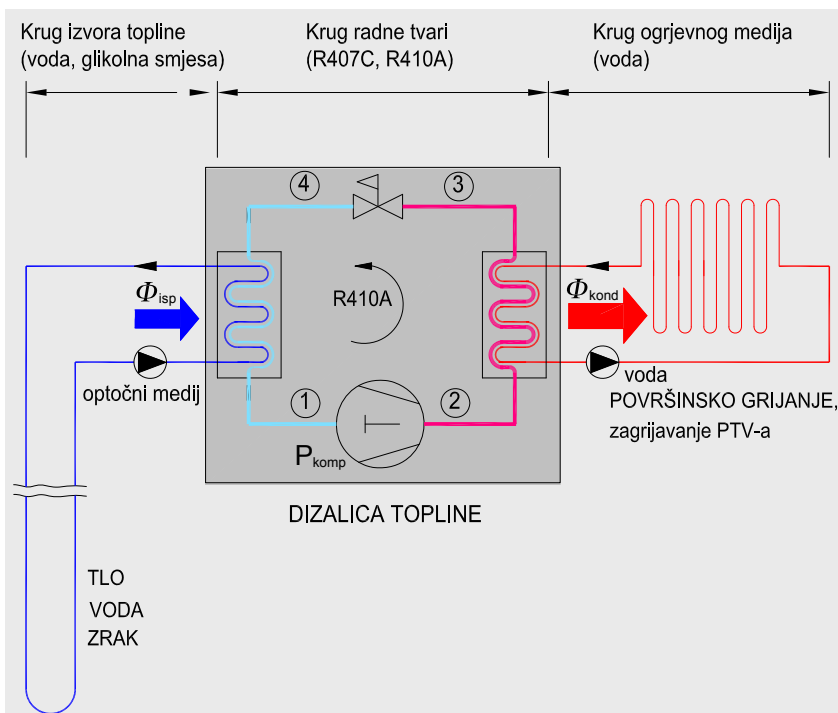
Dynamic BHE stores Science City, ETH Höggerbe



Total volume of stores: 4 mio m³, >700 EWS à 200 m



PRINCIP RADA KOMPRESIJSKE DIZALICE TOPLINE

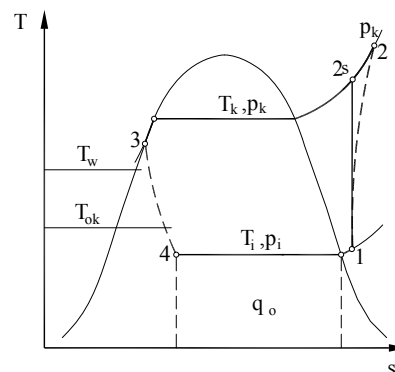


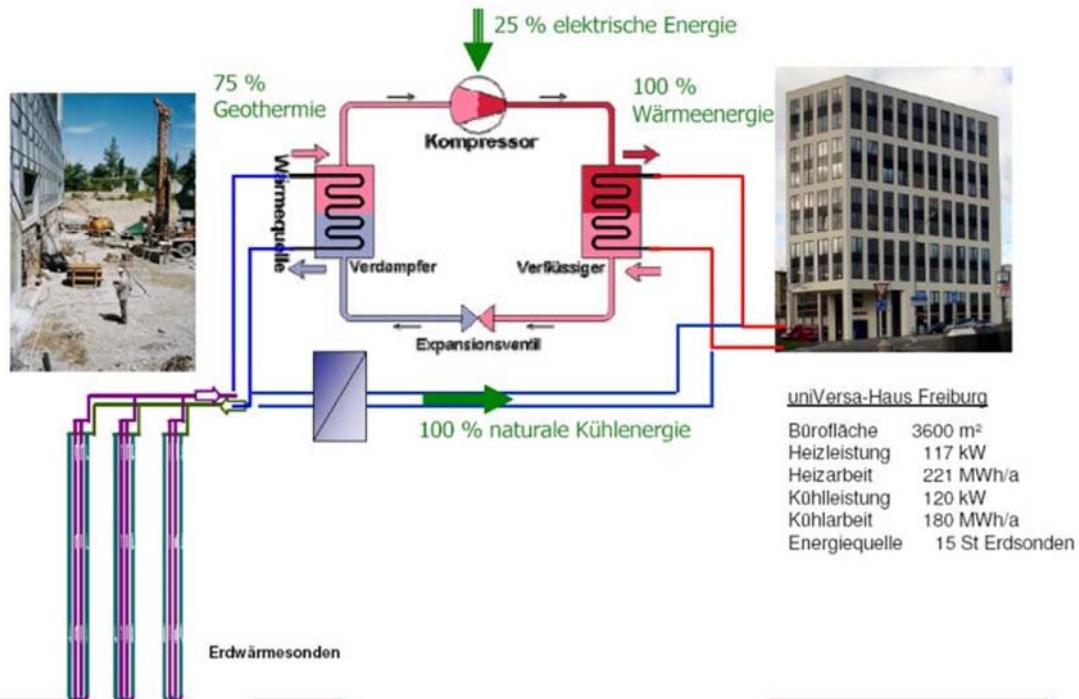
Toplinski množitelj:

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

pri čemu je:

$$\Phi_{kond} \approx \Phi_{isp} + P_{komp}$$





Učinkovitost kompresijske dizalice topline

Prosječni nominalni toplinski množitelj, ovisno o temperaturama toplinskog izvora i ponora, najčešće doseže vrijednosti od 2,5 do 4, a nerijetko i više. To npr. znači da za 1 kW snage kompresora, snaga grijanja na kondenzatoru može biti i nekoliko puta veća, odnosno 2,5 do 4 kW.

Godišnji toplinski množitelj $\epsilon_{gr,G}$ (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, kWh

ΣE_{sust} - ukupna godišnja el. energija utrošena na: pogon kompresora, pumpi, ventilatora, pomoćnih grijača, te odleđivanje 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} – učinkovitost proizvodnje električne energije

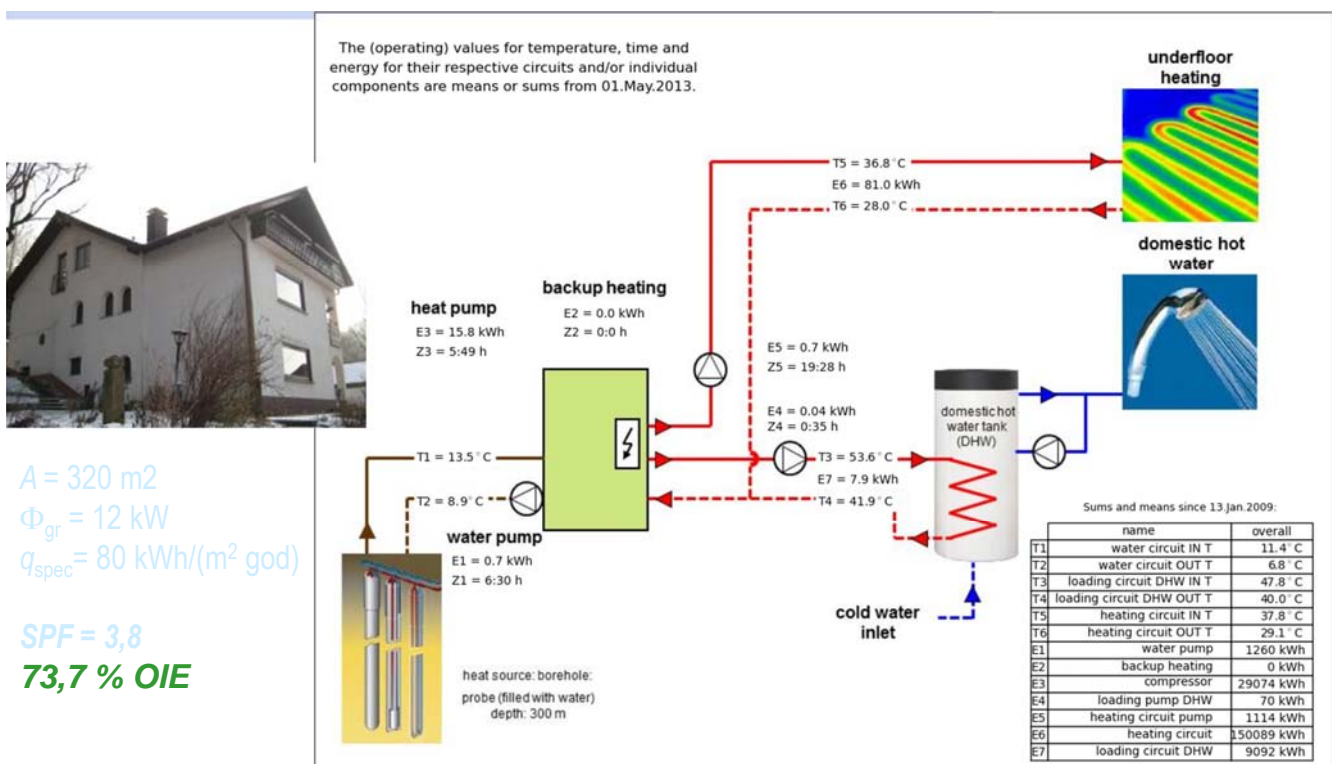
Za $\eta_{el} = 0,4 \Rightarrow SPF > 2,88$

➤ Obnovljivi dio toplinske energije:

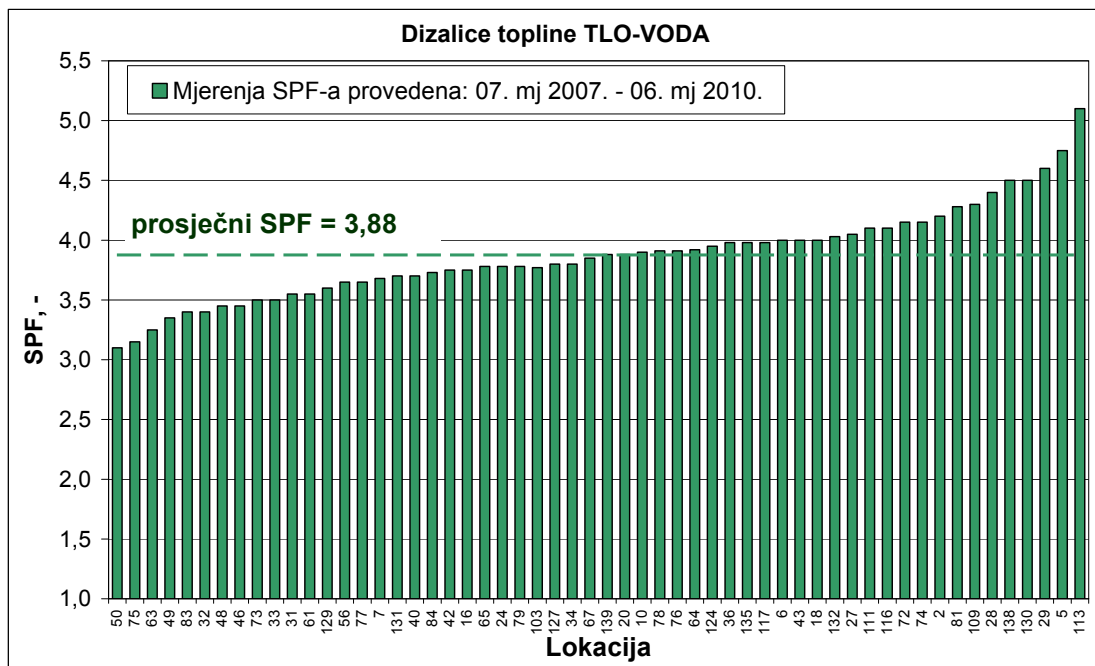
$$\frac{E_{RES}}{Q_{usable}} = \left(1 - \frac{1}{2,88}\right) = 0,65 = 65 \%$$



REALNI SUSTAV DIZALICE TOPLINE U RADU – DT flo-voda



MJERENE VRIJEDNOSTI SPF-a



Mjerenja vrijednosti godišnjeg faktora grijanja (SPF_g) dizalice topline tlo-voda na 56 različitih lokacija diljem Njemačke.

13

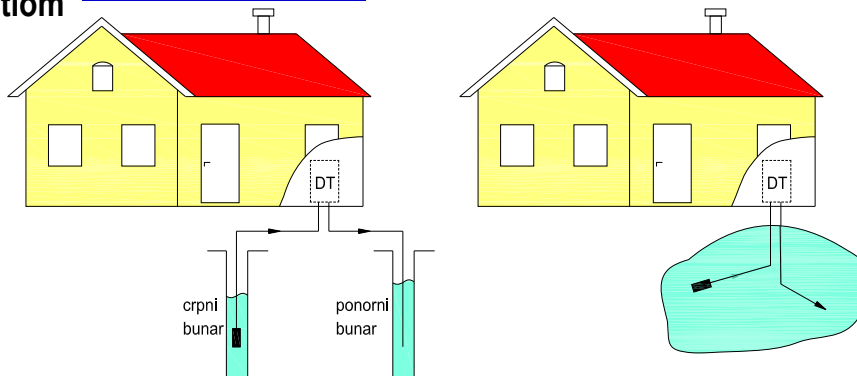


DIZALICE TOPLINE POVEZANE S TLOM

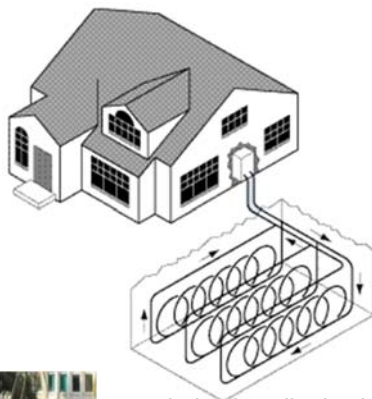
Dizalice topline povezane s tлом mogu se podijeliti na:

- otvorene sustave
- zatvorene sustave

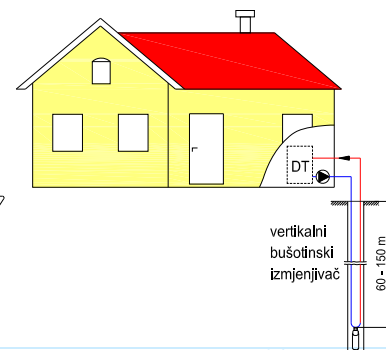
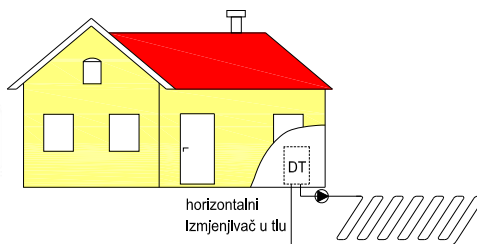
OTVORENI SUSTAVI



ZATVORENI SUSTAVI



- spiralna izvedba izmjenjivača
- košarasta izvedba izmjenjivača



14

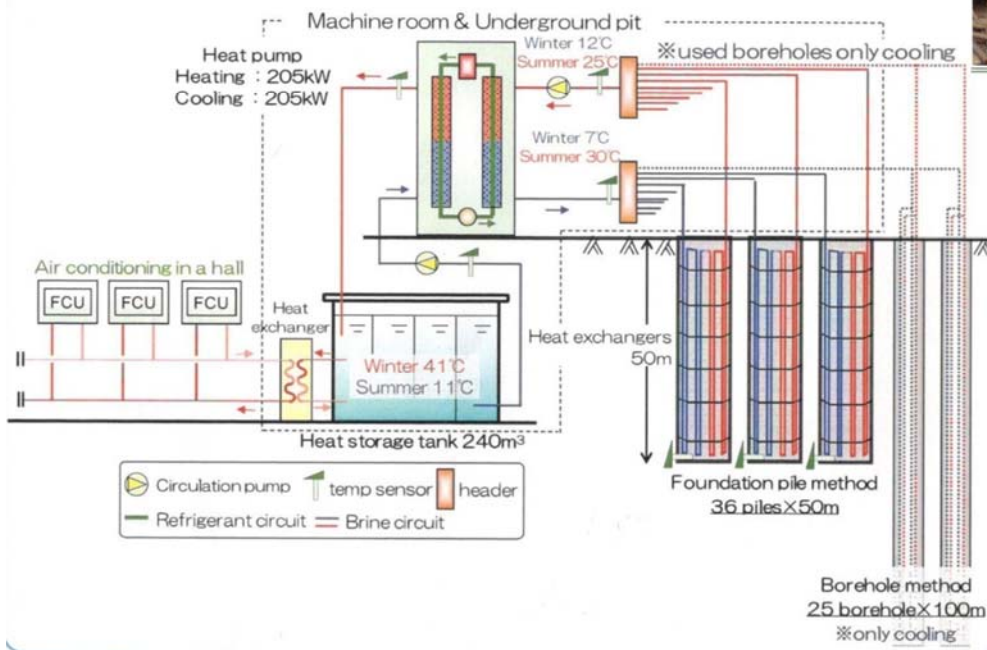




Polaganje izmjenjivača u armirano-betonske pilote

Gradska vijećnica Akita, Japan

Heating and Cooling system flow



15



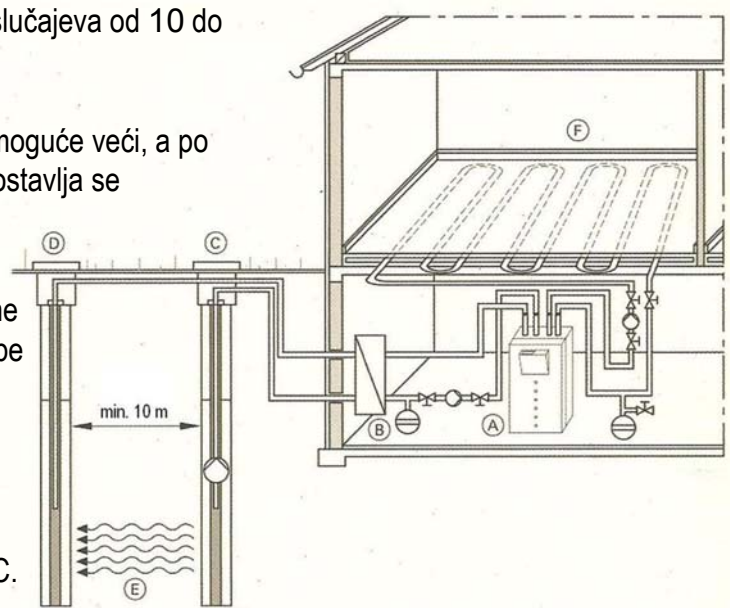
OTVORENI SUSTAVI - Podzemne vode kao izvor topline

➤ Temperatura podzemne vode iznosi u većini slučajeva od 10 do 13 °C i ovisi o dubini iz koje se voda crpi.

➤ Razmak između ovih bunara treba biti što je moguće veći, a po mogućnosti ne manji od 10 m. Ponorni bunar postavlja se nizvodno od crpnog bunara.

➤ Potopljena crpka ugrađuje se obično do dubine 25 m kako bi se smanjili pogonski troškovi pumpe (ovisno o dubini vodonosnika). Ispod pumpe, ostavlja se slobodna visina bunara koja omogućuje nakupljanje pijeska i nečistoća.

➤ Protok pumpe za vodu proračunava se na temperaturnu razliku vode na isparivaču od 4 °C.



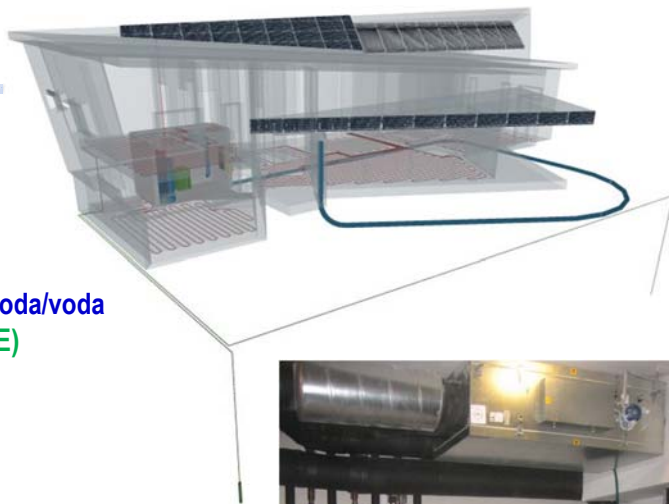
➤ Temperatura podzemne vode se tijekom cijele godine neznatno ili uopće ne mijenja te je **podzemna voda najpovoljnija kao izvor topline** za pogon dizalice topline.

16



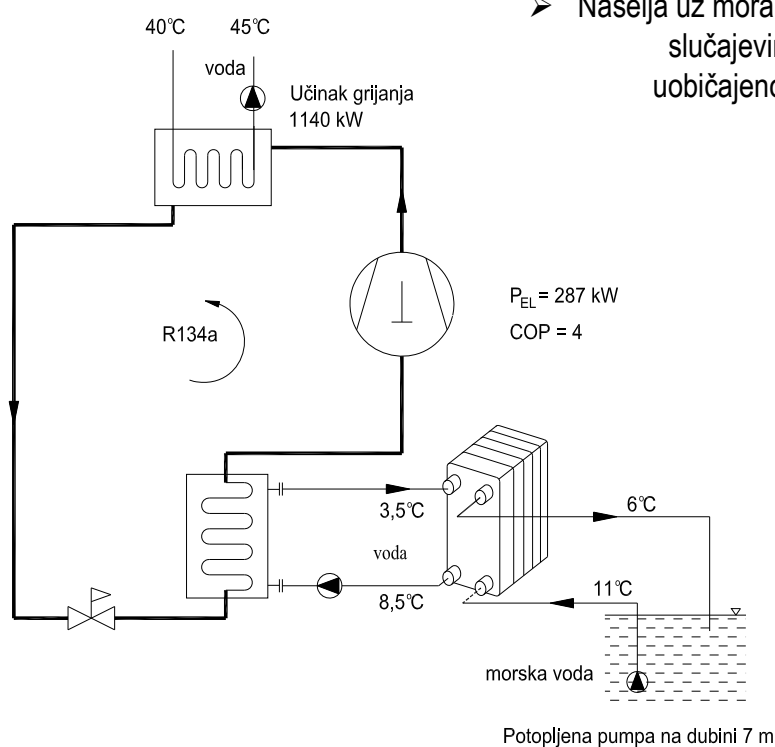
Primjer iz PRAKSE DT voda-voda

Lokacija: **Varaždin**
Neto površina: **195 m²**
 Q_{Hnd} : **19,97 kWh/(m²god)**
Toplinski gubici: **7 kW**
Dizalica topline: **Vitocal 300-G, 8 kW, voda/voda**
SPF=4,4 (77,3 % OIE)
Akumulacijski spremnik: **500 lit.**
Spremnik sanitarne vode: **300 lit.**
Cijevni vakuumski kolektori: **9 m²**
Podno grijanje/hlađenje (pasivno)
Ventilacija: **rekuperator** s podzemnim izmjenjivačem
Fotonaponska elektrana: još nije izvedena



PRIMJERI IZ PRAKSE - 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°C.



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

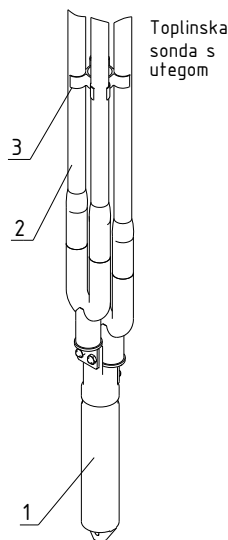


Pilot projekt geotermalne dizalice topline na FSB-u (2009. god)

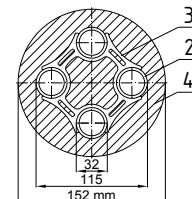


Bušačke radove izvela tvrtka Filbis

➤ Znanstveni projekt koji se provodio uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa pod nazivom *Dizalice topline s korištenje tla kao obnovljivog toplinskog spremnika*. U neposrednoj blizini Laboratorija za toplinu i toplinske uređaje izvedena je bušotina promjera 152 mm, dubine 100 m.



Poprečni presjek bušotine



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



Pilot projekt geotermalne dizalice topline na FSB-u (2009. god)

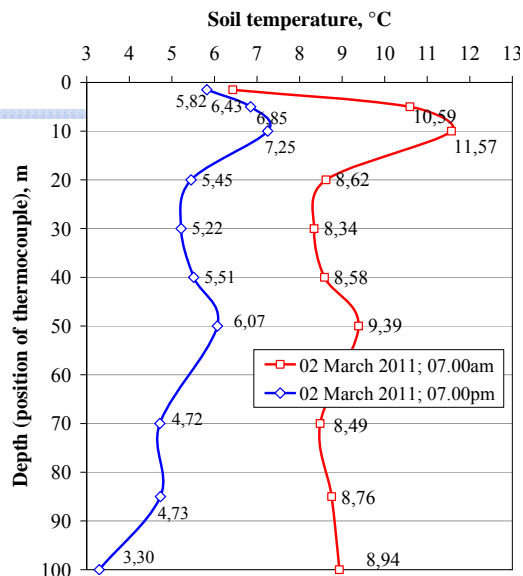
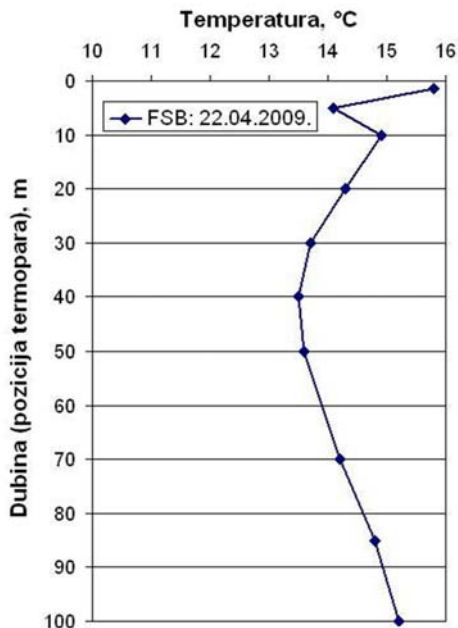


Mjerenje temperature od 1,5 m do 100 m dubine. U bušotinu je ugrađeno 15 termopara tipa K, ukupne duljine 700 m.



Rezultati mjerenja

Nedirnuta temperatura tla po visini
bušotine Zagreb, Ivana Lučića 5



Parametar	Mjerene veličine	
	07.00 sati	19.00 sati
Temp. glikolne smjese – POLAZ, °C	3,86	-1,07
Temp. glikolne smjese – POVRAT, °C	8,74	2,82
Temperatura grijanog prostora, °C	9,61	13,18
Temperatura okoline, °C	-0,04	-0,10
Učinci		
Učinak izmjenjivača u tlu, kW	7,10	5,59
El. snaga kompresora, kW	1,65	1,55
Učinak kondenzatora, kW	8,74	7,13
Toplinski množitelj, -	5,31	4,61



TRT test

- TRT test na lokaciji IKEA Rugvica



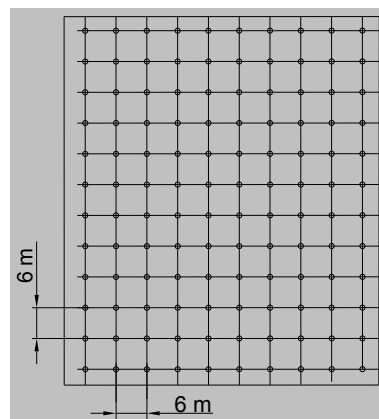
Vrijednosti dobivene mjerenjem toplinskog odziva tla:

- toplinska vodljivost tla $\lambda = 1,73 \text{ W/(m}^*\text{K)}$
- unutarnji otpor bušotine $R_b = 0,076 \text{ (m}^*\text{K)/W}$



ULAZNI PODACI ZA DIMENZINIRANJE POLJA
BUŠOTINA

$$Q_{H,nd}, Q_{C,nd}$$



TRT test – Tehnički muzej ZG

$$\lambda = 1,78 \text{ W/(m}^*\text{K)}$$

$$R_b = 0,08 \text{ (m}^*\text{K)/W}$$

$$\vartheta_{ta} = 14,5 \text{ }^\circ\text{C}$$



TRT test na lokaciji Cetinje, Crna Gora

Cetinje, 21.12.2018.

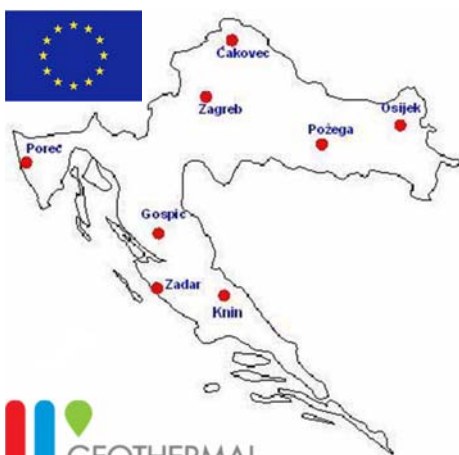


Vrijednosti dobivene mjerenjem toplinskog odziva tla:

- toplinska vodljivost tla $\lambda \cong 4,1 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$
- unutarnji otpor bušotine $R_b = 0,075 \text{ (m}^*\text{K)}/\text{W}$
- nedirnuta temperatura tla $10,51 \text{ }^\circ\text{C}$



IPA projekt: Istraživanje i promocija plitkih geotermalnih potencijala

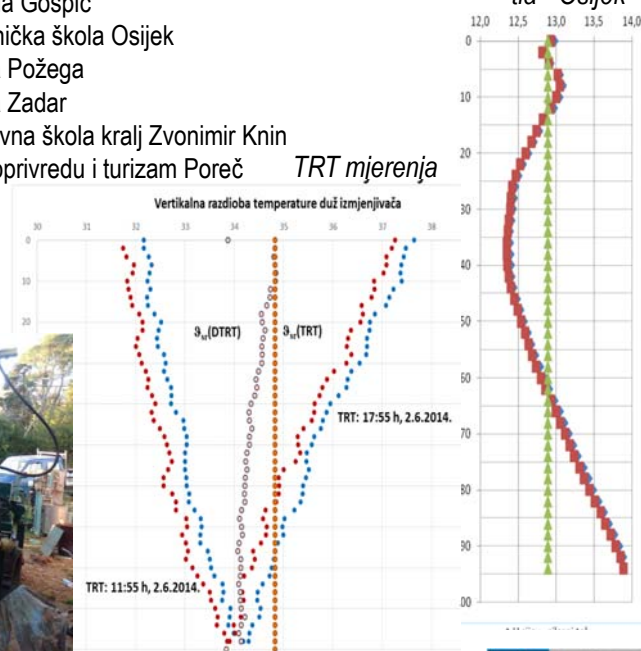


Suradnici:

- Tehnička škola Čakovec
- Strukovna škola Gospić
- Strojarska tehnička škola Osijek
- Tehnička škola Požega
- Tehnička škola Zadar
- Srednja strukovna škola kralj Zvonimir Knin
- Institut za poljoprivredu i turizam Poreč



Nedirnuta temperatura tla - Osijek



Polaganje toplinske sonde i optike (Zadar)



Bušenje i uzimanje jezgre

- Radovi bušenja na lokaciji **Strojarske tehničke škole Osijek** počeli **23.04.2014.**



Radove bušenja na svih osam lokacija izvela tvrtka GEOservis A.S.



Determinacija jezgre od strane HGI

- Bušenje s uzimanjem jezgre tla



Uzorci jezgre s 8 lokacija bušenja

➤ Osijek



➤ Čakovec



➤ Požega



➤ Zagreb



➤ Zadar



➤ Gospić



➤ Poreč



➤ Knin



Osam istražnih lokacija diljem Hrvatske



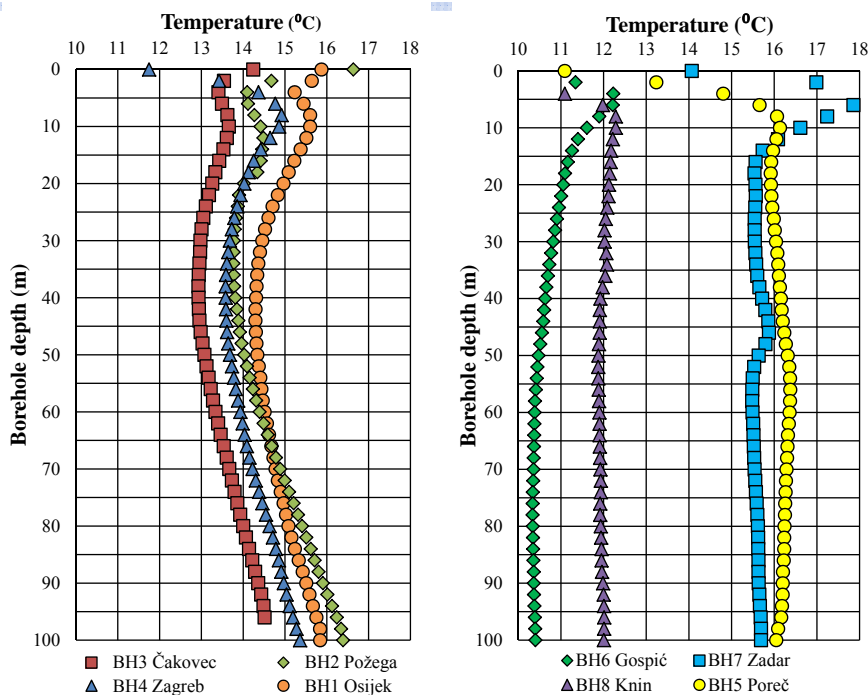
- Tehnička škola Čakovec
- Strukovna škola Gospić
- Strojarska tehnička škola Osijek
- Tehnička škola Požega
- Tehnička škola Zadar
- Srednja strukovna škola Kralj Zvonimir Knin
- Institut za poljoprivredu i turizam Poreč
- Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

Toplinska provodnost tla λ , W/(m K)
 Temperatura neporemećenog tla θ_{tlo} , °C
 Toplinski otpor bušotine, R_b (K m)/W

www.geothermalmapping.fsb.hr



Neometana temperatura tla



Pannonian (left) and Dinaridic locations (right)



Tehnička škola Zadar – dizalica topline tlo-voda



Dizalica topline Frigo Plus
- Učinek grijanja 9,6 kW (B0/W45)



Strukovna škola Kralj Zvonimir Knin – dizalica topline tlo-voda



Dizalica topline Frigo Plus
- Učinek grijanja 9,6 kW (B0/W45)



Geotermalni izvor u dvorištu Škole



Projekt skraćenog naziva GeothermalMapping (istraživanje i promocija eksploatacije plitkih geotermalnih potencijala u Hrvatskoj) provedli su znanstvenici s Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu u suradnji s Hrvatskim geološkim institutom u razdoblju od lipnja 2013. do lipnja 2015.



22



Cilj i snisao Geothermal Mappinga bilo je istraživanje potencijala plitkih geotermalnih izvora, početak izrade kartografskog prikaza geotermalnog potencijala te promocija i edukacija znanstvene, tehničke i šire zajednice o ovoj vrsti obnovljive energije kojom Hrvatska obiluje.

Znanstvenici s FSU-a su s partnerom, Hrvatskim geološkim institutom, provedli istraživanja u području grijanja i hlađenja izgrađenih prostora korištenjem dizalica topline povezanih s tlom putem

STROJARSKA TEHNIČKA ŠKOLA OSIJEK



bušotinskih izmjenjivača topline. Izvođenjem istražnih bušotina izmjereni su tzv. toplinski odzivi i ispitani sastav tla iz slojeva prolaza bušotina.

Suradnici u realizaciji projekta su bili Tehnička škola Čakovec, Strukovna škola Gospić, Tehnička škola Požeга, Tehnička škola Zadar, Srednja strukovna škola Zvonimira u Kninu, Institut za poljoprivredu i turizam u Poreču te Strojarska tehnička škola Osijek.

23



Radovi su bili podijeljeni u tri faze. U prvoj se fazi bušilo tlo na dubinu od 100 metara, zatim se, u drugoj fazi, u bušotinu postavila instalacija kojom se mjenj temperatura tla po metru bušotine. Treća je faza projekta bila ispitivanje, odnosno testiranje tla, koje je pokazalo da je tlo isplativo za sustave grijanja, odnosno hlađenja izgrađenih prostora. Nakon toga, škola je dobila toplinsku crpku pomoću koje možemo grijati dvije prostorije u školi. Novoinstalirana oprema i dizalice topline ostavljeni su školi na trajno korištenje. Tako ćemo tlo, odnosno toplinu iz utrobe Zemlje, koristiti kao obnovljivi izvor energije. Uz to, uštedjet ćemo i educirati učenike za rad s modernim tehnologijama.

Nadamo se da to nije kraj ove priče. Voditelj projekta dr. sc. Vladimir Soldo prijavit će novi projekt i pokušati nabaviti mjernu opremu (balorimetre, multimetre, mjerni temperature, akvizicijski sustav) koju bi ugradili na lokacijama provedbe IPA projekta GeothermalMapping, točnije u naše škole.

Cilj je mjerenje sezonske učinkovitosti na pilot sustavima s dizalicama topline.

Dalibor Ratić, dipl.Ing.

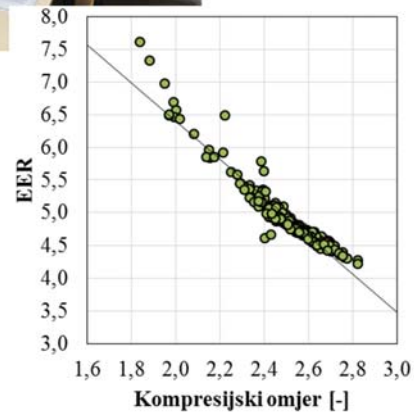
NAŠIH 130 GODINA



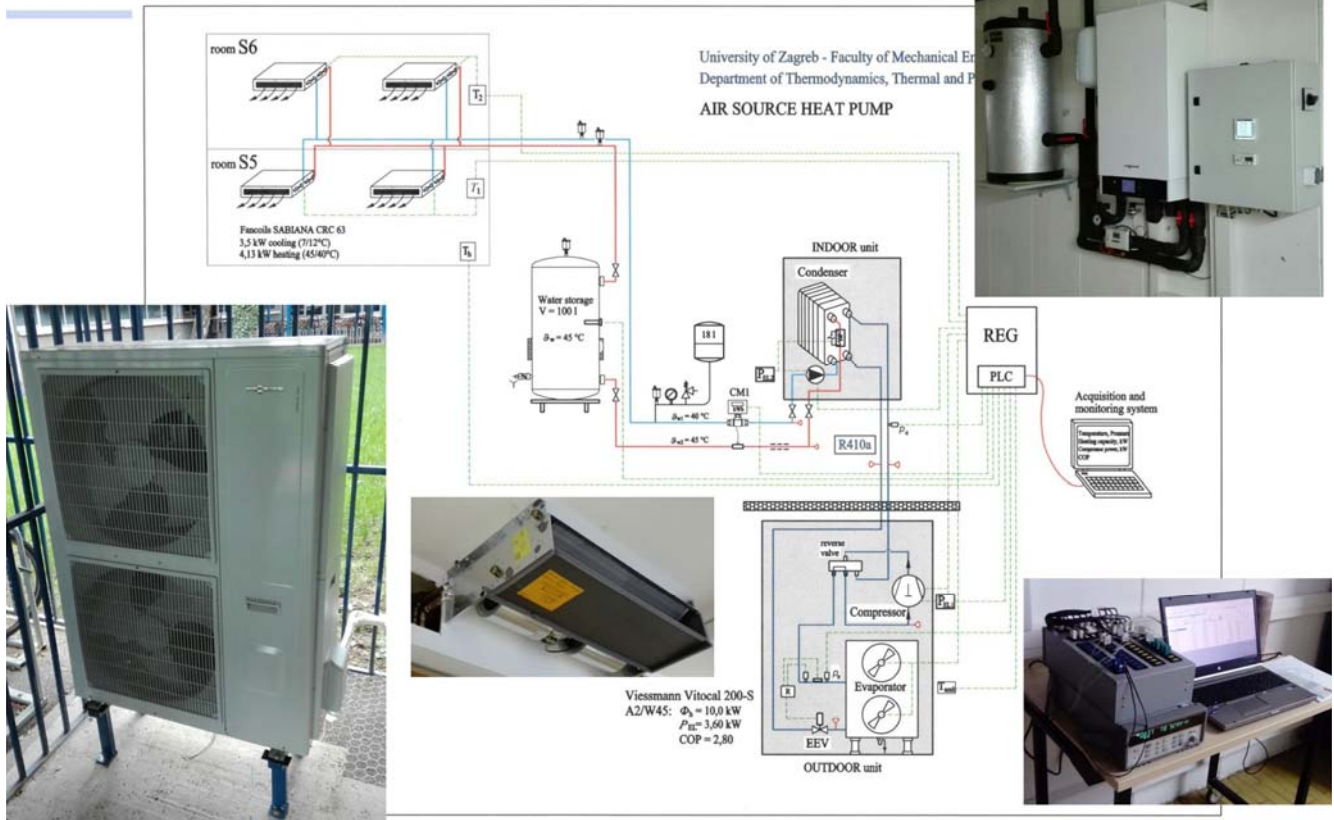
Geotermalna dizalica topline na FSB-u

FSB, 16.12.2015.

- Propanska dizalica topline (Frigo Plus)
- Učinak grijanja 12 kW (B0/W45)
- Prekretna na strani izvora/ponora topline

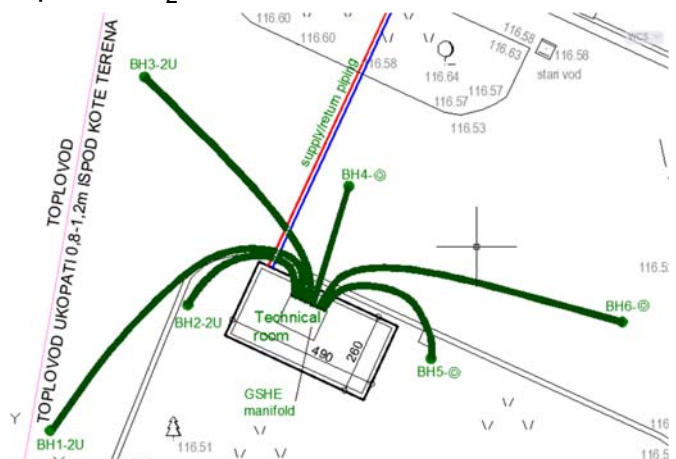


Dizalica topline zrak-voda na FSBu



Geotermalna dizalica topline tlo voda – Tehnički muzej Zagreb

- **Horizon projekt** H2020 CheapGSHPs, nositelj je Talijanski Institut za istraživanje atmosfere i klime
- Izvedeno pilot postrojenje s geotermalnom dizalicom topline za grijanje i hlađenje izložbenog prostora Tehničkog muzeja Nikola Tesla u Zagrebu.
- Učinak grijanja 30 kW, učinak hlađenja 26 kW
- Ugradnja 6 toplinskih sondi po 100 m (3 s 2U i 3 koaksijalne)
- Kaskadna visokotemperaturna dizalica topline CO₂/R1234ze



Izvedbe dizalice topline tlo voda – Tehnički muzej Zagreb

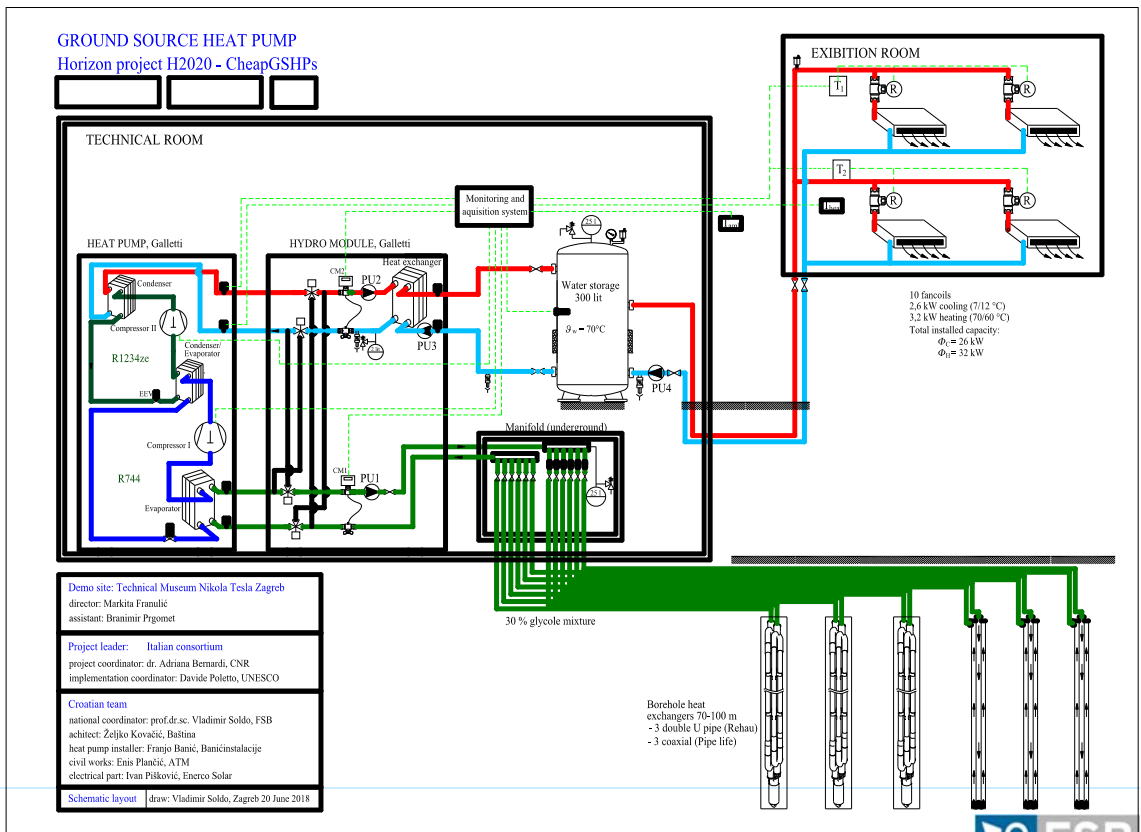
- šaht s razdjelnikom/sabirnikom



- spajanje koaksijalnog izmjenjivača



Horizon projekt 2020: Dizalica topline tlo voda – Tehnički muzej Zagreb





HVALA NA PAŽNJI!

prof.dr.sc. Vladimir SOLDO
e-mail: vladimir.soldo@fsb.hr