

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

- II. radionica projekta PLIGES-

Zagreb, 22. III. 2024.

Doc. dr. sc. Luka Boban  
Stjepan Herceg, mag. ing. mech.  
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

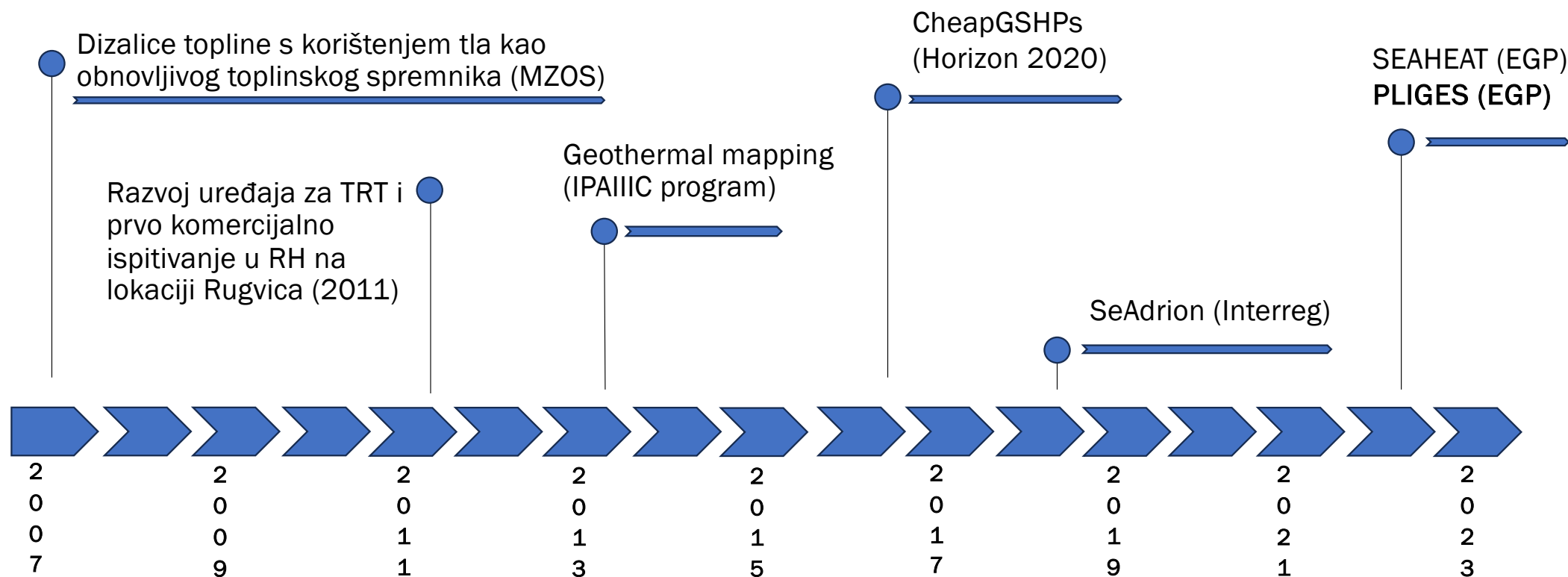
- stručne i znanstvene aktivnosti FSB-a na području plitke geotermalne energije
- specifični elementi projektiranja sustava dizalica topline s tлом i vodom:
  1. Dimezioniranje sustava za iskorištavanje topline iz okoliša prema sezoni grijanja i hlađenja
  2. Hidraulički proračun kruga izvora topline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

# Značajne stručne i znanstvene aktivnosti

Iceland  
Liechtenstein  
Norway grants

REPUBLIC OF CROATIA  
Ministry of Regional  
Development and EU Funds

**EIHP**  
ENERGETSKI INSTITUT  
HRVOJE POŽAR



**Stručne aktivnosti:** izrada preinvesticijskih studija, ispitivanje toplinskog odziva tla (TRT), dimenzioniranje polja bušotinskih izmjenjivača topline, mjerenje radnih parametara, dijagnostika i otklanjanje nepravilnosti

# Značajne stručne i znanstvene aktivnosti

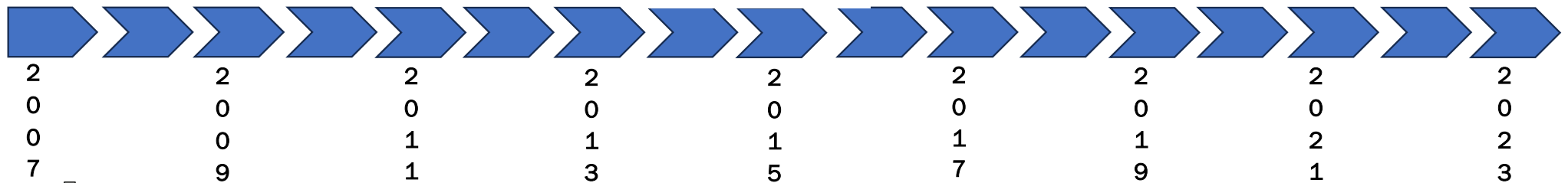
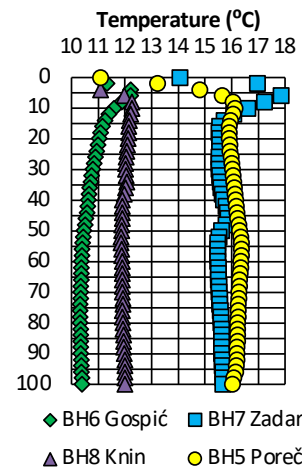
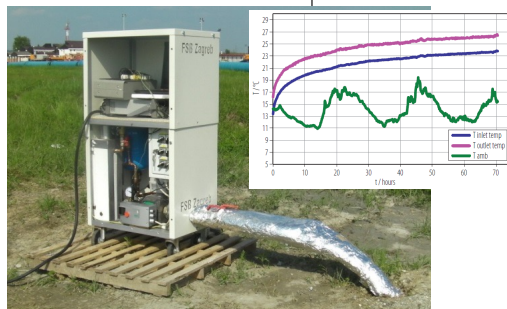
Iceland  
Liechtenstein  
Norway grants

REPUBLIC OF CROATIA  
Ministry of Regional  
Development and EU Funds

**EIHP**  
ENERGETSKI INSTITUT  
HRVOJE POŽAR

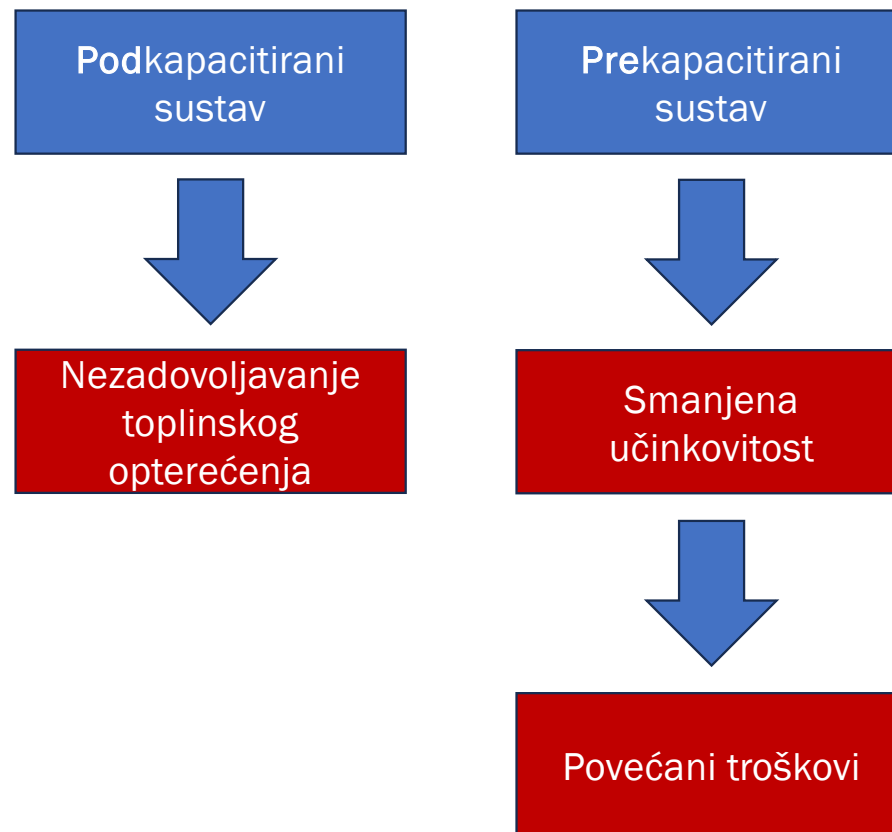


SEAHEAT (EGP)  
PLIGES (EGP)



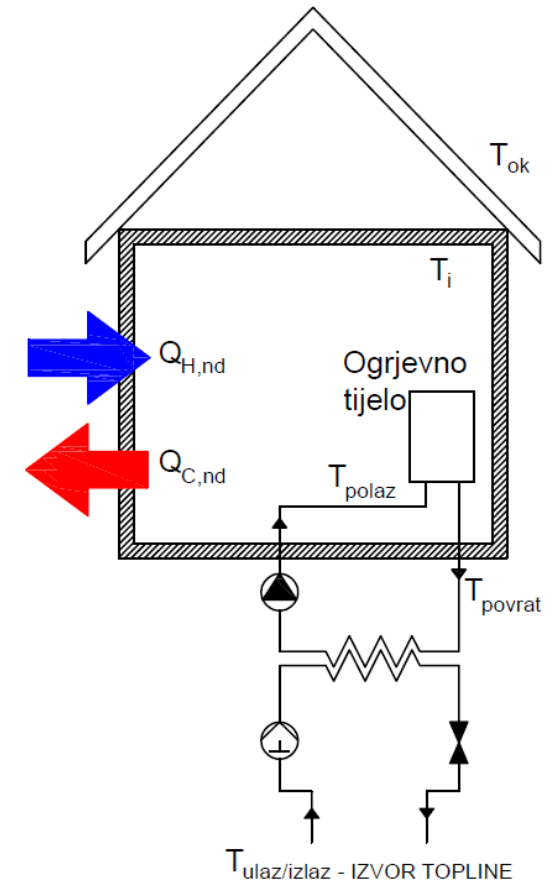
# Dimenzioniranje sustava

- Neodgovarajuće dimenzioniran sustav ili komponente sustava najčešća pogreška kod sustava s dizalicama topline
  - Sustav treba biti dimenzioniran prema stvarnom toplinskom opterećenju objekta
  - Loša praksa – dimenzioniranje prema iskustvenim podacima, nerevidiranje proračuna tijekom projektiranja, povećavanje nazivne snage uređaja radi sigurnosti



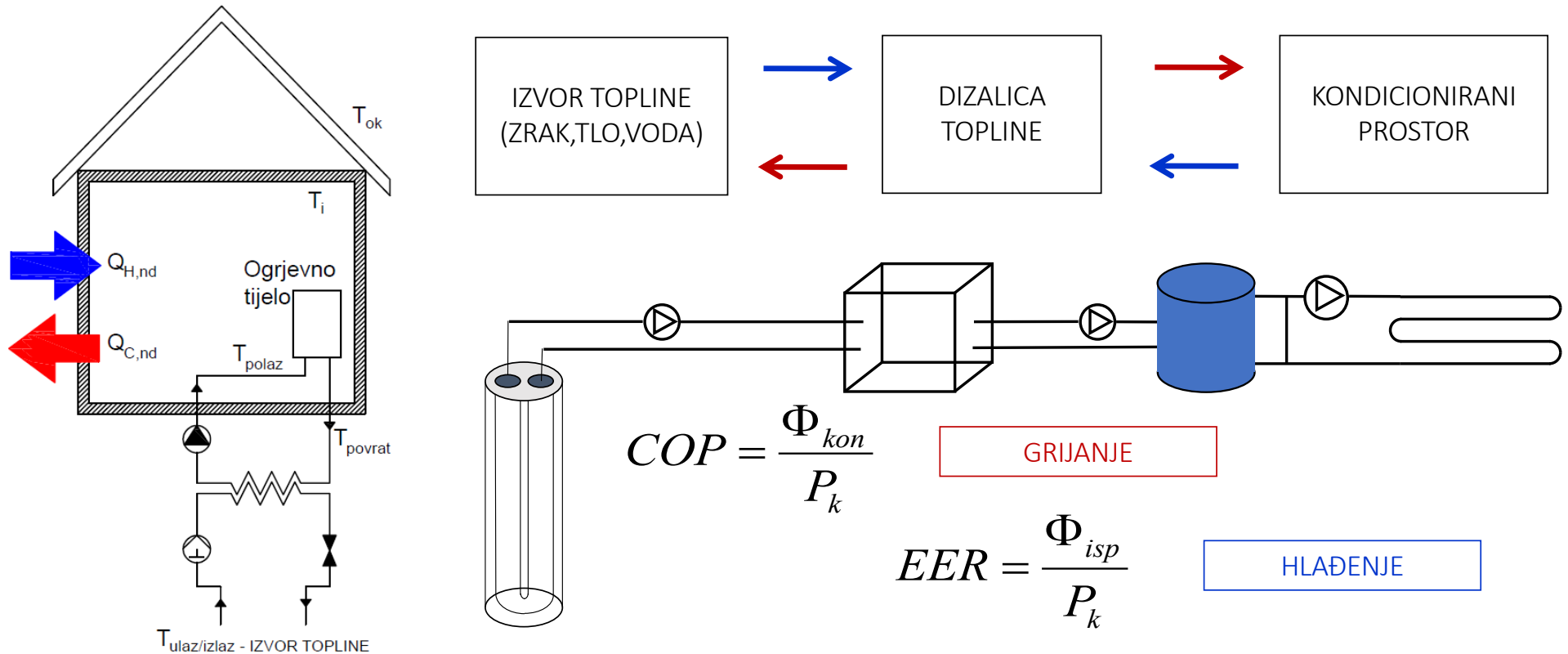
# Dimenzioniranje sustava

- **Toplinsko opterećenje zgrade:** toplinsko opterećenje ovisi o svojstvima zgrade (projektno) te o načinu korištenja zgrade (trenutno)
- Izmijenjena toplina s okolišem ovisi o toplinskom opterećenju, režimu rada i učinkovitosti sustava
- Kod geotermalnih sustava:
  - sustavi koji koriste **tlo** kao izvor topline – kod projektiranja predvidjeti dugoročnu eksploataciju (akumulacija topline)
  - sustavi s podzemnom vodom – pravilno dimenzioniranje pumpi i cjevovoda za optimalni rad sustava



# Dimenzioniranje sustava

- dobro dimenzioniran sustav – pravilan rad



# Dimenzioniranje sustava

## Tlo-voda sustavi

Toplinsko opterećenje

$$Q_{\text{sezona\_gr}} = 10000 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{sezona\_hl}} = 10000 \text{ kWh}$$

Sezonska učinkovitost uređaja

$$\text{SCOP} = 3,5 - \text{grijanje}$$

$$\text{SEER} = 4,5 - \text{hlađenje}$$

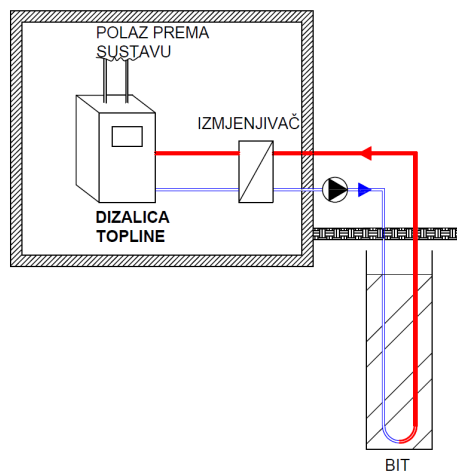
Toplina izmijenjena s tlom

$$Q_{\text{tlo\_gr}} = 7143 \text{ kWh (isparivač)}$$

$$Q_{\text{tlo\_hl}} = 12222 \text{ kWh (kondenzator)}$$

**Razlika** = 5794 kWh -> dugoročno

zagrijavanje/pothlađivanje tla – posljedično je potreban veći broj izmjenjivača u tlu



## Voda-voda sustavi

Snaga uređaja prema toplinskom opterećenju

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

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

Učinkovitost uređaja

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

$$\text{EER} = 6$$

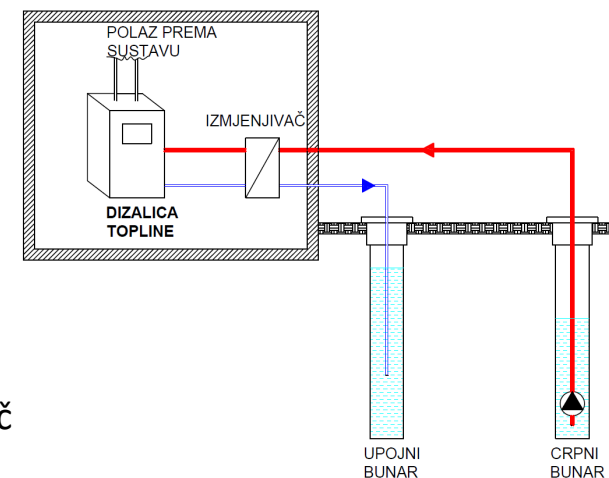
$$dT_{\text{vode}} = 5^{\circ}\text{C}$$

Protok kroz izmjenjivač

$$q_{\text{v\_gr}} = 37 \text{ l/s}$$

$$q_{\text{v\_hl}} = 56 \text{ l/s}$$

**Razlika** = 20 l/s -> posebna pažnje kod izbora pumpe (ugradnja pumpe s varijabilnim protokom)



# Dimenzioniranje sustava

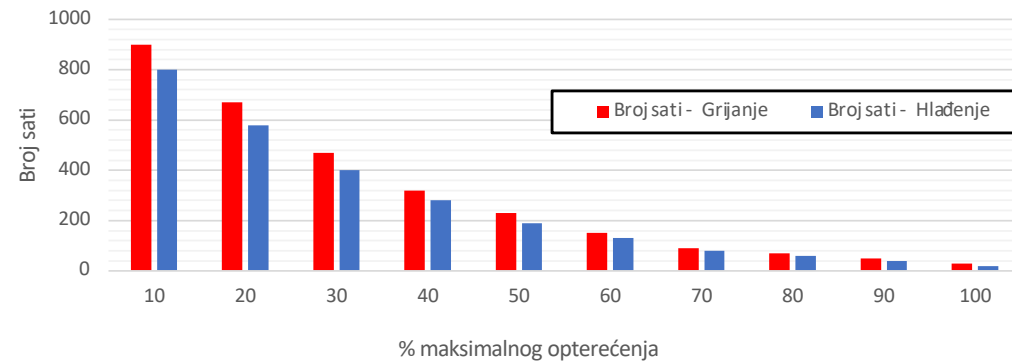
Obiteljska kuća, površinsko grijanje

Površina 150 m<sup>2</sup>

Niskotemperaturno grijanje: 35/30 °C

Visokotemperaturno hlađenje: 16/19 °C

Raspored toplinskog opterećenja tijekom godine



## Tlo-voda sustavi

$$Q_{h/c\_nd} = 15/20 \text{ kWh/m}^2$$

$$Q_{Tlogr} = 1608 \text{ kWh}$$

$$Q_{Tlohl} = 2606 \text{ kWh}$$

$$\text{Razlika} = 998 \text{ kWh}$$

Podhlađivanje tla

$$Q_{h/c\_nd} = 30/25 \text{ kWh/m}^2$$

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

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

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

Optimalan rad

$$Q_{h/c\_nd} = 20/30 \text{ kWh/m}^2$$

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

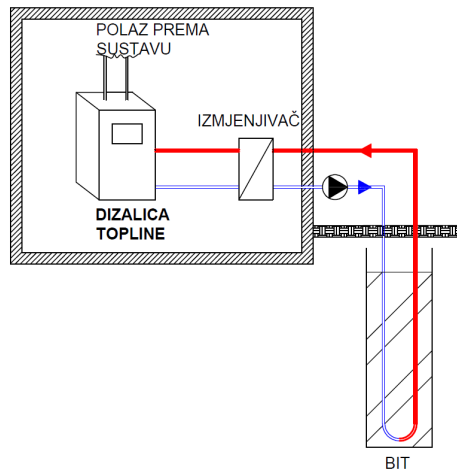
$$Q_{Tlohl} = 3909 \text{ kWh}$$

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

Zagrijavanje tla

# Hidraulički proračun kruga izvora topline –visina dobave pumpe

## Tlo-voda sustavi



Zatvoreni sustav

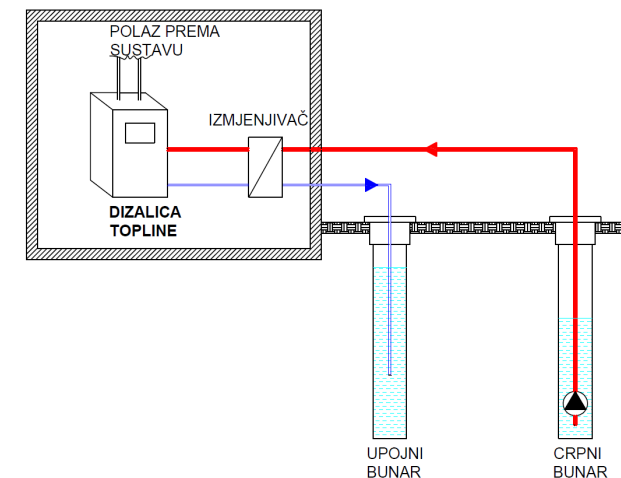
$$h_p = h_F$$

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

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

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

## Voda-voda sustavi



Otvoreni sustav

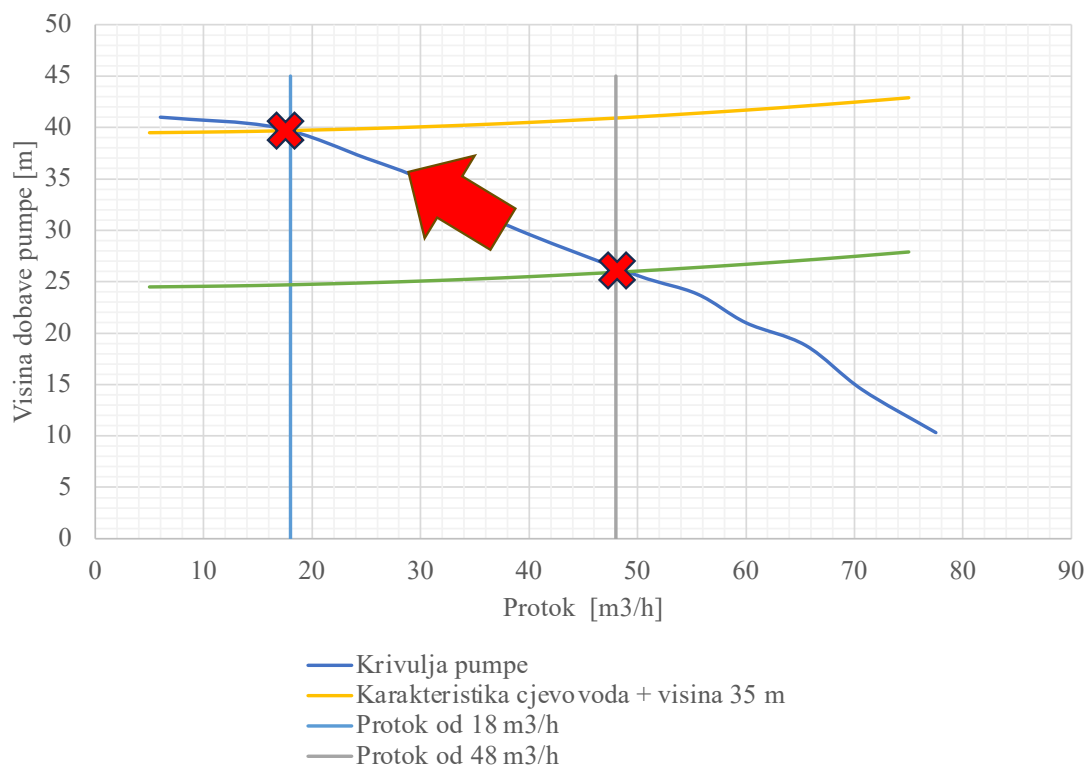
$$h_p = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + h_F,$$

# Hidraulički proračun kruga zahvata podzemne vode

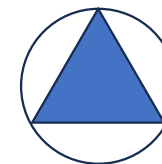
Iceland  
Liechtenstein  
Norway grants

REPUBLIC OF CROATIA  
Ministry of Regional  
Development and EU Funds

**EIHP**  
ENERGETSKI INSTITUT  
HRVOJE POŽAR



Odabrana pumpa zadane karakteristike  
COP = 5



## Nazivno opterećenje:

Karakteristika cjevovoda + 20 m gubitaka = 26 m

Nazivni protok = 48 m<sup>3</sup>/h

Predano topline na isparivaču = 280 kW

Predano zgradi = **350 kW**

## + 15 m gubitaka (loše projektiran sustav, začepljenje...)

Novonastalo opterećenje:

Karakteristika cjevovoda + 35 m gubitaka = 41 m

Novi protok 18 m<sup>3</sup>/h

Predano topline na isparivaču 105 kW

Predano zgradi = **131 kW**

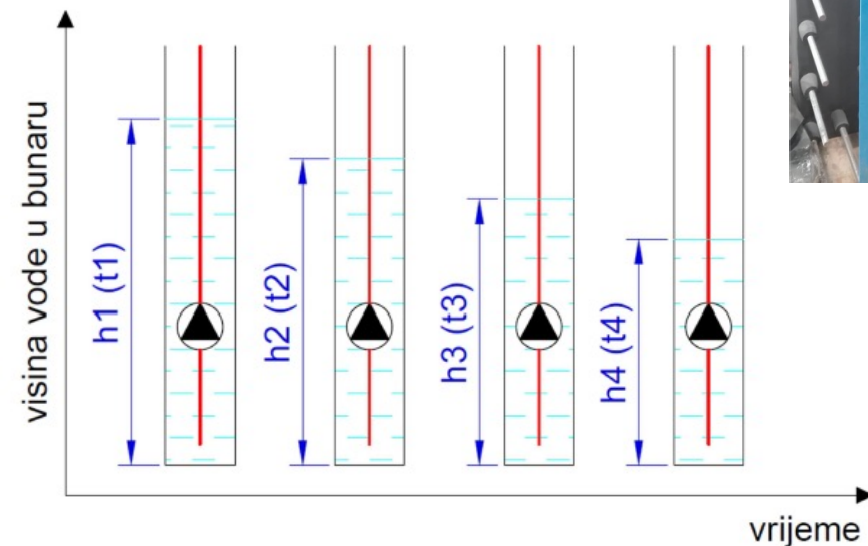
## Smanjenje predanog učina za 60 % !!!

# Hidraulički proračun kruga zahvata podzemne vode

- Izazovi:

- **Kvaliteta podzemne vode:** korozija, mehanička začepljenja, potrebni dodatni izmjenjivač (rast troškova održavanja i investicijskih troškova)
- **Snaga pumpe:** potrebne veće snage pumpe nego kod zatvorenih sustava (većinom rade na većoj razlici temperature)
- **Razina podzemne vode:** zahvatom vode smanjuje se razina vode u zdencu što povećava potrebnu snagu pumpe
- **Potrebne dozvole:** većinom dozvoljena eksploatacija podzemne vode, potrebne dozvole za korištenje podzemne vode za razliku od ostalih izvora toplina

Slika gore: međuzmjenjivači topline



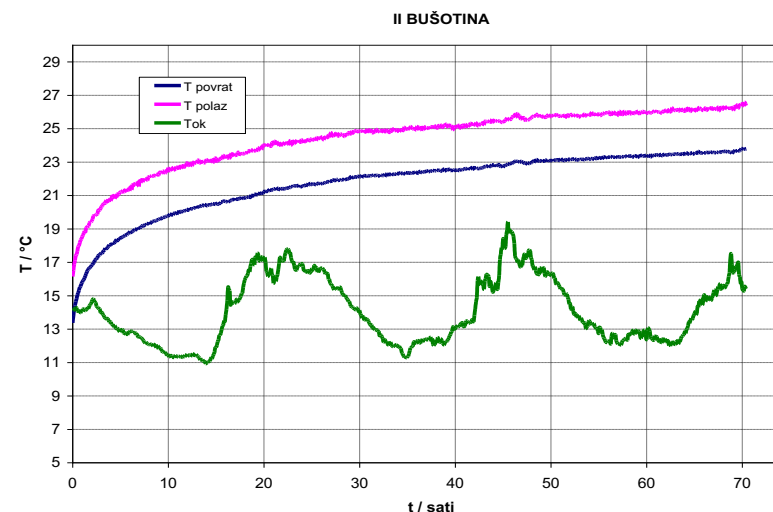
Slika: Promjena razine podzemne vode u vremenu

# Specifične pojave u tlu utvrđene TRT-om

- TRT (thermal response test) – metoda određivanja toplinskog odziva tla
- provodi se na izvedeno bušotinskom izmjenjivaču topline (BIT), a metodom se određuje temperatura tla, efektivna toplinska vodljivost tla i toplinski otpor BIT-a



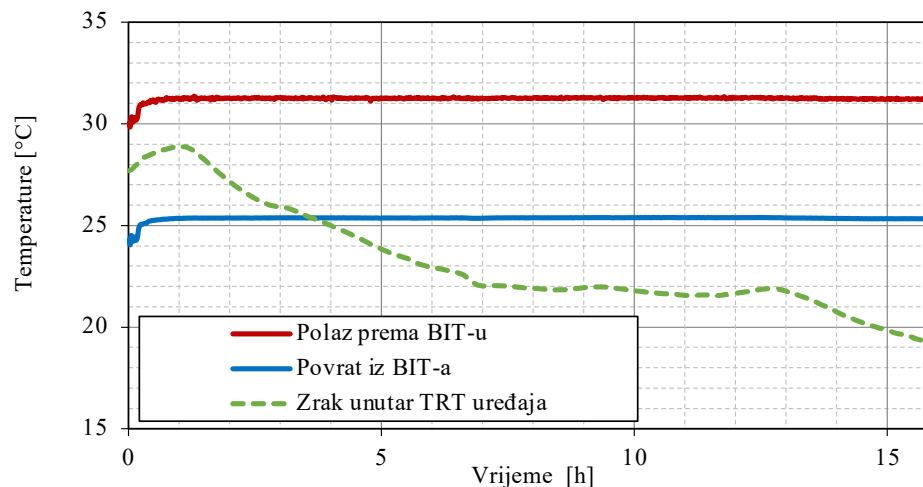
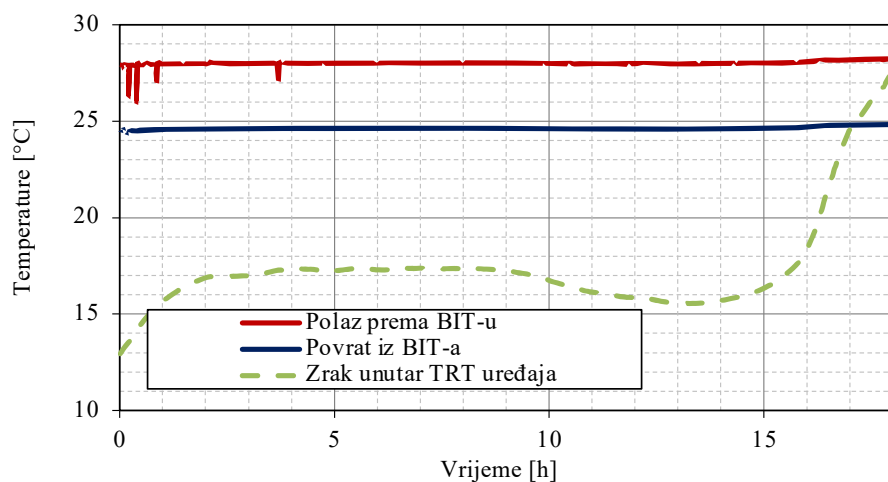
Slika: TRT uređaj povezan s toplinskom sondom



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

# Specifične pojave u tlu utvrđene TRT-om I

- temperature fluida stabilne u vremenu neovisno o narinutom toplinskom učinku (4,9 kW i 8,4 kW)
- 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

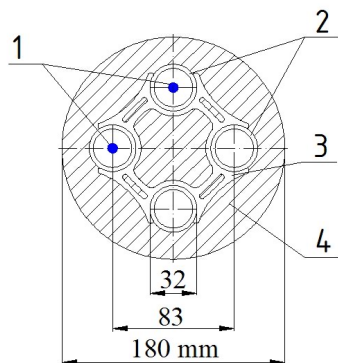
Iceland  
Liechtenstein  
Norway grants



REPUBLIC OF CROATIA  
Ministry of Regional  
Development and EU Funds

**EIHP**  
ENERGETSKI INSTITUT  
HRVOJE POŽAR

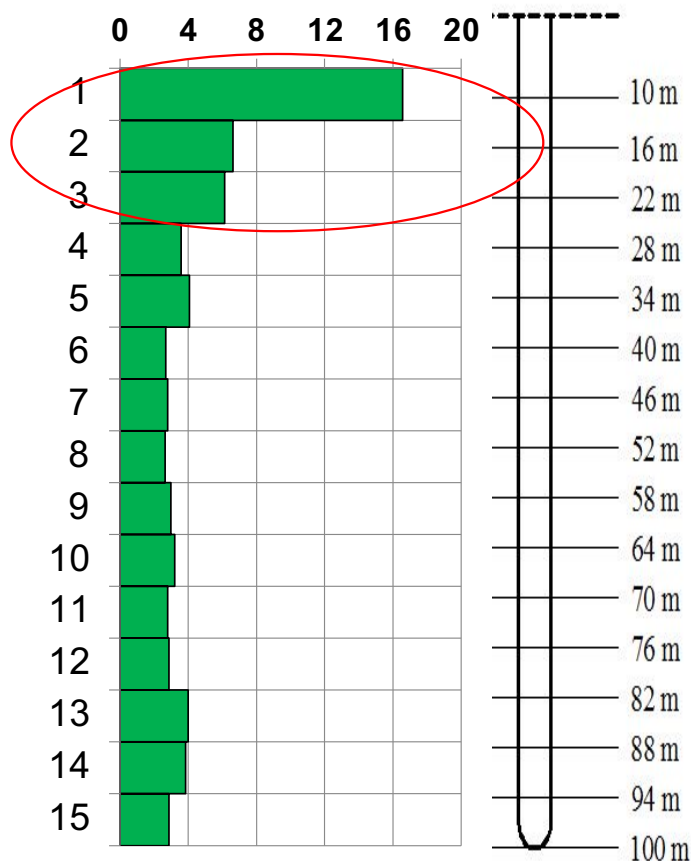
- lokacija: Zadar, školski demonstracijski sustav
- napredno određivanje toplinskih svojstava po dubini (DTRT)
- specifičnost:
  - uočen sloj sa značajno višim toplinskim svojstvima



1. optički kabel  
2. PE cijev

3. distancer  
4. ispuna

Toplinska vodljivost tla W/(m K)



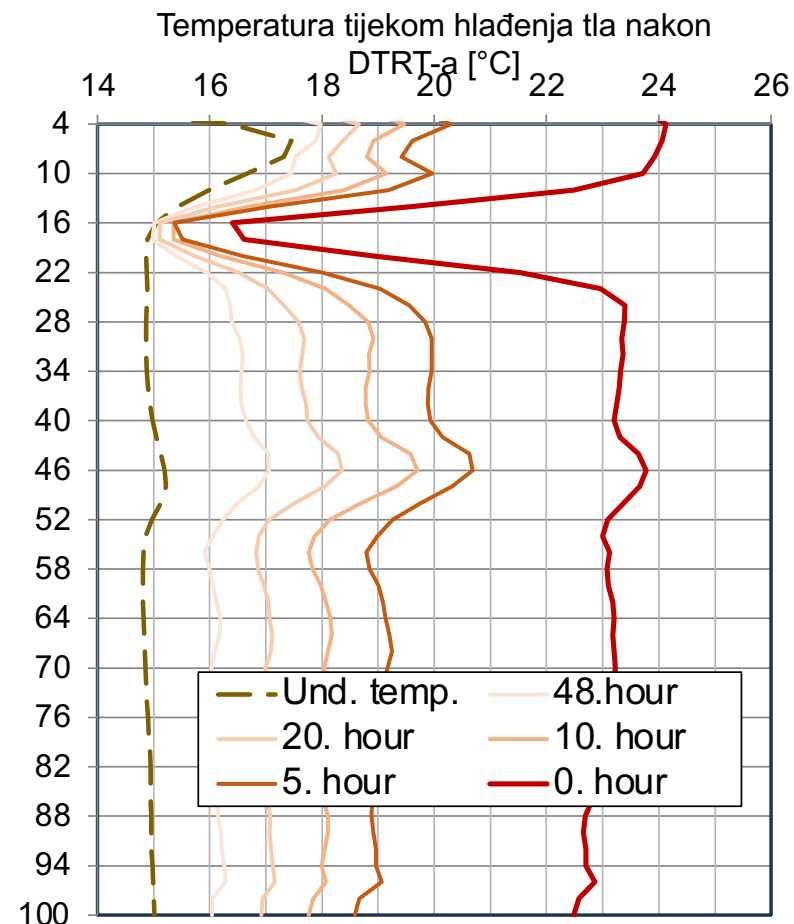
Slika: Vertikalna razdioba toplinske vodljivosti i uzorci tla

# 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

Iceland  
Liechtenstein  
Norway grants

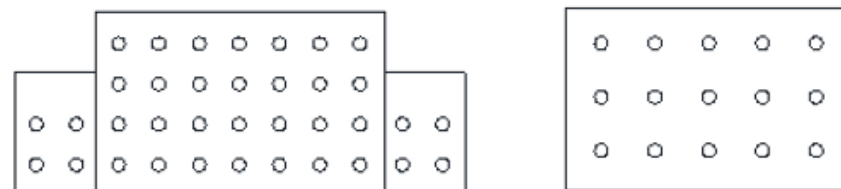
REPUBLIC OF CROATIA  
Ministry of Regional  
Development and EU Funds

**EIHP**  
ENERGETSKI INSTITUT  
HRVOJE POŽAR

Primjer:

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

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



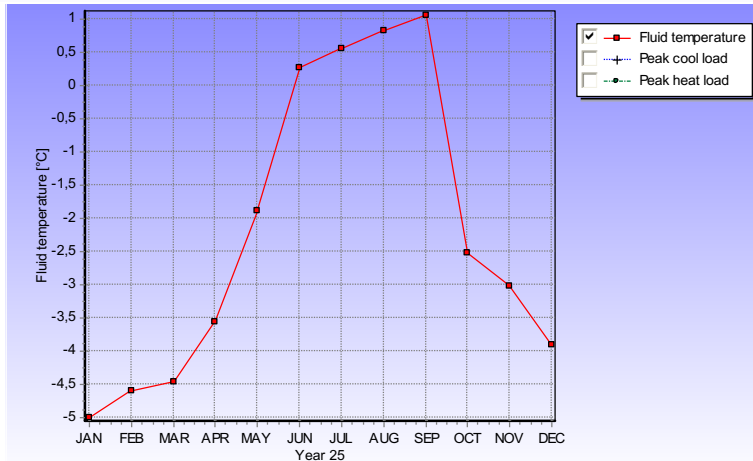
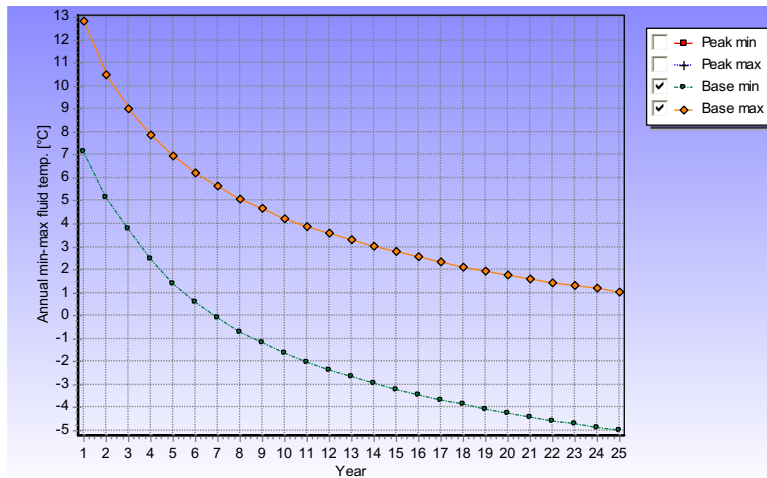
Slika: Raspoloživi prostor za ugradnju BIT-ova

# 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



## Rezultat:

- 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

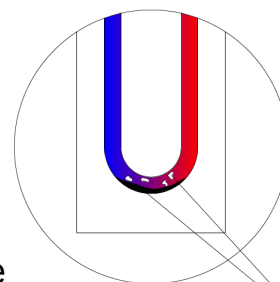
# Najčešće pogreške pri izvedbi

Iceland  
Liechtenstein  
Norway grants

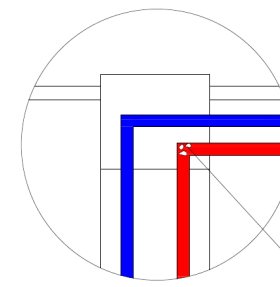
REPUBLIC OF CROATIA  
Ministry of Regional  
Development and EU Funds

**EIHP**  
ENERGETSKI INSTITUT  
HRVOJE POŽAR

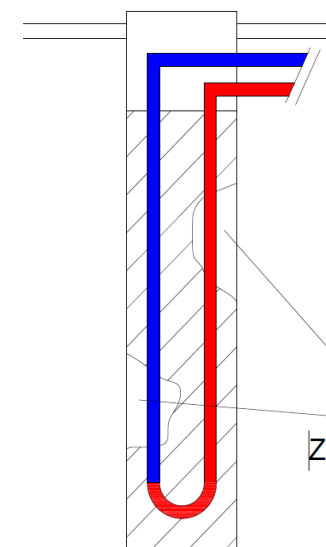
- **Nekvalitetna izvedba bušotine/zdenaca**
  - Dovodi do smanjenog prijenosa topline, nepovoljnih temperature na strani izvora topline
  - preporuka je koristitiiskusne i ovlaštene izvođače radove
- **Neadekvatno puštanje u pogon**
  - Zrak i nečistoće uzrokuju probleme s prijenosom topline, oksidacijom i korozijom opreme, pojava kavitacije u pumpama
  - Provjera svih osjetnika i izlaznih signala za nadzor i upravljanje



Nečistoće u sustavu



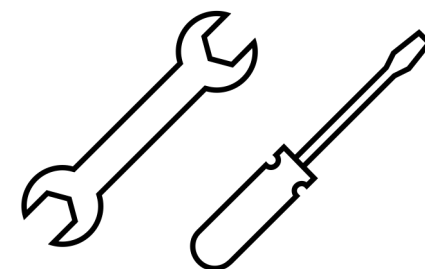
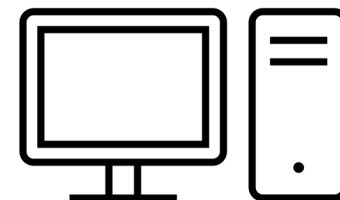
Sakupljanje zraka



Zračni džepovi

# Najčešće pogreške pri radu

- **Problemi s izolacijom**
  - Neadekvatan izolacija - nepotreban gubitak topline, pojava kondenzacije i korozije
- **Sustav nadzora sustava**
  - Bez adekvatnog sustava monitoringa sustav može raditi s greškama – potencijali kvar opreme, smanjenje životnog vijeka, povećana potrošnja energije
  - Kvalitetan monitoring omogućuje:
    - Kontrolu potrošene i predane energije
    - Detaljni pregled sustava (bitno kod otkrivanja kvarova)
    - Daljinsko upravljanje, slanje obavijesti
- **Održavanje**
  - Redovite provjere i održavanje, uključujući inspekciju bušotina i čišćenje filtera
  - Problemi kod održavanja (nemogućnost održavanja zbog loše projektiranog sustava – nedostatak zapornih ventila na filterima, nemogućnost dolaska do opreme...)



# 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



# Hvala na pažnji!

## Kontakt

[www.pliges.eu](http://www.pliges.eu)

[www.fsb.hr](http://www.fsb.hr)

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

[/ luka.boban@fsb.hr](mailto:luka.boban@fsb.hr)

[/ stjepan.herceg@fsb.hr](mailto:stjepan.herceg@fsb.hr)

[/ vladmir.soldo@fsb.hr](mailto:vladmir.soldo@fsb.hr)

