

## 2. radionica PLIGES projekta

# Modeliranje polja bušotinskih izmjenjivača topline u uvjetima instalacije u vodonosnicima



Luka Perković  
Amalia Lekić Brettschneider



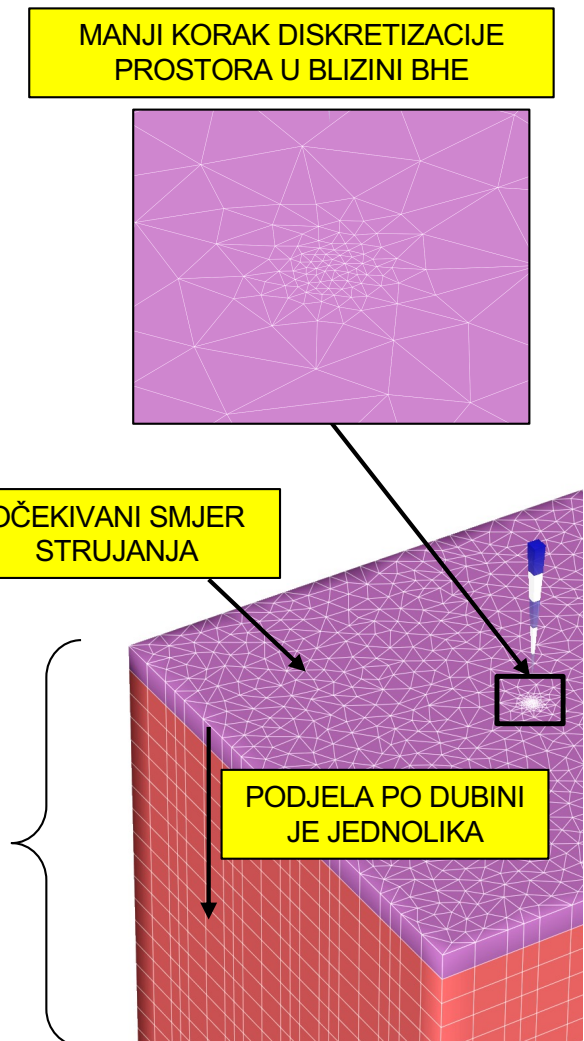
1. Uvod
2. Numeričko modeliranje prijenosa topline
3. Metoda proračuna tokova energije u sustavu s geotermalnom dizalicom topline (eng. *Ground Source Heat Pump* - GSHP)
4. Analiza slučaja: hipotetski primjer na području Grada Zagreba
5. Zaključak

- Značaj numeričkog modeliranja plitkih geotermalnih ležišta:
  - Međudjelovanje i toplinsko zasjenjenje u sustavima s više bušotinskih izmjenjivača topline (eng. *Borehole Heat Exchangers - BHE*)
  - Utjecaj konvektivnog prijenosa toplinskog toka uslijed protjecanja podzemnih voda
  - Utjecaj litologije određene mikrolokacije
  - Predviđanje dugotajnih promjena u izdašnosti plitkih geotermalnih ležišta uslijed višegodišnje eksploatacije

## 2. Numeričko modeliranje prijenosa topline

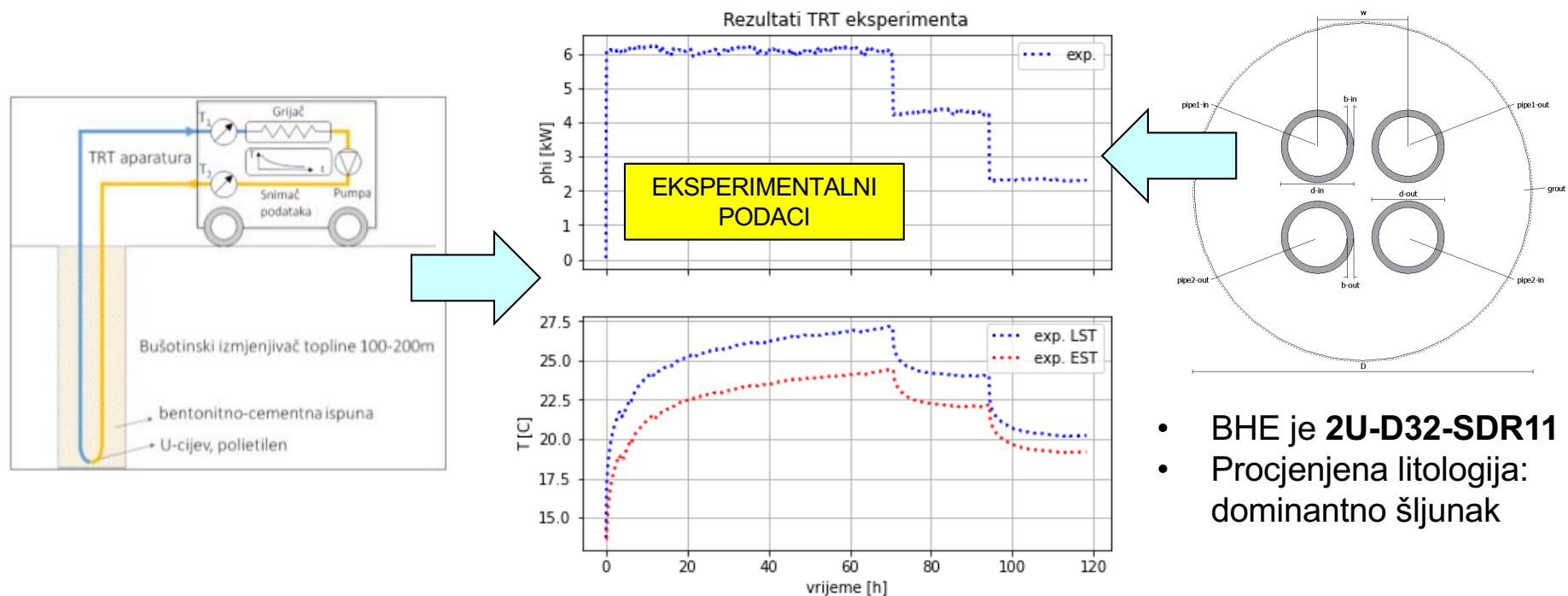
- Prijenos topline u plitkim geotermalnim ležištima podrazumijeva:
  - prijenos provođenjem (kondukcija)
  - prijenos strujanjem podzemnih voda (konvekcija)
- Numeričko modeliranje podrazumijeva **diskretizaciju prostora i vremena**

	Glina	Šljunak	Pijesak
Efektivna poroznost,	0.6	0.15	0.5
Hidraulički konduktivitet, m/d	0	500	10
Toplinski kapacitet po jedinici volumena – matriks, MJ/m <sup>3</sup> /K	3	2.4	2.4
Toplinska vodljivost – matriks, W/m/K	1.66	0.55	0.55



## 2. Numeričko modeliranje prijenosa topline

- Validacija numeričkih metoda
  - odgovara na pitanje - **koliko je pouzdan numerički proračun?**
  - primjer: test toplinskog odziva (TRT) na lokaciji kod Velike Gorice
  - korišteni softver: **FeFlow 8.0**

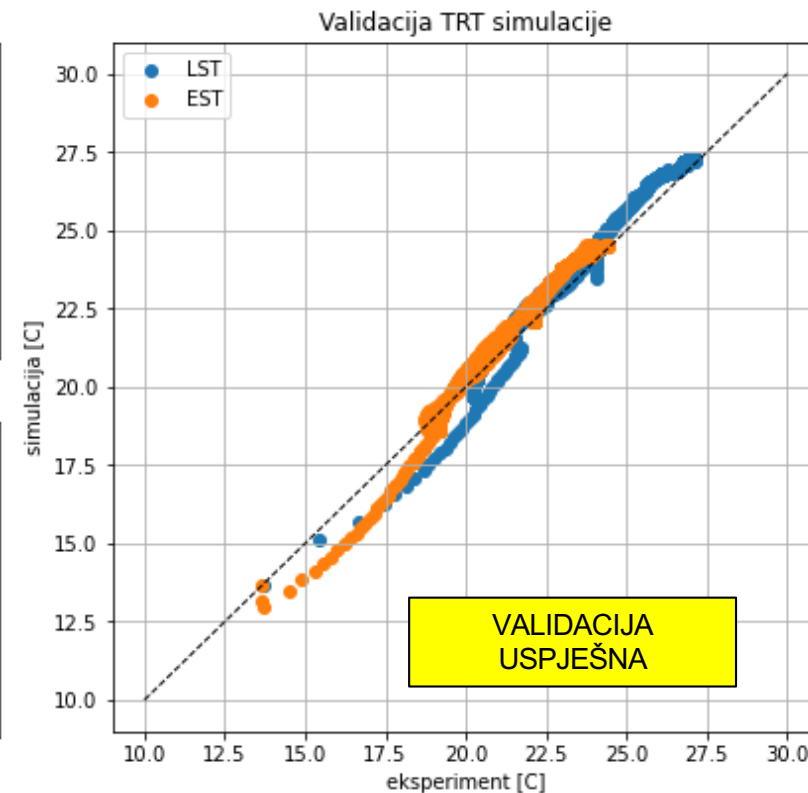
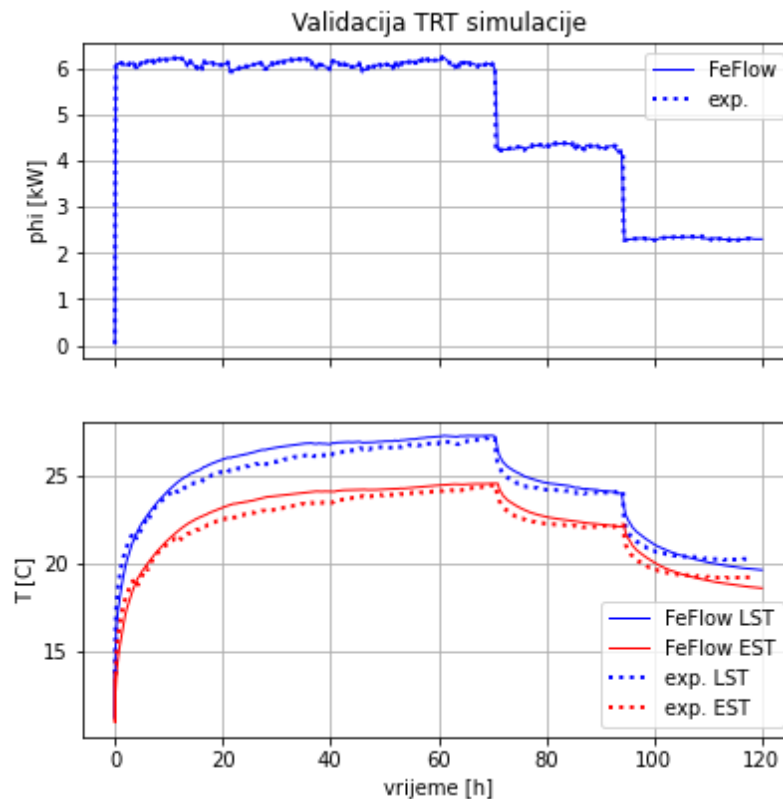


Kristina Strpić: „ODREĐIVANJE OPTIMALNOG TOPLINSKOG PRINOSA BUŠOTINSKIH IZMJENJIVAČA TOPLINE I POTENCIJAL TEHNOLOGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ”, Diplomski rad, URL: <https://repositorij.rgn.unizg.hr/en/islandora/object/rgn%3A758/datastream/PDF/view>

- BHE je **2U-D32-SDR11**
- Procjenjena litologija: dominantno šljunak

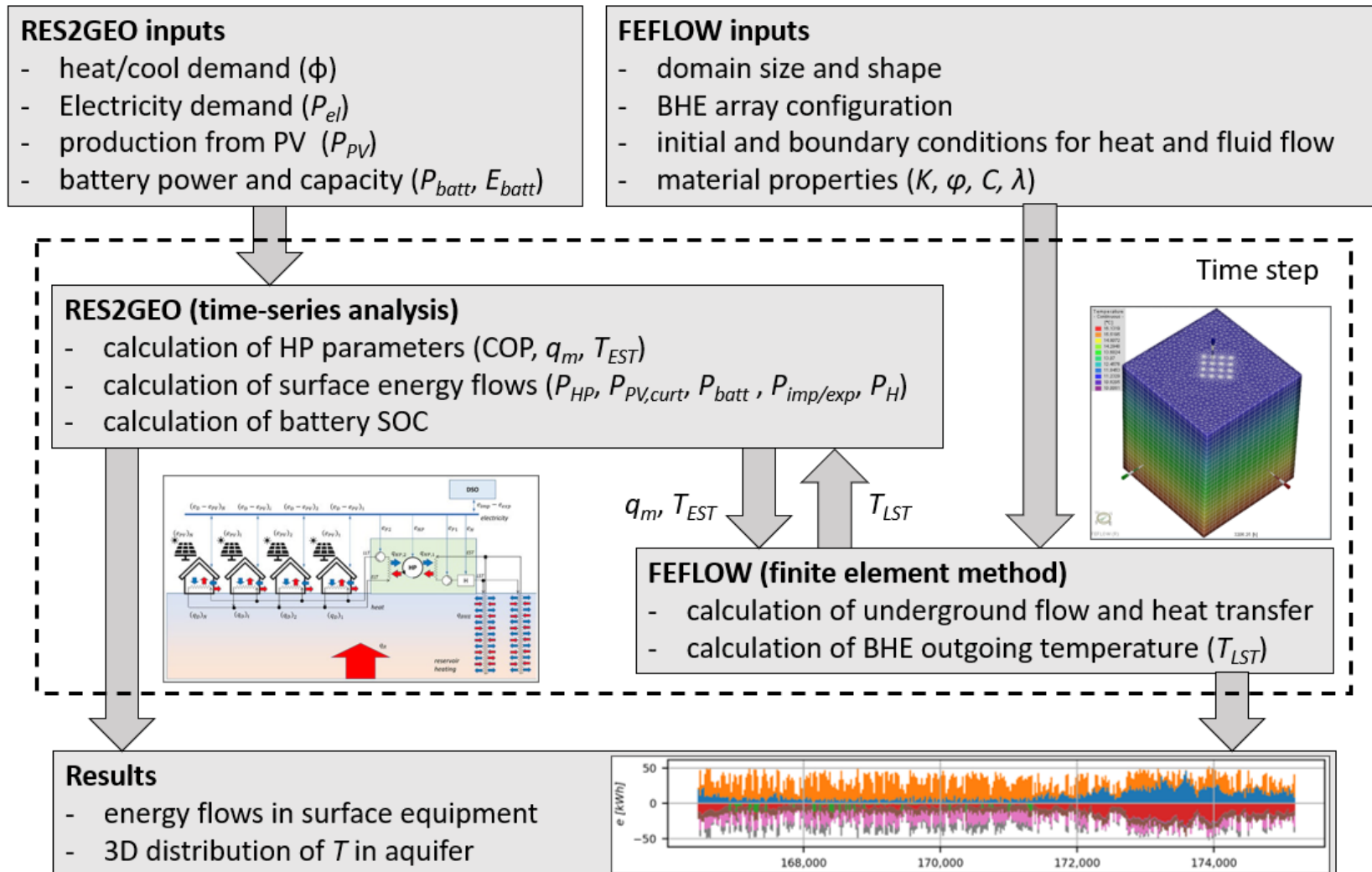
## 2. Numeričko modeliranje prijenosa topline

- Validacija numeričkih metoda
  - rezultat simulacije



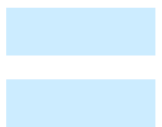
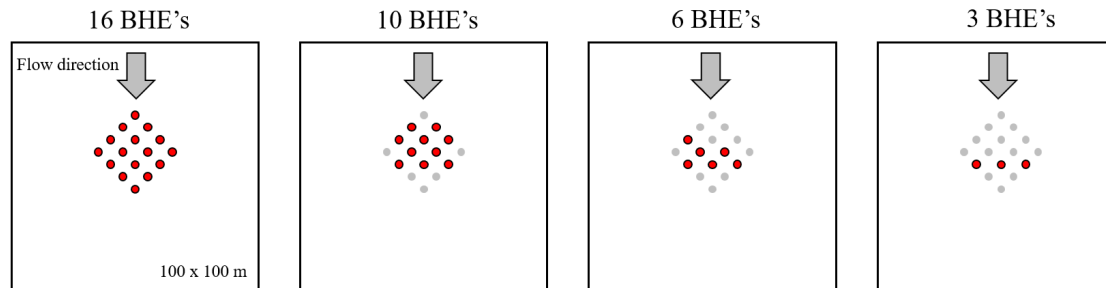
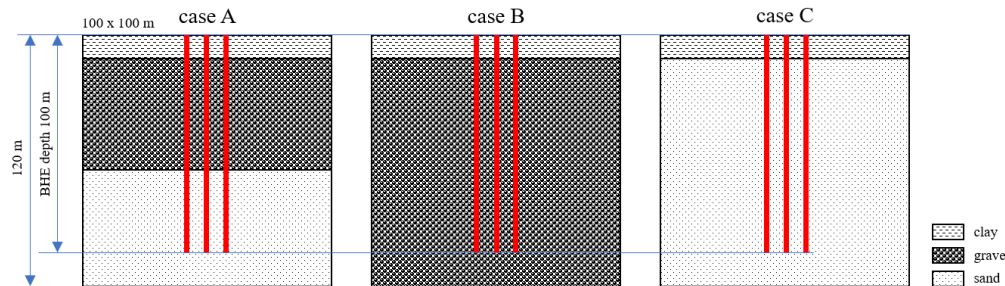
# 3. Metoda proračuna tokova energije u sustavu s GSHP

- Metoda proračuna



# 4. Analiza slučaja: hipotetski primjer za Grad Zagreb

- Primjer za Grad Zagreb: očekivane litologije su vodom zasićeni šljunak, pijesak i glina te njihove kombinacije

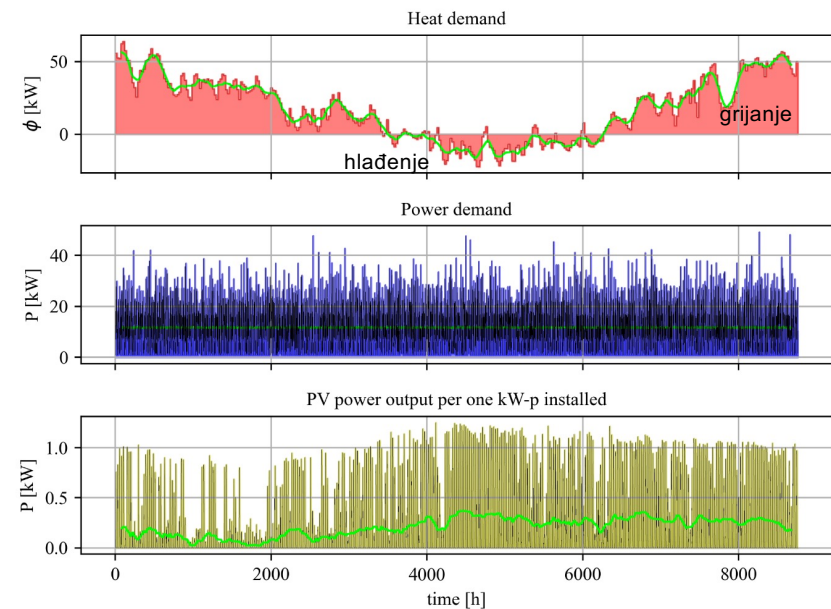
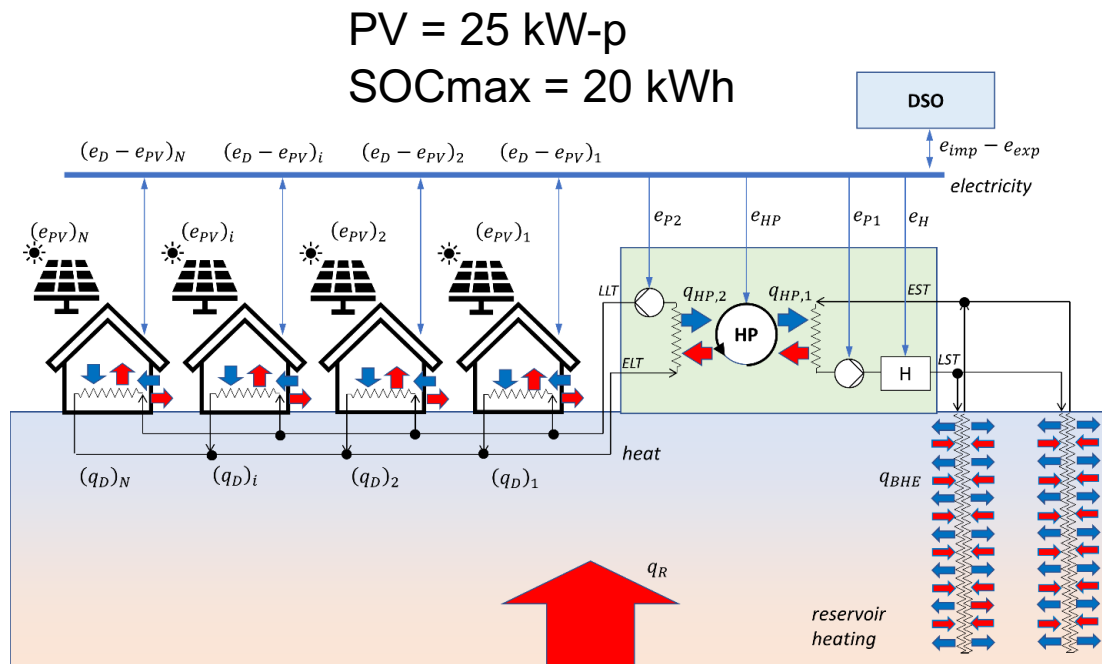


Scenarij	Litologija	Broj BHE	Scenarij	Litologija	Broj BHE
A-16-BHE	A	16	B-06-BHE	B	6
A-10-BHE	A	10	B-03-BHE	B	3
A-06-BHE	A	6	C-16-BHE	C	16
A-03-BHE	A	3	C-10-BHE	C	10
B-16-BHE	B	16	C-06-BHE	C	6
B-10-BHE	B	10	C-03-BHE	C	3

UKUPNO 16  
SCENARIJA

# 4. Analiza slučaja: hipotetski primjer za Grad Zagreb

- Hipotetski primjer: ulazni podaci za toplinsku potražnju, potražnju el. energije i moguću proizvodnju el. energije iz integriranih PV panela

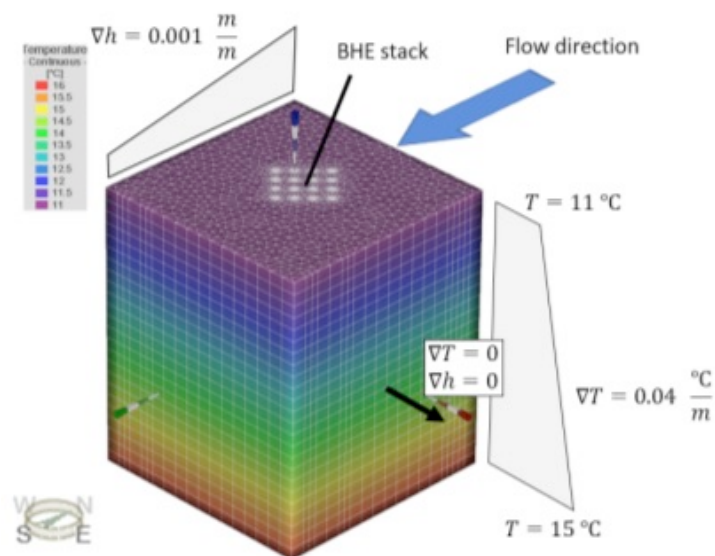


- 240 MWh-t potražnje za toplinskom energijom
- 50 MWh-e potražnje za EE

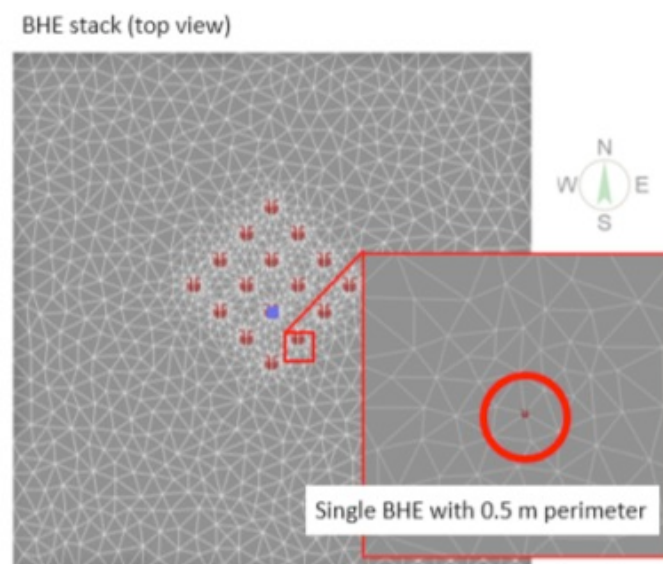
## 4. Analiza slučaja: hipotetski primjer za Grad Zagreb

- Diskretizirana domena u programu FeFlow 8.0

[1] Rubni i početni uvjeti



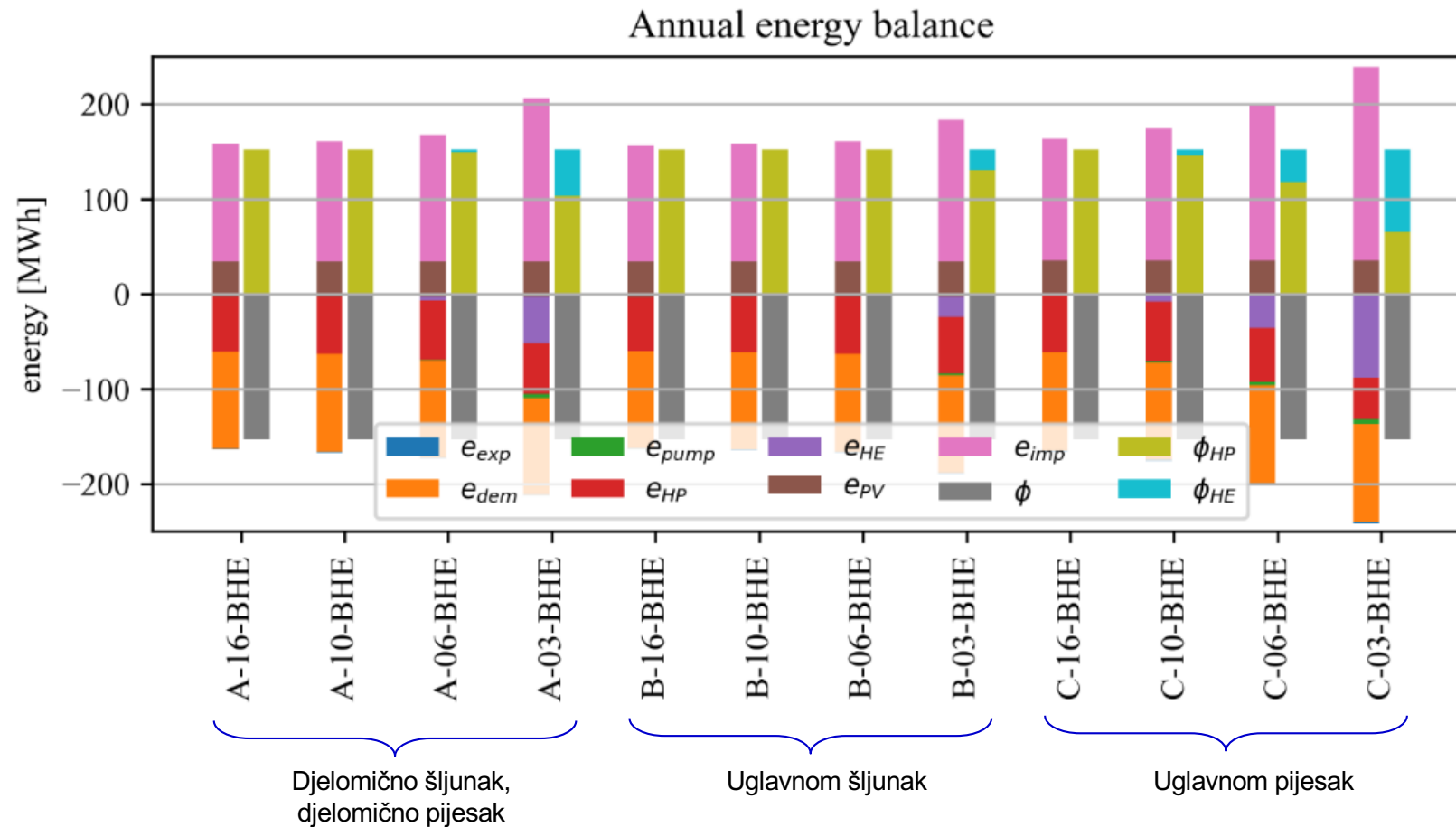
[2] Diskretizirani proctor sa pozicijama BHE (pogled odozgora)



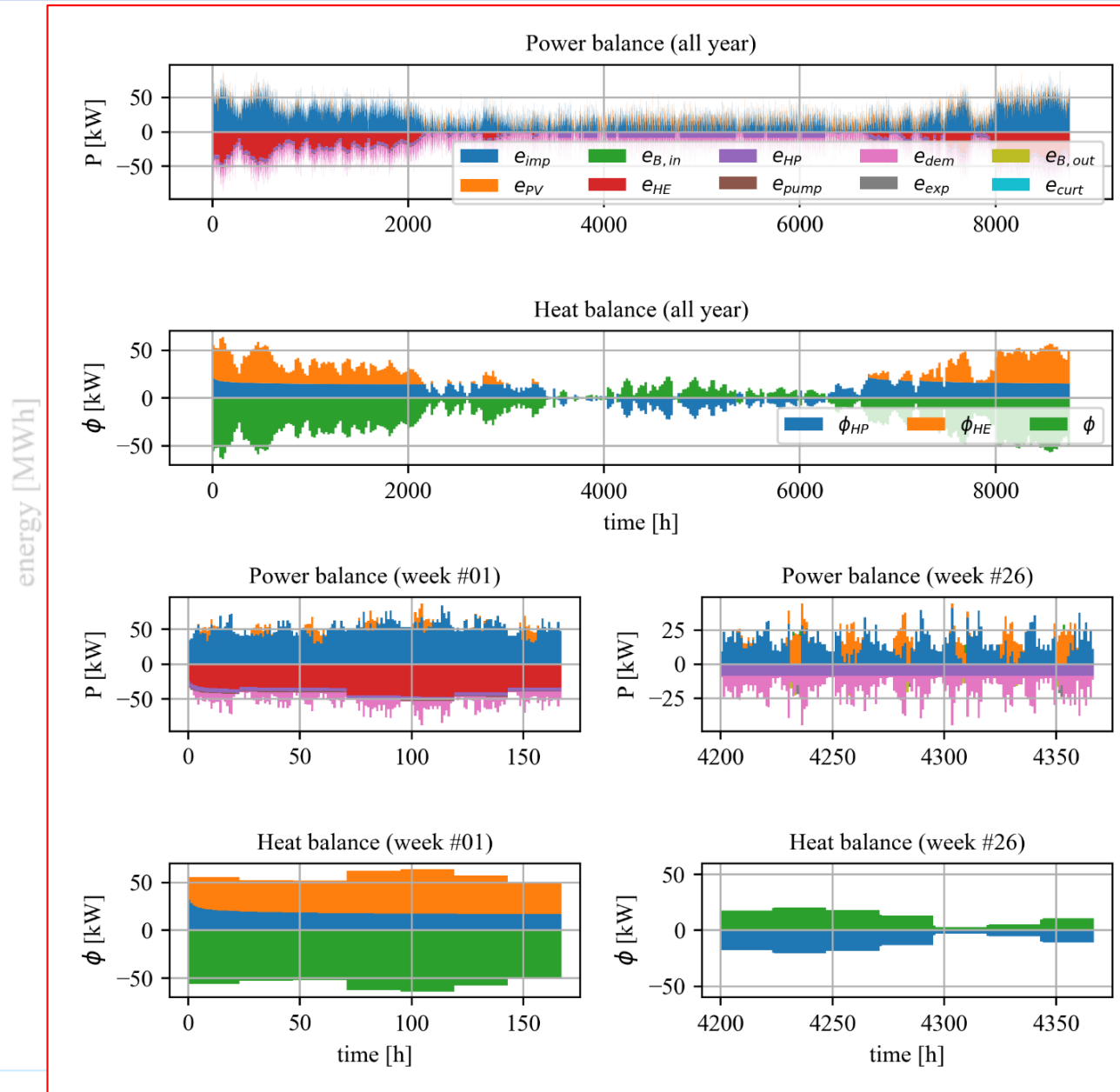
Promjer bušotine, m	0.15
Dubina BHE, m	100
Promjer cijevi, m	0.032
Debljina cijevi, m	0.0029
Toplinska vodljivost cijevi, W/m/K	0.42
Toplinska vodljivost cementacije, W/m/K	1
Toplinski kapacitet vode po jedinici volumena, MJ/m <sup>3</sup> /K	4.2
Toplinska vodljivost vode, W/m/K	0.48

# 4. Analiza slučaja: hipotetski primjer za Grad Zagreb

- Rezultat: godišnji tokovi električne i toplinske energije



# 4. Analiza slučaja: hipotetski primjer za Grad Zagreb

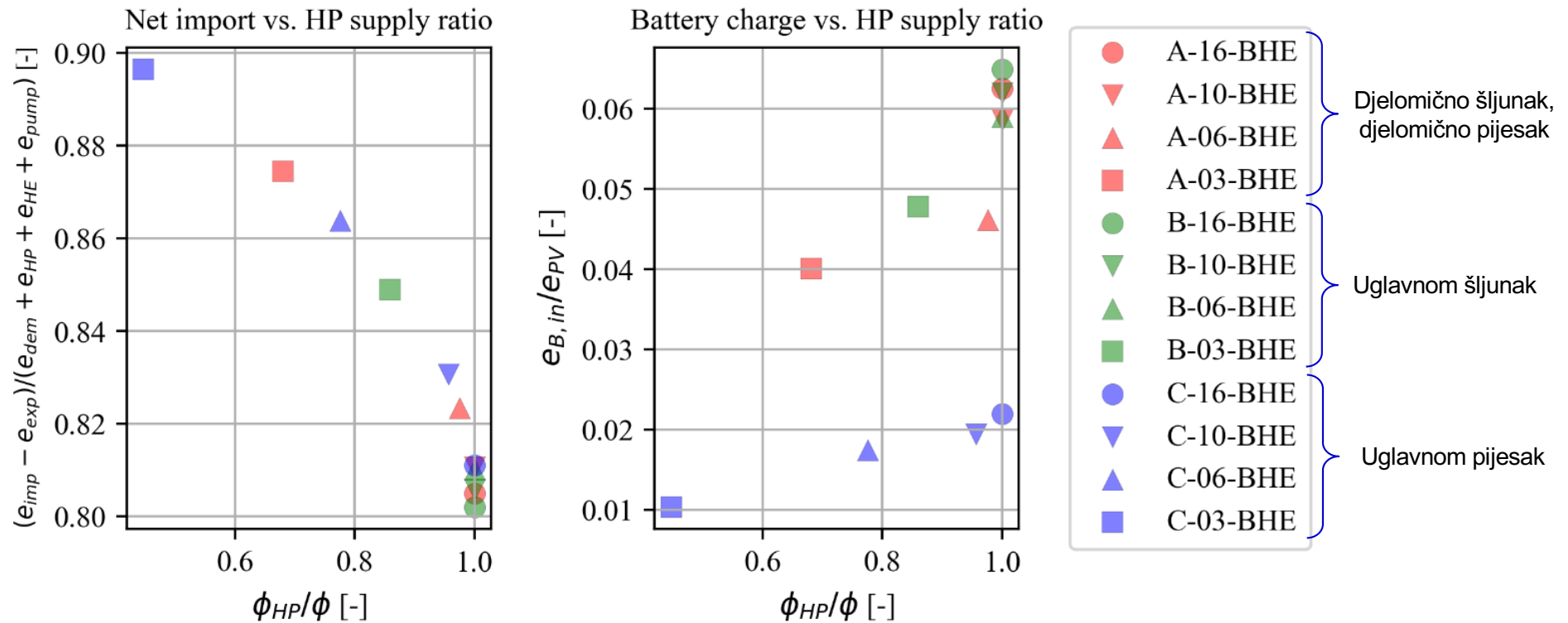


- Satne vrijednosti



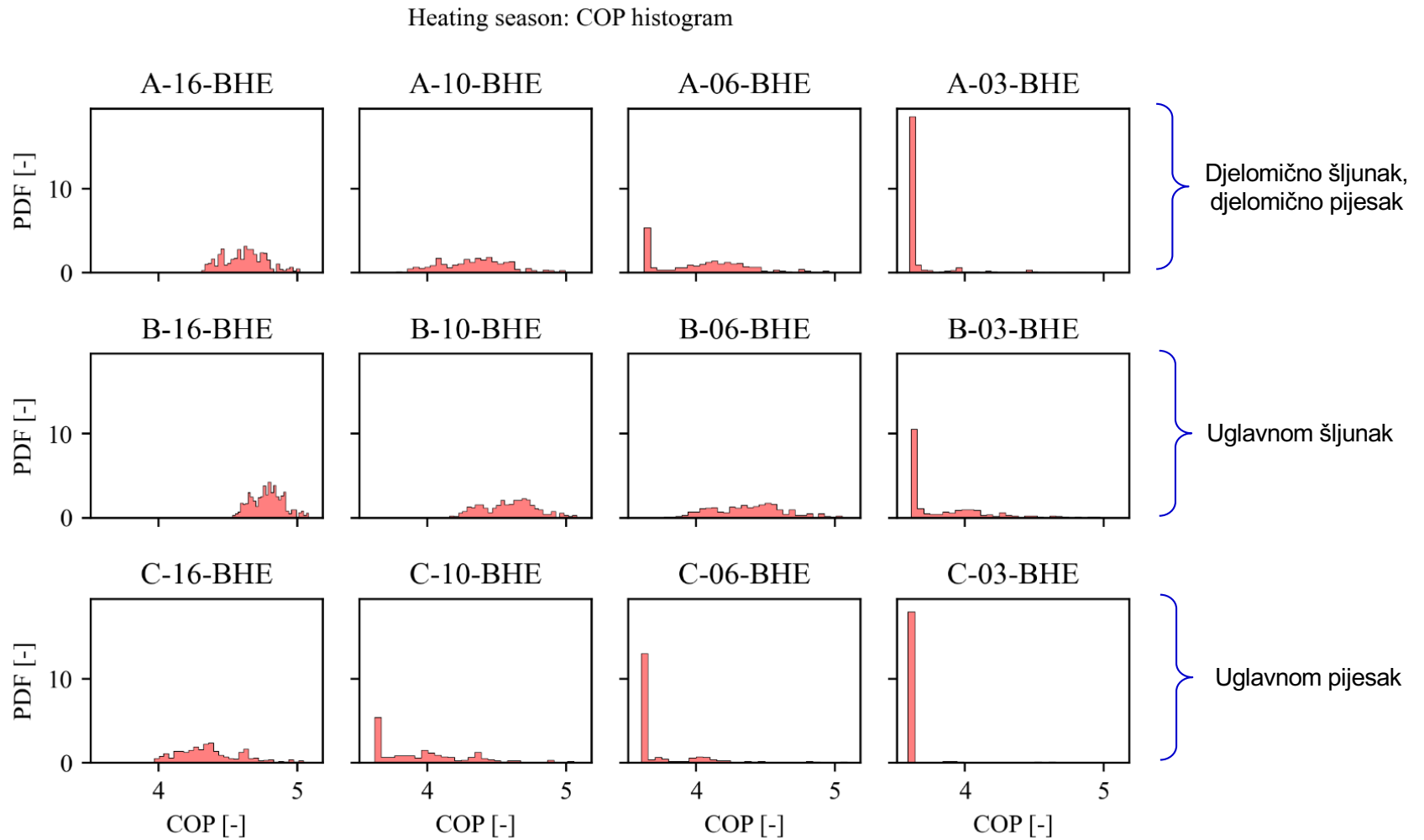
# 4. Analiza slučaja: hipotetski primjer za Grad Zagreb

- Neto uvoz EE – od 80% (B-16-BHE) do 90% (C-03-BHE)
- Korištenje baterije – od 7% (B-16-BHE) do 1% (C-03-BHE)



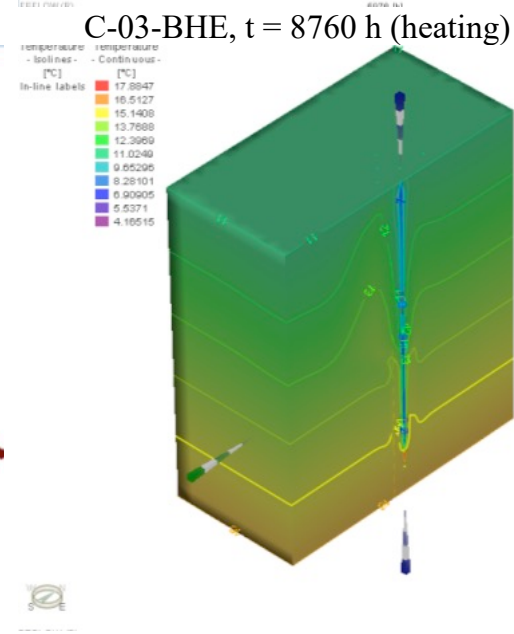
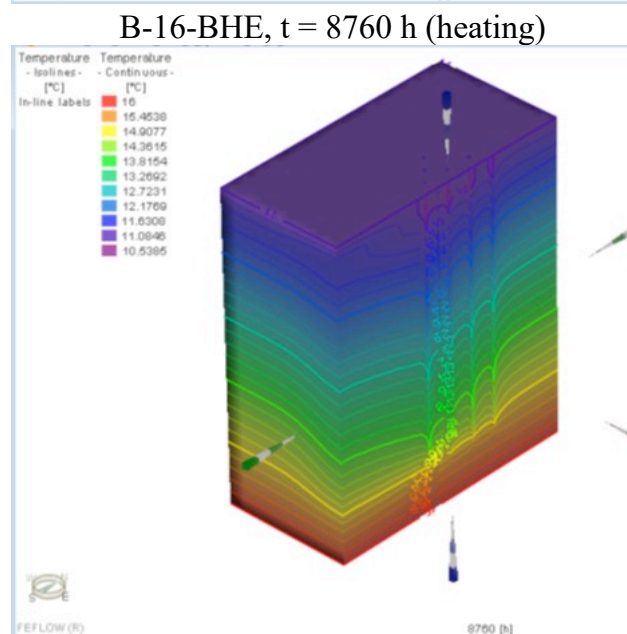
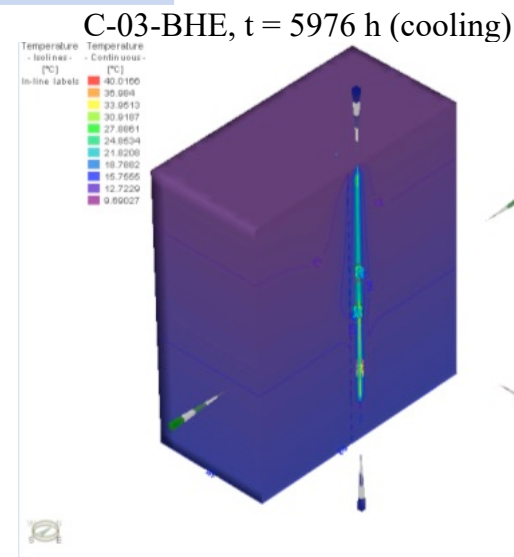
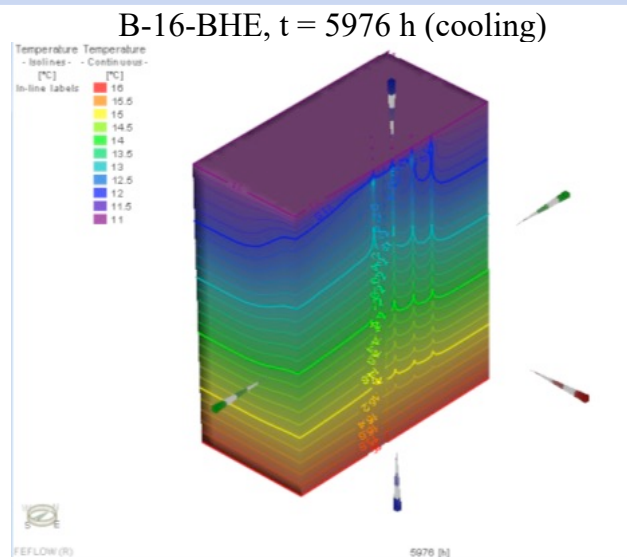
# 4. Analiza slučaja: hipotetski primjer za Grad Zagreb

- Koeficijent toplinskog učina (COP)



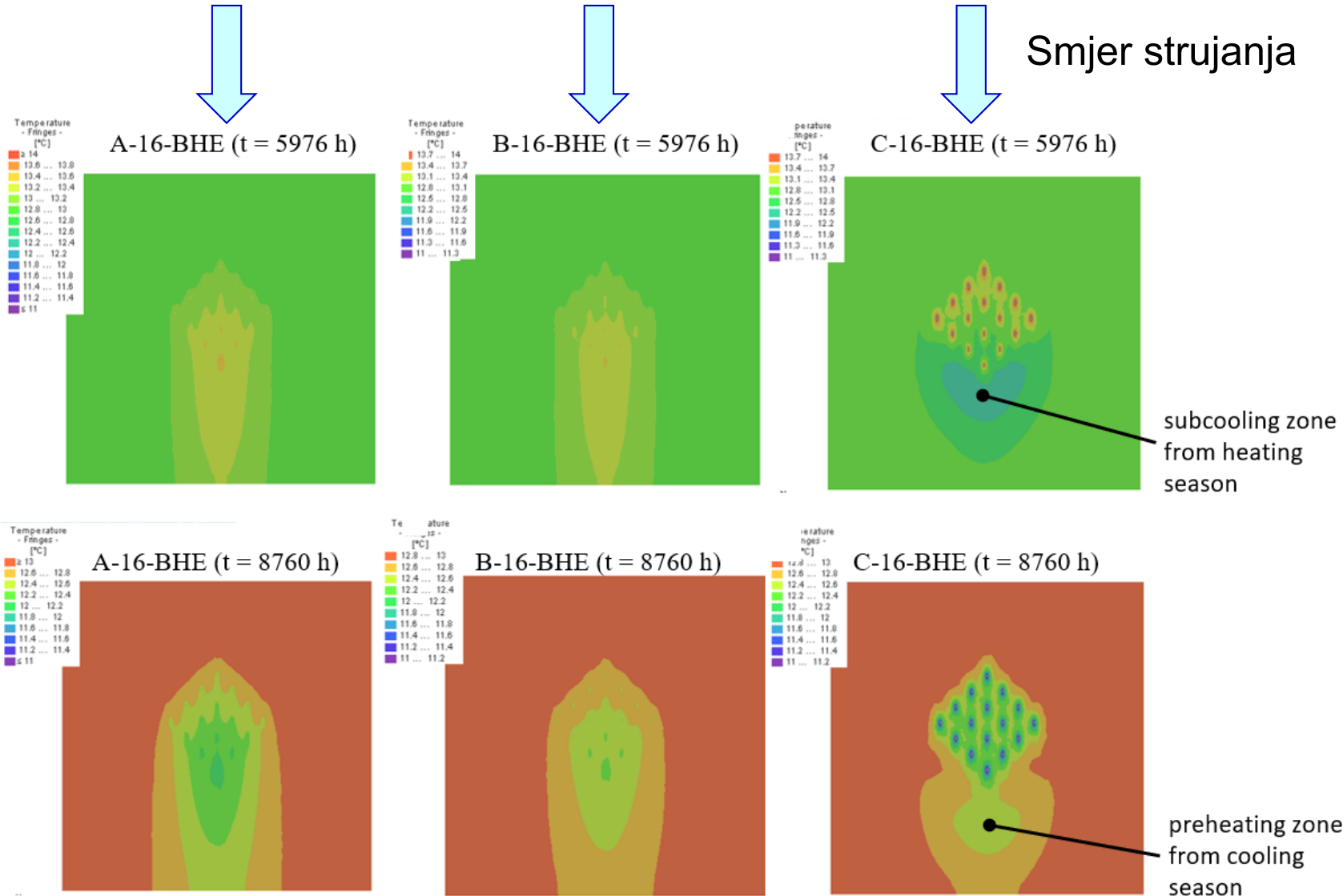
# 4. Analiza slučaja: hipotetski primjer za Grad Zagreb

- 3D raspodjela temperatura



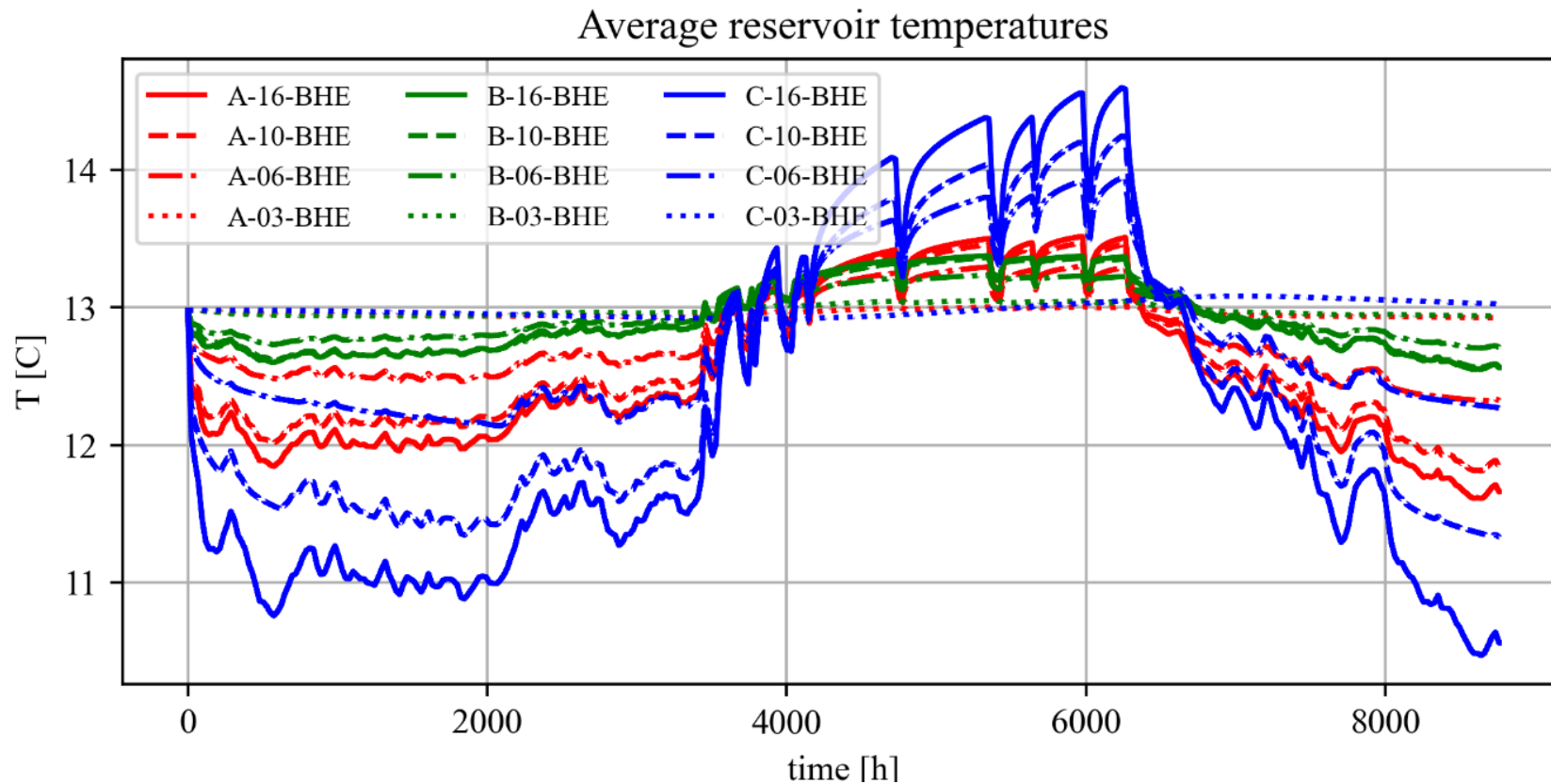
# 4. Analiza slučaja: hipotetski primjer za Grad Zagreb

- 2D raspodjela temperatura na dubini 45 m



## 4. Analiza slučaja: hipotetski primjer za Grad Zagreb

- Prosječna temperatura ležišta u okolici BHE ( $r < 0.25$  m)



## 5. Zaključak

---

- Numeričke simulacije služe za procjenu toplinske izdašnosti plitkih geotermalnih ležišta u smislu konvektivnog i konduktivnog prijenosa topline između ležišta i podzemnih voda te BHE
- Integracijom različitih modela i podmodela energetskeg bilanciranja (PV, baterije, el. grijači, HP, potrošnja) s numeričkim modeliranjem plitkih geotermalnih ležišta moguće je dobiti jasniji i potpuniji uvid u optimizaciju vođenja sustava
- Ukoliko je izvedivo, potrebno je model kalibrirati i validirati korištenjem dostupnih eksperimentalnih podataka dobivenih TRT mjerenjima



# Hvala na pažnji!

Kontakt: [luka.perkovic@rgn.unizg.hr](mailto:luka.perkovic@rgn.unizg.hr)

