



REPUBLIC OF CROATIA
Ministry of Regional
Development and EU Funds



Iskustva u projektiranju dizalica topline: voda - voda i tlo - voda

- Radionica projekta PLIGES-

Osijek, 10. XI. 2023.

Stjepan Herceg, mag. ing. mech.
Doc dr. sc. Luka Boban
Prof. dr. sc. Vladimir Soldo
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje



Financijska potpora

Iceland
Liechtenstein
Norway grants

 REPUBLIC OF CROATIA
Ministry of Regional
Development and EU Funds

 EIHP
ENERGETSKI INSTITUT
HRVOJE POŽAR

Projekt *Mapiranje plitkih geotermalnih sustava u Republici Hrvatskoj* (PLIGES), ref. broj 111, financiran je od Islanda, Lihtenštajna i Norveške kroz Financijski mehanizam Europskog gospodarskog prostora (EGP) 2014. – 2021. uz nacionalno sufinanciranje Republike Hrvatske u okviru provedbe Programa „Energija i klimatske promjene“.

- **Upravitelj programa:** Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova Europske unije
- **Programski partner:** Energetski institut Hrvoje Požar

Sadržaj

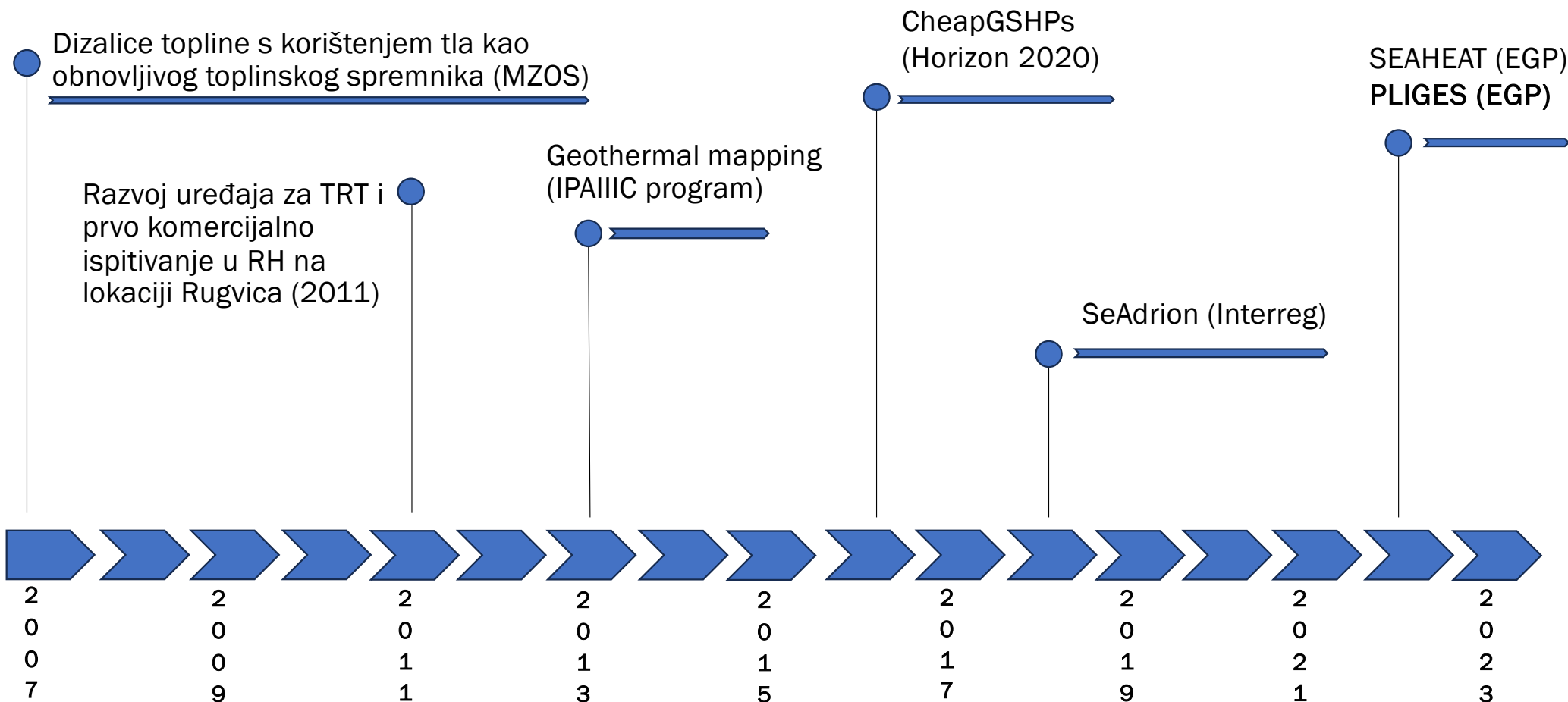
Iceland
Liechtenstein
Norway grants

REPUBLIC OF CROATIA
Ministry of Regional
Development and EU Funds

EIHP
ENERGETSKI INSTITUT
HRVOJE POŽAR

- stručne i znanstvene aktivnosti FSB-a na području plitke geotermalne energije
- specifični elementi projektiranja sustava dizalica topline s tlom i vodom kao toplinskim spremnicima:
 1. Dimezioniranje sustava za iskorištavanje topline iz okoliša prema sezoni grijanja i hlađenja
 2. Hidraulički proračun kruga izvora topline
 3. Specifične pojave u tlu utvrđene TRT-om
 4. Optimiranje geometrije polja bušotinskih izmjenjivača topline

Značajne stručne i znanstvene aktivnosti

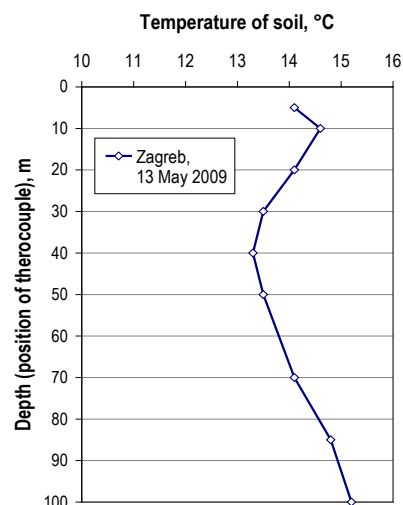


Stručne i znanstvene aktivnosti

Iceland
Liechtenstein
Norway grants

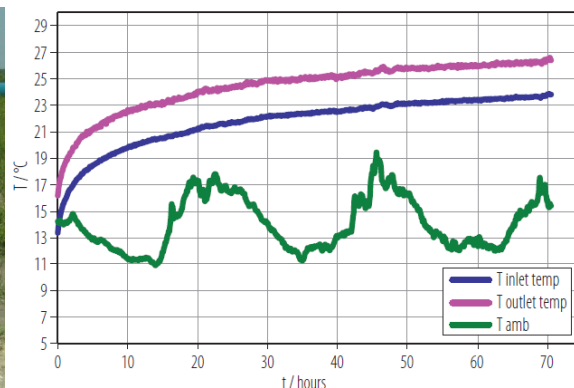
REPUBLIC OF CROATIA
Ministry of Regional
Development and EU Funds

EIHP
ENERGETSKI INSTITUT
HRVOJE POŽAR



Dizalice topline s korištenjem tla kao obnovljivog toplinskog spremnika (2007-2013), projekt financiran od strane Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta

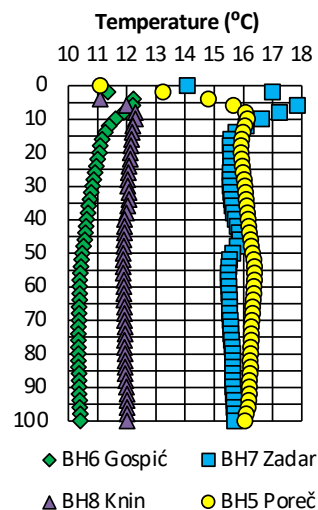
- izveden prvi sustav s distribuiranim mjerenjem temperature tla (termoparovima) na FSB-u



Razvoj uređaja za TRT i prvo komercijalno ispitivanje u RH (2011)

- na lokaciji Rugvica, određivanje temperature tla, efektivne vodljivosti tla i toplinskog otpora na izvedenom bušotinskom izmjenjivaču topline

Stručne i znanstvene aktivnosti



Istraživanje i promocija plitkog geotermalnog potencijala u Republici Hrvatskoj (2013-2015) - sufinanciranje kroz IPAIIIC program

- 8 istražnih bušotina opremljenih sustavom naprednog mjerenja temperature tla (optički kabeli)
- izvedeni demonstracijski sustavi s dizalicama topline



Izvedba pilot postrojenja (2013-2022)

- istraživanje i promocija plitkog geotermalnog potencijala u Republici Hrvatskoj (2013-2015)
- **CheapGSHPs:** Cheap and efficient application of reliable ground source heat exchangers and pumps (2016-2019), Horizon 2020
- **SeAdrion:** Fostering diffusion of Heating & Cooling technologies using the seawater pump in the Adriatic-Ionian Region (2018-2021), Interreg projekt

Stručne i znanstvene aktivnosti

Iceland
Liechtenstein
Norway grants

REPUBLIC OF CROATIA
Ministry of Regional
Development and EU Funds

EIHP
ENERGETSKI INSTITUT
HRVOJE POŽAR



Sea for Heritage Energy Transition – SEAHEaT

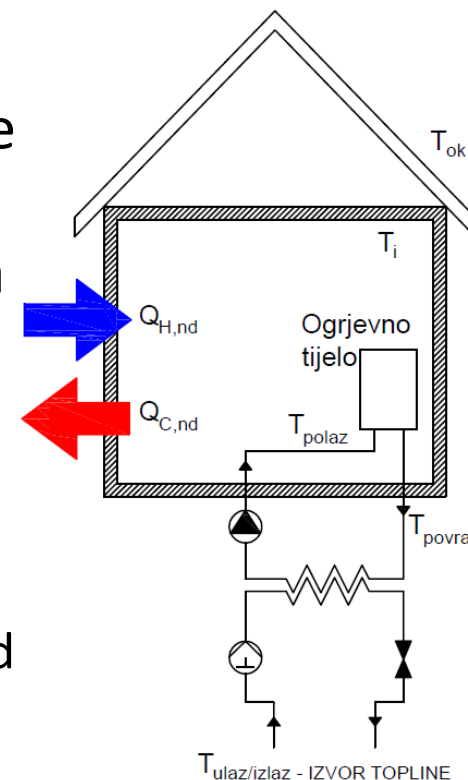
- iskorištavanje toplinske energije mora posredstvom dizalica topline u projektima energetske obnova zgrada koja predstavljaju kulturna dobra
- izvedba pilot projekta za potrebe dvije zgrade Specijalne bolnice za ortopediju i rehabilitaciju “Martin Horvat” u Rovinju

Stručne aktivnosti:

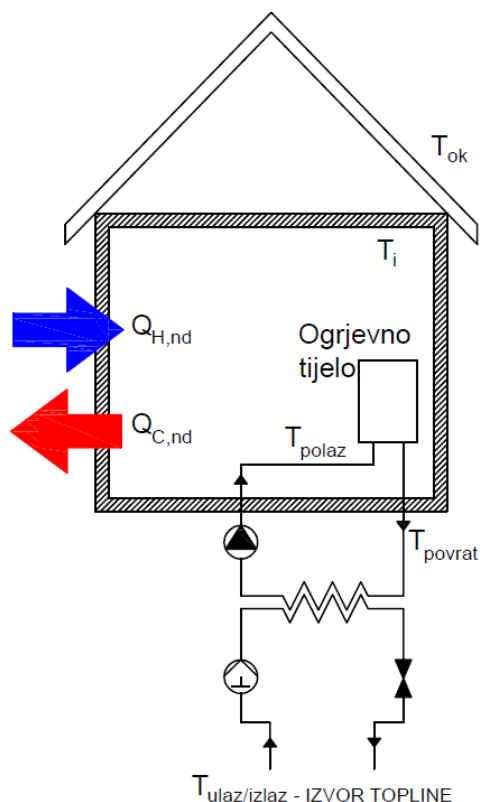
- izrada preinvesticijskih studija
- ispitivanje toplinskog odziva tla (TRT metoda)
- dimenzioniranje polja bušotinskih izmjenjivača topline
- mjerenje radnih parametara, dijagnostika i otklanjanje nepravilnosti

Dimenzioniranje sustava za iskorištavanje topline iz okoliša prema sezoni grijanja i hlađenja

- **Toplinsko opterećenje zgrade:** toplinsko opterećenje ovisi o svojstvima zgrade te ponašanju korisnika zgrade
- Ovisno o toplinskom opterećenju zgrade, režimu rada sustava i učinkovitosti sustava ovisi izmijenjena toplotina s okolišem
- Kod geotermalnih sustava:
 - sustavi koji koriste tlo kao izvor topline – kod projektiranja predvidjeti dugoročnu eksploataciju (akumulacija topline)
 - sustavi s podzemnom vodom – brža izmjena topline – pravilno dimenzioniranje pumpi i cjevovoda za optimalni rad sustava



Dimenzioniranje sustava za iskorištavanje topline iz okoliša prema sezoni grijanja i hlađenja



- dinamični sustav ovisan o više varijabla
- dobro dimenzioniran sustav – pravilan rad
- potrebno poznavanje ulaznih i izlaznih varijabla kako bi se pravilno dimenzionirao sustav

Dimenzioniranje sustava za iskorištavanje topline iz okoliša prema sezoni grijanja i hlađenja

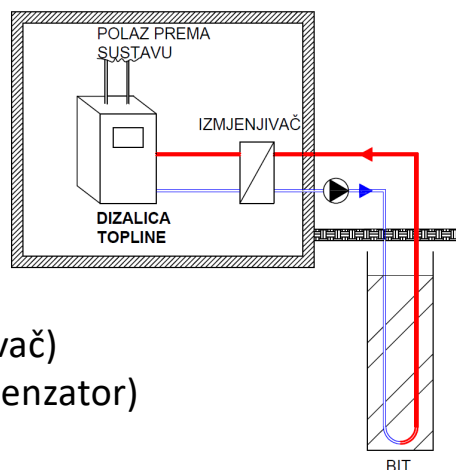
Tlo-voda sustavi

$$Q_{\text{sezona_gr}} = 10000 \text{ kWh}$$
$$Q_{\text{sezona_hl}} = 10000 \text{ kWh}$$

$$\text{SCOP} = 3,5$$
$$\text{SEER} = 4,5$$

$$Q_{\text{tlo_gr}} = 7143 \text{ kWh (isparivač)}$$
$$Q_{\text{tlo_hl}} = 12222 \text{ kWh (kondenzator)}$$

Razlika = 5794 kWh -> dugoročno zagrijavanje/pothlađivanje tla



Voda-voda sustavi

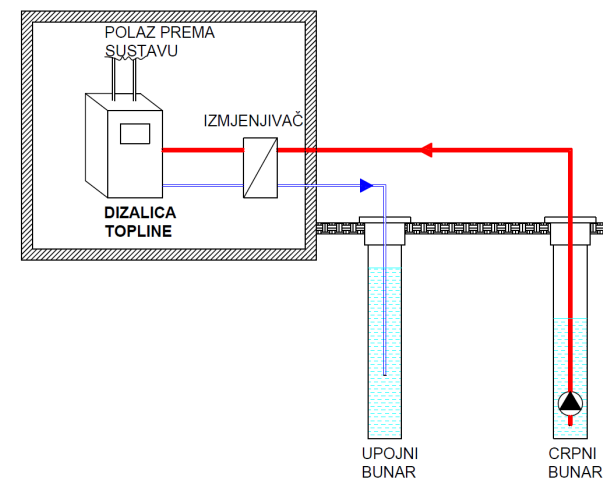
$$Q_{\text{gr}} = 1000 \text{ kW}$$
$$Q_{\text{hl}} = 1000 \text{ kW}$$

$$\text{COP} = 4,5$$
$$\text{EER} = 6$$

$$dT_{\text{vode}} = 5^{\circ}\text{C}$$

$$q_{\text{v_gr}} = 37 \text{ l/s}$$
$$q_{\text{v_hl}} = 56 \text{ l/s}$$

Razlika = 20 l/s -> potreban optimalan izbor pumpe (ugradnja pumpe s varijabilnim protokom)



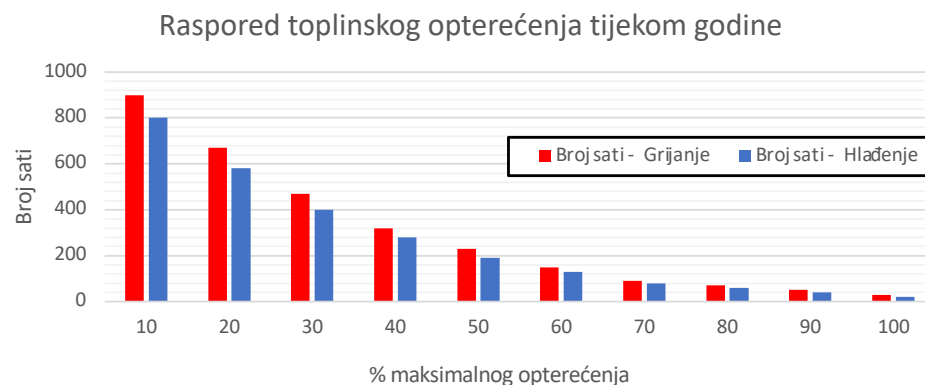
Dimenzioniranje sustava za iskorištavanje topline iz okoliša prema sezoni grijanja i hlađenja

Iceland
Liechtenstein
Norway grants

REPUBLIC OF CROATIA
Ministry of Regional
Development and EU Funds

EIHP
ENERGETSKI INSTITUT
HRVOJE POŽAR

Obiteljska kuća, površinsko grijanje
Površina 150 m²
Niskotemperaturno grijanje: 35/30 °C
Visokotemperaturno hlađenje: 16/19 °C



Tlo-voda sustavi

$$Q_{h/c_nd} = 20/20 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{Tlo_gr} = 2144 \text{ kWh}$$

$$Q_{Tlo_hl} = 462 \text{ kWh}$$

$$\text{Razlika} = 462 \text{ kWh}$$

$$Q_{h/c_nd} = 30/25 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{Tlo_gr} = 3216 \text{ kWh}$$

$$Q_{Tlo_hl} = 3257 \text{ kWh}$$

$$\text{Razlika} = 41 \text{ kWh}$$

$$Q_{h/c_nd} = 20/30 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{Tlo_gr} = 2144 \text{ kWh}$$

$$Q_{Tlo_hl} = 3909 \text{ kWh}$$

$$\text{Razlika} = 1764 \text{ kWh}$$

Hidraulički proračun kruga izvora topline

Iceland
Liechtenstein
Norway grants



REPUBLIC OF CROATIA
Ministry of Regional
Development and EU Funds



Tlo-voda (zatvoreni sustavi)

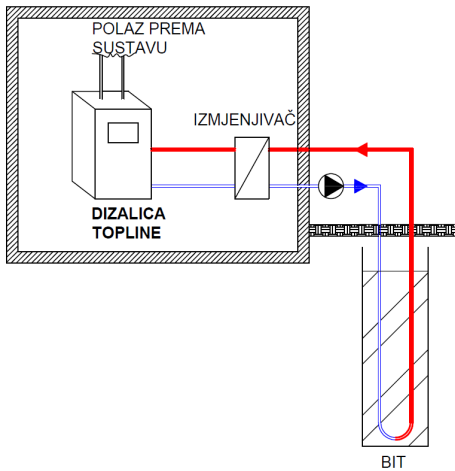
- efikasnost sustava ovisi o pravilnom dimenzioniranju komponenti
- dimenzioniranje – primjer optimiziranja investicijskih troškova i pogonskih troškova
 - manji promjeri cijevi – jeftiniji/skuplji operativni troškovi
 - veći promjeri cijevi – skuplji, manji operativni troškovi
- iznimno efikasni u pogonu ako su pravilno dimenzionirani
- prednosti dobro dimenzioniranog BIT-a mogu se limitirati lošim odabirom pumpe

Voda-voda (otvoreni sustavi)

- za razliku od tlo-voda sustava (optimiranje operativnih i investicijskih troškova) učinkovitost ovisi o količini podzemne vode
- iako s povećanjem zahvata vode rastu investicijski troškovi (veći promjeri i pumpe) značajni je utjecaj zahvata vode na efikasnost cjelokupnog sustava
- ključni dio je optimizacija protoka vode s obzirom na cjelokupni sustav te pravilan odabir pumpe

Hidraulički proračun kruga izvora topline –visina dobave pumpe

Tlo-voda sustavi



Zatvoreni sustav

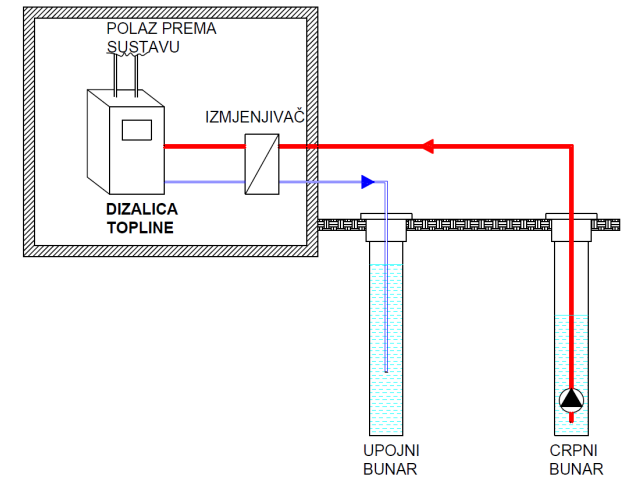
$$h_p = h_F$$

$$W_{pumpe} = \frac{Qxh_p x \rho g}{\eta_{pumpe}}$$

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + h_p = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_F$$

$$h_F = h_f + h_{fm} - \text{gubici sustava}$$

Voda-voda sustavi



Otvoreni sustav

$$h_p = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + h_F,$$

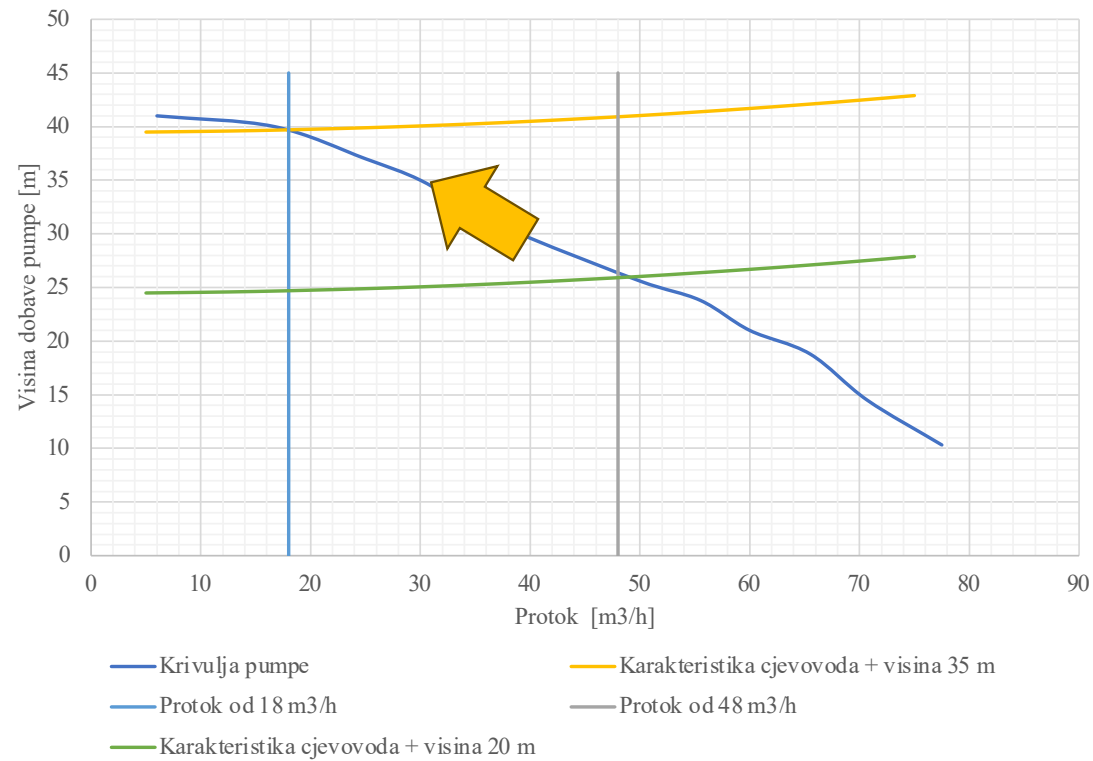
Hidraulički proračun kruga zahvata podzemne vode

Iceland
Liechtenstein
Norway grants

REPUBLIC OF CROATIA
Ministry of Regional
Development and EU Funds

EIHP
ENERGETSKI INSTITUT
HRVOJE POŽAR

- Primjer

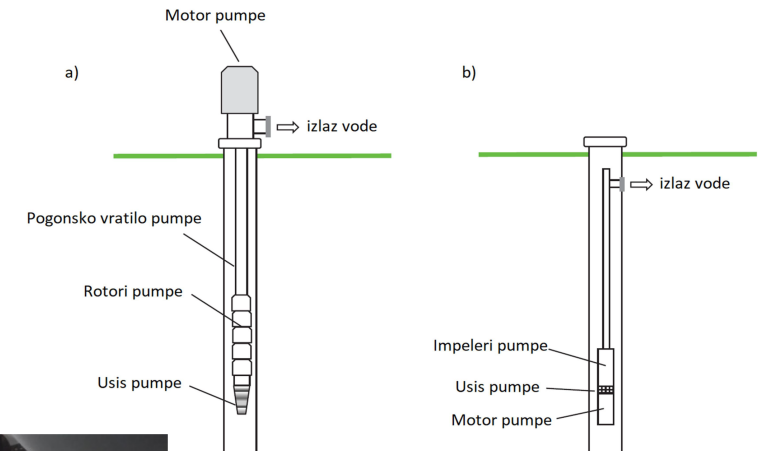


Smanjenje topline na isparivaču s 1000 kW na 377 kW kod promjene visine dobave ili krivo određene visine dobave

Hidraulički proračun kruga zahvata podzemne vode

• Problemi:

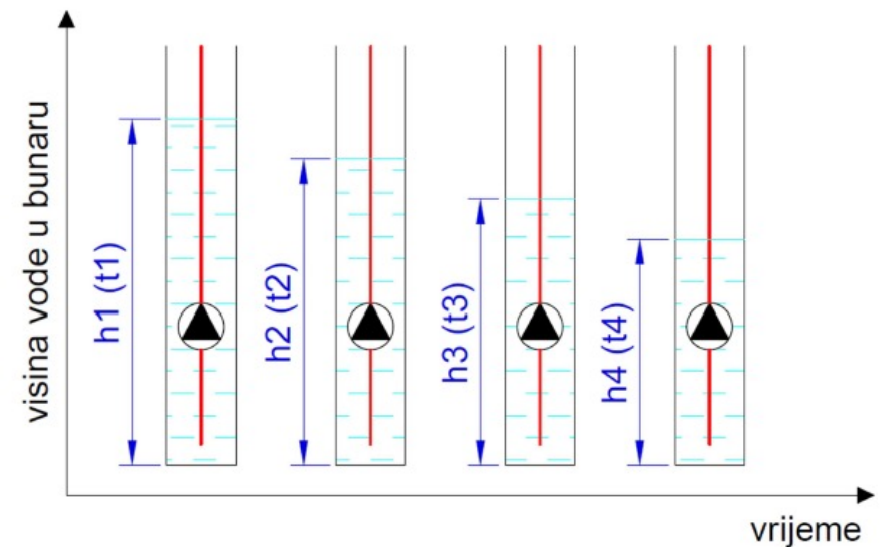
- **Kvaliteta podzemne vode:** korozija, mehanička začepljenja, potrebni dodatni izmjenjivač (rast troškova održavanja i investicijskih troškova)
- **Toplinsko opterećenje zgrade:** promjena toplinskog opterećenja uzrokuje promjenu potrebe zahvata vode, optimizirati protok vode
- **Snaga pumpe:** potrebne veće snage pumpe nego kod zatvorenih sustava (ali većinom rade na većoj razlici temperature – bolja ukupna učinkovitost sustava)



Slika lijevo: međuzmjenjivač
Slika gore: pumpe podzemne vode

Hidraulički proračun kruga zahvata podzemne vode

- Problemi:
 - **Razina podzemne vode:** uzimanjem vode smanjuje se razina vode u bunaru što povećava potrebnu snagu pumpe, održavanje razine vode ovisi o karakteristikama tla i lokalnim podzemnim tokovima, problemi kod sustava koji podzemnu vodu ne vraćaju u upojni bunar nego u površinske vode (dugoročno isušivanje)
 - **Potrebne dozvole:** većinom dozvoljena eksploatacija podzemne vode (zaštićena područja), potrebne dozvole za korištenje podzemne vode za razliku od ostalih izvora toplina



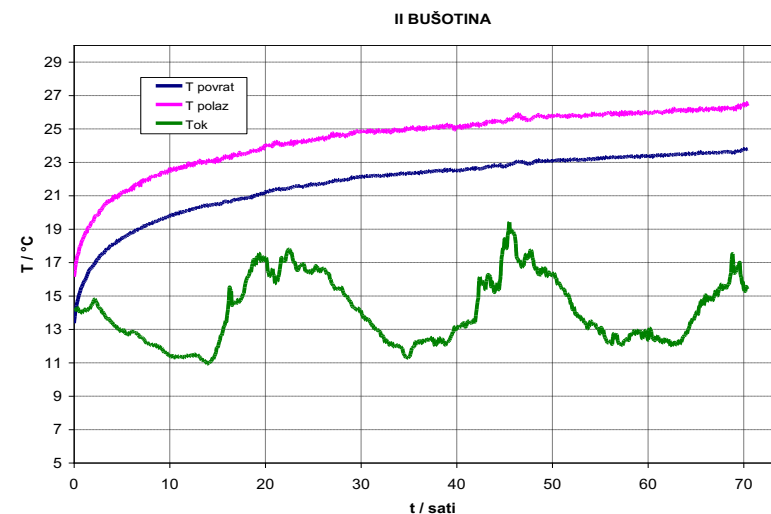
Slika: smanjenje razine podzemne vode s vremenom

Specifične pojave u tlu utvrđene TRT-om

- TRT (thermal response test) – metoda određivanja toplinskog odziva tla
- **Ideja ispitivanja:** zagrijavanje tla s **konstantnim toplinskim tokom** te praćenje toplinskog odziva tla, tj. promjene temperature fluida koji struji kroz cijevi u tlu
- provodi se na izvedeno bušotinskom izmjenjivaču topline (BIT), a metodom se određuje temperatura tla, efektivna toplinska vodljivost tla i toplinski otpor BIT-a



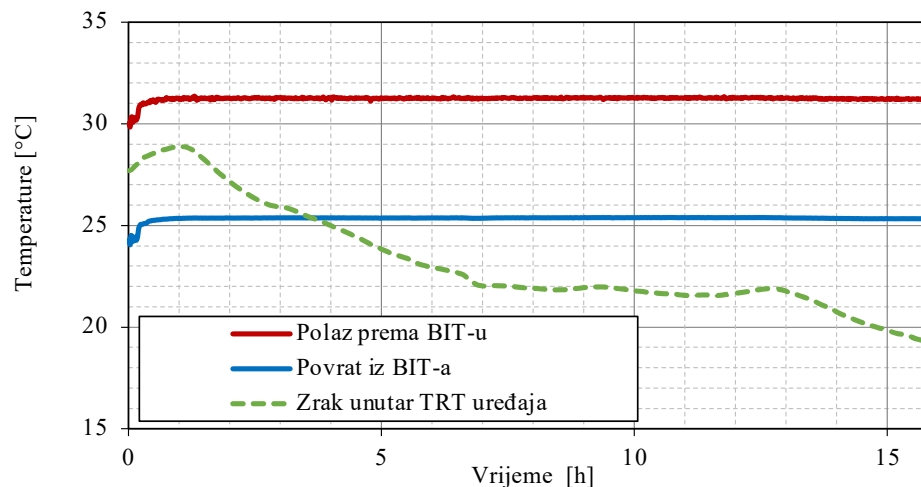
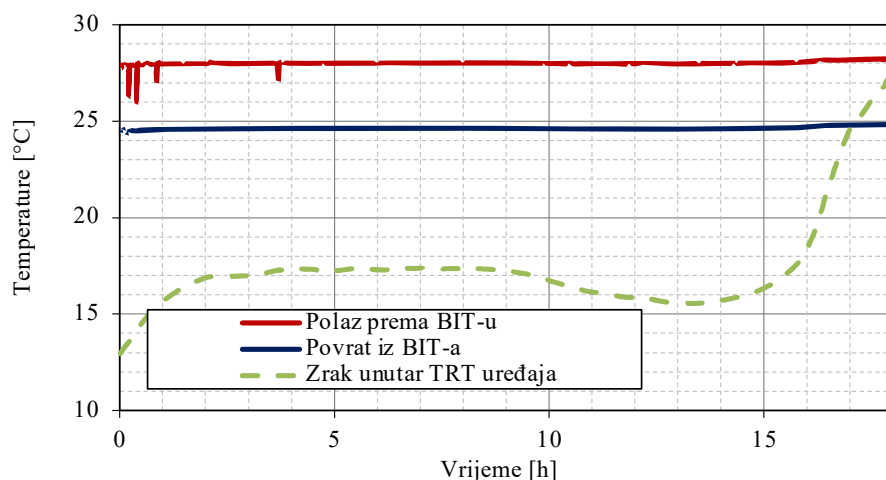
Slika: TRT uređaj povezan s toplinskom sondom



Slika: Temperature tijekom TRT-a (polaz prema tlu – ljubičasta; povrat iz tla - modra, okolišni zrak – zelena)

Specifične pojave u tlu utvrđene TRT-om I

- specifičnosti:
 - a) temperature fluida stabilne u vremenu neovisno o narinutom toplinskom učinku (4,9 kW i 8,4 kW)
 - b) visoka temperatura tla u iznosu od 23,64 °C
 - nefizikalna efektivna toplinska vodljivost tla (87 i 312 W/(m K)) ovisna o narinutom toplinskom toku
 - uzork – izraženi protok podzemne vode
 - visoka temperatura tla – provjeriti temperaturni raspon primjene materijala cijevi (za režim hlađenja) i graničnu temperaturu medija na ulazu u isparivač (često je to 20 °C)



Slika: Temperature tijekom TRT-a (lijevo 4,9 kW grijanja; desno 8,4 kW grijanja)

Specifične pojave u tlu utvrđene TRT-om II

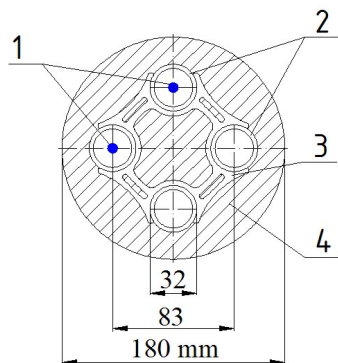
Iceland
Liechtenstein
Norway grants



REPUBLIC OF CROATIA
Ministry of Regional
Development and EU Funds



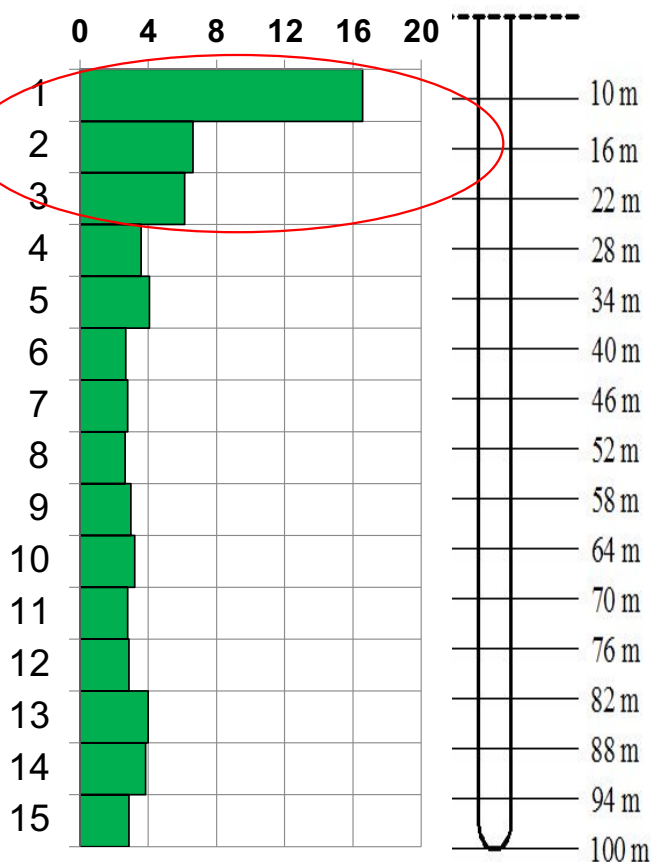
- lokacija: Zadar, školski demonstracijski sustav
- napredno određivanje toplinskih svojstava po dubini (DTRT)
- specifičnosti:
 - uočen sloj s značajno višim toplinskim svojstvima



1. optički kabel
2. PE cijev

3. distancer
4. ispuna

Toplinska vodljivost tla W/(m K)

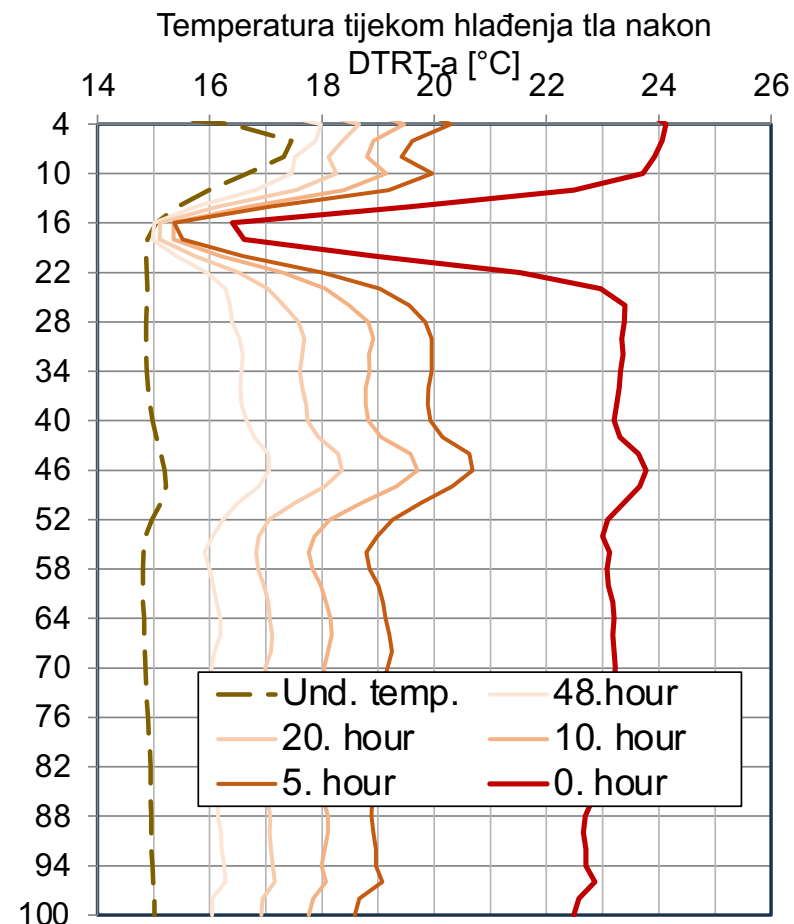


Slika: Vertikalna razdioba toplinske vodljivosti i uzorci tla

Specifične pojave u tlu utvrđene TRT-om II

- specifičnosti:
 - uzrok – izraženi protok podzemne vode

Metoda	Toplinska vodljivost tla [W/(m K)]
Mjerenje na uzorcima tla	2.86
DTRT	4.3
DTRT (bez slojeva 1, 2, 3)	3.19

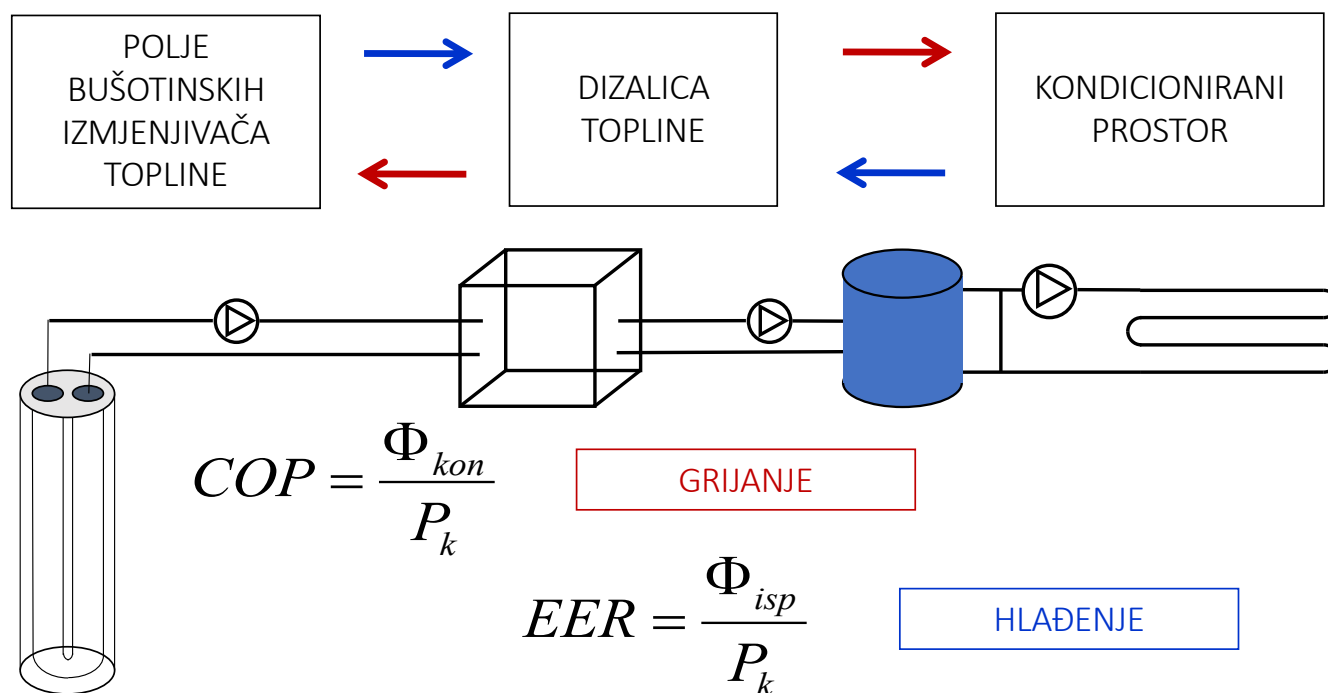


Slika: Vertikalna razdioba temperature

Optimiranje geometrije polja bušotinskih izmjenjivača topline

Koliko je potrebno BIT-ova?

- Dimenzije cijevi i dubina bušotine
- Toplinska svojstva ispune
- Posredni medij – udio sredstva za snižavanje temperature ledište
- Osigurano turbulentno strujanje
- Dubina BIT-a
- Razmak između susjednih BIT-ova
- Ulazni parametri: rezultati TRT-a i toplinske potrebe!



- Cilj proračuna: zadovoljavanje minimalne i maksimalne dopuštene temperature i ograničavanje trajne promjene temperature tla

Optimiranje geometrije polja bušotinskih izmjenjivača topline

Iceland
Liechtenstein
Norway grants

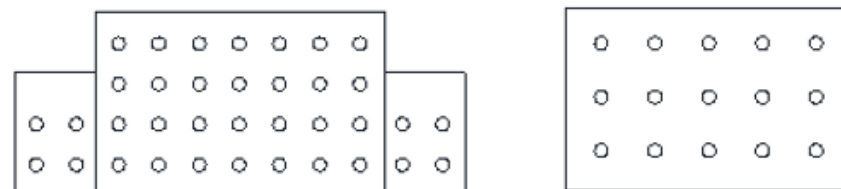
REPUBLIC OF CROATIA
Ministry of Regional
Development and EU Funds

EIHP
ENERGETSKI INSTITUT
HRVOJE POŽAR

Primjer:

Industrijsko postrojenje, priprema tople vode na 48 °C i hlađenje uredskih prostora

- Energija za grijanje: 1055 MWh
- Energija za hlađenje 265 MWh
- značajno veće potrebe za grijanjem nego za hlađenjem što uzrokuje neuravnoteženu izmjenu topline s tлом
- broj BIT-ova ograničen je raspoloživom površinom



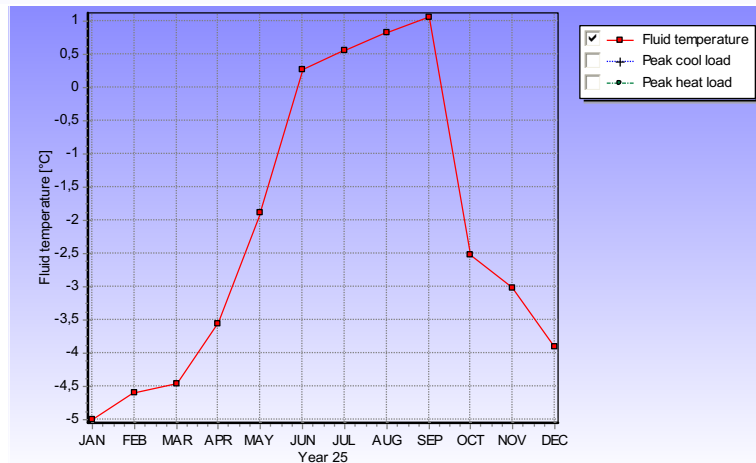
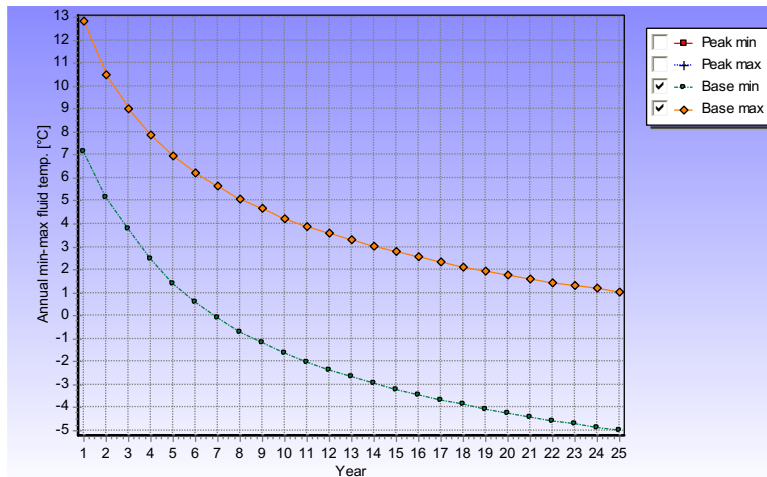
Slika: Raspoloživi prostor za ugradnju BIT-ova

Optimiranje geometrije polja bušotinskih izmjenjivača topline

Iceland
Liechtenstein
Norway grants

REPUBLIC OF CROATIA
Ministry of Regional
Development and EU Funds

EIHP
ENERGETSKI INSTITUT
HRVOJE POŽAR



Primjer:

Industrijsko postrojenje, priprema tople vode na 48 °C i hlađenje uredskih prostora

- trajno pothlađenje tla
- prosječni faktor grijanja dizalice topline smanjuje se s godinama te se smanjuje i udio toplinske energije preuzete iz tla

REZULTAT PRORAČUNA:

- 15 BIT-ova, razmak 8 m (ukupno 1800 m) – 479 MWh isporučene topline (45% od ukupno potrebne)
- 36 BIT-ova, razmak 6 m (ukupno 4320 m) – 730 MWh isporučene topline (73% od ukupno potrebne)
- Dodatnih 140% ukupne duljine izmjenjivača rezultira s manje od 50% povećanjem isporučene toplinske energije
- zbog konačne raspoložive površine za ugradnju daljnje povećanje broja BIT-ova ne povećava linearno količinu energije koja se sustavom može isporučiti

Zaključak

- dizalice topline s tlom i vodom tehnički su zahtjevnije za projektiranje i izvedbu
- za učinkoviti rad sustava nužno je dobro projektirati i izvesti dio sustava za zahvat obnovljive topline iz okoliša (tla ili vode)
- nužno je poznavanje toplinskih potreba zgrade te je nužno približno poznavanje radnih značajki dizalice topline (COP i EER vrijednosti)
- rezultate istražnih ispitivanja (TRT-a) potrebno je točno i objektivno interpretirati
- posebnu pažnju potrebno je pridati zgradama s neravnomjernim potrebama za grijanjem i hlađenjem te investitoru ponuditi financijski optimalno rješenje

Iceland
Liechtenstein
Norway grants



REPUBLIC OF CROATIA
Ministry of Regional
Development and EU Funds



Hvala na pažnji!

Kontakt

www.pliges.eu

www.fsb.hr

Fakultet strojarstva i brodogradnje
Ivana Lučića 5
10002 Zagreb, p.p. 102

/vladmir.soldo@fsb.hr

/luka.boban@fsb.hr

/stjepan.herceg@fsb.hr

