

# Ekonomski aspekti geotermalnih projekata

---

**Domšić, Adriana**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:504877>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-27**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Prije diplomski studij naftnog rudarstva

**EKONOMSKI ASPEKTI GEOTERMALNIH PROJEKATA**

Završni rad

Adriana Domšić

N4341

Zagreb, 2023.

## EKONOMSKI ASPEKTI GEOTERMALNIH PROJEKATA

Adriana Domšić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za naftno inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

Geotermalna energija je obnovljivi izvor energije čija primjena ima niz prednosti u odnosu na druge izvore energije. Kao primjer čistog i pouzdanog izvora topline i električne energije u nadolazećem razdoblju prijelaza na održivu i čistu energiju imat će ključnu ulogu zajedno s drugim obnovljivim izvorima energije. U ovom radu dan je osvrt na iskorištavanje geotermalne energije u energetske svrhe, uvid u faze geotermalnih projekata, struktura troškova i njihovo kretanje, ekonomsko vrednovanje samih projekata, financiranje kroz različite mehanizme potpora i primjena geotermalne energije u Republici Hrvatskoj.

Ključne riječi: geotermalni projekti, geotermalna energija, ekonomsko vrednovanje projekata

Završni rad sadrži: 36 stranica, 6 tablica, 14 slika i 15 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica RGNF-a

Ocjenjivači: Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica RGNF-a

Dr. sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNF-a

Dr. sc. Luka Perković, izvanredni profesor RGNF-a

## SADRŽAJ

<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>I</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>II</b>
<b>POPIS KORIŠTENIH KRATICA.....</b>	<b>III</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GEOTERMALNA ENERGIJA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Iskorištavanje geotermalne energije .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Vrste energije dobivene iz geotermalnih izvora.....</b>	<b>5</b>
2.2.1. Električna energija .....	5
2.2.2. Toplinska energija.....	8
<b>2.3. Usporedba geotermalne energije s drugim izvorima energije.....</b>	<b>11</b>
<b>3. GEOTERMALNI PROJEKTI.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1. Tarife geotermalne energije.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2. Kretanje troškova geotermalnih projekata .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3. Ekonomsko vrednovanje projekata .....</b>	<b>27</b>
3.3.1. Financijska analiza (engl. <i>Financial analysis</i> ).....	27
3.3.2. Ekonomska analiza (engl. <i>Economic analysis</i> ).....	28
<b>4. PRIMJENA GEOTERMALNE ENERGIJE U HRVATSKOJ.....</b>	<b>29</b>
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>34</b>
<b>6. LITERATURA .....</b>	<b>35</b>

## POPIS SLIKA

<b>Slika 2-1.</b> Instalirani geotermalni električni kapacitet po regijama, 2021. ....	7
<b>Slika 2-2.</b> Rast instaliranih geotermalnih kapaciteta po regijama.....	8
<b>Slika 2-3.</b> Instalirani kapacitet geotermalnog grijanja i hlađenja po regijama, 2020.....	9
<b>Slika 2-4.</b> Top deset zemalja prema instaliranom geotermalnom kapacitetu za grijanje i hlađenje.....	10
<b>Slika 2-5.</b> Upotreba i instalirani kapacitet geotermalne energije za grijanje i hlađenje.....	11
<b>Slika 2-6.</b> Udio energenata u finalnoj potrošnji energije za grijanje i hlađenje, 2019.....	12
<b>Slika 2-7.</b> Prikaz ukupnog instaliranog troška, kapaciteta i niveliranog troška električne energije po tehnologijama .....	13
<b>Slika 3-1.</b> Prikaz tipičnog profila nesigurnosti i izdataka za geotermalni projekt .....	14
<b>Slika 3-2.</b> Prikaz kretanja instaliranih troškova tijekom godina, faktor kapaciteta tijekom godina i nivelirani trošak električne energije tijekom godina za geotermalne projekt.....	24
<b>Slika 3-3.</b> Ukupni instalirani trošak geotermalne energije prema projektu, tehnologiji i kapacitetu.....	25
<b>Slika 3-4.</b> Faktori kapaciteta geotermalnih elektrana prema tehnologiji i veličini projekata, 2007.-2021 .....	26
<b>Slika 3-5.</b> LCOE geotermalnih energetske projekata po tehnologiji i veličini projekata ..	27
<b>Slika 4-1.</b> Instalirani kapaciteti za proizvodnju toplinske energije iz obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj.....	32
<b>Slika 4-2.</b> Instalirani kapaciteti za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj.....	32

## **POPIS TABLICA**

<b>Tablica 2-1.</b> Ukupni instalirani kapacitet obnovljive električne energije, 2021.....	12
<b>Tablica 3-1.</b> Mehanizmi financiranja čiste energije .....	16
<b>Tablica 4-1.</b> Trenutno aktivna eksploatacijska polja geotermalne vode u RH.....	30
<b>Tablica 4-2.</b> Trenutni istražni prostori geotermalne vode u RH .....	31
<b>Tablica 4-3.</b> Proizvodnja toplinske energije iz OIE u Hrvatskoj 2021. godine .....	31
<b>Tablica 4-4.</b> Proizvodnja električne energije iz OIE u Hrvatskoj u 2021. godini .....	33

## POPIS KORIŠTENIH KRATICA

BCR – engl. *Benefit/Cost Ratio*, Omjer koristi/troška

CAPEX – Kapitalni troškovi

CCS - *Carbon Capture and Storage*, Hvatanja i skladištenja ugljikovog dioksida

CSP - engl. *Concentrating solar power*, koncentrirane solarne elektrane

EIHP – Energetski institut Hrvoje Požar

FiT – engl. *Feed-in tariffs*, Povlaštene tarife

EPC costs – engl. *Engineering, Procurement and Construction costs*, Troškovi inženjeringa, nabave i izgradnje

EU – Europska unija

GHP – engl. *Geothermal Heat Pumps*, Geotermalne toplinske pumpe

GWe – Gigavat električne energije

GWt – Gigavat toplinske energije

GWh- Gigavat sat

IGA – engl. *International Geothermal Association*, Međunarodno geotermalno udruženje

IRENA – engl. *International Renewable Energy Agency*, Međunarodna agencija za obnovljive izvore energije

IRR – engl. *Internal Rate of Return*, Interna stopa rentabilnost

LCOE - engl. *Levelised cost of electricity*, nivelirani trošak proizvodnje električne energije

MINGOR - Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja

MWe – Megavat električne energije

MWt – Megavat toplinske energije

NPV – engl. *Net Present Value*, Neto sadašnja vrijednost

OIE – Obnovljivi izvori energije

O&M costs – engl. *Operation and maintenance costs*, Troškovi rada i održavanja (operativni troškovi)

OPEX – Operativni troškovi

PBT – engl. *Payback Time*, Vrijeme povrata ulaganja

R&D – engl. *Research and development*, Istraživanje i razvoj

RH – Republika Hrvatska

Solar PV- engl. *Solar Photovoltaic*, solarne fotonaponske elektrane

## 1. UVOD

Globalna potražnja za obnovljivom energijom znatno je porasla u posljednjem desetljeću ponajviše zbog povećanja svjesnosti o učincima klimatskih promjena i hitnosti smanjenja emisija stakleničkih plinova minimiziranjem upotrebe fosilnih goriva (IRENA i IGA, 2023). Europska unija (EU) ima vodeću ulogu u svijetu za ublažavanje klimatskih promjena i najambicioznije određeni doprinos prema Pariškom sporazumu: obvezu smanjenja emisija stakleničkih plinova za najmanje 55 % do 2030. godine, u odnosu na emisiju iz 1990. godine (Energetski institut Hrvoje Požar [EIHP], 2021).

Geotermalnu energiju ubrajamo u obnovljive izvore energije, primjer je toplinske energije koja se oslobađa iz Zemljine unutrašnjosti, najčešće pomoću geotermalnih voda (Hrvatska enciklopedija, n.d.). Kod geotermalne vode visoke entalpije uz proizvodnju električne energije moguće je kaskadno korištenje preostale toplinske energije geotermalnih voda u druge svrhe kao što je toplinarstvo, grijanje prostora, sušare i akvakulture (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja RH [MINGOR], 2023).

Geotermalana energija se može iskoristiti u sinergiji u različitim industrijama kroz međuindustrijske projekte, uključujući ostale obnovljive izvore energije, no isto tako naftu i plin, zeleni vodik, ekstrakciju minerala, pohranu energije u rudnicima te hvatanje i skladištenje ugljika (engl. *Carbon Capture and Storage, CCS*) (IRENA, 2022a). U nastajanju da se stvori društvo bez otpada i poboljša održivost, moguće je stvoriti procese koji omogućuju ponovnu upotrebu nusproizvoda što rezultira kružnim procesima i pozitivnim utjecajem na okoliš (IRENA, 2022a).



## 2. GEOTERMALNA ENERGIJA

### 2.1. Iskorištavanje geotermalne energije

Geotermalna voda je energetska mineralna sirovina, voda dobivena iz ležišnih stijena visokih temperatura (Hrvatska tehnička enciklopedija, n.d.). Pod pojmom geotermalna energija smatra se ona energija koja se može pridobiti iz Zemljine unutrašnjosti i koristiti u energetske svrhe (Kurevija i Macenić, 2022).

Geotermalna voda pojavljuje se u tri skupine geoloških struktura (Hrvatska tehnička enciklopedija, n.d.):

- vulkanskim područjima (najznačajniji izvori) gdje se nalaze granice tektonskih ploča i ležišta geotermalnih voda temperatura većih od 200 °C,
- područjima intenzivnih razlamanja i nabiranja tektonskih ploča, građenih od nepropusnih stijena s ležištima temperatura viših od 100 °C,
- sedimentacijskim bazenima različitih veličina koji sadrže geotermalnu vodu pod tlakom većim od hidrostatskoga, a temperature ležišta ovise o dubinama na kojima se nalaze.

Geotermalnu energiju smatramo i obnovljivom i fosilnom energijom jer nastaje polaganim prirodnim raspadom radioaktivnih elemenata (urana, torija i kalija-40) koji se nalaze u Zemljini unutrašnjosti (Kurevija i Macenić, 2022).

Iako za sada ne postoji standardna međunarodna terminologija za klasifikaciju geotermalnih resursa postoji nekoliko načina za klasifikaciju istih prema (Kurevija i Macenić, 2022):

- stupnju istraženosti i „dostupnosti“ izvora,
- vrsti geotermalnih ležišta,
- temperaturi ležišnog fluida.

Klasifikacija geotermalnih resursa prema istraženosti ležišta

Prema istraženosti ležišta, stupnju poznavanja kemijskog sastava, fizikalnih svojstava, poznavanja parametara za utvrđivanje rezervi i pripremljenosti za eksploataciju, ukupne rezerve mineralne i geotermalne vode svrstavaju se u (Kurevija i Macenić, 2022):

- 1) utvrđene rezerve mineralne i geotermalne vode,
  - svrstavaju se u klase :
    1. bilančne,
    2. izvanbilančne
- 2) potencijalne rezerve mineralne i geotermalne vode.

U bilančne rezerve uvrštavaju se utvrđene rezerve mineralne i geotermalne vode koje se zavisno od kemijskih i fizikalnih svojstava te ležišnih uvjeta mogu poznatom tehnikom i tehnologijom eksploatacije rentabilno koristiti ( Kurevija i Macenić, 2022).

U izvanbilančne rezerve uvrštavaju se utvrđene rezerve mineralne i geotermalne vode, koje se poznatom tehnikom i tehnologijom ne mogu eksploatirati ili koje se poznatom tehnikom i tehnologijom ne mogu rentabilno eksploatirati (Kurevija i Macenić, 2022).

#### Kategorizacija prema vrsti geotermalnih ležišta

Prema vrsti geotermalnih ležišta najvažnija je podjela (Kurevija i Macenić, 2022).

- 1) Obzirom na način ulaska i izlaska vode iz ležišta,
  1. Ulaz i izlaz su prirodni otvori,
  2. Ulaz je prirodni otvor, a izlaz bušotine (arteški izvor),
  3. Ulaz i izlaz su bušotine,
- 2) Obzirom na termodinamičke i hidrološke osobine
  1. Hidrotermalna ležišta niske entalpije,
  2. Hidrotermalna ležišta visoke entalpije,
  3. Geotlačna geotermalna ležišta,
  4. Vruće i suhe stijene na velikim dubinama.

#### Kategorizacija prema temperaturi fluida

Podjela geotermalnog resursa prema temperaturi fluida je najčešće korištena. Geotermalne vode prema temperaturi su podjeljene na ( Kurevija i Macenić, 2022):

- 1) Visoko temperaturne fluide ( $>150^{\circ}\text{C}$ ),
- 2) Srednje temperaturne fluide ( $90-150^{\circ}\text{C}$ ),
- 3) Nisko temperaturne fluide ( $<90^{\circ}\text{C}$ ).

Većina visokotemperaturnih geotermalnih izvora nalazi se oko vulkana u područjima koja su tektonski i vulkanski aktivna, kao što je pacifički vatreni prsten, srednjoatlantski greben, dijelovi Europe i istočnoafrički rasjed (IRENA i IGA 2023). Plitkim bušenjem Zemljine površine u aktivnim geotermalnim područjima koje karakterizira visokotemperaturna voda ili para, na ili blizu površine možemo jeftino iskoristiti prirodno prisutne resurse koji se zatim koriste za generiranje električne energije u parnim turbinama i/ili za zagrijavanje domova ili industrije (IRENA, 2022b). Za razliku od vulkanskih područja sedimentni bazeni imaju niže temperaturne gradijente stoga je potrebno bušiti dublje bušotine kako bi se osigurala

potrebna temperature ležišta (IRENA i IGA, 2023). Visoko temperaturni fluidi koriste se pretežito za proizvodnju električne energije, a nisko i srednje temperaturni fluidi se koriste u izravnoj upotrebi (Kurevija i Macenić, 2022). Jedan od primjera izravne upotrebe koji se naširoko koristi su geotermalne toplinske pumpe (engl. *Geothermal Heat Pumps*, GHP) za osiguranje učinkovitog grijanja i hlađenja prostora (IRENA i IGA, 2023). Geotermalna energija kao primjer čistog i pouzdanog izvora topline i električne energije imati će ključnu ulogu u prijelazu na održivu i čistu energiju uz druge obnovljive izvore energije (IRENA i IGA, 2023).

Glavna prednost geotermalne energije u usporedbi s drugim obnovljivim izvorima je njena stalna dostupnost, bez obzira na doba dana, godišnje doba, količinu oborina ili intenzitet vjetra (Arar, 2017). Proizvodnja geotermalne energije moguća je 24/7 kroz cijelu godinu što pridonosi visokoj učinkovitosti geotermalnih energetske postrojenja (MINGOR, 2023). IRENA i IGA (2023) navode dodatne prednosti geotermalnih izvora koje se često zanemaruju, a uključuju čistu proizvodnju električne energije, grijanje i hlađenje u sektorima krajnje potrošnje, ali i ekstrakciju minerala poput litija za proizvodnju baterija. Također, kao prednosti navode i niske emisije stakleničkih plinova tijekom životnog ciklusa projekta. Kao izvor topline, geotermalna energija je skalabilna, ima niske operativne troškove, povećava učinkovitost korištenjem topline izravno, smanjuje potrošnju električne energije i može pružiti dugotrajan izvor održive topline (IRENA i IGA, 2023). Glavni nedostatak geotermalne energije su visoki kapitalni troškovi izrade bušotine.

## 2.2. Vrste energije dobivene iz geotermalnih izvora

Geotermalni fluid je smjesa vode, raznih plinova, otopljenih soli i minerala. Temperatura fluida je najčešća mjera podjele geotermalnih resursa (Surić i Perković, 2022). Visokotemperaturni geotermalni izvori (temperature više od 150°C) koriste se pretežito za proizvodnju električne energije, dok nisko i srednje temperaturna ležišta (temperatura manja od 150°C) su prikladnija za direktnu primjenu, ali mogu biti upotrijebljena za proizvodnju električne energije primjenom tehnologije binarne elektrane (IRENA, 2022a).

Visoko temperaturni geotermalni izvori najčešće se pojavljuju na područjima s visokom vulkanskom i tektonskom aktivnosti kao što je Pacifički vatreni prsten, a uključuju zapad Sjedinjenih Država, Latinsku Ameriku i Karibe, Novi Zeland, pacifičke otoke, Filipine, Japan i poluotok Kamčatka (IRENA, 2022a). S druge strane nisko i srednje temperaturni geotermalni izvori koji su prikladniji za direktnu primjenu grijanja, nisu geografski toliko ograničeni u usporedbi s konvencionalnim visokotemperaturnim resursima koji se uglavnom koriste za proizvodnju električne energije. Niskotemperaturni izvori mogu se pronaći ne samo u vulkanski aktivnim područjima već i u geološkim okruženjima kao što su sedimentni bazeni (IRENA, 2022a).

### 2.2.1. Električna energija

Najvažniji način iskorištavanja visokotemperaturnih geotermalnih izvora je proizvodnja električne energije. Energetska postrojenja / elektrane koje koriste geotermalnu vodu za proizvodnju električne energije iskorištavaju toplinsku energiju sadržanu u vodi iz geotermalnih bušotina za rad turbine, pretvarajući toplinsku i kinetičku energiju u električnu (MINGOR, 2023). Odabir procesa za pretvorbu toplinske energije fluida u električnu energiju razmatra se ovisno o protoku fluida, tlaku i temperaturi fluida, omjeru vruće vode i pare, sadržaju nekondenzirajućih plinova u fluidu, te opasnosti od stvaranja naslaga kamenca i pojave korozije (Surić i Perković, 2022).

Glavne tehnologije koje se koriste u proizvodnji električne energije uključuju elektrane na suhu paru (engl. *Dry steam*), 'flash' elektrane (engl. *Flash steam*) i binarne elektrane (engl. *Binary cycle*) (IRENA i IGA, 2023). Električna se energija prema principu suhe pare (engl. *Dry steam*) proizvodi dovođenjem suhe pare iz bušotine izravno na lopatice turbine generatora. Iako je princip suhe pare jednostavniji, jeftiniji i prvi proces koji se koristio za proizvodnju električne energije iz geotermalne energije u komercijalne svrhe rijetko se može primjenjivati (Surić i Perković, 2022). Princip separiranja pare (engl. *Flash steam*) koristi se

kod visokotemperaturnih geotermalnih ležišta u kojima je dominantan fluid vruća voda, a separacijom se izdvaja para uz minimalni gubitak tlaka (Surić i Perković, 2022). Binarni ciklus (engl. *Binary cycle*) se primjenjuje u slučajevima geotermalnih izvora s temperaturom nižom od 150°C ili kada tehnički i ekonomski nije opravdano separirati paru iz geotermalnog fluida (Surić i Perković, 2022), osnovni princip rada elektrane je prijenos topline sa geotermalnog fluida na sekundarni radni fluid, s nižom točkom isparavanja, u isparivaču topline (Kurevija i Macenić, 2022). Sekundarni radni fluid najčešće je organskog sastava te se binarne elektrane često nazivaju elektranama s organskim Rankineovim ciklusom (engl. *Organic Rankine Cycle, ORC*) (Surić i Perković, 2022).

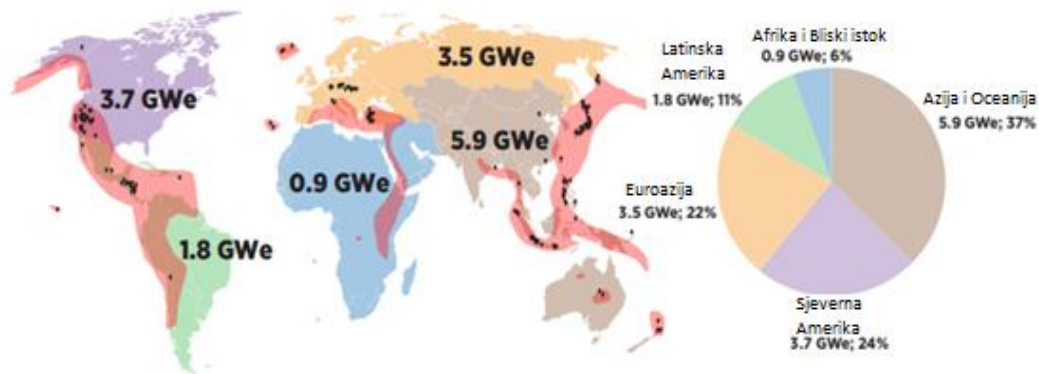
Prosječni faktor iskoristivosti kapaciteta geotermalnih elektrana koje koriste izravnu suhu paru iznosi 88%, dok prosjek za postrojenja koja koriste 'flash' tehnologiju 83%. Binarna geotermalna postrojenja koja koriste resurse niže temperature očekuje se da postignu prosječan faktor iskoristivosti kapaciteta od 80% (IRENA, 2022b). Proizvodnja električne energije je povoljna iza geotermalnih izvora srednjih do visokih temperatura. Za proizvodnju električne energije u komercijalnim razmjerima potrebna je minimalna temperatura izvora od oko 150°C - 180°C, ovisno o korištenoj tehnologiji. Postojeće tehnologije mogu proizvoditi električnu energiju na temperaturama od čak 70°C u znatno manjim primjenama (IRENA i IGA, 2023), a troškovi binarne elektrane dizajnirane za iskorištavanje ležišta niže temperature imaju tendenciju biti skuplji (IRENA, 2022b).

Kao izvor električne energije geotermalna energija osigurava pouzdanu proizvodnju s visokom učinkovitošću postrojenja, niskim emisijama stakleničkih plinova i malim ekološkim otiskom, smatra se dugotrajnim održivim izvorom kada se njime pravilno upravlja (IRENA i IGA, 2023).

Krajem 2021.godine geotermalna postrojenja za proizvodnju električne energije činila su 0,5% ukupnog instaliranog kapaciteta obnovljive energije širom svijeta s ukupnim instaliranim kapacitetom od otprilike 14,4 GW (IRENA, 2022b). Geotermalna energija osigurava proizvodnju električne energije u više od 30 zemalja. Instalirani kapacitet po zemlji kreće se od najmanje 1 MWe do 3,7 GWe (IRENA i IGA, 2023.) Zemlje s najvećim instaliranim kapacitetima uključuju Sjedinjene Američke Države, Indoneziju, Filipine, Tursku, Novi Zeland, Keniju i Italiju (IRENA, 2022b).

U nekim zemljama posebice onim koje pripadaju geotermalnom „klubu 1 GWe“, kao što su Indonezija, Novi Zeland, Filipini, Turska i Sjedinjene Američke Države, geotermalne elektrane rade desetljećima. Zemlje poput Belgije, Čilea, Kolumbije, Hrvatske, Hondurasa i Mađarske tek su nedavno počele proizvoditi geotermalnu električnu energiju i nalaze se u ranim fazama razvoja (IRENA i IGA, 2023).

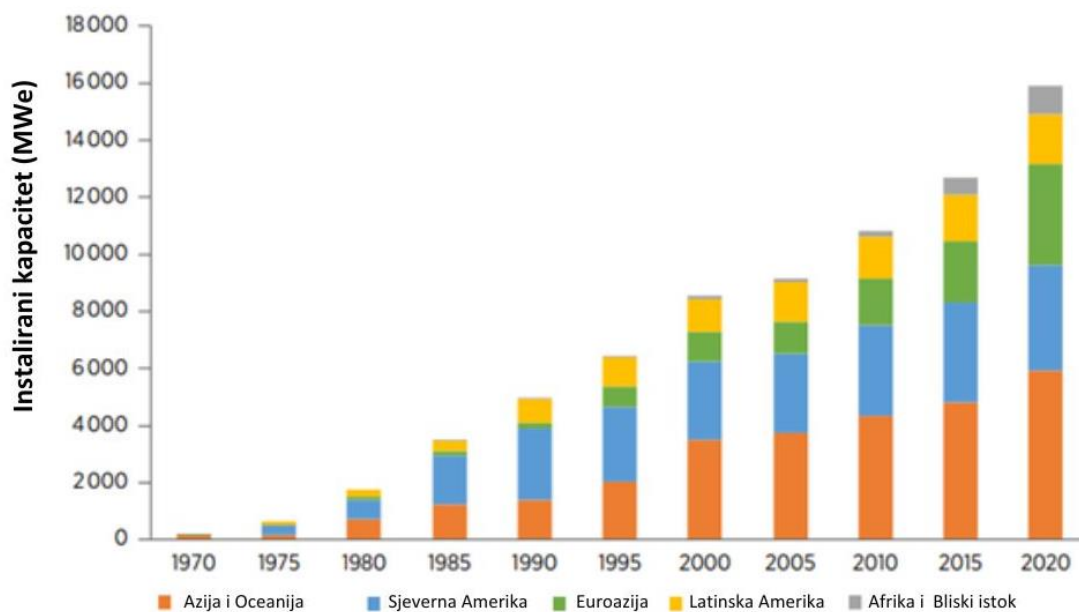
Globalni instalirani kapacitet za geotermalnu proizvodnju električne energije iznosio je 15,96 GWe na kraju 2021. godine, a bio je podijeljen u pet glavnih regija koje možemo vidjeti na Slici 2-1. Regije s najvećim instaliranim kapacitetom su Azija i Oceanija (5,9 GWe), Sjeverna Amerika (3,7 GWe) i Euroazija (3,5 GWe) (IRENA i IGA, 2023).



**Slika 2-1.** Instalirani geotermalni kapacitet za proizvodnju električne energije po regijama, 2021. (IRENA i IGA, 2023)

Globalni kapacitet proizvodnje električne energije iz geotermalnih elektrana porastao je s 200 MWe s početka 1850-ih godina na otprilike 16 GWe u 2020. godini. Na Slici 2-2. možemo vidjeti rast instaliranih geotermalnih električnih kapaciteta po regijama (IRENA i IGA, 2023). Možemo zamjetiti kako regija Azije i Oceanije ima najveći rast instaliranih

geotermalnih kapaciteta, takav rast slijedi Sjeverna Amerika, a primjetan je znatan rast i u Euroaziji.



**Slika 2-2.** Rast instaliranih geotermalnih kapaciteta po regijama (IRENA i IGA, 2023)

Kapacitet geotermalne energije značajno je porastao tijekom 1970-ih godina dijelom zahvaljujući naftnim krizama 1973. i 1980./81. Oštar porast cijena nafte potaknuo je istraživanje i razvoj mnogih alternativnih izvora električne energije uključujući i geotermalnu energiju. Geotermalna energija koja je bila dostupna lokalno omogućila je zemljama smanjenje ovisnosti o uvoznim fosilnim gorivima za proizvodnju električne energije (IRENA i IGA, 2023). Stalni rast nastavio se nakon 1980-ih godina. Od 2000. godine instalirani kapacitet geotermalne električne energije povećavao se prosječnom godišnjom stopom od oko 3% s velikim doprinosima Indonezije, Kenije, Turske i SAD-a. Unatoč navedenom rastu geotermalna energija je u 2022. godini predstavljala samo 0,5% globalnog tržišta obnovljive električne energije (IRENA i IGA, 2023).

### 2.2.2. Toplinska energija

Srednje temperaturni geotermalni izvori koriste se u različite svrhe za grijanje i hlađenje prostora, unutar industrijskih procesa i za poljoprivredno-prehrambene svrhe. U vidu maksimiziranja upotrebe geotermalnih izvora primjenjuje se kaskadno korištenje odnosno

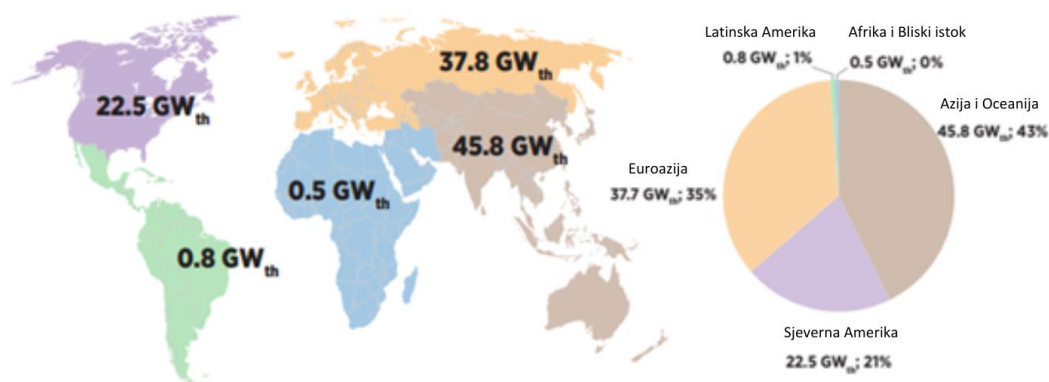
sekvencijalna primjena. Izlazna energija iz tople vode koja se primjenjivala za proizvodnju električne energije se koristi na nižim temperaturama za potrebe daljinskog grijanja nakon čega slijedi sljedeća uporaba izlazne energije za neke druge svrhe na nižim temperaturama (IRENA i IGA, 2023).

Kao izvor topline geotermalna energija je prilagodljiva tj. skalabilna, ima niske operativne troškove, nudi povećanu učinkovitost (izravna opskrba toplinom) i smanjuje potrošnju električne energije za grijanje i hlađenje. Također može pružiti dugotrajan izvor održive topline (IRENA i IGA, 2023).

Globalna instalirana snaga za geotermalno grijanje i hlađenje iznosila je 107,4 GW<sub>th</sub> u 2020. godini (IRENA i IGA, 2023). Geotermalne toplinske pumpe čine 72% tog kapaciteta dok preostalih 28% dolazi iz izravnog grijanja i hlađenja korištenjem geotermalnog fluida. Slika 2-3. prikazuje instalirani kapacitet geotermalnog grijanja i hlađenja, a sama njegova primjena koncentrirana je u tri regije (IRENA i IGA, 2023):

- Azija i Oceanija s 45,8 GW<sub>th</sub> prednjače na globalnoj razini s udjelom od 43%
- Euroazija s udjelom od 38%
- Sjeverna Amerika s udjelom od 21%

Latinska Amerika i Karibi, Afrika i Bliski istok svaka pridonose s 1% i manje postotnog udjela.



**Slika 2-3.** Instalirani kapacitet geotermalnog grijanja i hlađenja po regijama, 2020. (IRENA i IGA, 2023)

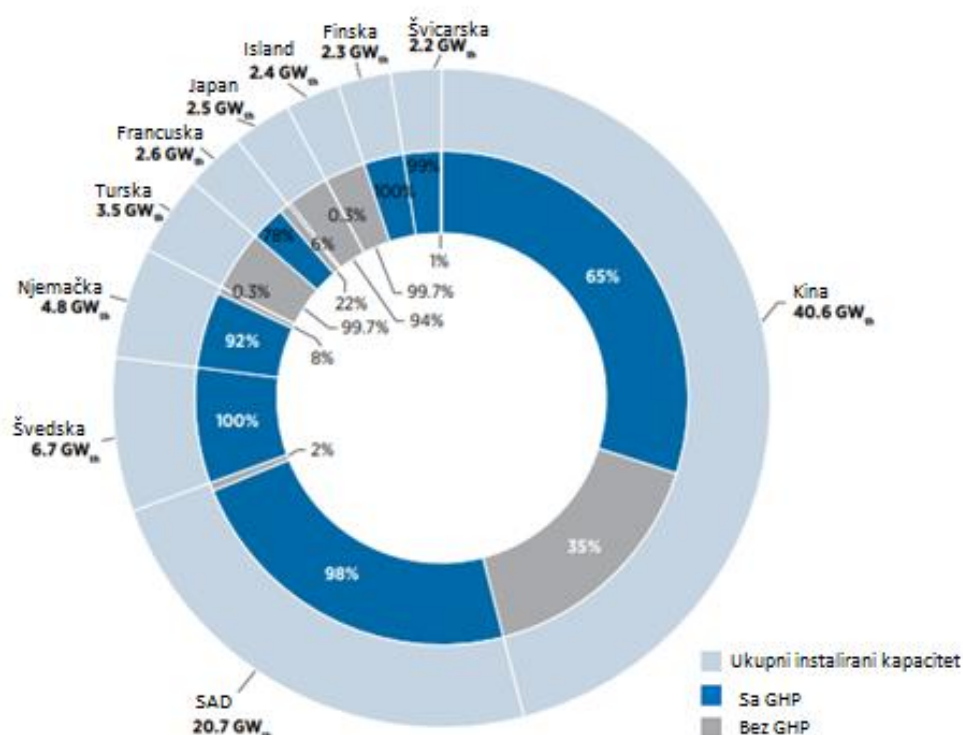
Više od 80 zemalja koriste geotermalnu energiju za grijanje i hlađenje. Deset ima najmanje 2 GW<sub>t</sub> instaliranog kapaciteta uključujući GHP (engl. *Geothermal Heat Pumps*,



Geotermalne toplinske pumpe). Na Slici 2-4. prikazane su zemlje koje prednjače u primjeni geotermalne energije za grijanje i hlađenje.

Kina ima najveći instalirani kapacitet (40,6 GW<sub>th</sub>), a slijede ju SAD (20,7 GW<sub>t</sub>), Njemačka (4,8 GW<sub>t</sub>), Turska (3,5 GW<sub>t</sub>), Francuska (2,6 GW<sub>t</sub>), Japan (2,5 GW<sub>t</sub>), Island (2,4 GW<sub>t</sub>), Finska (2,3 GW<sub>t</sub>), Švicarska (2,2 GW<sub>t</sub>).

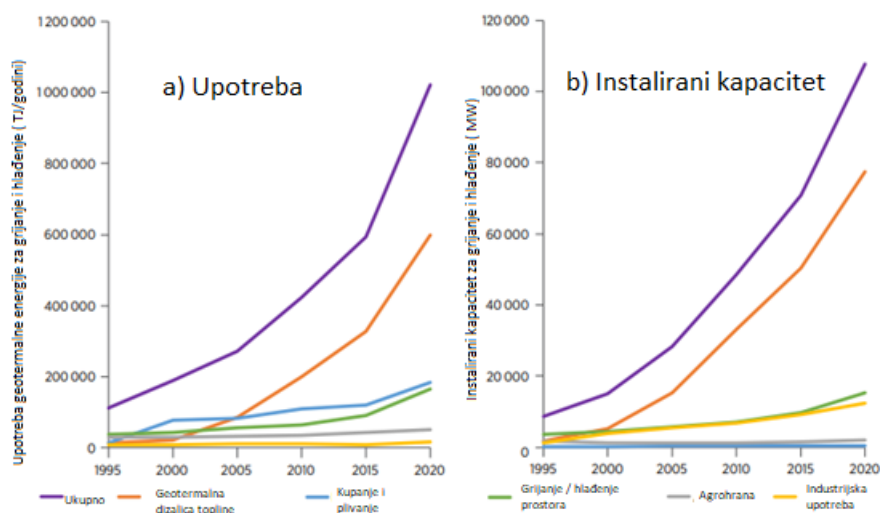
GHP čini veliki udio instaliranog kapaciteta grijanja i hlađenja u mnogim od ovih zemalja (100% u Finskoj i Švedskoj, 99% u Švicarskoj, 98% u SAD-u, 92% u Njemačkoj, 78% u Francuskoj i 65% u Kini). Ostale značajne primjene grijanja i hlađenja u vodećim zemljama uključuju daljinsko grijanje u Kini, Islandu i Turskoj, odmaralište s toplom vodom u Japanu i kupalište u Turskoj (IRENA i IGA, 2023).



**Slika 2-4.** Top deset zemalja prema instaliranom geotermalnom kapacitetu za grijanje i hlađenje (IRENA i IGA, 2023)

Primjena geotermalnih rješenja za grijanje i hlađenje znatno je porasla u posljednjim godinama dosegnuvši gotovo 110 GW<sub>t</sub> u 2022. godini što predstavlja povećanje od preko 50% od 2015. godine (IRENA i IGA, 2023).

Rast grijanja i hlađenja ubrzao se između 2015. i 2020. u svim sektorima krajnje potrošnje, s najznačajnijim rastom u sektoru GHP što se može vidjeti na Slici 2-5.



**Slika 2-5.** Upotreba i instalirani kapacitet geotermalne energije za grijanje i hlađenje (IRENA i IGA, 2023).

Industrija geotermalnog grijanja i hlađenja doživjela je rast od 52% u instaliranom toplinskom kapacitetu i rast od 74% u upotrebi između 2015. i 2020. U istom razdoblju, instalirani kapacitet u sektoru GHP porastao je za 54%, a upotreba za 84%.

Primjena geotermalne energije za grijanje i hlađenje ima najveću upotrebu na svjetskoj razini kroz GHP, grijanje prostora (individualno ili daljinsko grijanje) i primjenom u poljoprivredno prehrambenoj industriji (IRENA i IGA, 2023).

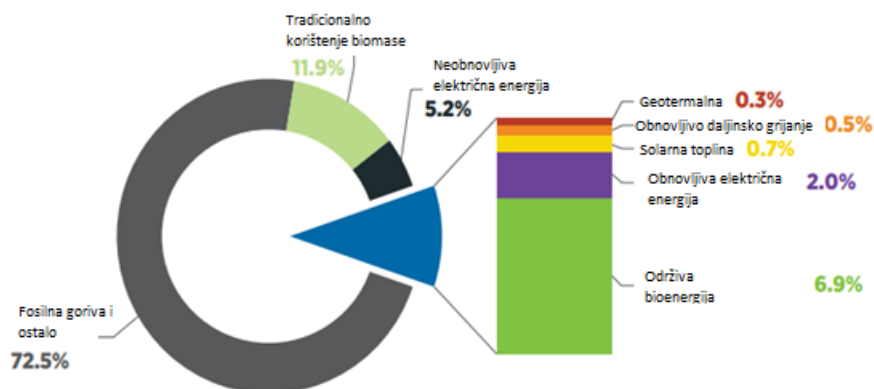
### 2.3. Usporedba geotermalne energije s drugim izvorima energije

Geotermalna energija donosi višestruku društveno-ekonomsku korist u usporedbi s drugim izvorima energije. Iskorištavanjem geotermalne energije otvara se veći broj radnih mjesta (IRENA, 2022a). Iako se broj instaliranih kapaciteta geotermalne energije raste hidroenergija je i dalje najveći obnovljivi izvor električne energije na globalnoj razini, predstavlja 40,1% instaliranog kapaciteta obnovljive električne energije. Slijedi ju solarna energija s 27,7 %, energija vjetra s 26,9% i s malim udjelima bioenergija s 4,7%, geotermalna s 0,5% i morska energija s 0,02% kao je prikazano u Tablici 2-1.

**Tablica 2-1.** Ukupni instalirani kapacitet obnovljive električne energije, 2021 (IRENA i IGA 2023)

Vrsta energije	Instalirani kapacitet (GW <sub>e</sub> )	Udio u ukupnim instaliranim kapacitetima obnovljive električne energije (%)
Hidroenergija	1230,0	40,1
Solarna energija	849,5	27,7
Energija vjetra	824,9	26,9
Bioenergija	143,4	4,7
Geotermalna energija	16,0	0,5
Morska energija	0,5	0,02

Kako je vidljivo iz Slike 2-6. u 2019. godini obnovljivi izvori energije osiguravali su samo 10,4% ukupne globalne potrošnje energije za grijanje i hlađenje, uključujući 0,3 % od geotermalne energije (IRENA i IGA, 2023).



**Slika 2-6.** Udio energenata u finalnoj potrošnji energije za grijanje i hlađenje, 2019 (IRENA i IGA, 2023).

Projekti proizvodnje geotermalne energije imaju u prosjeku relativno visoke kapitalne troškove u usporedbi s hidroenergijom (engl. *Hydropower*), solarnim fotonaponima (engl. *Solar PV*) i kopnenim vjetroelektranama, instalirani trošak se više može usporediti s morskim vjetroelektranama (engl. *Offshore wind*) i koncentriranom solarnom energijom (engl. *Concentrated Solar Power*) (IRENA, 2022b).

Geotermalna postrojenja obično imaju više instalacijskih troškova, troškova održavanja i rada (engl. *O&M, Operation and Maintenance*) te viši faktor iskoristivosti kapaciteta od hidroelektrana, nekih bioenergetskih postrojenja, fotonaponskih solarnih sustava i vjetroelektrana na kopnu (IRENA, 2022b).

Pri usporedbi geotermalne s ostalim obnovljivim izvorima primjenjuju se slijedeći parametri koji su zajednički svima, a to su (IRENA, 2022b):

- Ukupni instalirani trošak (engl. *Total installed costs*), predstavlja ukupni trošak dovršetka projekta uključujući troškove razvoja projekta, priključka na mrežu, opremu, instalacije, građevinarstvo i druge nepredviđene stavke;
- Faktor kapaciteta (engl. *Capacity factors*), predstavlja omjer godišnje proizvodnje u odnosu na maksimalni kontinuirani teoretski učinak postrojenja, a izražava se u postotku;
- Operativni i troškovi održavanja (engl. *Operations and maintenance costs, O&M*);
- Nivelirani trošak električne struje (engl. *Levelised cost of electricity, LCOE*)

Razdoblje od 2010. do 2021. godine prati rast ukupnog instaliranog troška geotermalne energije te nivelirani trošak električne struje (Slika 2-7.)

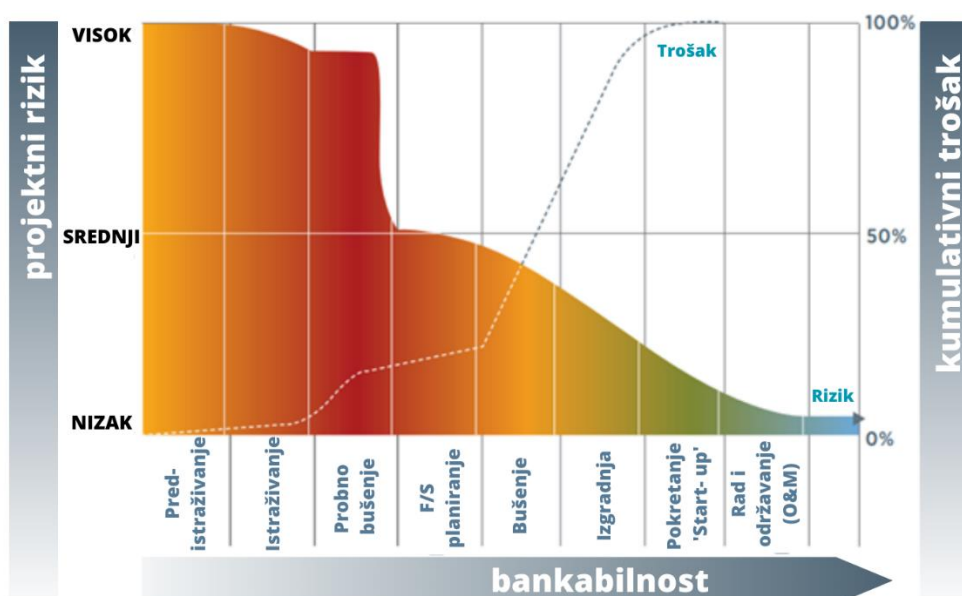
	Ukupni instalirani trošak			Faktor kapaciteta			LCOE		
	(2021 USD/kW)			(%)			(2021 USD/kWh)		
	2010	2021		2010	2021		2010	2021	
Bioenergija	2 714	2 353	-13%	72	68	-6%	0.078	0.067	-14%
Geotermalna	2 714	3 991	47%	87	77	-11%	0.050	0.068	34%
Hidroenergija	1 315	2 135	62%	44	45	2%	0.039	0.048	24%
Solarni PV	4 808	857	-82%	14	17	25%	0.417	0.048	-88%
CSP	9 422	9 091	-4%	30	80	167%	0.358	0.114	-68%
Kopnene vjetroelektrane	2 042	1 325	-35%	27	39	44%	0.102	0.033	-68%
Odobalne vjetroelektrane	4 876	2 858	-41%	38	39	3%	0.188	0.075	-60%

**Slika 2-7.** Prikaz ukupnog instaliranog troška, kapaciteta i niveliranog troška električne energije po tehnologijama (IRENA, 2022b)

### 3. GEOTERMALNI PROJEKTI

Uspoređujući s drugim energetske tehnologijama geotermalni projekti imaju duži vremenski okvir za razvoj projekta, zahtijevaju veća početna kapitalna ulaganja i visoke rizike tijekom ranih faza istraživanja. Ostali izazovi koji utječu kako na proizvodnju električne struje tako i na grijanje iz geotermalne energije su povezani s financiranjem, politikom i regulatornim okvirom, institucionalnom i tehničkom stručnošću i tehnološkim napretkom (IRENA i IGA, 2023). Geotermalni projekti tradicionalno imaju koristi od raznih izvora financiranja, uključujući kapital, zajmove i bespovratna sredstva. Rane faze istraživanja geotermalnih projekata smatraju se visoko rizičnim zbog same neizvjesnosti resursa prije nego što se resurs utvrdi kroz istražno bušenje (IRENA, 2022a).

Kako je prikazano na Slici 3-1. rizik je visok od samog početka projekta zbog same neizvjesnosti resursa, a postepeno se počinje smanjivati tek nakon istražnog bušenja i testne proizvodnje kada razina rizika postaje srednja. Daljnjim istraživanjem i razradom te izgradnjom postrojenja rizik se smanjuje, a na nisku razinu pada puštanjem u pogon i radom samog postrojenja. Za razliku od rizika koji opada razvojem projekta, kumulativni trošak projekta razvojem projekta raste kako rastu troškovi vezani za svaku fazu izgradnje. Uz rast kumulativnog troška raste i bankabilnost samog projekta.



**Slika 3-1.** Prikaz tipičnog profila nesigurnosti i izdataka za geotermalni projekt (IRENA, 2017)

Razvoj geotermalnih izvora zahtjeva velika kapitalna ulaganja, ali relativno niske operativne troškove (IRENA, 2022a). Izgradnju geotermalnih elektrana općenito karakteriziraju relativno intenzivna ulaganja po jedinici instalirane snage. Troškovi otkrivanja geotermalnih ležišta, izrada i opremanje bušotina te ispitivanja u cilju potvrde komercijalnih rezervi nose u prosjeku 50% potrebnih sredstava za privođenje proizvodnji geotermalnih ležišta (Surić i Perković, 2022).

S druge strane, geotermalne elektrane imaju ograničene i osjetno manje operativne troškove i troškove održavanja (engl. *Operation and maintenance, O&M*) od ostalih postrojenja jer ne zahtijevaju gorivo za pogon. O&M troškovi ovise o lokaciji, veličini, vrsti i broju postrojenja, upotrebi daljinskog upravljanja (Surić i Perković, 2022).

Tijekom vremena iz operativnog iskustva dolazi do povećanja broja informacija koje operatoru poboljšavaju razumijevanje kako na najbolji način upravljati ležištem. Razvoj geotermalnog projekta predstavlja jedinstven skup izazova kada je u pitanju procjena resursa i kako će ležište reagirati nakon što proizvodnja započne (IRENA, 2022b). Proces pridobivanja fluida iz ležišta i njegovo ponovno utiskivanje tijekom trajanja projekta stvara dinamičnu situaciju u kojoj će se migracija fluida iz ležišta vjerojatno mijenjati tijekom vremena s utjecajem na produktivnost pojedinačnih proizvodnih bušotina. Dostupnošću informacija koje proizlaze iz operativnog iskustva razumijevanje operatora o tome kako najbolje upravljati ležištem tijekom vremena se poboljšava (IRENA, 2022b).

Geotermalni projekti također su podložni varijacijama u troškovima bušenja na čije trendove često utječu poslovni ciklusi u industriji nafte i plina. Takve fluktuacije imaju izravan utjecaj na troškove bušenja, a samim time i na troškove inženjeringa, nabave i izgradnje (engl. *EPC, Engineering, Procurement and Construction*) (IRENA, 2022b).

Mogućnosti javnog financiranja uključujući vladina proračunska izdavanja kao i sheme za smanjenje rizika primijenjene su u mnogim zemljama kako bi se upravljalo ranom fazom razvoja projekta. Na zrelijim geotermalnim tržištima razvijene su privatne sheme osiguranja kako bi se osiguralo ublažavanje rizika tijekom rane faze razvoja geotermalnih projekata (IRENA, 2022a).

Tablica 3-1. predstavlja sažetak mehanizama financiranja čiste energije primjenjivih kod razvoja geotermalnih projekata. Potrebno je napomenuti kako su takve financijske opcije

generalne za razvoj geotermalnih projekata i kako ne moraju nužno biti primjenjive na integraciju geotermalne energije u poljoprivredno-prehrambeni sektor (IRENA, 2022a).

**Tablica 3-1.** Mehanizmi financiranja čiste energije (IRENA, 2022a)

Financijski mehanizmi	Opis
Čiste potpore	To je oblik potpornog instrumenta pri čemu podupirući subjekt osigurava financiranje rizičnih aktivnost kao što su početno istraživanje i početno bušenje. Donatori su obično vlade ili međunarodne razvojne organizacije koje žele poticati razvoj geotermalne energije u određenoj zemlji ili regiji. Potpore nemaju nikakvih ograničenja sve dok se posao izvodi kako je predviđeno. Ova vrsta financiranja je isključivo za početnu fazu geotermalnog projekt.
Uvjetne potpore	Ovaj financijski instrument varijacija je čiste bespovratne potpore, pri čemu bespovratna potpora ima neke uvijete. Uvjetne potpore se tipično daju tijekom istraživanja i početne faze bušenja. Ako je bušenje neuspješno, primatelj potpore nema novčanih obveza, ali ako je operacija uspješna tj. aktivnost bušenja financirana bespovratnim sredstvima dovodi do pokretanja projekta, bespovratna sredstva se pretvaraju u zajam koji će primatelj potpore otplaćivati tijekom vremena. Razlog tomu je da se prihodi od ove bespovratne pomoći/zajma mogu reciklirati za pružanje podrške većem broju projekata.
Ublažavanje rizika	Postoje dvije vrste mehanizama za poticanje investitora da se uključe u fazu bušenja: Osiguranje: Osiguranik plaća jednokratnu premiju prije početka bušenja. Kada je bušenje završeno, bušotina se ispituje kako je unaprijed dogovoreno. Ako rezultati nisu zadovoljavajući tj. ako je bušotina izbušena prema dogovorenim pravilima i negativna, osiguravajuće društvo će isplatiti osiguraniku jednokratnu isplatu za pokrivanje troškova bušotine (bušotina) i povezanih troškova.

	<p>Potpore: Prema ovom mehanizmu kvalificirani podnositelji zahtjeva mogu dobiti bespovratna sredstva koja pokrivaju troškove početnog bušenja i ostale povezane troškove.</p>
Povlašteni zajam	<p>Povlašteni zajam je zajam pod uvjetima ispod tržišnih tj. niža kamatna stopa, dulje dospijeće i bez ili vrlo malo vrijednosnih papira i kolaterala.</p> <p>Ovaj instrument je dostupan u kasnijoj fazi razvoja projekta kada je dio ili cijeli resurs u potpunosti razvijen. Stoga će se sredstava od kredita koristiti za izgradnju objekta.</p> <p>Zajam će se otplaćivati iz dobiti operacije. Nacionalne razvojne banke obično izdaju takve zajmove jer ih mogu posuđivati po vrlo niskim stopama i nemaju mandat maksimalno povećavati profit kao prvi prioritet u odnosu na komercijalne banke.</p>
Projektno financiranje	<p>Nakon što je faza bušenja geotermalnog projekta dovršena i kada je prošla potrebna ispitivanja prihvatljivosti, može se koristiti kombinacija kapitala i duga za daljnje financijske zahtjeve. U zemljama u razvoju multilateralne ili regionalne razvojne banke obično nude projektni dug (npr. Afrička razvojna banka, međunacionalna financijska korporacija, itd.)</p> <p>Vlasnički kapital obično osiguravaju investitori usmjereni na tržišta u razvoju. Financiranje projekata omogućava projektne imovinu kao jedini kolateral za financiranje, ali može biti dugotrajan i skup.</p>

### **Financijski i ekonomski poticaji**

Troškovi izgradnje geotermalnog projekta su iznimno veliki, a to može biti otegotna okolnost prilikom izgradnje. Visoki početni troškovi razvoja i rizici stvaraju prepreke za razvoj geotermalnih projekata te će tržište biti ograničeno (IRENA i IGA, 2023). Takvom tržištu potrebna je vanjska pomoć.

Postoji nekoliko političkih alata i instrumenata koji mogu potaknuti razvoj geotermalnih projekata, a oni su sljedeći (IRENA i IGA, 2023):



- Porezni poticaji (engl. *Tax incentives*) mogu pomoći da geotermalna energija postane konkurentna u odnosu na alternativne izvore energije. Mogu se primijeniti na kapitalne izdatke za opremu i troškove poput carina i poreza na dodanu vrijednost (PDV) kako bi se smanjili troškovi tehnologije obnovljive energije. Porezni poticaj i također se mogu primijeniti na operativne troškove energetske projekata kroz mjere poput oslobađanja od poreza na dohodak i odricanje od plaćanja autorskih naknada.
- Povlaštene tarife (engl. *Feed-in tarife*, FiT) korištene su u Japanu, Keniji, Turskoj i u drugim zemljama kako bi se potaknulo ubrzano uvođenje geotermalne energije. Povlaštena tarifa omogućuje investitoru da premosti jaz između cijene geotermalne električne energije i cijene alternativnih izvora. FiT-ovi omogućuju geotermalnoj energiji da se natječe s fosilnim izvorima i drugim obnovljivim izvorima energije.
- Izravne subvencije (engl. *Direct subsidies*) mogu pomoći u razvoju geotermalnih projekata kada još nisu konkurentni drugim izvorima energije kroz tehnologiju spremnu za tržište ili individualne projekte.
- Subvencije za istraživanje i razvoj (R&D) te inovacije, istraživački programi razvijaju inovativne tehnologije relevantne za geotermalnu energiju i prilagođavaju ih lokalnom kontekstu. Usvajanje inovativnih tehnologija na tržište omogućuju istraživački i inovacijski ekosistemi koji su usmjereni na skalabilnost, zrelost i isplativost pri visokim razinama tehnološke spremnosti.
- Potpore, konvertibilni zajmovi u potpore i zajmovi; Vlade i multilateralne banke mogu podržati geotermalne projekte potporama (bespovratnim sredstvima) i zajmovima za aktivnosti istraživanja i bušenja kako bi se potaknuo razvoj geotermalne energije preuzimajući dio početnih troškova i rizika na sebe. Zajmovi se mogu pretvoriti u potpore tj. bespovratna sredstva nakon nepovoljnih rezultata bušenja.
- Ublažavanje rizika, jamstva i sheme osiguranja  
Programi smanjenja rizika mogu se koristiti za pokrivanje najvećih rizika tijekom istražnog bušenja isto tako druge sheme za ublažavanje rizika mogu se baviti smanjenjem produktivnosti bušotine tijekom rada elektrane, kao i rizicima preuzimanja energije.
- Izgradnja infrastrukture i zadovoljavanje potražnje: Proširenje električne mreže na udaljena područja s geotermalnim potencijalom moglo bi olakšati razvoj tih resursa. U sektoru grijanja i hlađenja

- Prihod od ugljika: geotermalni projekti mogu imati dodatnu korist kroz tržište ugljika i trgovanje s ugljikom. Prodaja ugljičnih kredita može povećati prihode i poboljšati ekonomsku izvedivost geotermalne energije kao i projekata grijanja i hlađenja.

### 3.1. Tarife geotermalne energije

Za razliku od konvencionalnih izvora energije cijene obnovljive energije osobito geotermalnih izvora uvelike variraju diljem svijeta. Raznolik cjenovni sistem proizlazi iz brojnih čimbenika koji su specifični za lokaciju, uključujući stopu uspješnosti bušenja, izlaznu energiju po bušotini (npr. temperatura i brzina protoka), kemijski sastav geotermalnog fluida (potreba za tretiranjem tijekom korištenja), trošak kapitala (osobito rizičnog kapitala), sustav razvoja polja (Greenfield ili Brownfield) i dostupnost poticaja od strane vlade između ostalog (IRENA, 2022a)

Na primjer visoko temperaturni geotermalni izvori u 'brownfield' projektima mogu dovesti do nižih kapitalnih izdataka (CAPEX) i operativnih izdataka (OPEX) što rezultira nižim tarifama. S druge strane razvoj 'greenfield' projekata s resursima niže temperature može rezultirati višim troškovima ulaganja, a time i višim tarifama. Navedeni čimbenici utječu na tarife kako za električnu tako i za toplinsku energiju (IRENA, 2022a).

Trošak proizvodnje geotermalne energije sastoji se od dvije važne komponente (Kurevija et al., 2010):

1. Amortizacija početnih kapitalnih ulaganja,
2. Operativnih troškova i troškova održavanja prilikom proizvodnog ciklusa.

Početni kapitalni investicijski troškovi odnose se na sve troškove vezane uz razvoj projekata što uključuje; najam, dozvole, istraživanje, potvrđivanje rezervi, razvoj projekta te niz troškova koji su izraženi kao uvjetni troškovi (Kurevija et al., 2010). Razmatrajući općenito, kapitalni troškovi geotermalnih projekata ovise o lokaciji i specifičnosti ležišta. Na troškove razvoja geotermalnih projekata najveći utjecaj imaju ležišna temperatura, dubina, kemizam vode i propusnost (Kurevija et al., 2010). Ukupni investicijski trošak geotermalnih elektrana je jako varijabilan jer ovisi o širokom rasponu uvjeta: temperaturi i tlaku resursa, dubini ležišta i propusnosti, kemijskim svojstvima geotermalnog fluida, lokaciji, cijeni bušenja i/ili revitalizaciji postojećih bušotina, broju, veličini i vrsti postrojenja, te je li postrojenje novo ili nadogradnja postojećeg. Kao i kod drugih obnovljivih

izvora energije izgradnju geotermalnih elektrana općenito karakteriziraju relativno intenzivna ulaganja po jedinici instalirane snage. Troškovi otkrivanja geotermalnih ležišta, izrada i opremanje bušotina, te ispitivanja u cilju potvrde komercijalnih rezervi nose u prosjeku 50% potrebnih sredstava za privođenje proizvodnji geotermalnih ležišta (Surić i Perković, 2022).

Operativni troškovi i troškovi održavanja odnose se na sve troškove nužne za neprekidan pogon elektrane u normalnom režimu rada, a ovise također o lokaciji i ležišnim karakteristikama ponajviše o dubini ležišta i o kemizmu vode (Kurevija et al., 2010). Geotermalne elektrane imaju ograničene i osjetno manje operativne troškove i troškove održavanja (engl. *Operation and maintenance, O&M*) od ostalih postrojenja jer ne zahtijevaju gorivo za pogon (Surić i Perković, 2022). O&M troškovi odnose se na sve troškove nužne za neprekidan pogon elektrane u normalnom režimu rada. O&M troškovi ovise o lokaciji i ležišnim karakteristikama (ponajviše o dubini ležišta i o kemizmu vode) (Kurevija et al., 2010) veličini, vrsti i broju postrojenja, upotrebi daljinskog upravljanja (Surić i Perković, 2022)

Konkretno na troškove geotermalnih energetske projekata uvelike će utjecati kvaliteta ležišta, tj. temperatura, protok i propusnost koje utječu i na vrstu elektrane i broj bušotina potrebnih za određivanje kapaciteta. Dodatnu ulogu u troškovima projekta imati priroda opseg ležišta, termalna svojstva ležišta i njegovih fluida i dubina na kojoj se nalazi ležište (IRENA, 2022b).

#### Pristup određivanju cijena:

Postoje dva ključna pristupa određivanja cijena: „Cost-plus“ i „Market-based“ (IRENA, 2022a):

1. Cost-plus

Strategija određivanja cijena plus trošak uzima u obzir troškove nastale za proizvodnju topline tijekom određenog vremenskog razdoblja plus marža.

2. Market-based

Tržišni pristup određuje cijenu na temelju referentne cijene. Takvo mjerilo je obično cijena alternativnog izvora energije koji će biti istisnut geotermalnom energijom (IRENA, 2022a).

## Cost-plus pristup

Kako bi isporukom toplinske energije iz geotermalnog izvora kupcu bila ostvarena na financijski održiv način, investitor mora uključiti sve troškovne stavke u tarifu za toplinu i ostvariti dobit (IRENA, 2022a). Točnije, primjenom ovog pristupa cijena se izračunava tako da se uzmu u obzir svi nastali troškovi. Ova metoda je realna i uzima u obzir stvarno nastale troškove. Kako bi se ostvario profit a ne samo pokrili troškovi na bazu ukupnih troškova se dodaje dodatak ili marža koja će pokriti prinose investitorima.

Kada se govori o troškovima treba ih podijeliti s obzirom na nastanak. Dvije su glavne stavke troškova povezane s razvojem geotermalnog izvora, a to su kapitalni troškovi (engl. *CAPEX*) koji nastaju jednokratno i operativni troškovi (engl. *OPEX*) koji se ponavljaju (IRENA, 2022a). Pa tako kapitalni troškovi nastaju na početku projekta i odnose se na velike novčane izdatke za izgradnju cijelog pogona, a operativni troškovi predstavljaju troškove održavanja pogona pa tako i mjesečnih plaća zaposlenika koji su za te poslove zaduženi.

Glavni kapitalni troškovi nastaju poduzimanjem aktivnosti poput: istražnih studija kao što su geološka, geokemijska, geofizička mjerenja i mjerenja protoka topline; studija izvedivosti; dobivanja dozvola i ispunjavanje drugih zakonskih uvjeta, bušenje i ispitivanje istražnih, proizvodnih i reinjektirajućih bušotina; razvoj sustava za isporuku energije (poput cjevovoda, izmjenjivača topline, pumpi, povezivanje s kupcima i druge) i razvoj infrastrukture kao što su ceste i bušećih platoa (IRENA, 2022a).

Glavni operativni troškovi uključuju sljedeće: isplate plaća i nadnica radnicima, električnu energiju koja se koristi za rad pumpi za vodu; bušenje dopunskih bušotina, održavanje opreme, kamate i bankovne naknade i amortizacija imovine (negotovinski trošak) (IRENA, 2022a).

Pri određivanju cijene prvo je potrebno procijeniti količinu energije koju treba isporučiti za izravnu uporabu. Isporučena energija može se prikazati kao ukupna količina tople vode ili pare na određenoj temperaturi izražena u kubičnim metrima ( $m^3$ ) ili kao ekstrahirana toplinska energija u toploj vodi izražena u kilovat satima (kWh) (IRENA, 2022a). Drugi korak je aproksimirati trošak za koji se očekuje da će nastati u opskrbi toplinskom energijom za izravnu upotrebu u određenom razdoblju. To uključuje amortizaciju kapitalnih

troškova tijekom životnog vijeka projekta i zatim alociranje razmjernog troška na razdoblje koje se razmatra. Također treba utvrditi očekivane operativne troškove za isto razdoblje. Treće, očekivani prihod od projekta u istom razdoblju je aproksimiran. To uključuje uspostavljanje razumne stope povrata ili profitne marže uz postizanje ravnoteže između pristupačnosti energije za kupca i održivosti troškova za dobavljača. Zbrajanje očekivane dobiti i očekivanih troškova daje procijenjeni prihod od projekta tijekom razdoblja koje se razmatra (IRENA, 2022a).

Finalno, tarifa se može odrediti dijeljenjem očekivanog prihoda s procijenjenom količinom energije koja će se proizvoditi i isporučiti kupcu tijekom razdoblja koje se razmatra (IRENA, 2022a).

#### Marker-based pristup

Ovaj pristup temelji se na troškovima opskrbe energijom iz alternativnih izvora. U slučaju postojećih postrojenja, prirodni plin, drva (s dodatnim negativnim utjecajem na okoliš) ili dizelsko gorivo obično su preferirana goriva za većinu poljoprivredno-prehrambenih aplikacija u zemljama u razvoju. U ovom slučaju, potrebna količina toplinske energije tijekom određenog razdoblja trebala bi se izračunati na temelju potrošnje goriva, a trošak opskrbe te energije uspostaviti. Zatim se utvrđuje količina toplinske energije iz geotermalnog izvora potrebna za zamjenu alternativnog goriva. Ako temperatura geotermalnog izvora zadovoljava minimalnu/maksimalnu temperaturu ulaza za kupca, tada se određuje protok potreban za zadovoljavanje toplinskih potreba kupca. U slučajevima kada ne postoji postojeće postrojenje, ali postoji potencijal za korištenje lokalnih geotermalnih izvora za poljoprivredno-prehrambene aplikacije, logično je provesti studije izvedivosti kako bi se procijenila buduća potražnja za geotermalnom toplinom. Trošak opskrbe toplinskom energijom poljoprivredno-prehrambenih postrojenja putem goriva tada se koristi kao referentna točka za izračunavanje tarife za geotermalnu toplinu (IRENA, 2022a).

Da bi geotermalna energija bila konkurentna u odnosu na alternativna goriva, trošak grijanja geotermalnom energijom ne bi trebao premašiti trošak alternativnih goriva. Stoga, radi osiguravanja održivosti tarife na temelju tržišta i osiguranja da projekt pokrije sve troškove rada i održavanja, metode povezane s tarifama temeljenim na troškovima mogu biti korisne za uspostavljanje minimalne (donje) cijene. Ako tako utvrđena donja cijena bude viša od tržišne cijene, može biti potrebno razmotriti uvođenje subvencija kako bi se pokrila

razlika između ta dva iznosa. Preporučuje se temeljito izvođenje studije izvedivosti prije donošenja bilo kakve investicijske odluke (IRENA, 2022a).

Pristup temeljen na tržištu po svojoj prirodi predstavlja pokretnu metu. Kada trošak alternativnih goriva značajno poraste, postoji potencijal da dobavljač ostvari veći povrat. S druge strane, kada potražnja i cijene alternativnih goriva opadnu, to će rezultirati padom cijena geotermalne topline, a dobavljač energije može pretrpjeti gubitke. U slučaju tarife temeljene na troškovima, trošak energije uglavnom varira s troškovima povezanima s razvojem i radom sustava opskrbe energijom. Ključna prednost razvoja tarife za toplinu je ta što dobavljač može uspostaviti dugoročne ugovore o opskrbi toplinom s kupcima i koristiti ih kao osnovu za dobivanje financiranja (IRENA, 2022a).

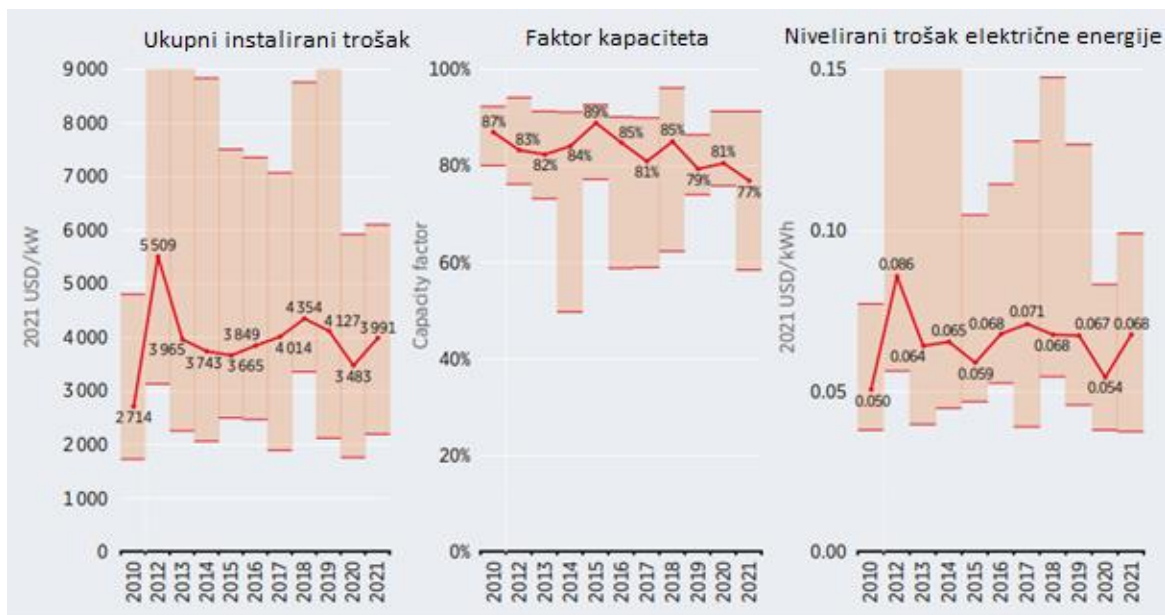
### **3.2. Kretanje troškova geotermalnih projekata**

Globalna ponderirana prosječna razina niveliranih troškova proizvodnje električne energije (engl. *Levelized Cost of Electricity*, LCOE) projekata puštenih u rad 2021. godine iznosila je 0,068 USD po kilovat satu (kWh) (IRENA, 2022b).

Ukupni instalacijski trošak 11 projekata puštenih u rad 2021. godine kretali su se od najnižih 1978 USD/kW do najviših 6548 USD/kW za postrojenje snage 4 MW (IRENA, 2022b).

Geotermalna postrojenja obično se dizajniraju da rade što je češće moguće kako bi održavala konstantan protok iz ležišta i osigurala neprekidnu proizvodnju električne energije. Globalni ponderirani prosječni faktor iskorištenosti kapaciteta za novo puštena postrojenja iznosio je 77% u 2021. godini (IRENA, 2022b).

Slika 3-2. Prikazuje kretanje ukupnih instaliranih troškova tijekom godina, faktor kapaciteta tijekom godina i nivelirani trošak električne energije tijekom godina.



**Slika 3-2.** Prikaz kretanja instaliranih troškova tijekom godina, faktora kapaciteta tijekom godina i niveliranog troška električne energije tijekom godina za geotermalne projekt (IRENA, 2022b)

U 2021. godini, globalni ponderirani prosječni ukupni instalirani trošak iznosio je 3991 USD/kW, što je više od nedavnog minimuma od 3483 USD/kW u 2020. godini i od iznosa od 2620 USD/kW prijavljenog u 2010. godini, ali niže od vrijednosti za razdoblje od 2017. do 2019. godine (IRENA, 2022b). Slika 3-3. prikazuje ukupni instalirani trošak geotermalne energije koji je za 2021. godini bio u rasponu od 2000 USD/kW do 6000 USD/kW.



**Slika 3-3.** Ukupni instalirani trošak geotermalne energije prema projektu, tehnologiji i kapacitetu (IRENA, 2022b)

U 2021. godini globalni ponderirani prosječni faktor kapaciteta za novo izgrađene geotermalne projekte bio je 77% što je manje od 81% zabilježenih u 2020. godini. Glavni razlog ovog pada je u ju jednom turskom postrojenju koje je prijavilo faktor iskoristivosti kapaciteta od 42% tijekom životnog vijeka postrojenja. Isključivanjem tog projekta globalni ponderirani prosjek za projekte izgrađene 2019. godine povećava se na uobičajenih 84% (IRENA, 2022b). Slika 3-4. prikazuje faktore iskoristivosti kapaciteta geotermalnih elektrana u IRENA bazi podataka o troškovima obnovljivih izvora energije prema godinama, veličini projekta i tehnologiji.





**Slika 3-4.** Faktori kapaciteta geotermalnih elektrana prema tehnologiji i veličini projekata, 2007.-2021 (IRENA, 2022b)

Viši faktori iskoristivosti kapaciteta pomažu ublažiti više kapitalne i operativne troškove, istovremeno omogućujući postrojenju da radi tijekom većeg dijela godine (IRENA, 2022b).

Nivelirani trošak električne energije (LCOE) povećao se s približno 0,05 USD/kWh za projekte puštene u pogon 2010. godine na oko 0,068 USD/kWh u 2021 (IRENA, 2022b)

Slika 3-5. prikazuje LCOE (Nivelizirane troškove električne energije) geotermalnih energetske projekata prema tehnologiji i veličini u razdoblju od 2007. do 2021. godine. Tijekom tog razdoblja, LCOE je varirao od najniže vrijednosti od 0,037 USD/kWh za drugu fazu razvoja postojećeg polja do najviše vrijednosti od 0,17 USD/kWh za male projekte izgrađene u udaljenim područjima (IRENA, 2022b).



**Slika 3-5.** LCOE geotermalnih energetske projekata po tehnologiji i veličini projekata (IRENA 2022b)

### 3.3. Ekonomsko vrednovanje projekata

#### 3.3.1. Financijska analiza (engl. *Financial analysis*)

Financijska analiza procjenjuje isplativost i održivost investicije na razini projekta. Održivost projekta procjenjuje se iz perspektive investitora, poduzetnika, poljoprivrednika ili prerađivača hrane. Cilj financijske analize je utvrditi financijske povrate dionicima projekta (IRENA, 2022a).

U pet koraka opisan je slijed:

Korak 1 : identificirajte referentni scenarij za fosilna goriva (koji bi se koristio da geotermalna energija nije dostupna) i scenarij geotermalne energije.

Korak 2: identificirajte financijske troškove koji uključuju troškove početnog kapitalnog ulaganja (CAPEX), održavanje i operativne troškove (OPEX) kao i novčane koristi (poput prihoda, smanjenja poreza, subvencija ili financijskih poticaja) za oba scenarija. Ovaj korak ne specificira izvor kapitala za ulaganje, samo pod pretpostavkom radi jednostavnosti da je kapital dostupan.

Korak 3: odaberite odgovarajuću stopu koja će se koristiti u diskontiranju troškova i koristiti (diskontirane neto koristi, engl. *Discounted net benefits*) sadašnju vrijednost budućih troškova i koristi treba odrediti pomoću odabrane diskontne stope.

Korak 4: izračunajte financijske inkrementalne neto tokove tijekom životnog vijeka projekta iz diskontnih troškova i prednosti scenarija geotermalne energije u odnosu na referentni scenarij.

Korak 5. izračunajte pokazatelje financijske isplativosti kako biste podržali odluku o ulaganju :

1. Neto sadašnju vrijednost (engl. *Net Present Value, NPV*): Sadašnja vrijednost svih budućih neto novčanih tokova (tj. koristi minus troškovi) tijekom životnog vijeka projekta. NPV računa vremensku vrijednost novca uz primjenu diskontne stope.
2. Interna stopa rentabilnost (engl. *Internal Rate of Return, IRR*): Rast za koji se očekuje da će investicija generirati na godišnjoj razini, IRR se iskoristi za procjenu isplativosti vjerojatne poslovne prilike; što je IRR veći je ulaganje privlačnije.
3. Omjer koristi/troška (engl. *Benefit/Cost Ratio, BCR*): Ukupni odnos između sadašnje vrijednosti koristi podijeljen sa sadašnjom vrijednosti troškova tijekom trajanja projekta. Ako je BCR veći od 1 koristi su veće od troškova i bit će pozitivan NPV i IRR iznad diskontne stope. Međutim ako je BCR manji od 1 onda su troškovi veći od povrata i projekt neće biti isplativ.
4. Vrijeme povrata (engl. *Payback Time, PBT*): Iznos ulaganja podijeljen s godišnjim novčanim tokom. PBT označava vrijeme koje je potrebno poduzeću da povрати uloženi iznos ili duljina vremena potrebnog da se postigne točka rentabilnosti. Kraći PBT ukazuje na veću profitabilnost.

Ovi pokazatelji su korisni alati za donošenje odluka o održivosti i atraktivnosti projekta jer uspoređuju sadašnju vrijednost ulaganja s njegovom predviđenom budućom vrijednosti.

### 3.3.2. Ekonomska analiza (engl. *Economic analysis*)

IRENA (2022a) navodi da ekonomska analiza procjenjuje izvedivost projekta iz perspektive lokalne, regionalne ili nacionalne ekonomije. Također, navode da se projekt ocjenjuje s obzirom na dostupnost društvu. Ekonomska analiza pruža načine za identifikaciju i kvantifikaciju utjecaja projekata na gospodarstvo, društvo i okoliš (IRENA, 2022a). Dakle,

može se zaključiti da ekonomska analiza prikazuje širu sliku od uvida kojeg pruža financijska analiza.

Sljedećih 5 koraka prikazuje provođenje ekonomske analize:

Korak 1: identificirajte referentni scenarij za fosilna goriva i scenarij za geotermalnu energiju, prateći isti pristup kao u koraku 1 financijske analize.

Korak 2: utvrdite ekonomske troškove i koristi za oba scenarija. Eksternalije i transferna plaćanja kada je to moguće biti unovčiva i procijenjena kako bi se utvrdilo imaju li pozitivne učinke (predstavljaju ekonomsku korist) ili negativne učinke (predstavljaju ekonomske troškove).

Korak 3: odaberite odgovarajuću diskontnu stopu za usporedbu diskontnih troškova i diskontne koristi (benefita) sljedeći isti pristup kao korak 3 financijske analize.

Korak 4:

Izračunajte ekonomske inkrementalne neto tokove iz diskontnih troškova i koristi za geotermalni energetske scenario u odnosu na referentni scenarij, sljedeći isti pristup kao u koraku 4 financijske analize

Korak 5: izračunajte pokazatelje ekonomske isplativosti kako biste podržali odluku o ulaganju koja uzima u obzir neto društvene učinke, sljedeći pristup u koraku 5 prethodno navedene financijske analize.

#### **4. PRIMJENA GEOTERMALNE ENERGIJE U HRVATSKOJ**

Geotermalna energija se u Republici Hrvatskoj već nekoliko stoljeća koristi u medicinske svrhe i rekreaciju. Razvojem naftne industrije stvorena je i predispozicija razvoja iskorištavanja geotermalne energije (Surić i Perković, 2022). Hrvatska je u listopadu 2019. na lokaciji Velika Ciglena pored Bjelovara dobila svoju prvu geotermalnu elektranu Velika 1 kapaciteta 10 MW (Surić i Perković, 2022).

U RH je trenutno 7 aktivnih prostora (Tablica 4-1.) na kojima se obavlja eksploatacija geotermalne vode u energetske svrhe čija je namjena proizvodnja električne i toplinske energije (MINGOR, 2022). Na području Bjelovarsko-bilogorske registrirana je geotermalna elektrana, električne snage 10 MW, dok na području ostalih predmetnih županija nema registriranih geotermalnih elektrana. Gospodarska djelatnost eksploatacije geotermalne vode u energetske svrhe obavlja se i na području eksploatacijskih polja Bizovac u Osječko-baranjskoj županiji (toplinska energija), Bošnjaci-Sjever u Vukovarsko-srijemskoj županiji (toplinska energija za potrebe poljoprivrede), Ivanić u Zagrebačkoj županiji (toplinska

energija) i Geotermalno polje Zagreb u Gradu Zagrebu (toplinska energija) (MINGOR, 2022).

Ministarstvo zaštite okoliša i energetike (2021) navodi u Strategiji energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu da potencijal geotermalne energije u RH za električnu energiju iznosi 56,5-67,6 MWe i toplinsku energiju 456 MWt iz poznatih lokacija te 100 MWe je procjena uz istraživanje novih lokacija.

U Tablici 4-1 možemo vidjeti 7 trenutno aktivnih eksploatacijskih polja na kojima se obavlja gospodarska djelatnost eksploatacije geotermalne vode u energetske svrhe u RH.

**Tablica 4-1.** Trenutno aktivna eksploatacijska polja geotermalne vode u RH (MINGOR, 2022)

Redni br.	Naziv eksploatacijskog polja	Površina km <sup>2</sup>	Ovlaštenik eksploatacijskog polja
1	Bošnjaci Sjever	0,05	RURIS d.o.o. Županja
2	Draškovac AATG	11,18	AAT GEOTHERMAE d.o.o.
3	Geotermalno polje Zagreb	54,00	GPC Instrumentation Process d.o.o
4	GT Bizovac	9,00	INA INDUSTRIJA NAFTE d.d
5	GT Ivanić	5,00	INA INDUSTRIJA NAFTE d.d
6	Velika Ciglena	5,94	GEOEN d.o.o.
7	Sveta Nedjelja	0,01	Eko plodovi d.o.o.

Također, trenutno je dodijeljeno 14 dozvola za istraživanje na 14 istražnih prostora u Panonskoj Hrvatskoj, a postoji i mogućnost da se eksploatacijska polja geotermalne vode u energetske svrhe formiraju na eksploatacijskim poljima ugljikovodika u Panonskoj Hrvatskoj nakon prestanka eksploatacije ugljikovodika (MINGOR, 2022). Nositelji geotermalnih projekata trebaju u obzir uzeti i da u Hrvatskoj geotermalna voda obično sadržava značajne količine otopljenog CO<sub>2</sub>, nešto H<sub>2</sub>S, a potencijalno čak i ugljikovodike (metan, etan, itd.). Zbog njihove prisutnosti i visoke koncentracije korozivnih soli (npr. NaCl), obvezna je inhibicija korozije ili upotreba materijala otpornih na koroziju (Europska banka za obnovu i razvoj et al., 2021), što možemo zaključiti poskupljuje cijeli proces.

U Tablici 4-2 možemo vidjeti 14 prostora na kojima se obavljaju istražne aktivnosti s ciljem eksploatacije geotermalne vode u energetske svrhe u RH.

**Tablica 4-2.** Trenutni istražni prostori geotermalne vode u RH (MINGOR, 2022)

Redni br.	Naziv prostora	Površina km <sup>2</sup>	Ovlaštenik istražnog prostora
1	Babina Greda 1	2,64	GEJZIR d.d.o.
2	Babina Greda 2	7,70	GEOTERMALNI IZVORI d.o.o.
3	Ernestinovo	76,66	Ensolx d.o.o.
4	Karlovac 1	44,98	GeotermiKA d.o.o.
5	Korenovo	25,00	Terme Bjelovar d.o.o.
6	Križevci	18,45	KOMUNALNO PODUZEĆE d.o.o.
7	Legrad-1	20,89	Terra Energy Generation Company d.o.o.
8	Lunjkovec-Kutnjak	99,97	Bukotermal d.o.o.
9	Merhatovec	9,59	Ensolx d.o.o.
10	Slatina 2	38,77	Geo Power Zagocha d.o.o.
11	Slatina 3	55,26	Dravacel d.o.o.
12	Sveta Nedelja	0,01	Eko plodovi d.o.o.
13	Virovitica 2	7,00	POSLOVNI PARK VIROVITICA d.o.o.
14	Topusko	1,42	TOP-TERME d.o.o.

#### Toplinska energija iz OIE

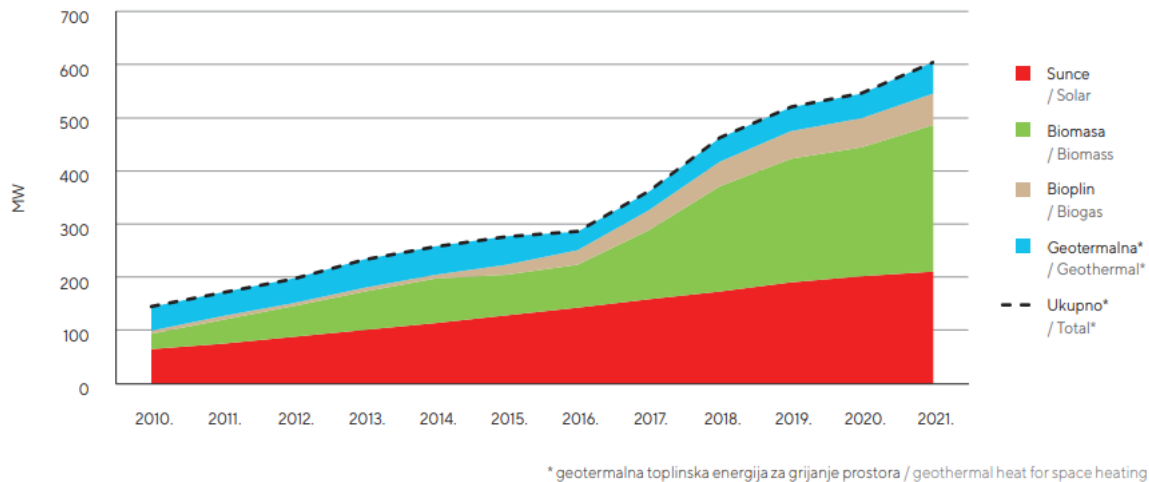
Toplinska energije iz obnovljivih izvora energije u 2021. godini (Tablica 4-3.) proizvodila se iz energije sunca, biomase i geotermalne energije (EIHP, 2021).

**Tablica 4-3.** Proizvodnja toplinske energije iz OIE u Hrvatskoj 2021. godine (EIHP, 2021)

Vrsta obnovljivog izvora	Proizvodnja toplinske energije (TJ)
Sunce	714,6
Biomasa	53 800,0
Geotermalna*	207,8
	269,6

\* Za proizvodnju toplinske energije iz geotermalne energije u 2021. godini iskorišteno je 207,8 TJ samo za grijanje prostora odnosno ukupno 269,6 TJ, ako se promatra zajedno grijanje prostora i pripremu tople vode

Kao što se može vidjeti (Slika 4-1.) prostora za napredak geotermalne energije u pogledu proizvodnje toplinske energije svakako ima i njemu se teži.

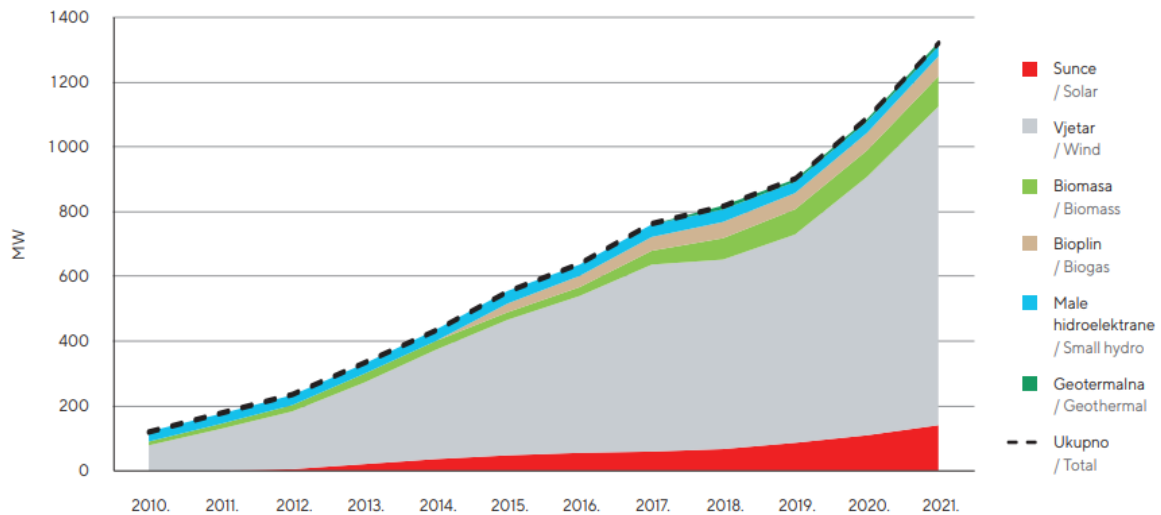


**Slika 4-1.** Instalirani kapaciteti za proizvodnju toplinske energije iz obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj (EIHP, 2021)

#### Električna energija iz OIE

Porast instaliranih kapaciteta za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora prati i njezina proizvodnja pa je tako u 2021. godini proizvedeno oko 3 500 GWh električne energije iz obnovljivih izvora (Tablica 4-4.) i ta je proizvodnja činila 23,1 posto ukupne proizvodnje, uz izuzetak velikih hidroelektrana (EIHP, 2021).

Najveći instalirani kapacitet za proizvodnju električne energije i dalje drži vjetar (Slika 4-2).



**Slika 4-2.** Instalirani kapaciteti za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj (EIHP, 2021)

**Tablica 4-4.** Proizvodnja električne energije iz OIE u Hrvatskoj u 2021. godini (EIHP, 2021)

<b>Vrsta izvora</b>	<b>Proizvodnja električne energije (GWh)</b>
<b>Sunce</b>	148,9
<b>Vjetar</b>	2061,8
<b>Biomasa</b>	659,6
<b>Bioplin</b>	440,2
<b>Mala hidroelektrana</b>	115,2
<b>Geotermalna</b>	89,7
<b>Ukupna</b>	3515,4



## 5. ZAKLJUČAK

Sukladno svemu navedenom u ovom radu, možemo zaključiti kako je vrijeme obnovljivih izvora energije pa tako i geotermalne energije pred nama što otvara mogućnost novim radnim mjestima u grani industrije koja povlači za sobom neka još neriješena pitanja. Treba naglasiti da geotermalna energija ima brojne prednosti među kojima je mogućnost neprekidnog rada postrojenja 24 sata dnevno, 365 dana u godini neovisno o meteorološkim uvjetima. Važna prednost geotermalne energije je njezina skalabilnost i mogućnost sinergije s ostalim industrijama, mala do nikakva emisija stakleničkih plinova u odnosu na druge tehnologije OIE te mala površina koju elektrana zauzima. Razvitak geotermalne energije je pod utjecajem velikih kapitalnih ulaganja u projekte i neizvjesnosti pronalaska komercijalno isplativih izvora. Što se tiče ukupnog instaliranog troška geotermalnih projekata za razdoblje 2021. godine u rasponu je od 2000 do 6000 USD/kW, a njegova prosječna ponderirana vrijednost za 2021. godinu je iznosila 3991 USD/kW. Prosječni nivelirani trošak električne energije zabilježio je rast sa 0,05 USD/kWh iz 2010. godine na 0,068 USD/kWh u 2021. godini. Faktor kapaciteta geotermalnih elektrana pretežito je u rasponu od 80 do 90%, značajno odstupanje od tih vrijednosti bilo je u 2021. godini kada je ponderirana prosječna vrijednost iznosila 77% zbog projekta kojem je faktor kapaciteta iznosio 42%. Visokim faktorima kapaciteta geotermalnih elektrana nastoji se ublažiti visoki kapitalni troškovi. Stoga treba imati na umu pronalazke novih izvora financiranja kroz javna i privatna ulaganja te subvencije kako bi cijena energije iz geotermalnih izvora bila cjenovno dostupna građanstvu i projektno isplativa, ali i kako bi se ubrzao razvitak geotermalne industrije kako u Hrvatskoj tako u Europi i ostatku svijeta.

## 6. LITERATURA

1. ARAR, S., 2017. 'Financiranje i subvencije geotermalnih projekata u svijetu i Republici Hrvatskoj : diplomski rad', Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet
2. EUROPSKA BANKA ZA OBNOVU I RAZVOJ (EBRD), OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE HRVATSKE I ENERGOVIZIJA D.O.O., 2021. *Vodič za razvoj i provedbu projekta obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj*
3. KUREVIJA, T., I MACENIĆ, M., 2022. Iskorištavanje geotermijskih ležišta, radna skripta
4. KUREVIJA, T., KLJAIĆ, Ž., I VULIN, D., 2010. *Analiza iskorištavanja geotermalne energije na geotermalnom polju Karlovac*, Nafta, 61(4), str. 198-202.
5. MINISTARSTVO GOSPODARSTVA I ODRŽIVOG RAZVOJA RH, 2023. *Plan razvoja geotermalnog potencijala Republike Hrvatske do 2030. godine*
6. MINISTARSTVO GOSPODARSTVA I ODRŽIVOG RAZVOJA RH, 2022. *Strateška studija o utjecaju na okoliš Plana razvoja geotermalnog potencijala Republike Hrvatske do 2030. godine.*
7. MINISTARSTVO ZAŠTITE OKOLIŠA I ENERGETIKE, 2021. *Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu.* Strategija.
8. IRENA i IGA, 2023. *Global geothermal market and technology assessment*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi; International Geothermal Association, The Hague.
9. IRENA, 2022a. *Powering Agri-food Value Chains with Geothermal Heat: A Guidebook for Policy Makers.*
10. IRENA, 2022b. *Renewable Power Generation Costs in 2021*
11. IRENA, 2017. *Geothermal Power: Technology Brief*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
12. SURIĆ, S., I PERKOVIĆ, L., 2022. 'Integracija geotermalnih elektrana u energetske sustav RH', Nafta i Plin, 41.(170. - 171.), str. 47-56.
13. ENERGETSKI INSTITUT HRVOJE POŽAR, 2021. *Energija u Hrvatskoj*
14. HRVATSKA ENCIKLOPEDIJA, n.d., *geotermalna energija*, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=17933> (5.9.2023.)

15. HRVATSKA TEHNIČKA ENCIKLOPEDIJA, n.d., geotermalna voda, meržno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. URL: <https://tehnika.lzmk.hr/geotermalna-voda/> (5.9.2023.)

## **IZJAVA**

*Izjavlujem da sam ovaj rad izradila samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.*



---

Adriana Domšić



KLASA: 602-01/23-01/126  
URBROJ: 251-70-12-23-2  
U Zagrebu, 12.09.2023.

**Adriana Domšić, studentica**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/126, URBROJ: 251-70-12-23-1 od 30.06.2023. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### EKONOMSKI ASPEKTI GEOTERMALNIH PROJEKATA

Za mentoricu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada prof. dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica:

(potpis)

prof. dr. sc. Daria Karasalihović  
Sedlar

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)