



Model za procjenu energetske projekta naprednih geotermalnih sustava temeljen na višekriterijskom odlučivanju

Dr. sc. Sara Raos

Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva



Sadržaj

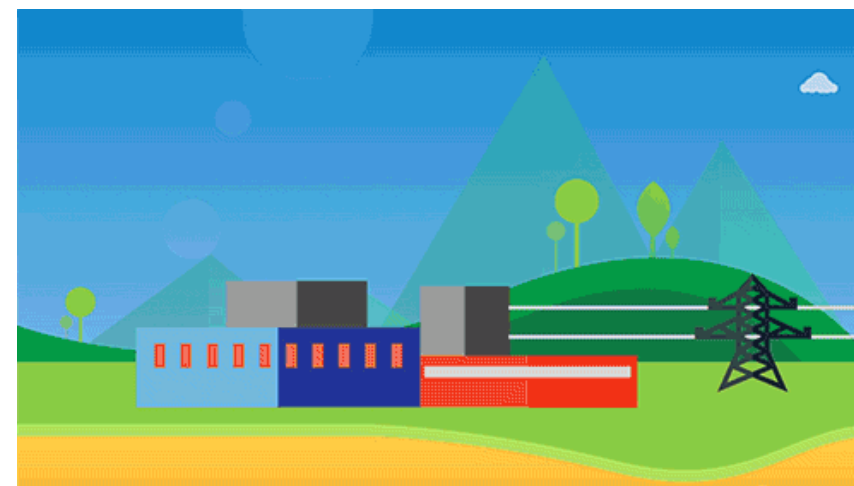
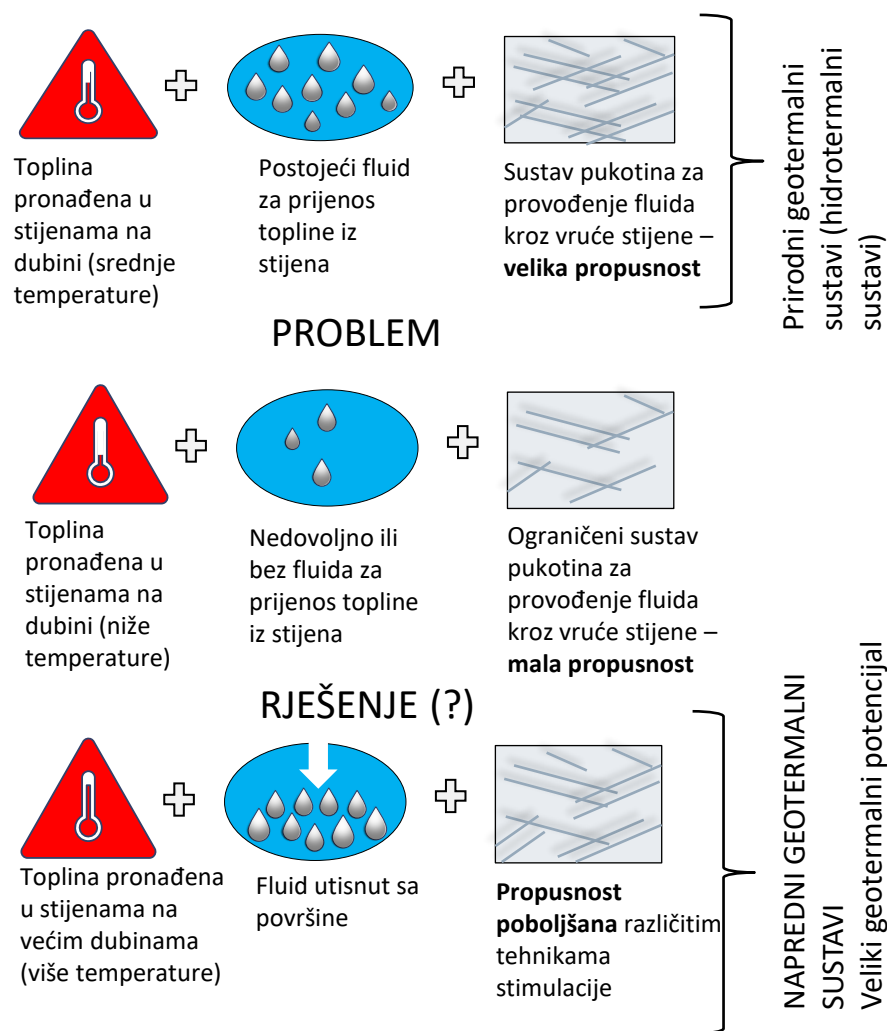
Uvodne riječi

Evaluacijski model

Alat za podršku odlučivanju

Primjena

Napredni geotermalni sustavi (eng. EGS)

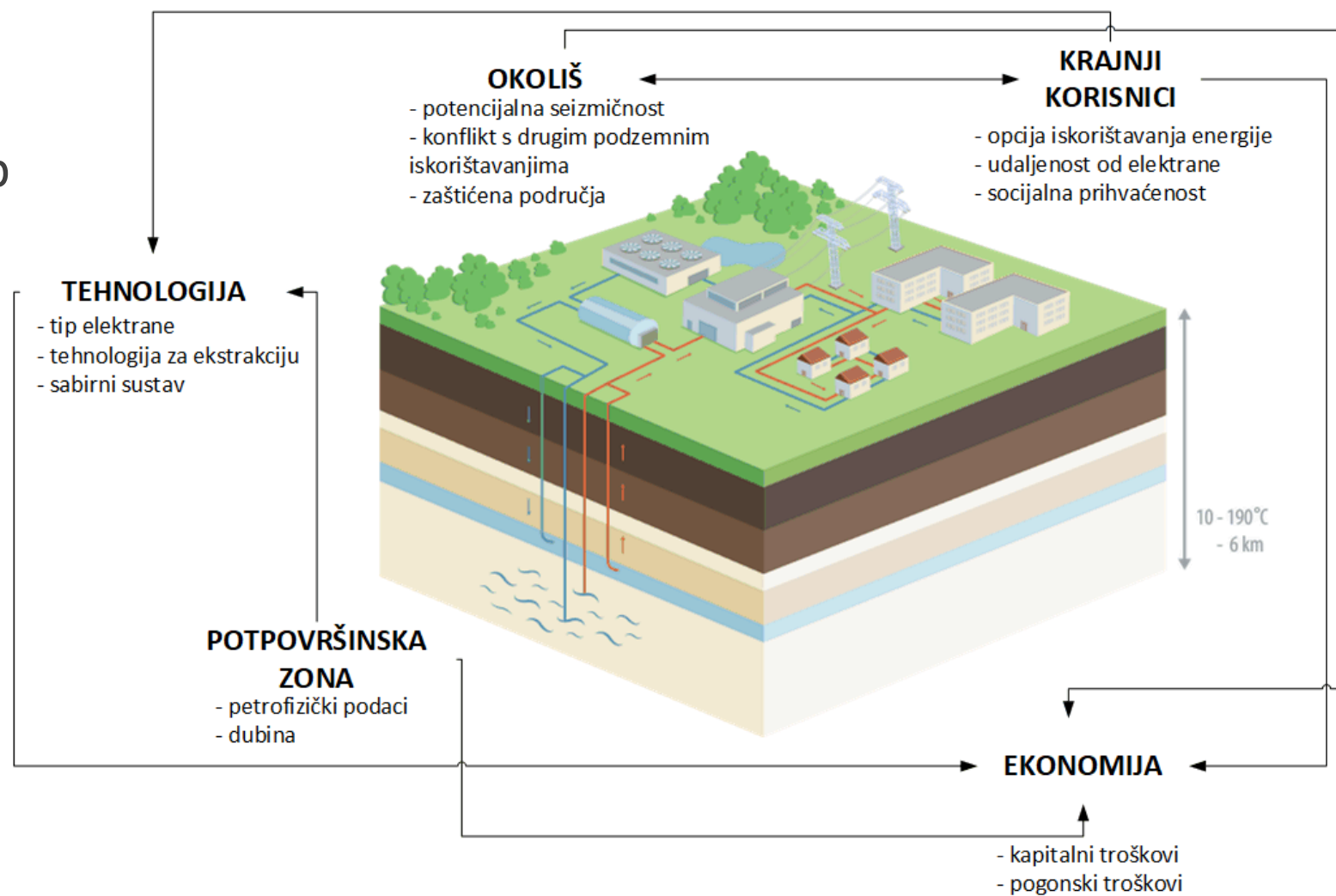


■ Prednosti EGS:

- Povećana produktivnost
- Produžen životni vijek
- Prošireni resursi
- Prilagodljivost veličine
- Prilagodljivost lokacije

Pristup evaluaciji geotermalnog projekta

- Lokacijski specifičan
- Multidisciplinarni pristup



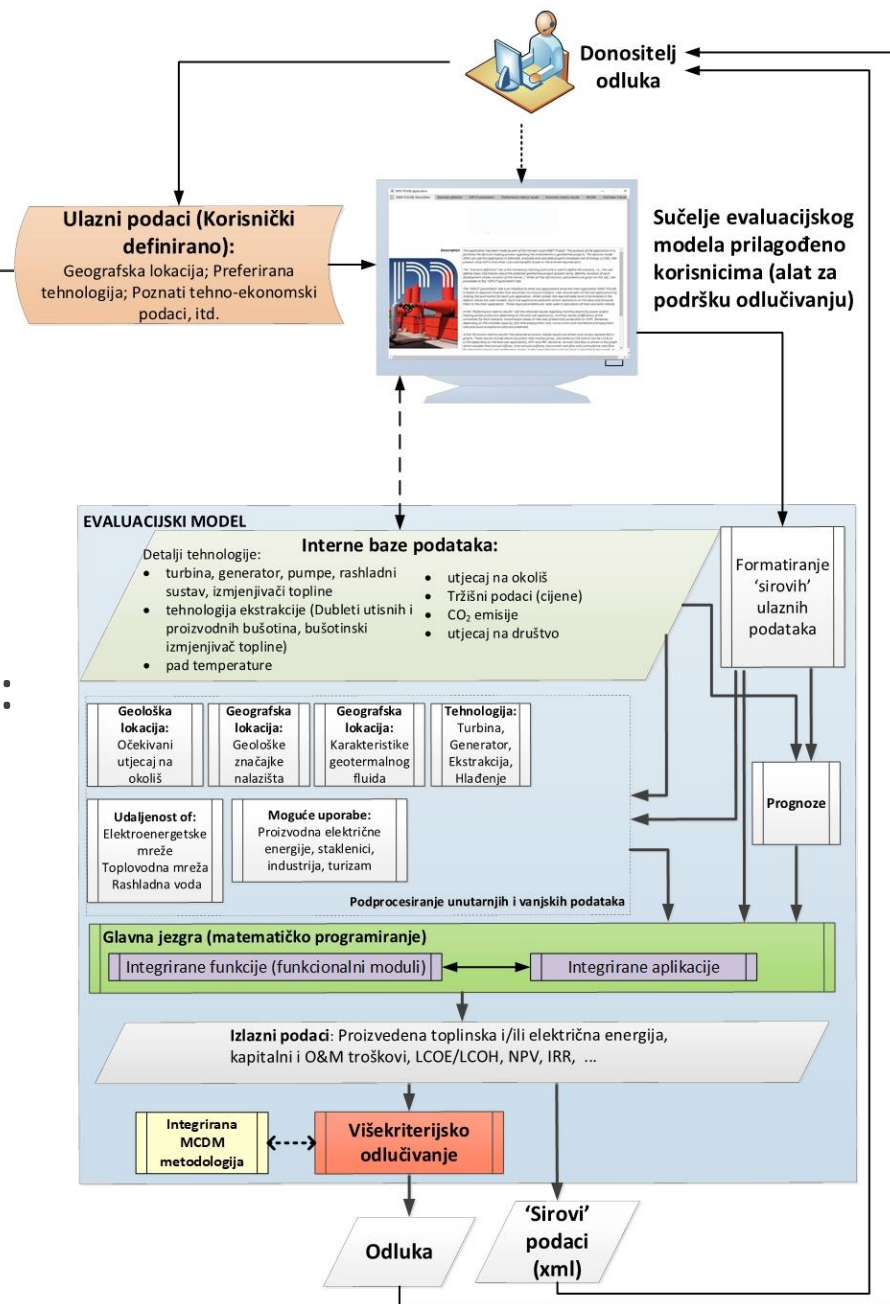
Motivacija

- Sveobuhvatna procjena
- Široka primjenjivost - za svaku lokaciju od interesa i za različite načine iskorištavanja geotermalne energije
- Jednostavnost korištenja
- Podrška različitim donosiocima odluka



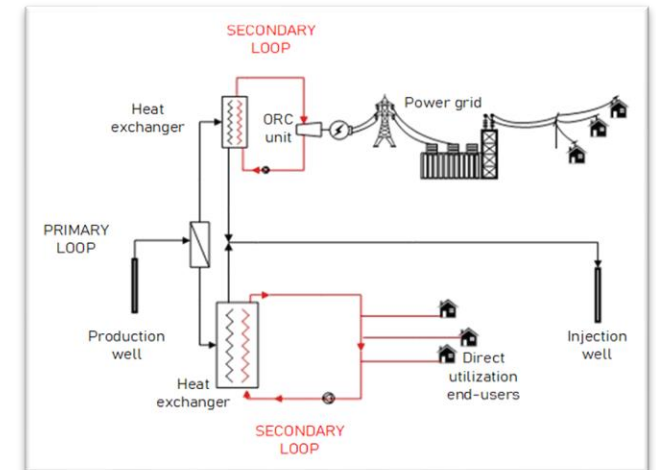
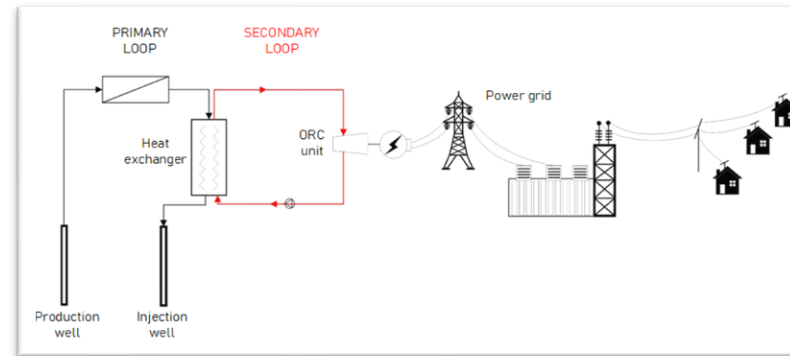
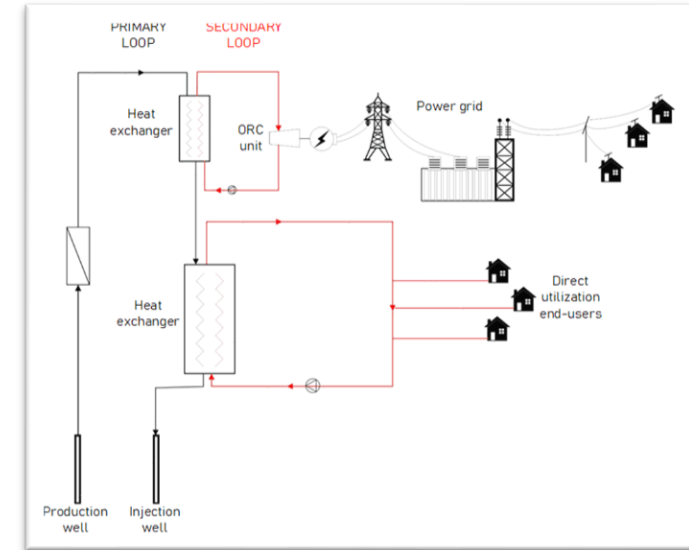
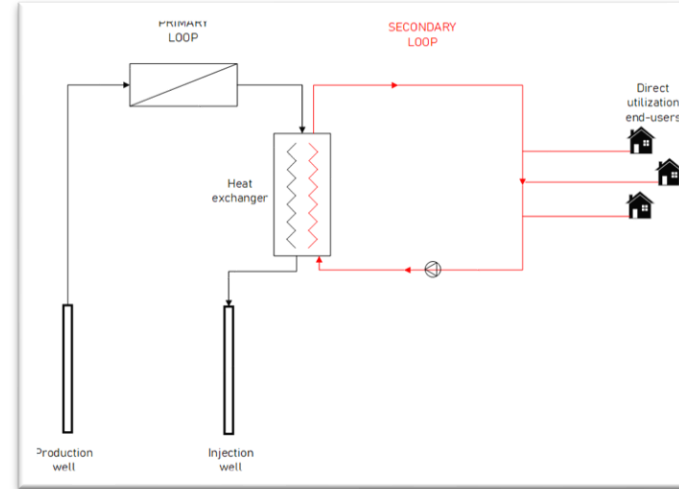
Evaluacijski model

- Model za procjenu tehnološke i ekonomske izvedivosti EGS projekata, uzimajući u obzir i društvene i okolišne utjecaje i aspekte
- Razvijen u **MATLAB**-u - modularnost
- Evaluacija različitih opcija energetske transformacije:
 - Samo **električna energija**
 - Samo **toplinska energija**
 - Proizvodnja toplinske i električne energije (**CHP**)
- Geološki, tehnički, ekonomski, okolišni i društveni aspekti
- Pomoć pri odlučivanju – metodologija višekriterijskog odlučivanja



Evaluacijski model – dimenzioniranje projekta

- Temeljeno na:
 - Temperaturi resursa
 - Osobinama geotermalnog fluida
 - Osobinama krajnjih potrošača
 - Okolišnim uvjetima
 - Tipu elektrane
- Za evaluaciju resursa u temperaturnom rasponu od **60 °C** do **175 °C**
- **4 osnovna načina proizvodnje energije:**
 - Samo toplinska energija
 - Samo električna energija
 - CHP u serijskoj konfiguraciji
 - CHP u paralelnoj konfiguraciji



Evaluacijski model

TROŠKOVI



- Procjena troškova za svih 5 faza razvoja projekta:
 - Dobivanje dozvola, istražne radnje, bušenje, izgradnja elektrane, pogon elektrane
- Zadane korelacije ili izravni korisnički unos

INTERNE BAZE PODATAKA

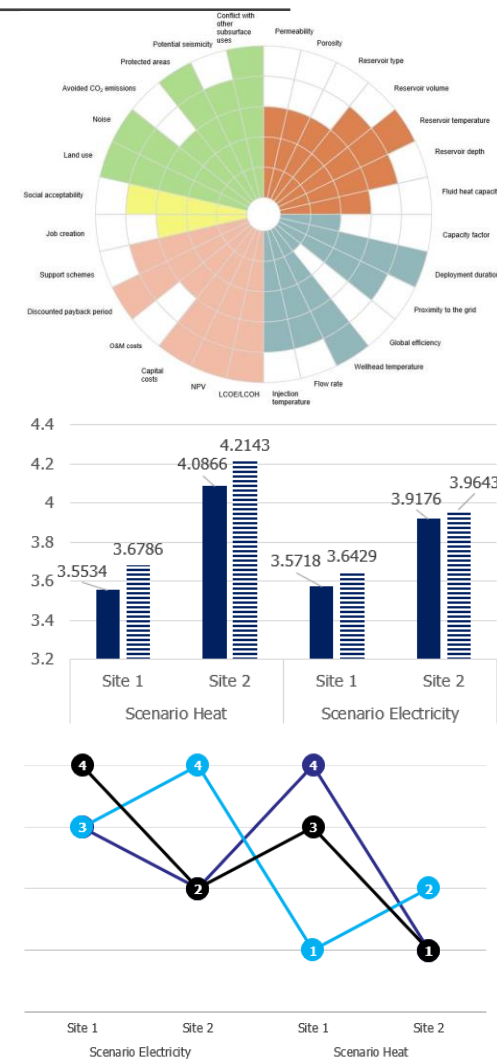
- Baze podataka specifične za države – **EU27**
 - Temperatura zraka
 - Tržišne cijene za električnu i toplinsku energiju
 - Faktori emisija
 - Troškovi radnika



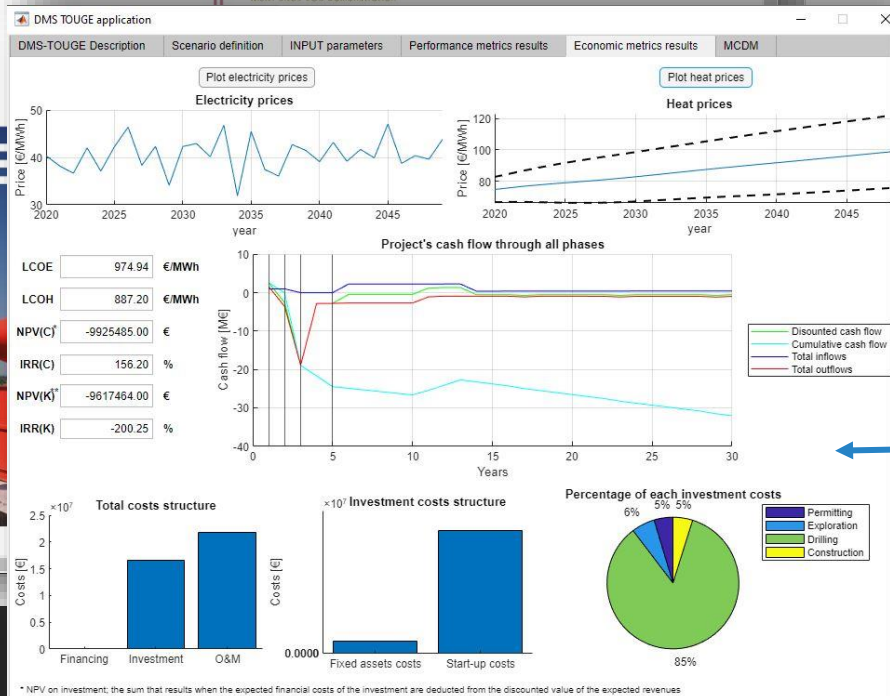
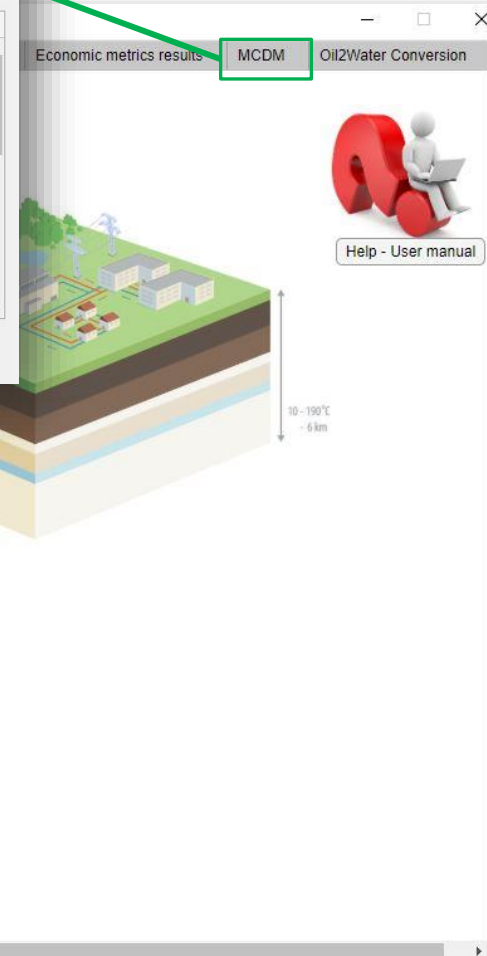
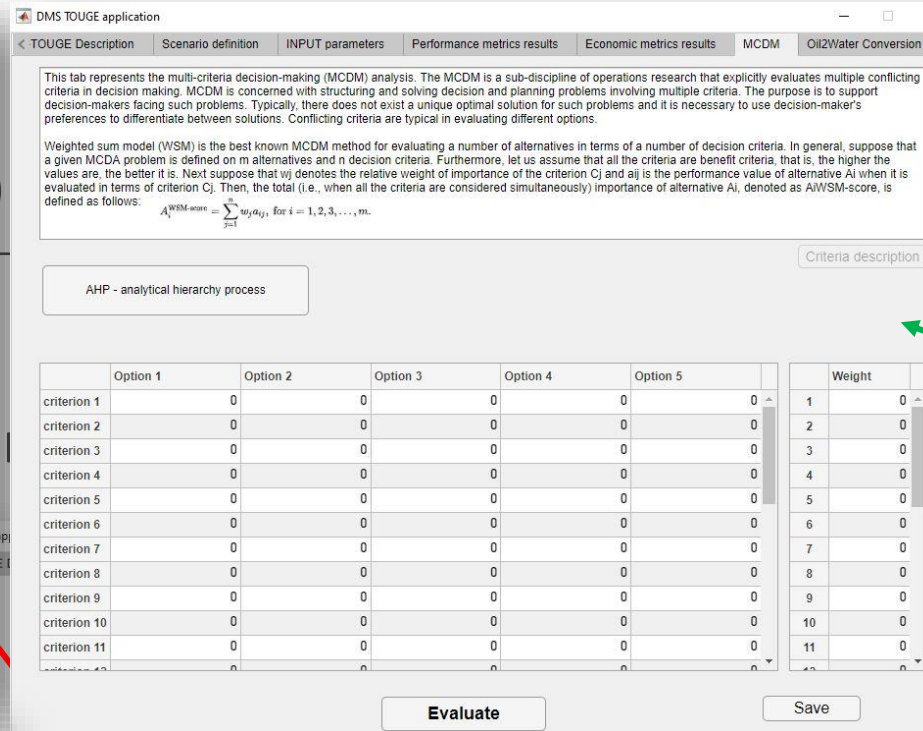
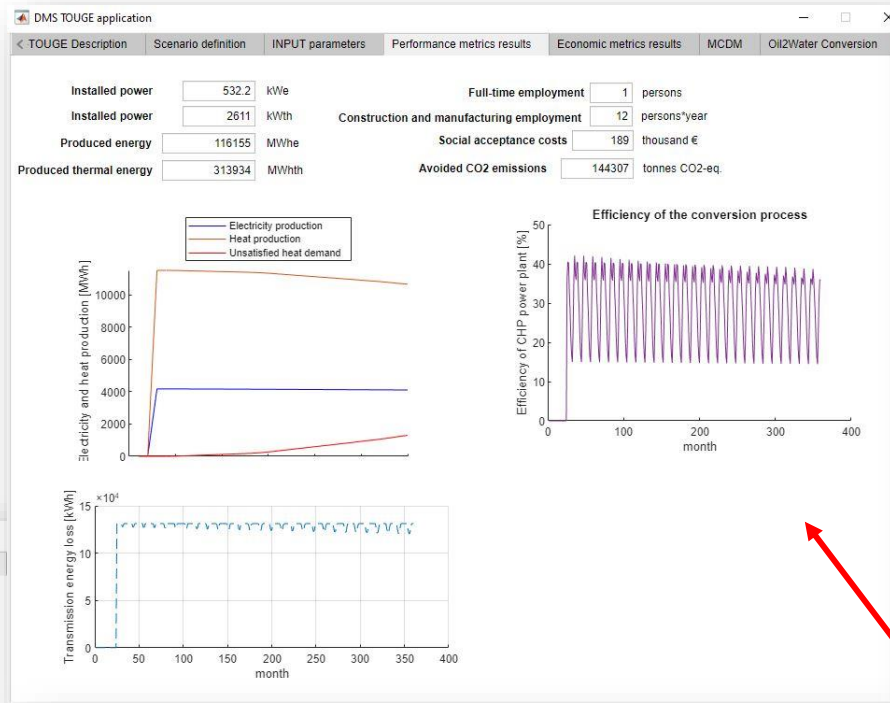
Metodologija višekriterijskog odlučivanja

- Integrirana metodologija:
 - Metoda za standardiziranu evaluaciju definiranih utjecajnih kriterija
 - Metoda ponderiranja kriterija
 - Metoda rangiranja alternativa
- 5 kriterijskih skupina - **28 kriterija** i 34 pod-kriterija

Geološke značajke	Tehnologija	Ekonomija	Utjecaj na društvo	Utjecaj na okoliš
Propusnost Poroznost Vrsta ležišta Volumen ležišta Temperatura ležišta Dubina ležišta Toplinski kapacitet fluida	Faktor kapaciteta Trajanje implementacije Udaljenost od mreže Globalna efikasnost Temperatura na ušću bušotine Protok Temperatura utiskivanja	LCOE/LCOH Neto sadašnja vrijednost Kapitalni troškovi Operativni troškovi Diskontirano vrijeme povrata Mjere potpora	Stvaranje radnih mjesta Socijalna prihvaćenost	Iskorištenost zemlje Buka Izbjegnete CO ₂ emisije Zaštićena područja Potencijalna seizmičnost Konflikt sa drugim potencijalnim iskorištavanjima



S. Raos, J. Hranić, I. Rajšl: Multi-criteria Decision-making Method for Evaluation of Investment in Enhanced Geothermal Systems Projects, Energy and AI, 17 (2024), 100390



Calculations and simulations

Prepare data and forecast

Financial analysis

Korištenje evaluacijskog modela

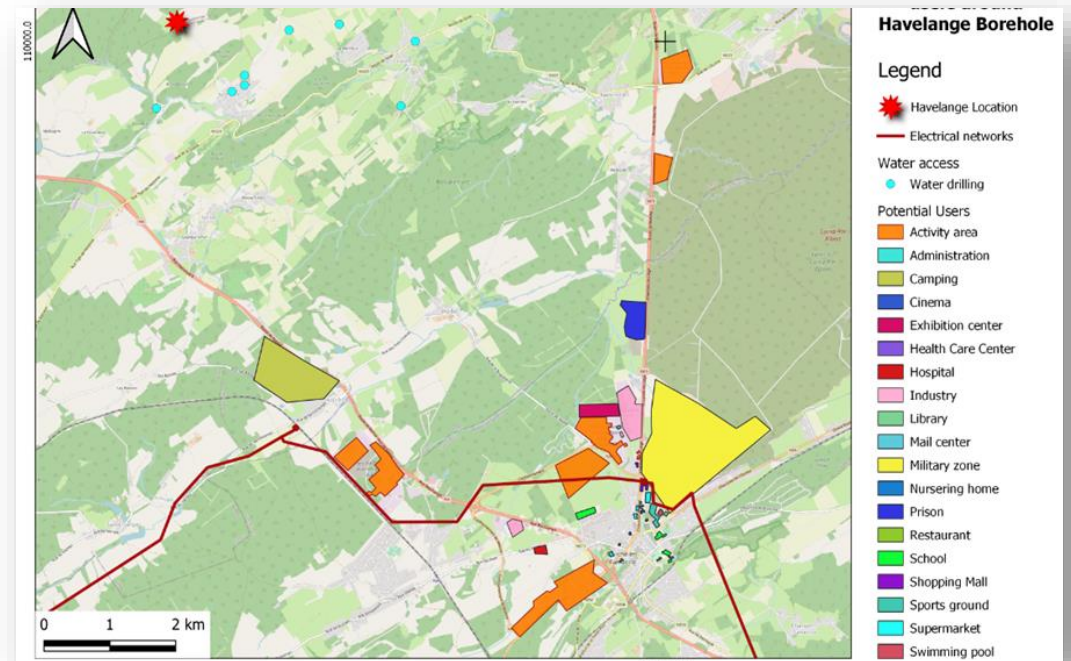
Iskusni korisnici	Manje iskusni korisnici
Stručnjaci iz industrije, razvojni projektanti, modelari	Općine, donosioci politika, studenti
Analiza 'sirovih' podataka	Funkcionalnost višekriterijskog odlučivanja (MCDM)
Dubinsko razumijevanje odnosa između ulaznih i izlaznih podataka	Nema potrebe za dubinskim razumijevanjem odnosa između ulaznih i izlaznih podataka
Usporedba različitih opcija korištenja geotermalne energije na istom geotermalnom nalazištu	
Usporedba razvoja EGS projekata na različitim geotermalnim nalazištima	

- **Horizon 2020 MEET projekt**
 - 6 isporučevina (eng. *deliverable*) – različite analize
- **Geo3En projekt**
 - Erasmus+ pilot projekt združenog diplomskog studija
 - 20 studenata iz 4 države (Hrvatska, Francuska, Njemačka, Island)
- **Preddiplomski studij**
 - HAWK - Sveučilište primijenjenih znanosti i umjetnosti, Göttingen, Njemačka

Korištenje evaluacijskog modela

Usporedba različitih opcija korištenja geotermalne energije na istom geotermalnoj nalazištu

- Nalazište Havelange, Belgija
 - **3 opcije krajnje uporabe:** proizvodnja električne energije, proizvodnja toplinske energije, proizvodnja toplinske i električne energije (CHP)
 - **3 scenarija** za svaku opciju korištenja: referentni slučaj, optimistični slučaj, pesimistični slučaj



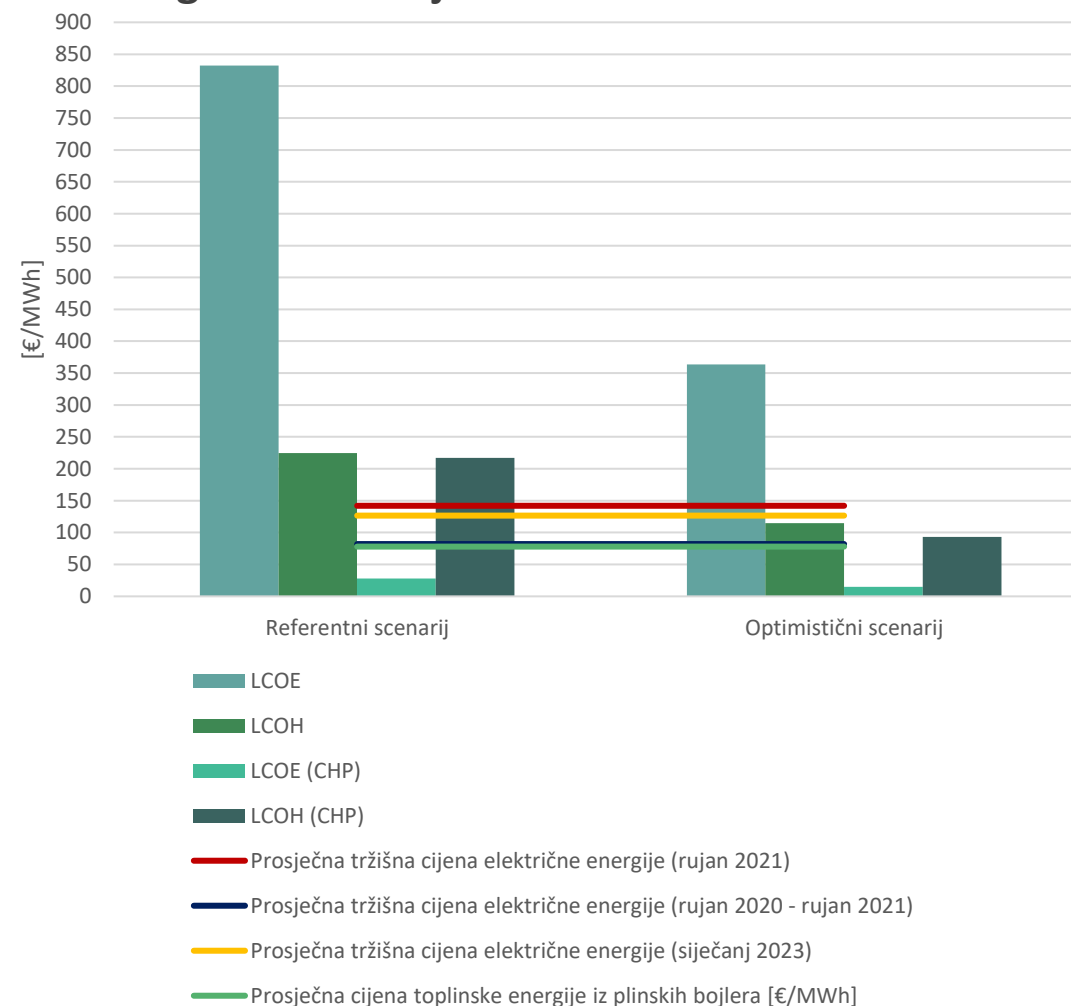
Korištenje evaluacijskog modela

Usporedba različitih opcija korištenja geotermalne energije na istom geotermalnoj nalazištu

Parametar	1. Referentni scenarij	2. Optimistični scenarij	3. Pesimistični scenarij
Instalirani kapacitet – el. energija	255 kW	570 kW	90 kW
Ukupna proizvedena el. energija	47,168 MWh	107,648 MWh	11,918 MWh
LCOE	832.00 €/MWh	363.66 €/MWh	2339.63 €/MWh
Ukupne izbjegnute CO ₂ emisije	22,675 tona	51,748 tona	5,729 tona

Parametar	1. Referentni scenarij	2. Optimistični scenarij	3. Pesimistični scenarij
Instalirani kapacitet – toplinska energija	2,200 kW	4,400 kW	1,870 kW
Ukupna proizvedena toplinska energija	335,189 MWh	670,377 MWh	218,431 MWh
LCOH	224.66 €/MWh	115.00 €/MWh	318.7 €/MWh
Ukupne izbjegnute CO ₂ emisije	75,542 tona	151,083 tona	64,210 tona

Parametar	1. Referentni scenarij	2. Optimistični scenarij	3. Pesimistični scenarij
Instalirani kapacitet – toplinska energija	2,200 kW	4,400 kW	1,870 kW
Ukupna proizvedena toplinska energija	335,189 MWh	670,377 MWh	218,431 MWh
Instalirani kapacitet – el. energija	300 kW	450 kW	115 kW
Ukupna proizvedena el. energija	67,693 MWh	106,766 MWh	26,573 MWh
LCOE	27.87 €/MWh	15.11 €/MWh	68.34 €/MWh
LCOH	217.13 €/MWh	93.18 €/MWh	254.74 €/MWh
Ukupne izbjegnute CO ₂ emisije	637,319 tona	1,229,364 tona	492,736 tona



Korištenje evaluacijskog modela

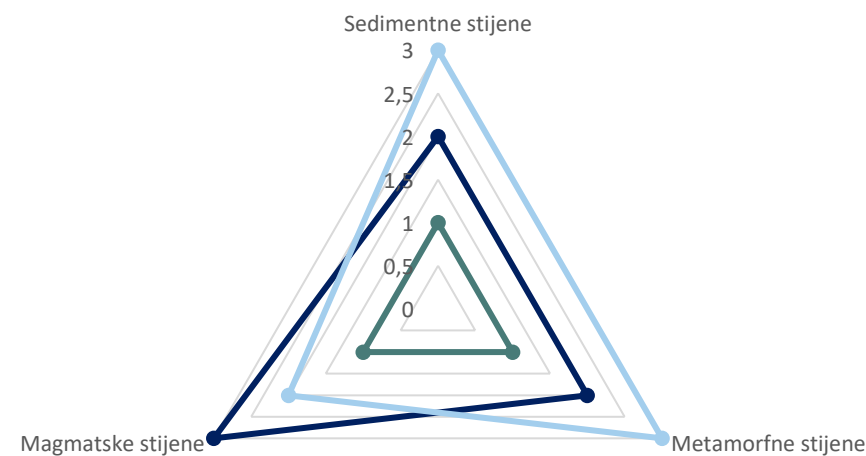
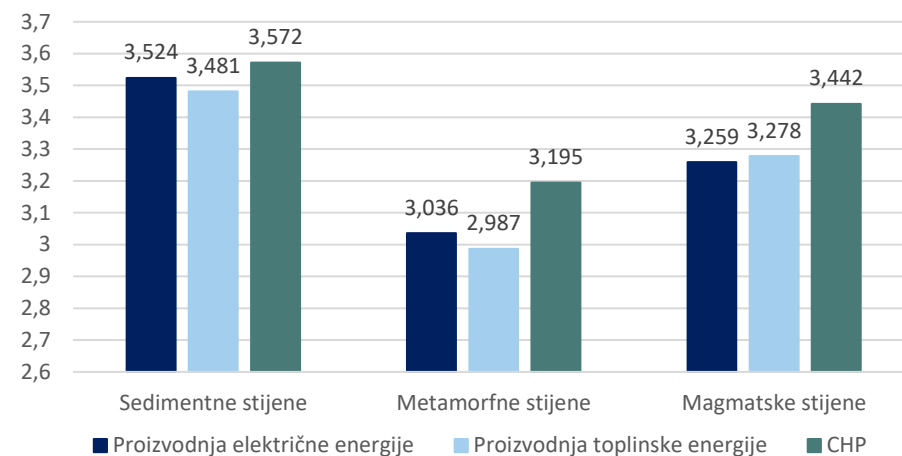
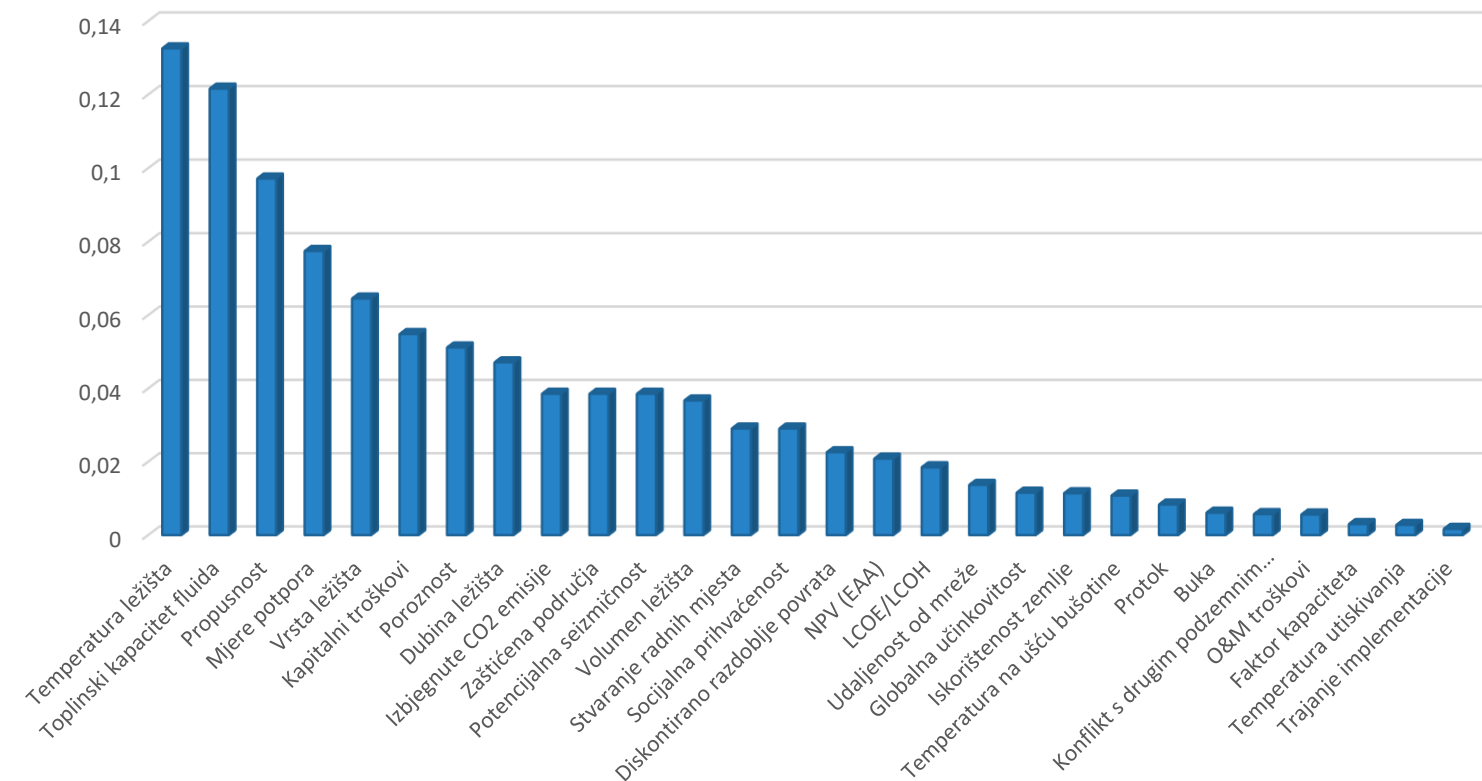
Usporedba razvoja EGS projekta na različitim geotermalnim nalazištima

- **3 nalazišta** s različitim geološkim uvjetima
 - Sedimentne stijene
 - Metamorfne stijene
 - Magmatske stijene
- **3 scenarija krajnje uporabe** za svako nalazište
 - proizvodnja toplinske energije
 - proizvodnja električne energije
 - proizvodnja toplinske i električne energije (CHP)
- Ulazni podaci:
 - Mjereni parametri, podaci iz pouzdanih modela ležišta
 - Procjene stručnjaka i podaci s analognih nalazišta
- Funkcionalnost višekriterijskog odlučivanja (MCDM)



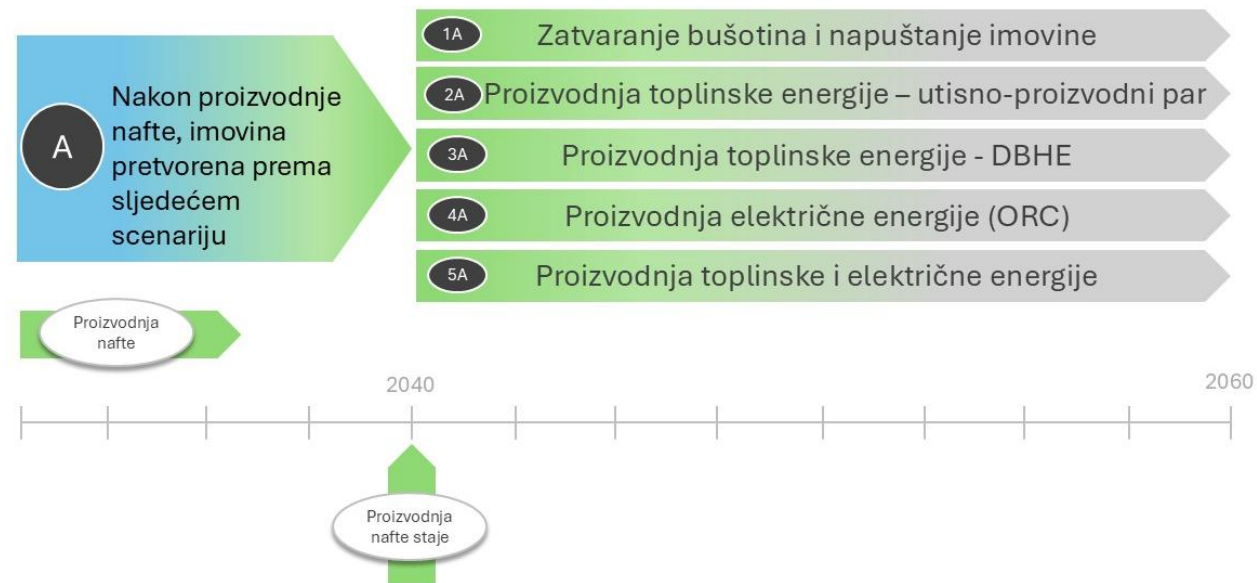
Korištenje evaluacijskog modela

Usporedba razvoja EGS projekta na različitim geotermalnim nalazištima



Metodologija konverzije zrelih naftnih polja u geotermalne sustave

- Metodologija za ekonomsku procjenu konverzije zrelih naftnih polja na kraju životnog vijeka
- Dvostupanjska metodologija klasteriranja bušotina i različiti scenariji eksploatacije geotermalne energije
- Procjena korištenja naftne imovine pretvorene u geotermalnu na temelju temperature vode i protoka te prostorne raspodjele postojećih naftnih bušotina
 - Korištenje već razvijenih ležišta ugljikovodika visoke temperature i visokog udjela vode
 - Izbjegavanje kapitalnih troškova korištenjem postojeće infrastrukture
 - Izbjegavanje troškova zatvaranja naftnih bušotina



J. Hranić, S. Raos, E. Leoutre, I. Rajšl: Two-Stage Geothermal Well Clustering for Oil-to-Water Conversion on Mature Oil Fields, Geosciences, 11 (2021), 11; 470

Hvala!

sara.raos@fer.hr

LinkedIn:

