

# Ekonomska analiza mogućih tehničkih rješenja za tranziciju CTS-a prema obnovljivim izvorima energije

---

**Plank, David**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:238554>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-12**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

David Plank

Zagreb, 2024.

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Tomislav Pukšec

Student:

David Plank

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.*

*Zahvaljujem se izvanrednom profesoru Tomislavu Pukšecu što mi je pružio priliku da pišem ovaj rad pod njegovim mentorstvom. Veliko hvala i asistentu Josipu Miškiću na nizu izlazaka u susret.*

*Zahvaljujem se svojoj obitelji na podršci kroz studij.*

*Hvala i mojim prijateljima na potpori.*

*Na koncu se zahvaljujem i konzorciju HeatMineDH projekta (broj projekta: 101120948) financiranog kroz LIFE program Europske Unije u sklopu kojeg je izrađen ovaj završni rad.*

*David Plank*

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomске ispite studija strojarstva za smjerove:

Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 24 - 06 / 1	
Ur.broj: 15 - 24 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **David Plank**

JMBAG: **0035228767**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Ekonomska analiza mogućih tehničkih rješenja za tranziciju centraliziranog toplinskog sustava prema obnovljivim izvorima energije**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Economic analysis of potential technical solutions for the transition of district heating system towards renewable energy sources**

Opis zadatka:

U rujnu 2023. godine Europska unija je usvojila reviziju Direktive o energetske učinkovitosti, postavljajući još ambicioznije ciljeve dekarbonizacije centraliziranih toplinskih sustava (CTS). Kako mnogi centralizirani toplinski sustavi trenutno ne ispunjavaju postavljene ciljeve, potrebno je hitno djelovati i istražiti mogućnosti integracije obnovljivih izvora energije. Cilj ovog rada je provesti tehno-ekonomsku analizu tranzicije centraliziranog toplinskog sustava baziranog na fosilnim gorivima prema sustavu koji se oslanja na obnovljive izvore energije, koristeći grad Vukovar kao studiju slučaja. CTS grada Vukovara se trenutno opskrbljuje s 95% fosilnih goriva, odnosno prirodnog plina i loživog ulja, te s 5% solarne energije.

U sklopu rada potrebno je:

1. Napraviti pregled literature vezan za centralizirane toplinske sustave u Republici Hrvatskoj, s posebnim osvrtom na ciljeve Direktive o energetske učinkovitosti;
2. Opisati potencijal obnovljivih izvora energije na području studije slučaja;
3. Predložiti barem dva tehnička rješenja i izraditi najmanje dva scenarija implementacije obnovljivih izvora energije u CTS grada Vukovara, od kojih jedno rješenje uključuje korištenja geotermalne energije;
4. Izraditi tehno-ekonomsku analizu te analizu osjetljivosti predloženih mjera.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.

Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.  
2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.  
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26. 2. - 1. 3. 2024.  
2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.  
3. rok: 23. 9. - 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Tomislav Pukšec

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

Zagreb, 2024.

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA .....	IV
POPIS KRATICA .....	V
POPIS OZNAKA I JEDINICA .....	V
SAŽETAK .....	VI
SUMMARY .....	VII
1. UVOD .....	1
2. GEOTERMALNA ENERGIJA .....	2
2.1. Proizvodnja električne energije .....	3
2.2. Proizvodnja toplinske energije .....	3
2.3. Geotermalni centralizirani toplinski sustav .....	4
2.4. Geotermalna energija u Europi .....	4
2.4.1. Geotermalni centralizirani toplinski sustavi u Europi .....	5
2.5. Geotermalna energija u Hrvatskoj .....	6
2.6. Centralizirani toplinski sustavi u Republici Hrvatskoj .....	9
2.7. Geotermalna energije na području Vukovarsko-srijemske županije .....	10
2.7. Geotermalna energija na području grada Vukovara .....	11
3. OPIS ZADATKA .....	13
4. METODA .....	15
4.1. Opis tehno – ekonomske analize .....	15
4.1.1. Cijena toplinske energije .....	15
4.1.2. Diskontna stopa .....	16
4.1.3. Kamatna stopa .....	16
4.1.4. Cijena prijenosa daljinskog grijanja geotermalnog CTS-a .....	16
4.1.5. Amortizacija .....	18
4.1.6. Cijena cijevi za prijenos daljinskog grijanja .....	18
4.1.7. Ostali potrebni podaci .....	18
4.1.8. IRR metoda .....	19
4.1.9. NPV metoda .....	19
4.1.10. IP metoda .....	19
4.1.11. PB metoda .....	20
5. ANALIZA SCENARIJA .....	21

6. REZULTATI TEHNO – EKONOMSKE ANALIZE .....	23
6.1. Rezultati za Borovo naselje.....	23
6.1.1. Scenarij Borovo Naselje 1 .....	24
6.1.2. Scenarij Borovo Naselje 2 .....	26
6.1.3. Scenarij Borovo Naselje 3 .....	27
6.1.4. Scenarij Borovo Naselje 4 .....	29
6.2. Rezultati za naselje Olajnica .....	31
6.2.1. Scenarij naselja Olajnica 1 .....	32
6.2.2. Scenarij naselja Olajnica 2 .....	34
6.2.3. Scenarij naselja Olajnica 3 .....	36
6.2.4. Scenarija naselja Olajnica 4 .....	38
7. ZAKLJUČAK.....	40
LITERATURA .....	41

**POPIS SLIKA**

Slika 1 Prosječan europski faktor kapaciteta po izvorima električne energije, 2022 [7].....	5
Slika 2 Broj CTS-a koji su aktivni i onih koji su u razvoju [7] .....	6
Slika 3 Geotermalni gradijent Republike Hrvatske [8].....	7
Slika 4 Raspodjela instaliranih toplinskih kapaciteta u 2014. godini [9] .....	9
Slika 5 Temperature na dubini od 1000 m [10] .....	11
Slika 6 Grad Vukovar, crveno – Borovo Naselje, žuto - Olajnica.....	12
Slika 7 Distribucijska mreža - CTS Borovo naselje .....	13
Slika 8 Distribucijska mreža - CTS Olajnica.....	14
Slika 9 Prosjeci kamatnih stopa [14] .....	16
Slika 10 Ilustracija geotermalnog CTS-a [15] .....	17
Slika 11 Primjer fleksibilnih i čeličnih cijevi [15].....	18
Slika 12 Satelitski prikaz navedenih scenarija.....	22
Slika 13 Usporedba 1 scenarija Borovog Naselja.....	23
Slika 14 Usporedba 2 scenarija Borovog Naselja.....	24
Slika 15 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za BN-1 .....	25
Slika 16 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za BN-1 .....	25
Slika 17 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za BN-2 .....	26
Slika 18 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za BN-2 .....	27
Slika 19 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za BN-3 .....	28
Slika 20 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za BN-3 .....	29
Slika 21 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za BN-4 .....	30
Slika 22 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za BN-4 .....	30
Slika 23 Usporedba 1 scenarija naselja Olajnica .....	31
Slika 24 Usporedba 2 scenarija naselja Olajnica .....	32
Slika 25 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za O-1.....	33
Slika 26 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za O-1 .....	34
Slika 27 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za O-2.....	35
Slika 28 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za O-2.....	36
Slika 29 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za O-3.....	37
Slika 30 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za O-3 .....	38
Slika 31 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za O-4.....	39
Slika 32 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za O-4 .....	39



**POPIS TABLICA**

Tablica 1 Aktivni prostori na kojima se obavlja eksploatacija geotermalne vode [8].....	8
Tablica 2 Trenutni prostori na kojima se obavljaju istražne aktivnosti s ciljem eksploatacije geotermalne vode [8] .....	8
Tablica 3 Važeće cijene toplinske energije u Vukovaru [12] .....	15
Tablica 4 Diskontne stope za države EU [13] .....	16
Tablica 5 Podaci o cijeni prijenosa daljinskog grijanja geotermalnog CTS-a [6], [15] .....	17
Tablica 6 Ostali potrebni podaci .....	18
Tablica 7 Popis scenarija .....	21
Tablica 8 Rezultati tehno ekonomske analize za BN-1 .....	24
Tablica 9 Rezultati tehno ekonomske analize BN-2.....	26
Tablica 10 Rezultati tehno ekonomske analize BN-3.....	27
Tablica 11 Rezultati tehno ekonomske analize BN-4.....	29
Tablica 12 Rezultati tehno ekonomske analize O-1 .....	32
Tablica 13 Rezultati tehno ekonomske analize O-2 .....	34
Tablica 14 Rezultati tehno ekonomske analize O-3 .....	36
Tablica 15 Rezultati tehno ekonomske analize O-4 .....	38

## **POPIS KRATICA**

CTS – Centralizirani toplinski sustav

ZTS – Zatvoreni toplinski sustav

STS – Samostalni toplinski sustav

HEP – Hrvatska elektroprivreda

EU – Europska Unija

## **POPIS OZNAKA I JEDINICA**

DN – Nazivni promjer [mm]

IRR – Unutarnja stopa povrata [%]

NPV – Neto sadašnja vrijednost [€]

IP – Indeks profitabilnosti [%]

PB – Metoda otplate [godina]

$Q_b$  – Protok bušotine [ $m^3/h$ ]

$T_{polaz}$  – Temperatura polaza [ $^{\circ}C$ ]

$T_{povrat}$  – Temperatura povrata [ $^{\circ}C$ ]

## SAŽETAK

Geotermalna energija postaje sve značajnije u kontekstu obnovljivih izvora energije. Iako je povijesno bila ograničena na geološki aktivnija područja, napretkom tehnologije, omogućena je dostupnija primjena. Geotermalna toplinska energija je ekološki prihvatljiva jer ne stvara emisije stakleničkih plinova te je stabilna i pouzdana jer ne ovisi o vremenskim uvjetima ili sezonskim promjenama. Iako inicijalni troškovi mogu biti visoki, dugoročno gledano geotermalna toplinska energija može biti ekonomična. Kombinacijom centraliziranog toplinskog sustava s geotermalnom toplinskom energijom dobije se sustav koji je održiv i ekološki prihvatljiv.

U sklopu ovog rada razmatrana su tehnička rješenja za toplinsku opskrbu Borovog Naselja i naselja Olajnica u Vukovaru, primjenom geotermalnih toplinskih izvora te centraliziranog toplinskog sustava. Slučajevi su se temeljili na udaljenosti geotermalnog izvora energije u odnosu na glavno postrojenje CTS-a te kako bi se najbolje odredilo moguće rješenje koristila se tehno – ekonomska analiza. Za naselje Olajnica i Borovo Naselje napravljena su za svaki slučaj 4 scenarija gdje je varirala udaljenost geotermalnog izvora: 0 m, 500 m, 1000 m i 2000 m. Za obje lokacije su se promatrali slučajevi kada su postojale promjene u cijeni investicije, potražnji toplinske energije, prodajne cijene toplinske energije. Korištenjem neto sadašnje vrijednosti (*engl. Net Present Value, NPV*), unutarnje stope povrata (*engl. Internal Recovery Rate, IRR*), indeksa profitabilnosti (*IP*) te metodom otplate (*engl. Payback, PB*) provedena je ekonomska analiza za isplativost navedenih scenarija.

**Ključne riječi:** geotermalna energija, geotermalna toplinska energija, centralizirani toplinski sustav, tehno – ekonomska analiza

## **SUMMARY**

Geothermal energy is becoming increasingly important in the context of renewable energy sources. Although it was historically limited to geologically active areas, advances in technology have made it available for use. Geothermal heat energy is environmentally friendly because it does not generate greenhouse gas emissions and is stable and reliable because it does not depend on weather conditions or seasonal changes. Although the initial costs can be high, in the long run geothermal heat energy can be economical. Combining a centralized heating system with geothermal heat energy results in a system that is sustainable and environmentally friendly.

As part of this work, technical solutions for the heat supply of Borovo Naselje and the Olajnica settlement in Vukovar were considered, using geothermal heat sources and a centralized heat system. The cases were based on the distance of the geothermal energy source in relation to the main plant of DH network, and to determine the best possible solution, a techno-economic analysis was used. For the settlements of Olajnica and Borovo Naselje, 4 scenarios were created for each case where the distance of the geothermal source varied: 0 m, 500 m, 1000 m and 2000 m. For both locations, cases were observed when there were changes in the investment price, demand for thermal energy, selling prices of thermal energy. Using the Net Present Value (NPV), the Internal Recovery Rate (IRR), the profitability index (IP) and the payback method (PB), an economic analysis was performed for the profitability of the mentioned scenarios.

**Keywords:** geothermal energy, geothermal heat energy, district heating system, techno-economic analysis

## **1. UVOD**

Geotermalna energija predstavlja jedna od najznačajnijih izvora obnovljive energije. Ova energija koristi se za proizvodnju električne energije, grijanja i hlađenja prostora te za proizvodnju tople vode. Geotermalni resursi nalaze se u širokom spektru dubina, od plitkih površinskih do više kilometara dubokih rezervoara termalne vode i pare. U prirodi se geotermalna energija najčešće pojavljuje u formi vulkana, izvora vruće vode i gejzira. U nekim zemljama se geotermalna energija koristi već stotinama godina u obliku toplica odnosno rekreacijsko – ljekovitog kupanja. Razvoj znanosti nije se ograničio samo na područje ljekovitog iskorištavanja geotermalne energije već je iskorištavanje geotermalne energije usmjereno i prema procesu dobivanja električne energije te toplinske energije za kućanstva i industrijska postrojenja. Procjenjuje se kako toplinski tok iz unutrašnjosti do površine Zemlje iznosi 42 TW.

## 2. GEOTERMALNA ENERGIJA

Poznato je da Zemlja proizvodi toplinu kroz različite procese, a neki od osnovnih mehanizama koji doprinose generiranju topline unutar Zemlje su radioaktivno raspadanje, vulkanske aktivnosti te sunčana energija koja se apsorbira na površini. Upravo to generiranje topline nazivamo geotermalnom energijom. Sam naziv geotermalno dolazi od grčkih riječi *geo*, što znači zemlja i *therme*, što znači toplina. Geotermalni izvori su se koristili još i od davnih dana koji datiraju u razdoblje Rimskog Carstva, a njihova upotreba je bila za grijanje rimskih kupelji te za grijanje stambenih prostora.

Prvi centralizirani toplinski sustav čiji je izvor topline bio geotermalan implementiran je u 14. stoljeću u Chaudes-Aigues u Francuskoj. Taj sustav pružao je toplinu za čak 30 domaćinstva. Princ Piero Ginori Conti testirao je prvi geotermalni generator 4. srpnja 1904. na parnom polju Laderello te je uspješno zapalio četiri žarulje. Na tom istom mjestu, 1911. je izgrađena prva komercijalna geotermalna elektrana na svijetu te je bila jedina kao takva sve dok Novi Zeland nije izgradio svoju geotermalnu elektranu 1958. godine.

Točnu količinu unutarnje topline koju sadrži Zemlja nije lako precizirati, no procjenjuj se da iznos oko  $10^{31}$  J, s tim da je otprilike 20% zaostala toplina od planetarne akrecije, a ostatak se pripisuje radioaktivnom raspadu prirodnih izotopa. Jedan takav primjer je i bušotina na dubini od 5275 m u Cornwallu, Engleska, gdje je pronađen granit s vrlo visokim sadržajem torija, za čiji se radioaktivni raspad vjeruje da potiče visoku temperaturu stijene. Zemljina unutarnja temperatura i tlak uzrokuju taljenje nekih stijena te plastičnu karakteristiku čvrstog plašta. Dijelovi plašta kreću se prema gore jer su lakši od okolnog kamenja, a temperature na granici jezgre i plašta mogu doseći preko  $4000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zemljina unutarnja toplinska energija kondukcijom se kreće do površine sa stopom od 44.2 TW, a obnavlja se radioaktivnim raspadom minerala od 30 TW. Takve stope snage su veće nego dvostruko od trenutne potrošnje energije čovječanstva iz svih primarnih izvora, ali većina tog protoka energije nije nadoknativa. Osim unutarnjih tokova topline, gornji sloj površine do dubine od otprilike 10 metara se ljeti zagrijava sunčevom energijom, a zimi hladi. Bez sezonskih varijacija, geotermalni gradijent temperature kroz koru je  $25\text{-}30\text{ }^{\circ}\text{C}$  po kilometru dubine u većem dijelu svijeta. Konduktivni toplinski tok iznosi prosječno  $0,1\text{ MW/km}^2$ . Te su vrijednosti puno veće u blizini granica tektonskih ploča gdje je zemljina kora tanja, naravno, mogu se dodatno povećati kombinacijom cirkulacije tekućine, bilo kroz vodove magme, vruće izvore te hidrotermalnu cirkulaciju [1].

## 2.1. Proizvodnja električne energije

Geotermalna energija se smatra obnovljivom energijom jer je proces korištenja topline beznačajan sa sadržajem topline na zemlji te emisije stakleničkih plinova geotermalnih elektrana u prosjeku iznose  $45 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$  električne energije to jest manje od 5% emisije elektrana na ugljen. Samim time geotermalni izvori energije predstavljaju konkurentan izbor s obzirom na energetske strategije koja je trenutno u opticaju. Električna energija od geotermalnih izvora nastaje primjerice u vulkanskim regijama, gdje će se rezervoari vruće podzemne vode podići kroz bušotinu pod vlastitim pritiskom i pretvoriti u paru koja pokreće turbinu na površini. U većem dijelu svijeta, stijene koje su u dohvat opreme za bušenje su suhe, nepropusne stijene poput granita, tako da se mora stvoriti projektirani geotermalni sustav. Hladna voda se pumpa pod visokim pritiskom u injekcijsku bušotinu. Voda tjera prirodne pukotine u slojevima da se prošire, dopuštajući vodi da curi bočno kroz vruću stijenu, što je zapravo slično procesu koji se koristi za ekstrakciju nafte i plina, ali ne zahtijeva štetna otapala. Nekoliko proizvodnih bušotina također je izbušeno u blizini kako bi se zagrijana voda vratila iz stijene. Na površini, topla voda prolazi kroz izmjenjivače topline kako bi prokuhala sekundarnu tekućinu poput butana, koji stvara plin visokog tlaka za pogon turbine, stvarajući električnu energiju. Ohlađena voda se pumpa natrag u slojeve stijena u zatvorenoj petlji. Vrste geotermalnih elektrana koje se danas koriste su *Dry steam* (princip suhe pare), *Flash steam* (princip separiranja pare), *Binary cycle* (binarni princip) [2], [3].

## 2.2. Proizvodnja toplinske energije

Gotovo svugdje u svijetu geotermalna toplina je dostupna i odmah se može koristiti kao izvor topline. Ta se toplinska energija naziva niskotemperaturna geotermalna energija. Geotermalna energija niske temperature se dobiva iz izvora s temperaturom od oko  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ . Geotermalna energija niske temperature se može koristiti za grijanje staklenika, domova i industrijskih procesa. Takva vrste energija je najkorisnija za grijanje, dok se ponekad može koristiti za proizvodnju električne energije. Jedan od geotermalnih izvora topline je i voda koja je zagrijana kao nusprodukt u naftnim i plinskim bušotinama. Takva voda u prošlosti se bacala, dok nije bila prepoznata kao potencijalan izvor dodatne energije. Geotermalne dizalice topline iskorištavaju toplinu Zemlje i mogu se koristiti kao jedan od izvora geotermalne topline. Te dizalice topline se buše na puno nižim dubinama od većine bušotina nafte i prirodnog plina. U ovom sustavu voda ili druge tekućine poput glicerola se kreću kroz cijev u zgradi. Tijekom hladne sezone tekućina apsorbira podzemnu geotermalnu toplinu. Toplina se prenosi prema gore kroz zgradu i ispušta toplinu kroz sustav kanala. Ove grijanje cijevi također mogu prolaziti

kroz spremnike tople vode i nadoknaditi troškove grijanja vode. Tijekom ljeta, dizalice topline rade obrnuto, tekućina u cijevima se zagrijava od topline u zgradi te prenose toplinu da se ohladi ispod zemlje. Takva vrsta geotermalne energija naziva se plitka geotermalna energija [4].

### 2.3. Geotermalni centralizirani toplinski sustav

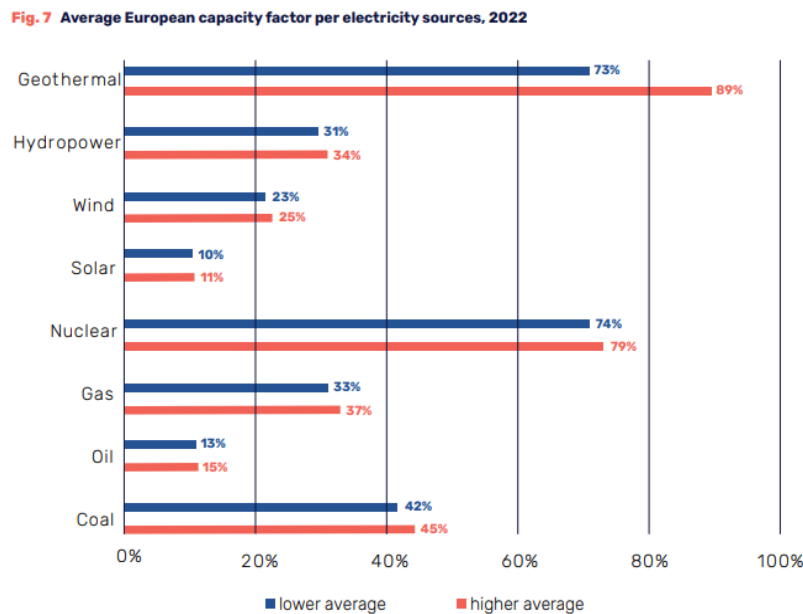
Centralizirani toplinski sustav je pojam koji se koristi za označavanje opskrbe zgrada toplinom kroz toplinsku mrežu koja isporučuje toplinsku energiju. Termalna elektrana, solarno termalna elektrana, geotermalno postrojenje ili velika dizalica topline koristi se za zagrijavanje vode koja se zatim dovodi u mrežu izoliranih cijevi, ravno u zgrade spojene na sustav. Voda zatim teče kroz primopredajnu stanicu u vlastiti sustav distribucije topline zgrade, koji osigurava opskrbu toplinskom energijom i toplom vodom. Nakon što se voda ohladi, vraća se u prvobitni izvor topline i krug počinje iznova. Zgrade koje su opskrbljene daljinskim grijanjem mogu generirati toplinu bez vlastitih sustava grijanja i dimnjaka. Razlikuju se niskotlačno i visokotlačno daljinsko grijanje. Niskotlačno daljinsko grijanje može dovesti toplinu do udaljenosti od 1 km<sup>2</sup>. Za takvo grijanje koristi se vodena para pod tlakom od oko 200 kPa ili topla voda temperature do 110 °C. S druge strane visokotlačno daljinsko grijanje može opskrbiti toplinom područje do 74 km<sup>2</sup>. Za taj slučaj grijanja kao prijenosnik topline uzima se para pod tlakom do 1 MPa ili tlačna vrela voda od 110 do 180 °C. Energetska tranzicija u sektoru grijanja preduvjet je za uspjeh šire energetske tranzicije te iz tog razloga centralizirani toplinski sustav je ključni element energetske tranzicije u sektoru grijanja. Za urbana područja CTS je ključ za bolje klimatske mjere. Ključni parametar u fazi projektiranja geotermalnog CTS-a je skup temperatura (polaz/povrat) u priključenju mreža daljinskog grijanja. Budući da je temperatura geotermalne bušotine obično nedovoljna, često se povećava korištenjem dizalice topline. Učinkovitost dizalice topline povećava se s nižim temperaturnim razlikama između izvora topline i spremnika topline, tako da smanjenje temperature opskrbe CTS-a povećava izvedivost geotermalnog CTS-a. Drugi važan čimbenik su troškovi crpljenja. Korištenje dubljih izvora geotermalne energije će povećati troškove crpljenja. Povratna temperatura sustava grijanja je također bitna, što može omogućiti izravnu izmjenu topline s geotermalnom vodom za dio energije čime se povećava ukupna učinkovitost sustava [5], [6].

### 2.4. Geotermalna energija u Europi

S obzirom na energetske strategije Europske Unije i Direktivi o obnovljivim izvorima energije, geotermalna energija predstavlja jedan od ključnih faktora u realizaciji tih planova. Zbog



bogate geološke raznolikosti ima veliki potencijal za iskorištavanje geotermalnih resursa. Do 1970. bilo je instalirano nekoliko geotermalnih elektrana u Europi, iste su se bile nalazile u Italiji, Islandu, Francuskom Guadalupeu i Turskoj. To su bile visokotemperaturne elektrane koje su koristile *Dry* i *Flash steam* principe rada. Razvoj tehnologije parnih turbina poput *Binary cycle* elektrane omogućio je rad na niskim i srednjim temperaturama. Zemlje poput Austrije, Njemačke, Portugala i Hrvatske instalirale su mnogo elektrana s takvim principom rada unazad 20 godina. Najstarija geotermalna elektrana u Europskoj Uniji koja je još u pogon, postoji još od 1986. godine, a 53 elektrane su starije od 15 godina s time da ih je trenutno u pogonu 142. Prema zapisima iz 2022. godine, geotermalne elektrane u pogonu rade s kapacitetom od oko 3,5 GWe i generiraju snagu višu od 22 TWh. Prosječni kapacitet 2022. godine iznosio je 79 %. Francuska, Island i Rumunjska postižu visoke rezultate faktora opterećenja, veće od 80 %, dok Italija, Portugal, Hrvatska i Turska s nekim pogonima u održavanju i optimizaciji postižu faktor opterećenja između 60 % i 75 %. Njemačka koristi kombiniranu toplinsku i električnu energiju iz postrojenja, dok u Austriji se koriste isključivo za proizvodnju topline [7].

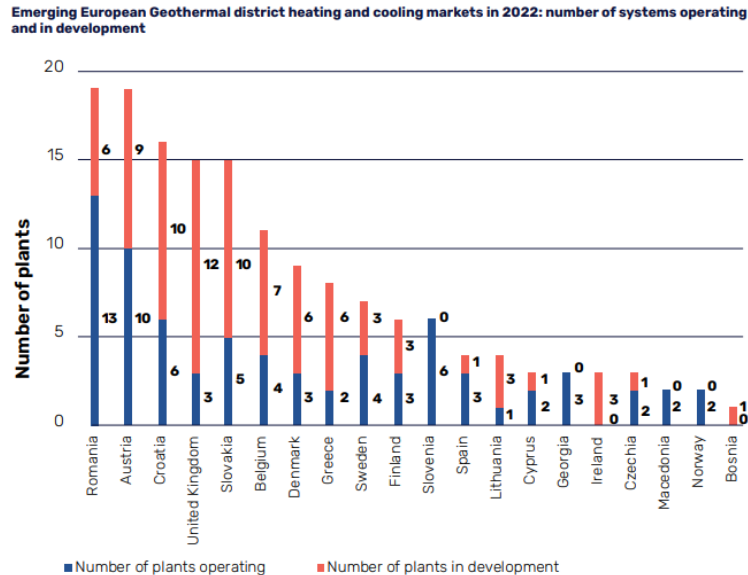


**Slika 1 Prosječan europski faktor kapaciteta po izvorima električne energije, 2022 [7]**

#### **2.4.1. Geotermalni centralizirani toplinski sustavi u Europi**

Do kraja 2022. godine u pogonu je bilo 395 geotermalnih centraliziranih toplinskih sustava s tim da se taj broj povećao za 14 u usporedbi sa 2021. godinom. Samo tih 14 novih sustava je doprinijelo sa 105,23 MW<sub>th</sub> za ukupan zbroj grijanja i hlađenja uslijed obnovljivih izvora energije u Europskoj Uniji. Ukupni instalirani kapacitet u cijeloj Europi je bio 5.608,31 MW<sub>th</sub>

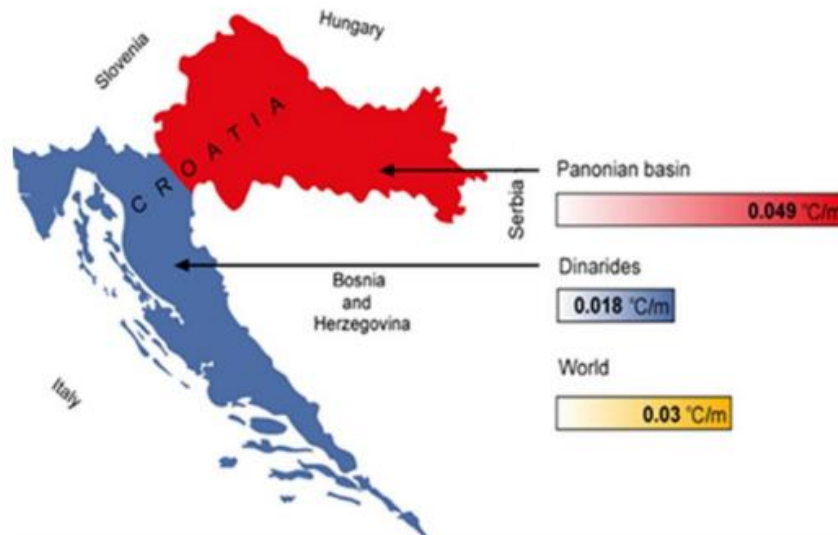
u 29 zemalja, od kojih je 21 država članica Europske Unije. U 2023. bilo je 316 aktivnih projekata vezanih za geotermalni CTS te bi isti nadodali više od 744 MW<sub>th</sub> na instalirani kapacitet u 2022 [7].



Slika 2 Broj CTS-a koji su aktivni i onih koji su u razvoju [7]

## 2.5. Geotermalna energija u Hrvatskoj

Hrvatski sektor Panonskog bazena izdvaja se kao izrazito obećavajuća geotermalna regija, s prosječnim geotermalnim gradijentom od 0,049 °C/km, što predstavlja značajan porast od čak 60 % u odnosu na europski prosjek. Ovaj iznimno visok geotermalni gradijent ukazuje na značajnu termalnu aktivnost podzemlja, stvarajući povoljne uvjete za iskorištavanje geotermalne energije. Geotermalni potencijal Republike Hrvatske detaljno je proučen kroz mnogobrojne bušotine izrađene u drugoj polovici dvadesetog stoljeća, prvotno za potrebe istraživanja i eksploatacije nafte i plina. Podaci prikupljeni iz ovih bušotina čine temelj za projektiranje i planiranje geotermalnih projekata diljem Republike Hrvatske [8].



**Slika 3 Geotermalni gradijent Republike Hrvatske [8]**

Najveći geotermalni potencijal uočen je u karbonatnim stijenkama, poput dolomita, vapnenca te njihovih varijeteta mezozojske starosti, kao i u vapnenačko-dolomitnim brečama neogenske i mezozojske starosti. Ova karbonatna ležišta, osim što se odlikuju visokim geotermalnim gradijentom, karakterizira i izuzetno velika propusnost, čime se stvara potencijal za ostvarivanje značajnih toka geotermalne vode. Osim temperature, za procjenu geotermalnog potencijala ključno je uzeti u obzir i dotok geotermalne vode, koja ukazuje na količinu dostupne vode koja se može pretvoriti u toplinsku ili električnu energiju. Karbonatna ležišta često se pojavljuju u obliku masivnih vodenih tijela u Panonskom dijelu, čineći ih iznimno pogodnim za iskorištavanje geotermalne energije. Manji geotermalni potencijal uočen je u pješčenjacima i litotamnijskim vapnencima neogenske starosti, budući da te slojeve karakterizira manja propusnost, što rezultira s nešto manjim dotokom geotermalne vode, no često ih čini prikladnima za poljoprivredne svrhe.

U Republici Hrvatskoj trenutno se nalazi 7 aktivnih prostora na kojima se obavlja eksploatacija geotermalne vode u energetske svrhe te je dodijeljeno 16 dozvola za istraživanje 16 istražnih prostora.

**Tablica 1 Aktivni prostori na kojima se obavlja eksploatacija geotermalne vode [8]**

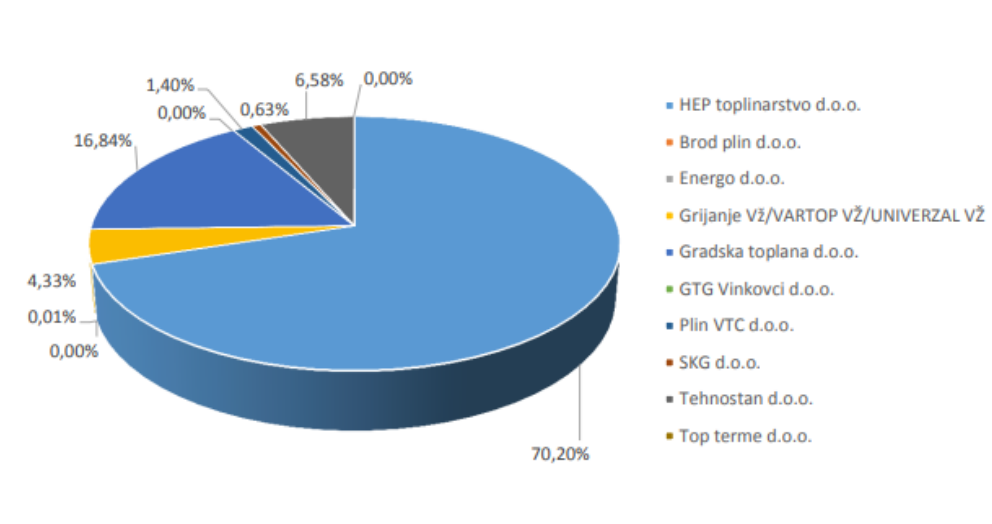
<b>REDNI BROJ</b>	<b>NAZIV EKSPLOATACIJSKOG POLJA</b>	<b>POVRŠINA km<sup>2</sup></b>
1	Bošnjaci Sjever	0,05
2	Draškovec AATG	11,18
3	Geotermalno polje Zagreb	54,00
4	GT Bizovac	9,00
5	GT Ivanić	5,00
6	Velika Ciglena	5,94
7	Sveta Nedjelja	0,01

**Tablica 2 Trenutni prostori na kojima se obavljaju istražne aktivnosti s ciljem eksploatacije geotermalne vode [8]**

<b>REDNI BROJ</b>	<b>NAZIV PROSTORA</b>	<b>POVRŠINA km<sup>2</sup></b>
1	Babina Greda 1	2,64
2	Babina Greda 2	7,70
3	Ernestinovo	76,66
4	Karlovac 1	44,98
5	Korenovo	25,00
6	Križevci	18,45
7	Legrad-1	20,89
8	Lunjkovec-Kutnjak	99,97
9	Merhatovec	9,59
10	Slatina 2	38,77
11	Slatina 3	55,26
12	Virovitica 2	7,00
13	Sisak	10,78
14	Topusko	1,42
15	Lipik	47,53
16	Gajić	4,00

## 2.6. Centralizirani toplinski sustavi u Republici Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj postoji 11 poslovnih subjekata koji se bave energetske djelatnostima proizvodnje, distribucije i opskrbe toplinskom energijom. Gradovi u kojima se pojavljuje opskrba toplinskom energijom putem centralnih toplinskih sustava (CTS), zatvorenih toplinskih sustava (ZTS) i samostalnih toplinskih sustava (STS) uključuju Zagreb, Osijek, Sisak, Samobor, Rijeka, Karlovac, Vinkovci, Zaprešić, Velika Gorica, Slavonski Brod, Virovitica, Ogulin, Vukovar, Varaždin, te općina Topusko. HEP Toplinarstvo d.o.o. ima dominantan tržišni udio s preko 70 % instaliranih kapaciteta u proizvodnji toplinske energije. Mogućnosti za proširenje, daljnji razvoj i izgradnju centralizirani toplinskih sustava su višestruke. Jedna od ključnih mogućnosti je priključenje novih potrošača, uključujući blokove zgrada, naselja, industrijske i poslovne potrošače, na postojeće centralizirane toplinske sustave. Osim toga, naglasak na povećanju energetske učinkovitosti predstavlja ključnu strategiju u daljnjem razvoju. Razmatranje energetske učinkovitosti usredotočuje se na dva ključna područja: prvo, optimizaciju sektora zgradarstva kroz primjenu naprednih tehnologija i praksi koje potiču učinkovitu potrošnju. Drugo, usmjeravanje na energetske učinkovitost samih toplinskih sustava, što obuhvaća poboljšanja u cjevovodnoj mreži i infrastrukturi. Nadalje, istraživanje raznolikosti energetskih izvora, posebice fokusiranih na visokoučinkovite i obnovljive izvore energije, predstavlja ključni element u razvoju centraliziranih toplinskih sustava [9].



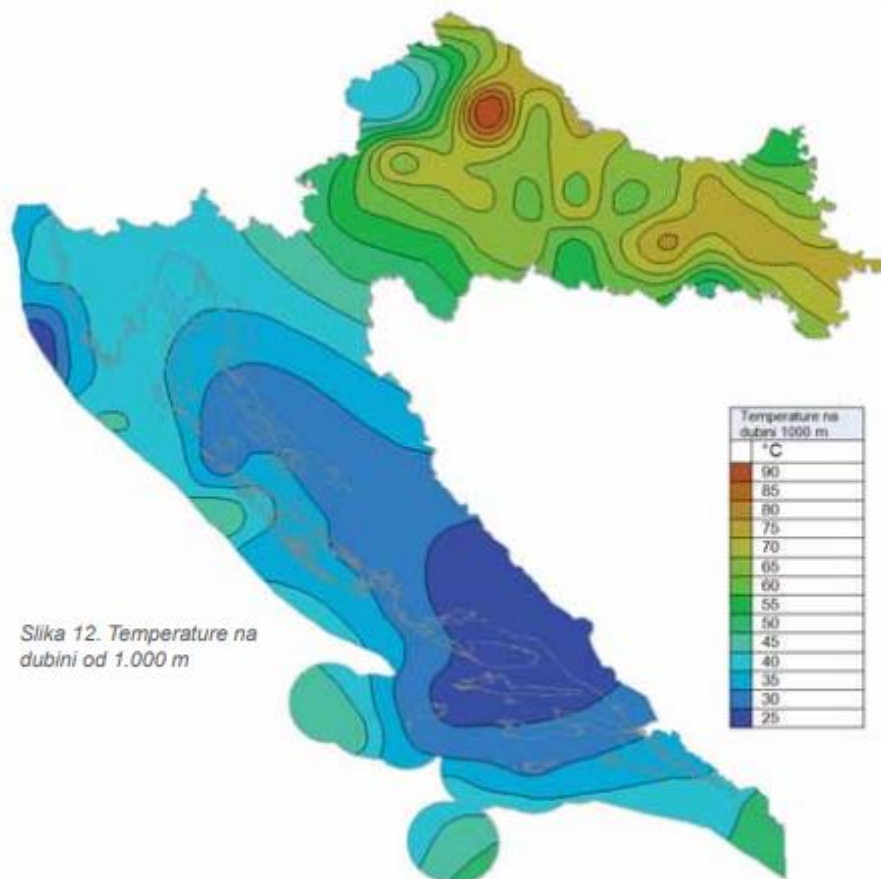
**Slika 4 Raspodjela instaliranih toplinskih kapaciteta u 2014. godini [9]**

U Republici Hrvatskoj trenutno ne postoji sustav centralizirano sustav hlađenja. Procjene ukazuju na potrebu za 10 TWh rashladne energije godišnje, od čega 6 TWh otpada na stambeni sektor, dok se preostalih 4 TWh odnosi na uslužni sektor. Ekonomska prihvatljivost takvih

sustav će zasigurno biti uvjetovana konkurentnošću trenutno konvencionalnih sustava hlađenja.

## **2.7. Geotermalna energije na području Vukovarsko-srijemske županije**

Na području Vukovarsko-srijemske županije izražena je regionalna pozitivna anomalija gustoće toplinskog toka u kojoj se dostižu gustoće toplinskog toka u vrijednostima od  $100 \text{ mW/m}^2$ , što ukazuje na geotermalni potencijal. Vrijednosti geotermalnih gradijenata na tom području kreću se od  $50\text{-}65 \text{ }^\circ\text{C/km}$ . Rezultati istraživanja donose da bi se na dubinama do  $1000 \text{ m}$  mogle dosegnuti temperature do  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ , dok bi se na dubinama od  $2000 \text{ m}$  temperature mogle približiti  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ . Na nekim od istraženih lokaliteta, poput Babine Grede, već su se pronašle termalne vode s visokim temperaturama i protocima. U planu je izgradnja geotermalne elektrane, staklenika te sportsko rekreativnih sadržaja na tim lokacijama. Osim Babine Grede tu su i druge lokacije poput Domaljevca, Sikireva, Otoka, Ranisavlja, Lešića i Gradišta, gdje su pronađene termalne vode različitih temperatura. Osim eksploatacije dubokih izvora geotermalne energije, postoji potencijal za iskorištavanje geotermalne energije s pomoću dizalica topline u Vukovarsko-srijemskoj županiji. Dizalice topline su optimalne za primjenu u sustavima s niskim temperaturama za grijanje i/ili hlađenje, te za zagrijavanje tople potrošne vode. Prva privatna geotermalna bušotina na ovim prostorima nalazi se u Bošnjacima kod Županje. Iz bušotine se preljevom pridobiva geotermalna voda temperature od oko  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  na ušću bušotine s izdašnošću od oko  $23 \text{ l/s}$  [10].



**Slika 5 Temperature na dubini od 1000 m [10]**

## 2.7. Geotermalna energija na području grada Vukovara

U sklopu projekta istraživanja geotermalne energije u Vukovaru, grad Vukovar i Hrvatski geološki institut zajednički su proveli studiju s ciljem pronalaženja geotermalnih izvora za korištenje toplinske energije. Studija je analizirala sedam postojećih bušotina iz 1950-ih godina smještenih na području grada Vukovara. Rezultati su pokazali prisutnost geotermalnih izvora vode čije temperature variraju od 40 do 80 °C na dubinama od 877 m do 1750 m. Specifičnosti geotermalnih izvora otkrivene su putem kemijske analize vode, koja je pokazala povoljan sastav energetske upotrebe. Dubina bušotina, kao i maksimalne temperature geotermalne vode, čine ove izvore izuzetno pogodnima za potrebe grijanja stambenih i poslovnih prostora, sportskih objekata te gospodarskih zona. Trenutno se provode detaljna površinska geofizička istraživanja na zemljištu u vlasništvu grada Vukovara, posebno u blizini postojećih toplana u naseljima Olajnica i Borovo Naselje. Ako se projekt ostvari, Vukovar bi postao jedan od prvih gradova u Hrvatskoj koji će izravno koristiti geotermalnu energiju za grijanje, čime bi se postigle značajne uštede u troškovima grijanja za građane, gospodarstvo i institucije [11].



**Slika 6 Grad Vukovar, crveno – Borovo Naselje, žuto - Olajnica**

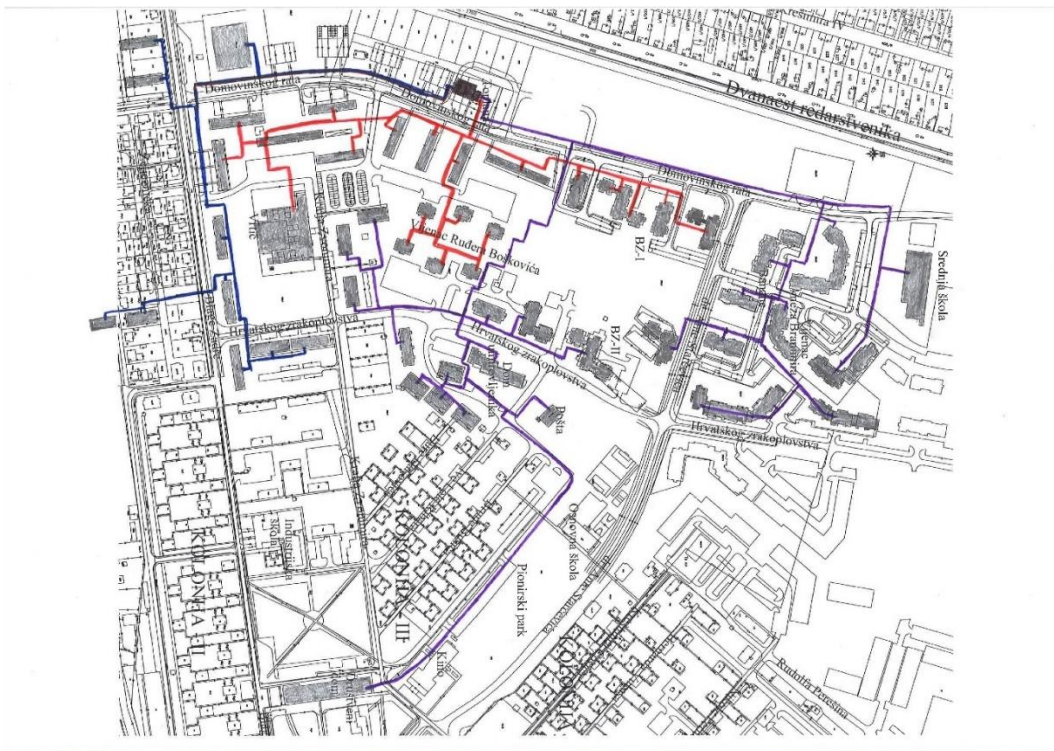


### 3. OPIS ZADATKA

Zadatak ovog rada je izraditi scenarij implementacije obnovljivih izvora energije u CTS grada Vukovara koji uključuje korištenje geotermalne energije te napraviti tehno-ekonomsku analizu. Odabrane su dvije lokacije za navedenu implementaciju:

#### Borovo Naselje

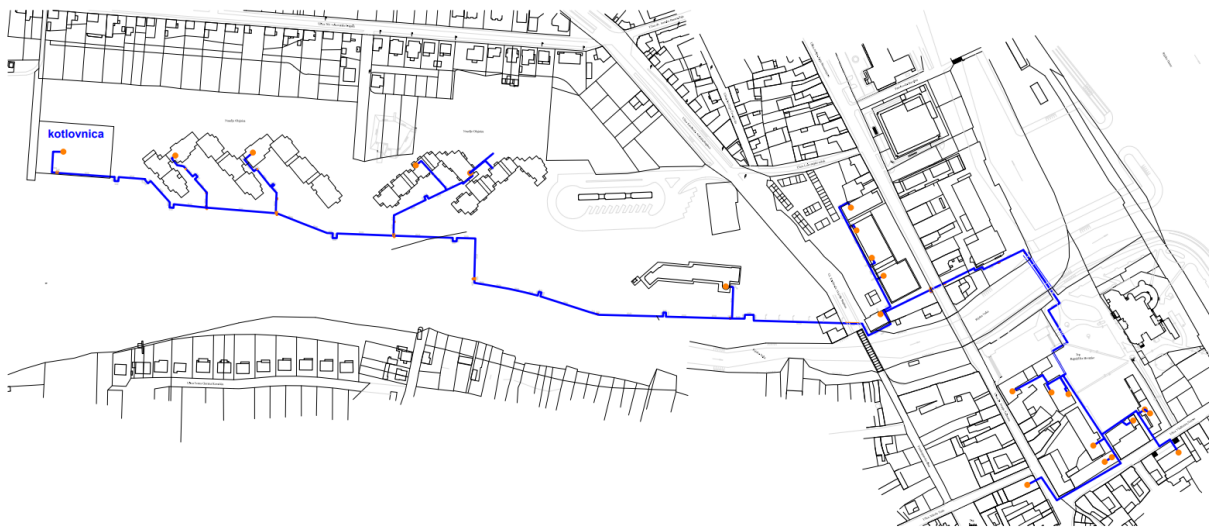
Naselje se nalazi oko 4 km sjeverno od centra Vukovara te se na istom mjestu nalaze potencijalna mjesta za iskop geotermalnih bušotina. Navedeno naselje je trenutno uključeno u sustav daljinskog grijanja te imaju postojeći CTS. Postrojenje se nalazi na adresi Domovinskog rata 3 te je izgrađeno 2000. godine. Ima ukupnu instaliranu snagu od 18200 kW, a duljina mreže iznosi 4335 metara. Implementacija geotermalne energije za CTS u Borovu Naselju bi mogla značajno poboljšati energetska učinkovitost i smanjiti troškove grijanja u tom području. Geotermalna energija bi značajno smanjila ovisnost o prirodnom plinu, s pomoću kojeg se Borovo naselje trenutno grije te bi uvelike povećala uštede građana. Naravno, osim na novac građana, takva vrste energije bi imala pozitivniji utjecaj na okoliš od tradicionalnih energenata poput prirodnog plina. Za izgradnju transmisijske i distribucijske mreže geotermalne energije bit će potrebne dvije stanice izmjenjivača topline.



Slika 7 Distribucijska mreža - CTS Borovo naselje

## Olajnica

Naselje Olajnica, kao centralni dio Vukovara, primjenom geotermalne energije može pružiti održivo i ekonomično rješenje za svoje građane. Vrsta toplinskog sustava koji trenutno vlada u Olajnici je centralizirani toplinski sustav s ukupnom instaliranom snagom od 15600 kW i upola manjom distribucijskom mrežom od Borovog naselja u iznosu od 2035 m. CTS postrojenje se nalazi na adresi Olajnica 18a te je izgrađeno 2000. godine. Za razliku od korištenja energije prirodnog plina, geotermalna energija smanjenjem emisija stakleničkih plinova bi pridonijela u zaštiti okoliša. Implementacija geotermalne energije zahtijeva značajna ulaganja u infrastrukturu, bušenje geotermalnih bušotina, te izgradnju i održavanje sustava distribucije toplinske energije. Također, nužna su dodatna istraživanja kako bi se utvrdile najprikladnije lokacije za bušenje, s ciljem maksimalnog iskorištavanja geotermalnog potencijala. U svakom slučaju, implementacija geotermalne energije za CTS u Olajnici predstavlja izazovan, ali perspektivan projekt koji u slučaju uspjeha, može značajno unaprijediti energetska održivost i ekonomsku isplativost ovog naselja u Vukovaru.



**Slika 8 Distribucijska mreža - CTS Olajnica**

## 4. METODA

### 4.1. Opis tehno – ekonomske analize

U sklopu tehno – ekonomske analize koristila se metoda toka novca. Ova metoda omogućila je detaljan uvid u prihode i rashode ovog projekta. Cilj ove metode je bio da se identificira gdje se novac troši te kako povećati prihode ovog projekta. Na osnovu analize podataka za referentne slučajeve, mogle su se predvidjeti situacije kada će se investicija isplatiti.

#### 4.1.1. Cijena toplinske energije


U centralnim toplinskim sustavima iznos tarifnih stavki za proizvodnju i distribuciju toplinske energije predstavlja regulirani do cijene toplinske energije, dok se naknada za opskrbu toplinskom energijom i naknada za djelatnost kupca toplinske energije slobodno ugovaraju

Struktura cijene toplinske energije ovisi o sljedećim parametrima:

- Kategoriji potrošnje – kućanstva ili industrija i poslovni potrošači
- Tipu toplinskog sustava – centralni, zatvoreni ili samostalni toplinski sustav
- Distribucijsko područje – područje na kojem se nalazi distribucijska mreža
- Ugovorenom opsegu usluga – usluge iz ugovora s krajnjim kupcima

U Vukovaru je tvrtka Tehnoston d.o.o. zaslužna za opskrbu građana toplinskom energijom.

**Tablica 3 Važeće cijene toplinske energije u Vukovaru [12]**

 <span style="float: right;">Tehnoston d.o.o.   Vukovar, Dr. Franje Tuđmana 23 centrala (032) 450-300   fax (032) 441-677 www.tehnoston-vukovar.hr   tehnoston@tehnoston-vukovar.hr</span>														
VAŽEĆE CIJENE TOPLINSKE ENERGIJE OD 01.10.2022. GODINE														
Kotlovnica	Vrsta topl. sustava	Vrsta tarifne stavke	KUCANSTVA				POSLOVNI				NAKNADA ZA OPSKRBU (bez PDV-a)		NAKNADA ZA KUPCA T.E. (bez PDV-a)	
			ENERGIJA (bez PDV-a)		SNAGA (bez PDV-a)		ENERGIJA (bez PDV-a)		SNAGA (bez PDV-a)		kn/mj	eur/mj	kn/m2/mj	eur/m2/mj
			kn/kWh	eur/kWh	kn/kW	eur/kW	kn/kWh	eur/kWh	kn/kW	eur/kW				
Domovinskog rata 3 "Borovo naselje"	CTS	KRAJNJA	0,5800	0,0769	14,50	1,92	0,6555	0,0870	14,50	1,92	7,00	0,93	0,60	0,08
		PROIZVODNJA	0,5330	0,0707	9,50	1,26	0,6085	0,0808	9,50	1,26				
		DISTRIBUCIJA	0,0470	0,0062	5,00	0,66	0,0470	0,0062	5,00	0,66				
Olajnica 18a "Olajnica"	CTS	KRAJNJA	0,5930	0,0787	14,50	1,92	0,6703	0,0889	14,50	1,92	7,00	0,93	0,60	0,08
		PROIZVODNJA	0,5460	0,0725	9,50	1,26	0,6233	0,0827	9,50	1,26				
		DISTRIBUCIJA	0,0470	0,0062	5,00	0,66	0,0470	0,0062	5,00	0,66				
Zupanijska 96 "D-6"	ZTS	KRAJNJA	0,6050	0,0803	14,50	1,92	0,6804	0,0903	14,50	1,92	7,00	0,93	0,60	0,08
Dunavska 5 "D-2"	ZTS	KRAJNJA	0,6050	0,0803	14,50	1,92	0,6804	0,0903	14,50	1,92	7,00	0,93	0,60	0,08
R.Perešina 3a "Internati"	ZTS	KRAJNJA	0,6050	0,0803	14,50	1,92	0,6804	0,0903	14,50	1,92	7,00	0,93	0,60	0,08
Trg Slavija 1 "Slavija"	STS	KRAJNJA	0,4624	0,0614	13,50	1,79							0,60	0,08

CTS-Centralni toplinski sustav  
ZTS-Zatvoreni toplinski sustav  
STS-Samostalni toplinski sustav  
1 EUR = 7,53450 HRK

Izabrana je cijena toplinske energije od 0.087 EUR/kWh.

#### 4.1.2. Diskontna stopa

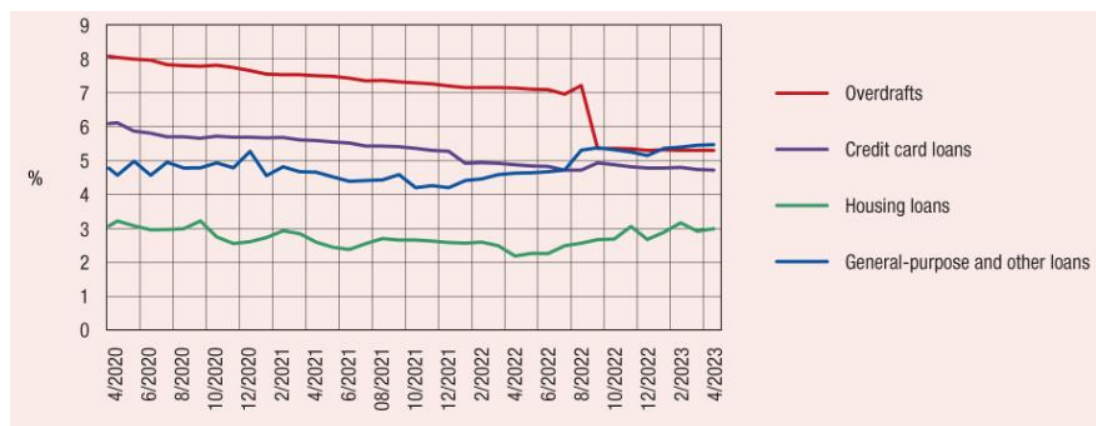
Diskontna stopa ili eskontna stopa je kamatna stopa po kojoj središnja banka odobrava kredite poslovnim bankama i koju središnja banka obračunava po otkupu mjenica. Izabrana je diskontna stopa od 4,11% [13].

**Tablica 4 Diskontne stope za države EU [13]**

From	To	AT	BE	BG	CY	CZ	DE	DK	EE	EL	ES	FI	FR	HR	HU	IE	IT	LT	LU	LV	MT	NL	PL	PT	RO	SE	SI	SK	UK
1.1.2024	<b>31.3.2024</b>	<b>4,11</b>	<b>4,11</b>	<b>3,91</b>	<b>4,11</b>	<b>6,64</b>	<b>4,11</b>	<b>4,29</b>	<b>4,11</b>	<b>4,11</b>	<b>4,11</b>	<b>4,11</b>	<b>4,11</b>	<b>4,11</b>	<b>11,22</b>	<b>4,11</b>	<b>4,11</b>	<b>4,11</b>	<b>4,11</b>	<b>4,11</b>	<b>4,11</b>	<b>5,68</b>	<b>4,11</b>	<b>6,56</b>	<b>4,28</b>	<b>4,11</b>	<b>4,11</b>	<b>5,65</b>	
1.11.2023	31.12.2023	3,64	3,64	<b>3,31</b>	3,64	7,43	3,64	4,17	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	<b>12,79</b>	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	<b>6,35</b>	3,64	7,05	3,82	3,64	3,64	5,09	
19.2.2023	31.10.2023	3,64	3,64	2,73	3,64	7,43	3,64	<b>4,17</b>	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	15,10	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	7,62	3,64	7,05	3,82	3,64	3,64	<b>5,09</b>	
18.2.2023	31.8.2023	3,64	3,64	<b>2,73</b>	3,64	7,43	3,64	3,54	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	15,10	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	7,62	3,64	<b>7,05</b>	3,82	3,64	3,64	4,24	
17.2.2023	31.7.2023	3,64	3,64	2,15	3,64	7,43	3,64	3,54	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	15,10	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	7,62	3,64	8,31	<b>3,82</b>	3,64	3,64	4,24	
16.2.2023	30.6.2023	<b>3,64</b>	<b>3,64</b>	<b>2,15</b>	<b>3,64</b>	7,43	<b>3,64</b>	3,54	<b>3,64</b>	<b>3,64</b>	<b>3,64</b>	<b>3,64</b>	<b>3,64</b>	<b>3,64</b>	15,10	<b>3,64</b>	<b>3,64</b>	<b>3,64</b>	<b>3,64</b>	<b>3,64</b>	<b>3,64</b>	7,62	<b>3,64</b>	8,31	3,21	<b>3,64</b>	<b>3,64</b>	4,24	
15.2.2023	31.5.2023	3,06	3,06	<b>1,80</b>	3,06	7,43	3,06	3,54	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06	15,10	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06	7,62	3,06	8,31	3,21	3,06	3,06	<b>4,24</b>	
14.2.2023	30.4.2023	3,06	3,06	<b>1,51</b>	3,06	7,43	3,06	<b>3,54</b>	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06	15,10	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06	7,62	3,06	8,31	<b>3,21</b>	3,06	3,06	3,52	
13.2.2023	31.3.2023	<b>3,06</b>	<b>3,06</b>	<b>1,10</b>	<b>3,06</b>	7,43	<b>3,06</b>	2,92	<b>3,06</b>	<b>3,06</b>	<b>3,06</b>	<b>3,06</b>	<b>3,06</b>	<b>3,06</b>	15,10	<b>3,06</b>	<b>3,06</b>	<b>3,06</b>	<b>3,06</b>	<b>3,06</b>	<b>3,06</b>	7,62	<b>3,06</b>	8,31	<b>2,96</b>	<b>3,06</b>	<b>3,06</b>	<b>3,52</b>	
12.2.2023	28.2.2023	2,56	2,56	<b>0,79</b>	2,56	7,43	2,56	2,92	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	15,10	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	7,62	2,56	8,31	2,44	2,56	2,56	2,77	
1.1.2023	31.1.2023	<b>2,56</b>	<b>2,56</b>	<b>0,36</b>	<b>2,56</b>	<b>7,43</b>	<b>2,56</b>	<b>2,92</b>	<b>2,56</b>	<b>2,56</b>	<b>2,56</b>	<b>2,56</b>	<b>2,56</b>	<b>2,56</b>	<b>15,10</b>	<b>2,56</b>	<b>2,56</b>	<b>2,56</b>	<b>2,56</b>	<b>2,56</b>	<b>2,56</b>	<b>7,62</b>	<b>2,56</b>	<b>8,31</b>	<b>2,44</b>	<b>2,56</b>	<b>2,56</b>	<b>2,77</b>	

#### 4.1.3. Kamatna stopa

Kamatna stopa je iznos koji zajmodavac naplaćuje za upotrebu imovine izražen u postotku glavnice. Kamatna stopa se obično definira na godišnjoj razini poznata i kao godišnja postotna stopa. Kamatna stopa u ovom slučaju će se koristiti zbog financiranja projekta geotermalnog CTS-a. Izabrana je kamatna stopa od 5% [14].



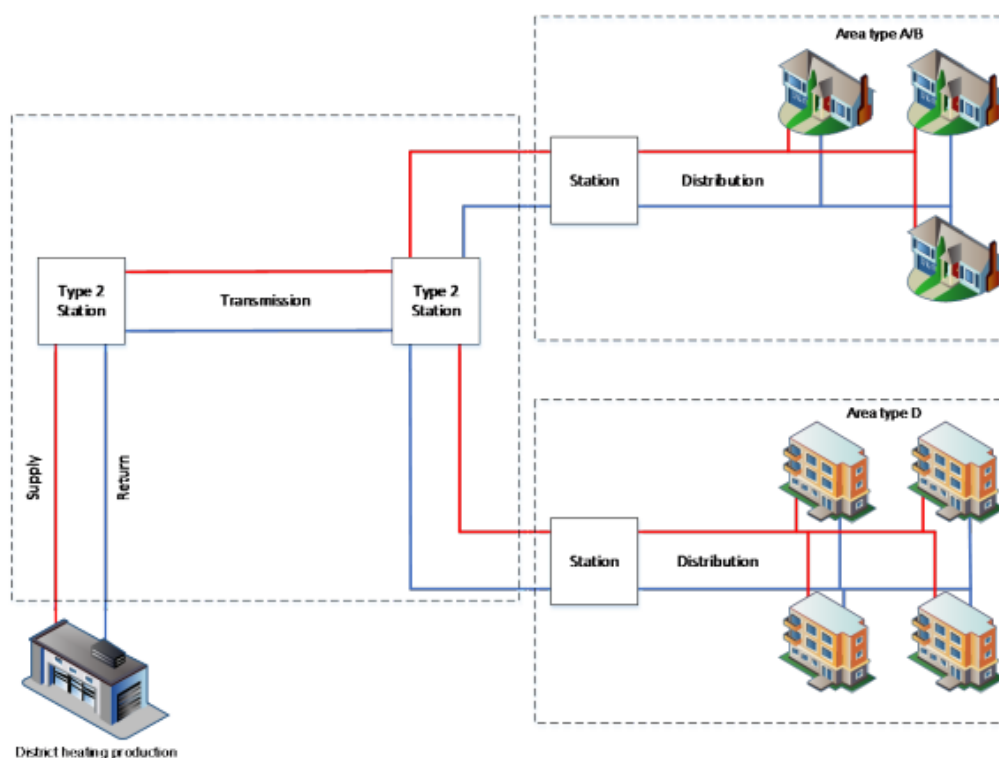
**Slika 9 Prosjeci kamatnih stopa [14]**

#### 4.1.4. Cijena prijenosa daljinskog grijanja geotermalnog CTS-a

Za procjenu troškova izgradnje prijenosa daljinskog grijanja CTS-a koristila se baza podataka Danske energetske agencije u kojoj su dane cijene izgradnje takvog sustava. Tablica 5. daje pregled podatak o cijeni prijenosa daljinskog grijanja CTS-a.

**Tablica 5 Podaci o cijeni prijenosa daljinskog grijanja geotermalnog CTS-a [6], [15]**

Energetski/tehnički podaci		
Gubici toplinske energije, vodovi	3	%
Gubici energije, izmjenjivači topline	5	%
Pomoćna potrošnja električne energije	2	%
Dubina bušotine	1200	m
Broj bušotina	4	
$T_{\text{polaz}}/T_{\text{povrat}}$	80/40	°C
$Q_b$	160	m <sup>3</sup> /h
Financijski podaci		
Investicijski troškovi – jedan cjevovod	25	EUR/MW/m
Investicijski troškovi – izmjenjivači topline	105.000,00	EUR/MW
Varijabilni trošak održavanja	0,1	EUR/MWh/km
Trošak bušenja	1800	EUR/m
Trošak usluge projektiranja	1.500.000,00	EUR/site

**Slika 10 Ilustracija geotermalnog CTS-a [15]**

#### 4.1.5. Amortizacija

Godišnje stope amortizacije utvrđuju se prema amortizacijskom vijeku za pojedine skupine dugotrajne imovine, a to su stvari i prava čiji je pojedinačni trošak nabave veći od zakonom utvrđenog iznosa od 464,53 EUR i kojima je vijek trajanja duži od godine dana. Izabrana je amortizacija od 4 godine za energetska postrojenja [16]

#### 4.1.6. Cijena cijevi za prijenos daljinskog grijanja

Fleksibilne cijevi se često koriste kao servisni vodovi, budući da fleksibilni materijali olakšava instalaciju. Servisni vodovi često su plastične PEX cijevi i mogu se isporučiti s aluminijskim slojem kako bi se osigurao difuzijski otpor. Servisni vodovi također se mogu sastojati od fleksibilnih dvostrukih cijevi s bakrenim cijevima i jednostrukih linija s cijevima od čelika. Preporučuju se i fleksibilne cijevi s difuzijskom barijerom između izolacije i polietilenskog kućišta kako bi se osigurala niska i nepromijenjena toplinska vodljivost tijekom vremena. Odabrana je cijev DN 400 sa cijenom 43,13 EUR/m [15], [17].



Slika 11 Primjer fleksibilnih i čeličnih cijevi [15]

#### 4.1.7. Ostali potrebni podaci

Tablica 6 daje prikaz ostalih potrebnih podataka za proračun.

Tablica 6 Ostali potrebni podaci

Porez na dobit	18	%
Udio privatne investicije	20	%
Vrijeme otplate kredita	20	Godina
Trajanje projekta	25	Godina

#### 4.1.8. IRR metoda

Ova metoda uzima u obzir veličinu i vremenski raspored očekivanog novčanog tijeka tijekom životnog projekta. Interna stopa povrata (IRR) za investicijski prijedlog je diskontna stopa koja izjednačava sadašnju vrijednost očekivanih troškova sadašnjom vrijednošću očekivanih prihoda [18].

$$\sum_{T=1}^T \frac{NPV(x_T)}{(1 + IRR)^T} - x_0 = NPV = 0 \quad (1)$$

U kojoj je:

$NPV(x_T)$  – prihod u životnom vijeku projekta sveden na sadašnju vrijednost tokom perioda T (EUR)

$T$  – vremenski period (godina)

$x_0$  – iznos inicijalne investicije (EUR)

$IRR$  – Interna stopa povrata

#### 4.1.9. NPV metoda

Sav novčani tijek se prilagođava na sadašnju vrijednost novca koristeći traženu stopu povrata. Ako je ukupna sadašnja vrijednost novca jednaka ili veća od nule, prijedlog tehno-ekonomske analize se prihvaća, u suprotnom, prijedlog se odbacuje [18].

$$NPV = \sum \frac{x_T}{(1 + R)^T} - x_0 \quad (2)$$

U kojoj je:

$R$  – diskontna stopa (%)

$T$  – vremenski period (godina)

$x_T$  – prihod u životnom vijeku projekta (EUR)

$x_0$  – iznos početne investicije (EUR)

#### 4.1.10. IP metoda

Indeks profitabilnosti je omjer između sadašnje vrijednosti budućeg novčanog toka i početnih troškova. Ako je indeks profitabilnosti jednak ili veći 1,00, investicijski prijedlog se smatra prihvatljivim [18].

(3)

$$IP = \sum \frac{NPV(x_T)}{x_0}$$

$NPV(x_T)$  – prihod u životnom vijeku projekta sveden na sadašnju vrijednost tokom perioda T (EUR)

$x_0$  – iznos početne investicije (EUR)

#### 4.1.11. PB metoda

Metoda otplate (*engl. Payback*), je metoda koja se temelji na kriteriju profitabilnosti, koji se odnosi na vremenski period potreban da se investicija isplati [18].

$$PB = n + \frac{KNPV_n}{NPV_{n+1}} \quad (4)$$

$n$  – posljednja godina prije nego što se investicija isplati

$KNPV_n$  – kumulativna sadašnja vrijednost u godini prije nego što se investicija isplati

$NPV_{n+1}$  – sadašnja vrijednost u godini kada se investicija isplati

U ovome radu analizirati će se osjetljivost promjene, mijenjanjem ulaznih uvjeta. Uvjeti koji će se mijenjati bit će:

- Početna investicija projekta
- Potražnja za toplinskom energijom
- Prodajna cijena toplinske energije



## 5. ANALIZA SCENARIJA

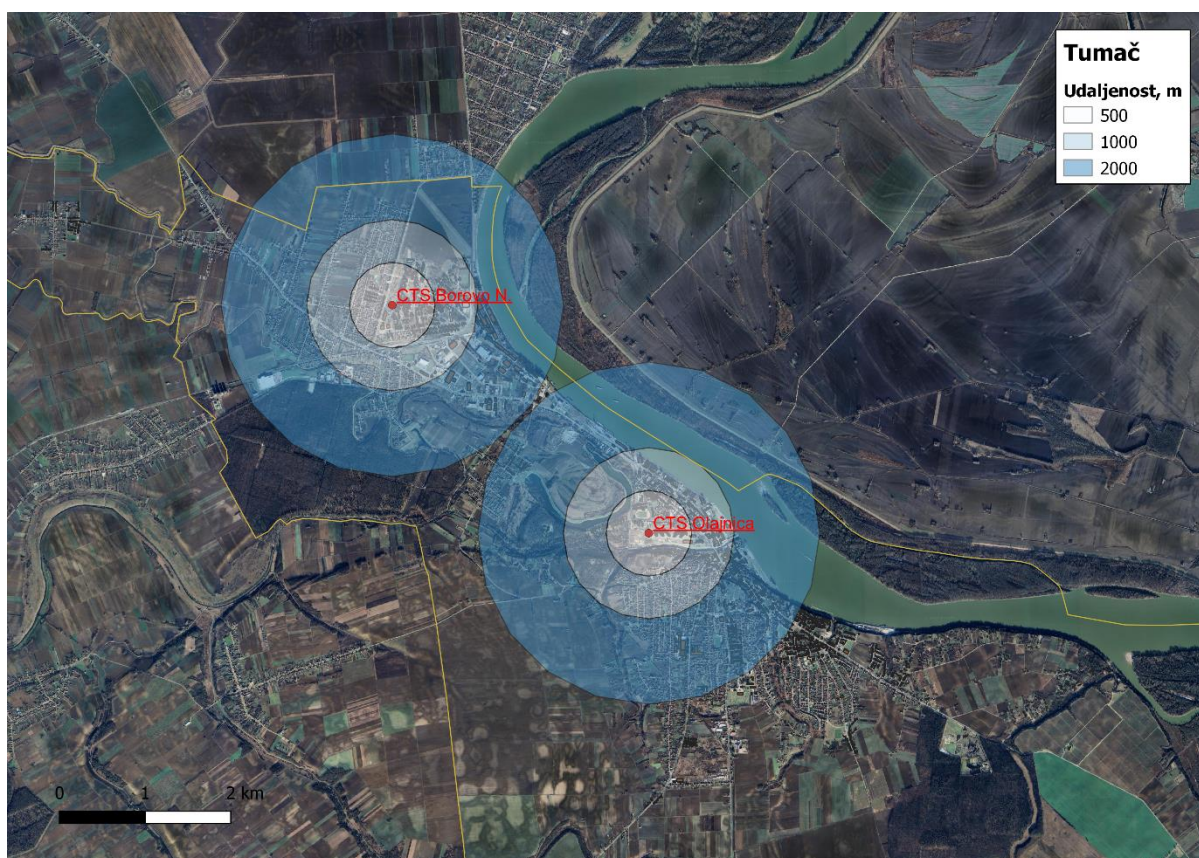
Tablica 7. sadrži popis scenarij obrađenih u sklopu ovog zadatka. Prva 4 scenarija se nalaze u Borovom Naselju, dok se ostala 4 nalaze u naselju Olajnica. Svih 8 scenarija obuhvaćaju opskrbu Geotermalnim CTS-om s različitim duljinama transmisijske mreže.

**Tablica 7 Popis scenarija**

Naziv scenarija	Lokacija	Duljina mreže [m]	Godišnja potražnja za toplinskom energijom [MWh]	Vršno opterećenje [MW]
BN-1	Borovo Naselje	0	9764,34	8
BN-2	Borovo Naselje	500	9764,34	8
BN-3	Borovo Naselje	1000	9764,34	8
BN-4	Borovo Naselje	2000	9764,34	8
O-1	Olajnica	0	4123,947	2
O-2	Olajnica	500	4123,947	2
O-3	Olajnica	1000	4123,947	2
O-4	Olajnica	2000	4123,947	2

Scenariji 1, 2, 3 i 4 za CTS Borovog Naselja odnose se na slučaj u kojem se izvor geotermalne energije nalazi na zadanim udaljenostima iz Tablice 7., u odnosu na postrojenje. Nije potreban dodatni izvor toplinske energije iz razloga što je temperatura termalne vode već dovoljno velika. Godišnja potražnja za toplinskom energijom iznosi 9764,34 MWh dok vršno opterećenje iznosi 8 MW. Ovaj scenarij implicira potrebne tehničke i infrastrukturne investicije, uključujući bušenje geotermalnih bušotina, postavljenje distribucijske mreže te održavanje sustava.

Scenariji 1, 2, 3 i 4 za CTS naselja Olajnice odnosi se na slučaj kada se geotermalni izvor nalazi na zadanim udaljenostima iz Tablice 7., u odnosu na postrojenje. Temperatura termalne vode je već dovoljno velika te iz toga razloga nije potreban dodatan izvor energije. Godišnja potražnja za toplinskom energijom iznosi 4123,947 MWh, a vršno opterećenje iznosi 2 MW. Ovaj scenarij implicira potrebne tehničke i infrastrukturne investicije, uključujući bušenje geotermalnih bušotina, postavljanje distribucijske mreže te održavanje sustava. Za naselje Olajnica odabrane su 2 bušotine umjesto 4 iz razloga što je vršno opterećenje puno manje te je veći broj bušotina nepotreban i neisplativ.

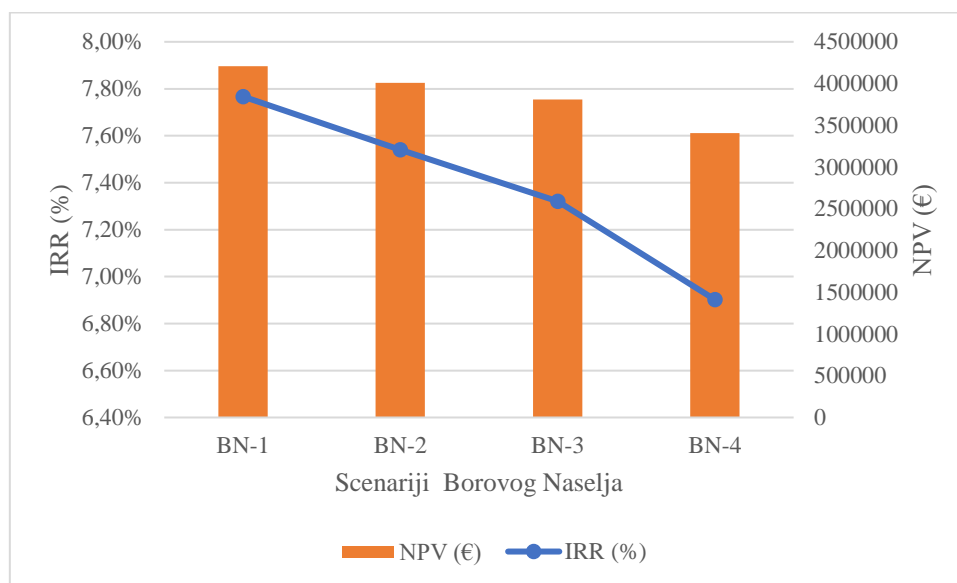


Slika 12 Satelitski prikaz navedenih scenarija

## 6. REZULTATI TEHNO – EKONOMSKE ANALIZE

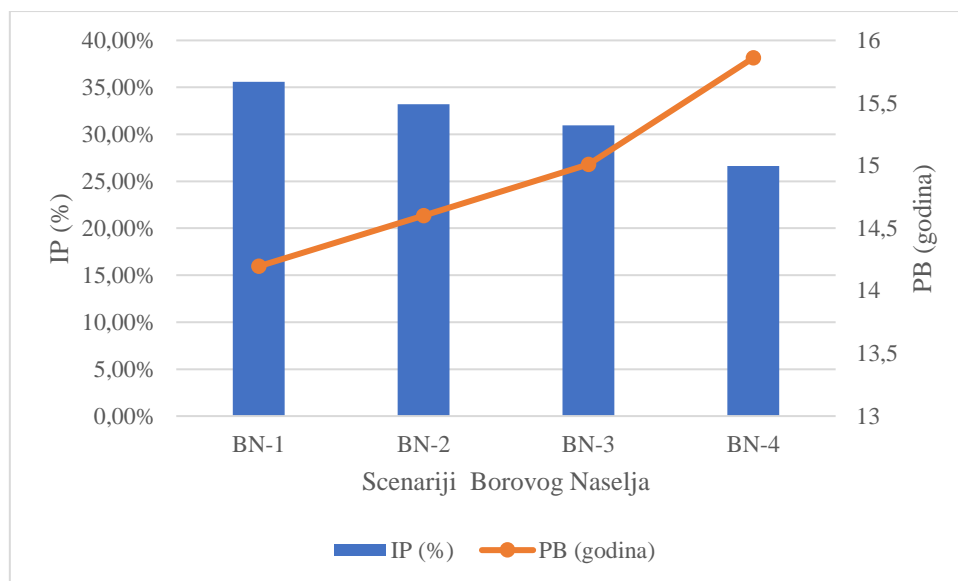
### 6.1. Rezultati za Borovo naselje

Slika 13. prikazuje usporedbu NPV-a i IRR-a za slučajeve geotermalnog CTS-a na različitim udaljenostima. Prema slici se može vidjeti da kako se udaljenost izvora geotermalne energije udaljava od postrojenja, tako pada i isplativost projekta, no projekt je i dalje isplativ u svakom scenariju iz razloga što je NPV i dalje pozitivan. Samim time što vrijednosti NPV-a padaju, padaju i vrijednosti IRR-a. Uzrok tome su povećani troškovi na sustava distribucije geotermalne energije.



**Slika 13 Usporedba 1 scenarija Borovog Naselja**

Slika 14. prikazuje usporedbu IP-a i PB-a za slučajeve geotermalnog CTS-a na različitim udaljenostima. Prema slici se može vidjeti kako kroz vrijeme pada vrijednost IP-a, a samim time raste broj godina kada će projekt biti isplativ. Uzrok tome su povećani troškovi na sustava distribucije geotermalne energije.



**Slika 14 Usporedba 2 scenarija Borovog Naselja**

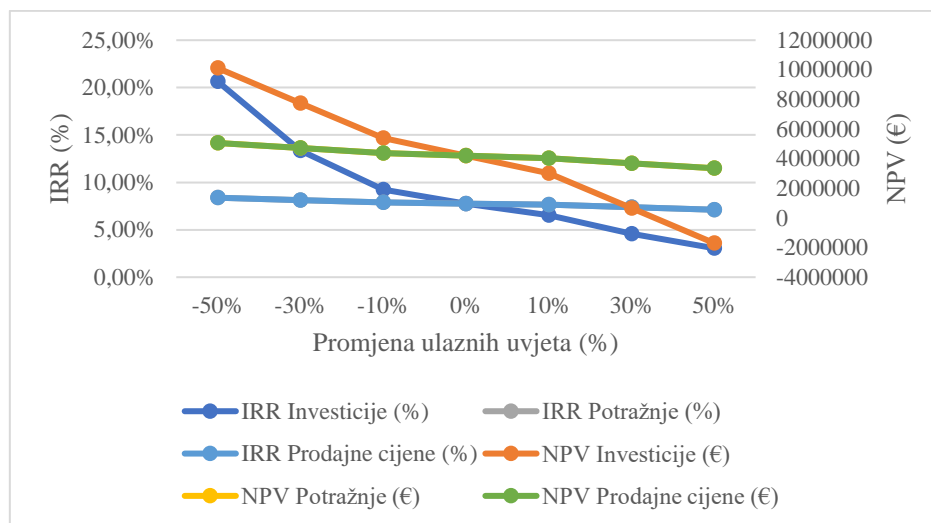
### 6.1.1. Scenarij Borovo Naselje 1

**Tablica 8 Rezultati tehno ekonomske analize za BN-1**

Veličina	Iznos	Jedinica
Duljina cjevovoda	0	m
Broj bušotina	4	-
Investicijski troškovi	11.820.000,00	EUR
Varijabilni troškovi održavanja	0,00	EUR/godina
Godišnji prihod od prodaje toplinske energije	746.972,01	EUR
Godišnja ušteda učinkovitijeg sustava	242.887,70	EUR
IRR	7,77	%
NPV	4.207.650,82	EUR
Rok povrata investicije	14,20	Godina
Indeks profitabilnosti	35,60	%

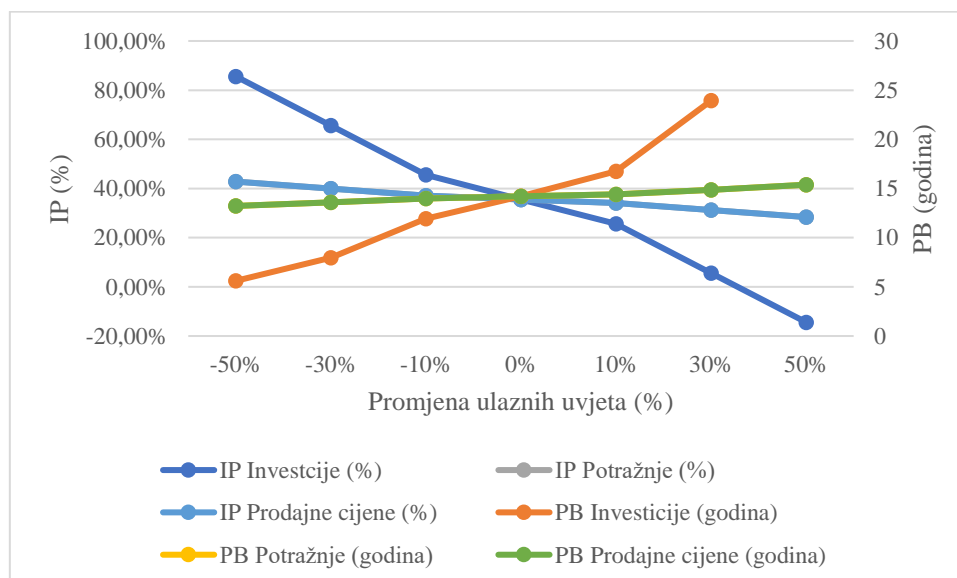
Slika 15. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podatak za scenarij BN-1. S negativnom promjenom od 50 % dobit ćemo najveće iznose NPV-a, a samim time i IRR-a, dok će se u suprotnome, dobivati najmanji iznosi. Kada će povećanje iznositi 50 %, vrijednosti NPV-a će biti negativne, što znači da projekt neće biti isplativ u planiranom tijeku trajanja. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i Potražnju

toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



**Slika 15 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za BN-1**

Slika 16. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podataka za scenarij BN-1. S negativnom promjenom za 50 % dobit će se najveći iznos IP-a, a samim time će i broj godina za isplativost projekta biti manji. U suprotnome, kada povećanje bude 50 % broj godina za isplativost projekta nije prikazan jer je negativan IP, što znači da projekt neće biti isplativ. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



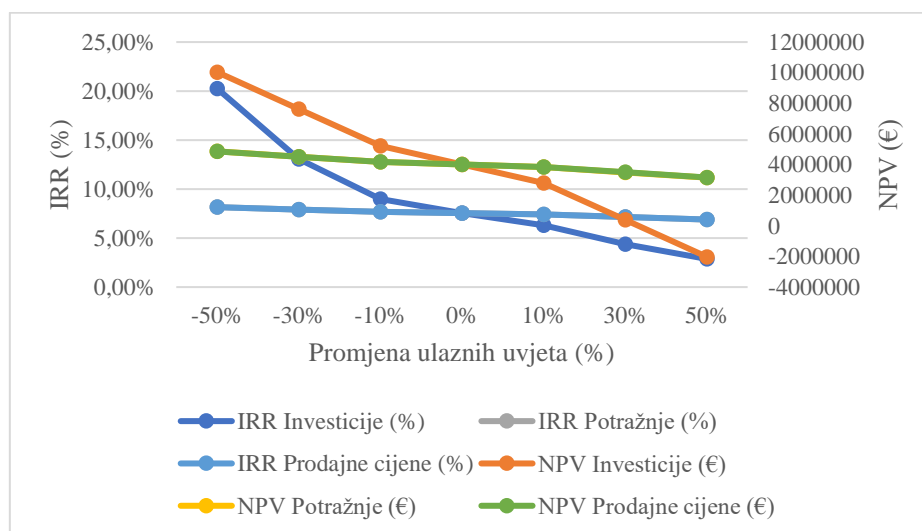
**Slika 16 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za BN-1**

## 6.1.2. Scenarij Borovo Naselje 2

Tablica 9 Rezultati tehnološke ekonomske analize BN-2

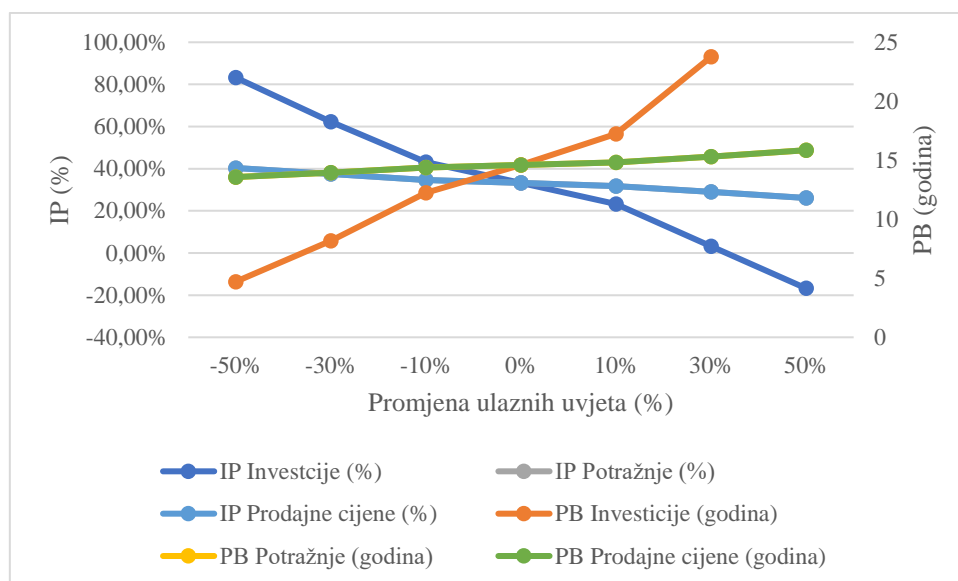
Veličina	Iznos	Jedinica
Duljina cjevovoda	500	m
Broj bušotina	4	
Investicijski troškovi	12.063.130,00	EUR
Varijabilni O&M	976,43	EUR/godina
Godišnji prihod od prodaje toplinske energije	746.972,01	EUR
Godišnja ušteda učinkovitijeg sustava	242.887,70	EUR
IRR	7,54	%
NPV	4.007.498,87	EUR
Rok povrata investicije	14,60	Godina
Indeks profitabilnosti	33,22	%

Slika 17. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podataka za scenarij BN-2. S negativnom promjenom od 50 % dobit ćemo najveće iznose NPV-a, a samim time i IRR-a, dok će se u suprotnome, dobivati najmanji iznosi. Kada će povećanje iznositi 50 %, vrijednosti NPV-a će biti negativne, što znači da projekt neće biti isplativ u planiranom tijeku trajanja. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



Slika 17 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za BN-2

Slika 18. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podataka za scenarij BN-1. S negativnom promjenom za 50 % dobit će se najveći iznos IP-a, a samim time će i broj godina za isplativost projekta biti manji. U suprotnome, kada povećanje bude 50 % broj godina za isplativost projekta nije prikazan jer je negativan IP, što znači da projekt neće biti isplativ. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



**Slika 18 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za BN-2**

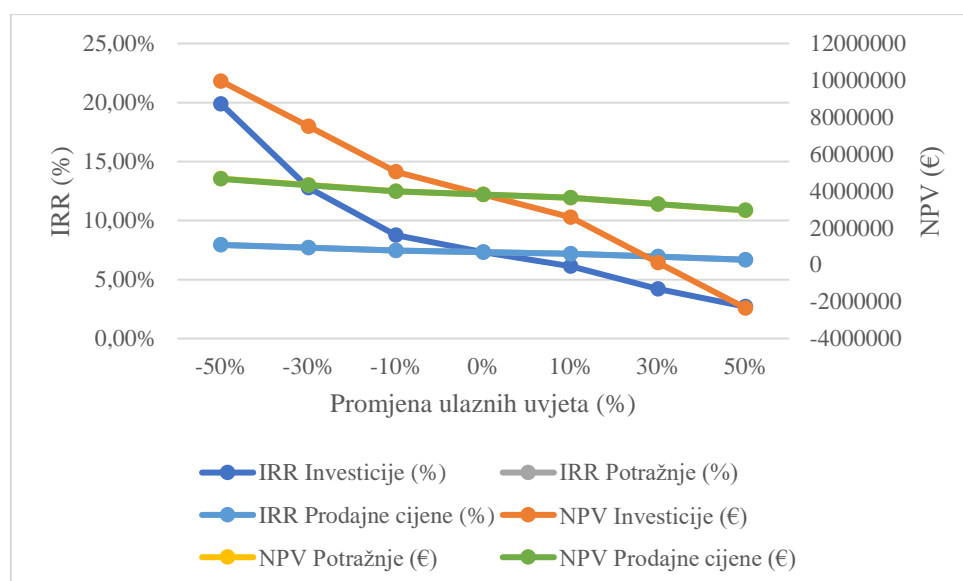
### 6.1.3. Scenarij Borovo Naselje 3

**Tablica 10 Rezultati tehno ekonomske analize BN-3**

Veličina	Iznos	Jedinica
Duljina cjevovoda	1000	m
Broj bušotina	4	
Investicijski troškovi	12.306.260,00	EUR
Varijabilni O&M	1952,87	EUR/godina
Godišnji prihod od prodaje toplinske energije	746.972,01	EUR
Godišnja ušteda učinkovitijeg sustava	242.887,70	EUR
IRR	7,32	%
NPV	3.807.346,92	EUR
Rok povrata investicije	15,01	Godina

Indeks profitabilnosti	30,94	%
------------------------	-------	---

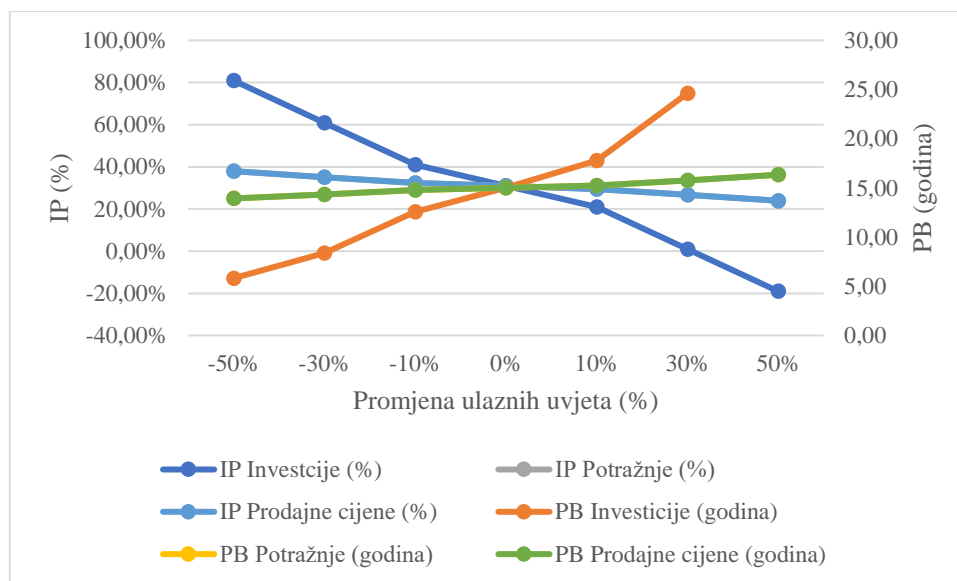
Slika 19. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podatak za scenarij BN-3. S negativnom promjenom od 50 % dobit ćemo najveće iznose NPV-a, a samim time i IRR-a, dok će se u suprotnome, dobivati najmanji iznosi. Kada će povećanje iznositi 50 %, vrijednosti NPV-a će biti negativne, što znači da projekt neće biti isplativ u planiranom tijeku trajanja. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



**Slika 19 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za BN-3**

Slika 20. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podatak za scenarij BN-3. S negativnom promjenom za 50 % dobit će se najveći iznos IP-a, a samim time će i broj godina za isplativost projekta biti manji. U suprotnome, kada povećanje bude 50 % broj godina za isplativost projekta nije prikazan jer je negativan IP, što znači da projekt neće biti isplativ. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja





Slika 20 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za BN-3

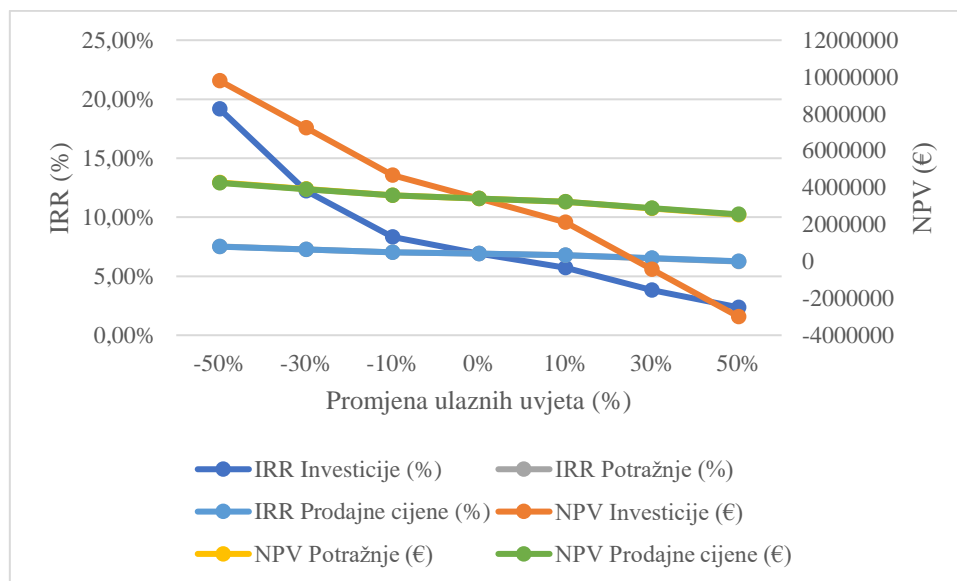
## 6.1.4. Scenarij Borovo Naselje 4

Tablica 11 Rezultati tehno ekonomske analize BN-4

Veličina	Iznos	Jedinica
Duljina cjevovoda	2000	m
Broj bušotina	4	
Investicijski troškovi	12.792.520,00	EUR
Varijabilni O&M	3905,74	EUR/godina
Godišnji prihod od prodaje toplinske energije	746.972,01	EUR
Godišnja ušteda učinkovitijeg sustava	242.887,70	EUR
IRR	6,90	%
NPV	3.407.043,02	EUR
Rok povrata investicije	15,86	Godina
Indeks profitabilnosti	26,63	%

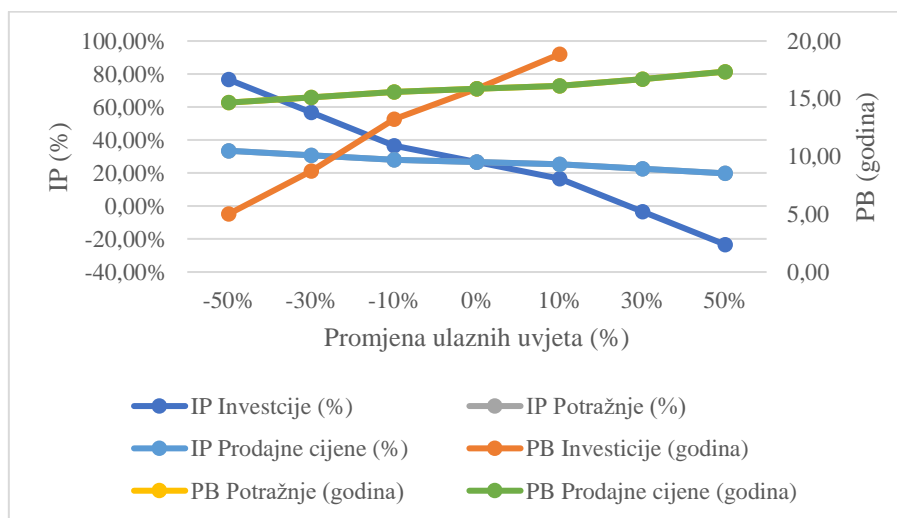
Slika 21. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podatak za scenarij BN-4. S negativnom promjenom od 50 % dobit ćemo najveće iznose NPV-a, a samim time i IRR-a, dok će se u suprotnome, dobivati najmanji iznosi. Kada će povećanje iznositi 30 % i 50 %, vrijednosti NPV-a će biti negativne, što znači da projekt neće biti isplativ u planiranom tijeku trajanja. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i

Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



**Slika 21 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za BN-4**

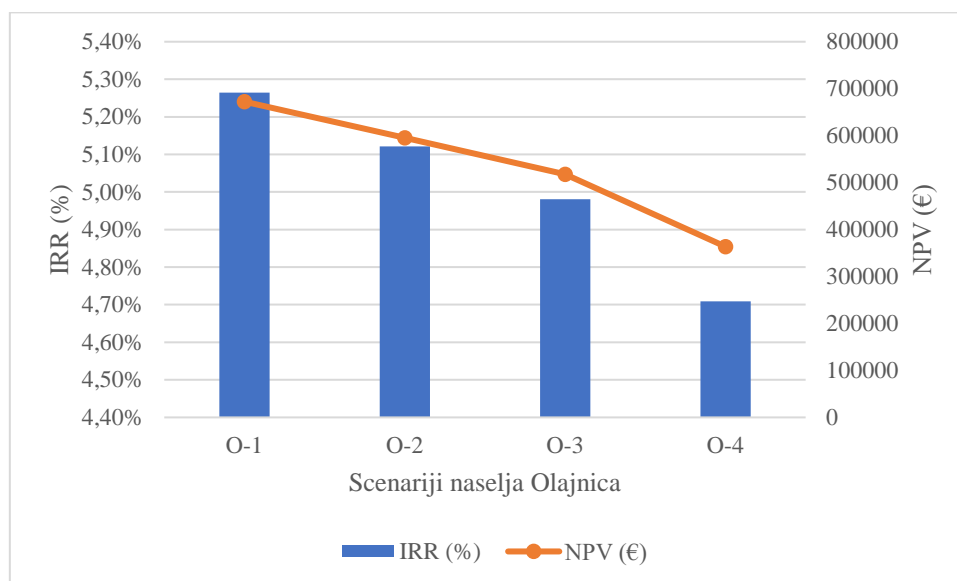
Slika 22. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podataka za scenarij BN-4. S negativnom promjenom za 50 % dobit će se najveći iznos IP-a, a samim time će i broj godina za isplativost projekta biti manji. U suprotnome, kada povećanje bude 30 % i 50 % broj godina za isplativost projekta nije prikazan jer je negativan IP, što znači da projekt neće biti isplativ. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



**Slika 22 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za BN-4**

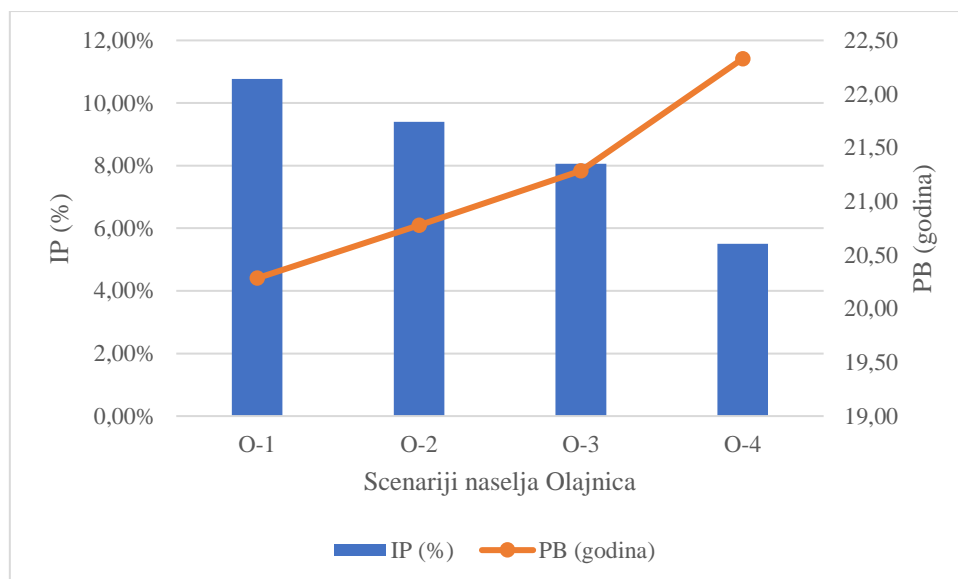
## 6.2. Rezultati za naselje Olajnica

Slika 23. prikazuje usporedbu NPV-a i IRR-a za slučajeve geotermalnog CTS-a na različitim udaljenostima. Prema slici se može vidjeti da kako se udaljenost izvora geotermalne energije udaljava od postrojenja, tako pada i isplativost projekta, no projekt je i dalje isplativ u svakom scenariju iz razloga što je NPV i dalje pozitivan. Samim time što vrijednosti NPV-a padaju, padaju i vrijednosti IRR-a. Uzrok tome su povećani troškovi na sustava distribucije geotermalne energije.



**Slika 23 Usporedba 1 scenarija naselja Olajnica**

Slika 14. prikazuje usporedbu IP-a i PB-a za slučajeve geotermalnog CTS-a na različitim udaljenostima. Prema slici se može vidjeti kako kroz vrijeme pada vrijednost IP-a, a samim time raste broj godina kada će projekt biti isplativ. Uzrok tome su povećani troškovi na sustava distribucije geotermalne energije.



Slika 24 Usporedba 2 scenarija naselja Olajnica

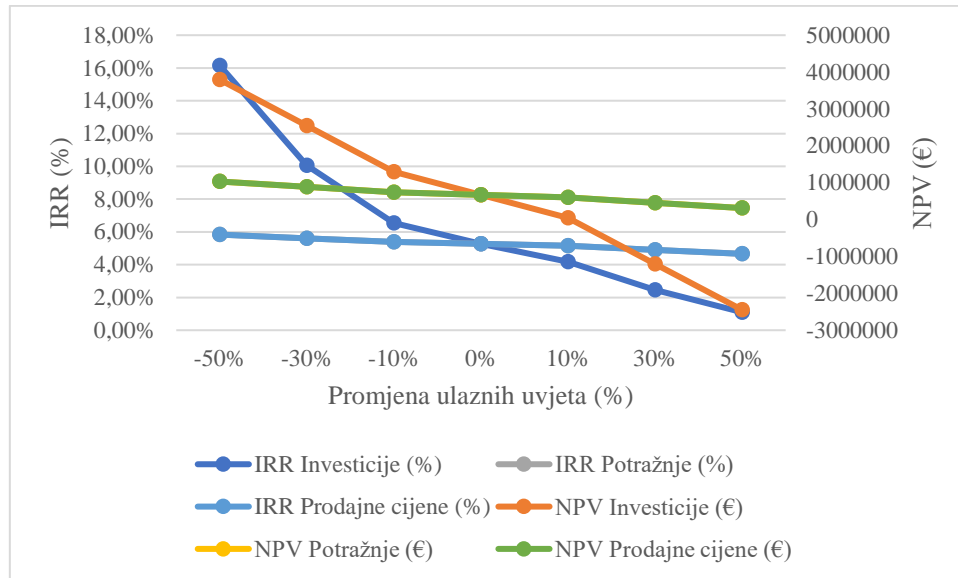
### 6.2.1. Scenarij naselja Olajnica 1

**Tablica 12 Rezultati tehno ekonomske analize O-1**

Veličina	Iznos	Jedinica
Duljina cjevovoda	0	m
Broj bušotina	2	
Investicijski troškovi	6.240.000,00	EUR
Varijabilni O&M	0,00	EUR/godina
Godišnji prihod od prodaje toplinske energije	315.481,95	EUR
Godišnja ušteda učinkovitijeg sustava	102.597,63	EUR
IRR	5,26	%
NPV	672.337,97	EUR
Rok povrata investicije	20,28	Godina
Indeks profitabilnosti	10,77	%

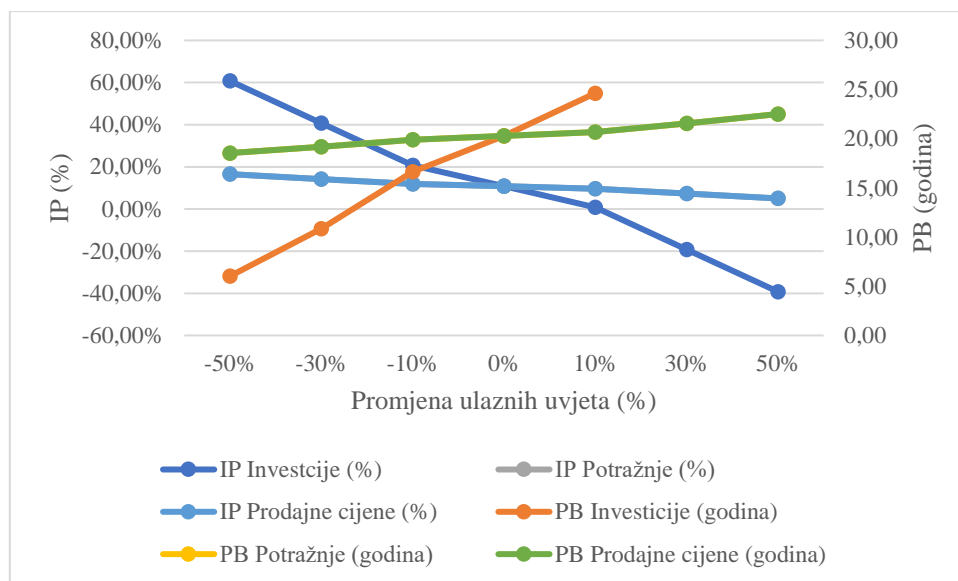
Slika 25. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podatak za scenarij O-1. S negativnom promjenom od 50 % dobit ćemo najveće iznose NPV-a, a samim time i IRR-a, dok će se u suprotnome, dobivati najmanji iznosi. Kada će povećanje iznositi 30 % i 50 %, vrijednosti NPV-a će biti negativne, što znači da projekt neće biti isplativ u planiranom tijeku trajanja. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i

Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



**Slika 25 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za O-1**

Slika 16. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podatak za scenarij O-1. S negativnom promjenom za 50 % dobit će se najveći iznos IP-a, a samim time će i broj godina za isplativost projekta biti manji. U suprotnome, kada povećanje bude 30 % i 50 %, broj godina za isplativost projekta nije prikazan jer je negativan IP, što znači da projekt neće biti isplativ. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



Slika 26 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za O-1

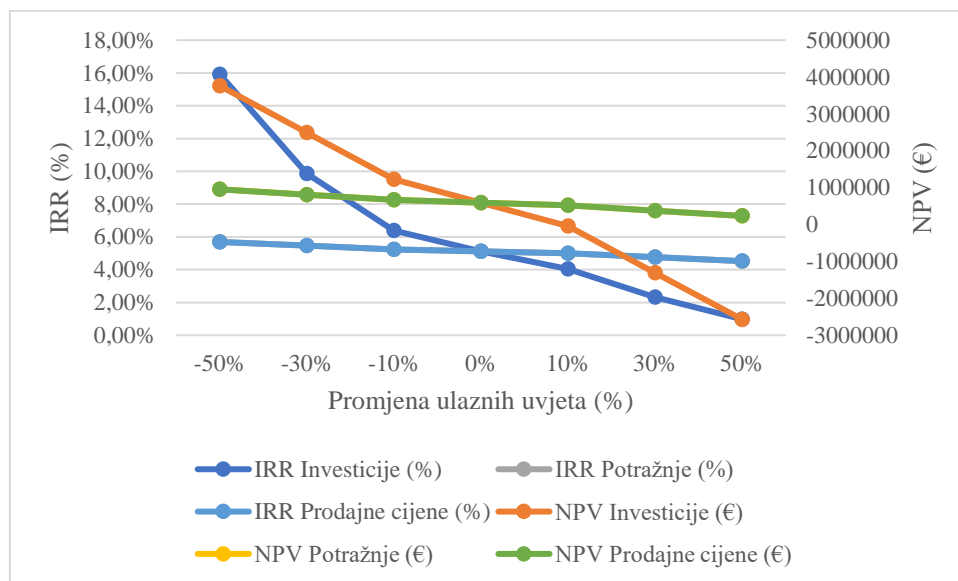
### 6.2.2. Scenarij naselja Olajnica 2

Tablica 13 Rezultati tehno ekonomske analize O-2

Veličina	Iznos	Jedinica
Duljina cjevovoda	500	m
Broj bušotina	2	
Investicijski troškovi	6.333.130,00	EUR
Varijabilni O&M	412,40	EUR/godina
Godišnji prihod od prodaje toplinske energije	315.481,95	EUR
Godišnja ušteda učinkovitijeg sustava	102.597,63	EUR
IRR	5,12	%
NPV	595.184,62	EUR
Rok povrata investicije	20,78	Godina
Indeks profitabilnosti	9,40	%

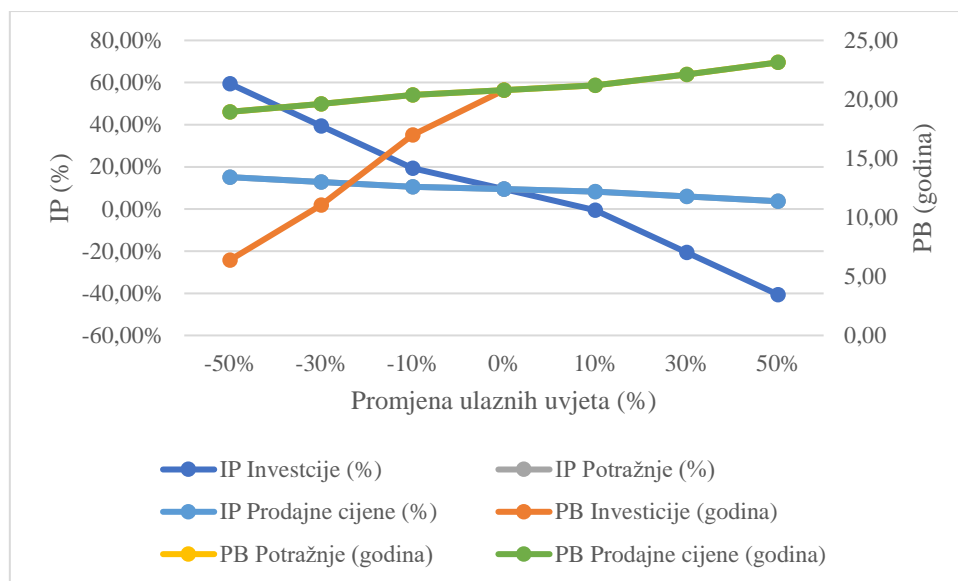
Slika 27. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podatak za scenarij O-2. S negativnom promjenom od 50 % dobit ćemo najveće iznose NPV-a, a samim time i IRR-a, dok će se u suprotnome, dobivati najmanji iznosi. Kada će povećanje iznositi 10 %, 30% i 50 %, vrijednosti NPV-a će biti negativne, što znači da projekt neće biti isplativ u planiranom tijeku trajanja. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i

Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



**Slika 27 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za O-2**

Slika 28. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podatak za scenarij O-2. S negativnom promjenom za 50 % dobit će se najveći iznos IP-a, a samim time će i broj godina za isplativost projekta biti manji. U suprotnome, kada povećanje bude 10 %, 30 % i 50 %, broj godina za isplativost projekta nije prikazan jer je negativan IP, što znači da projekt neće biti isplativ. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



Slika 28 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za O-2

## 6.2.3. Scenarij naselja Olajnica 3

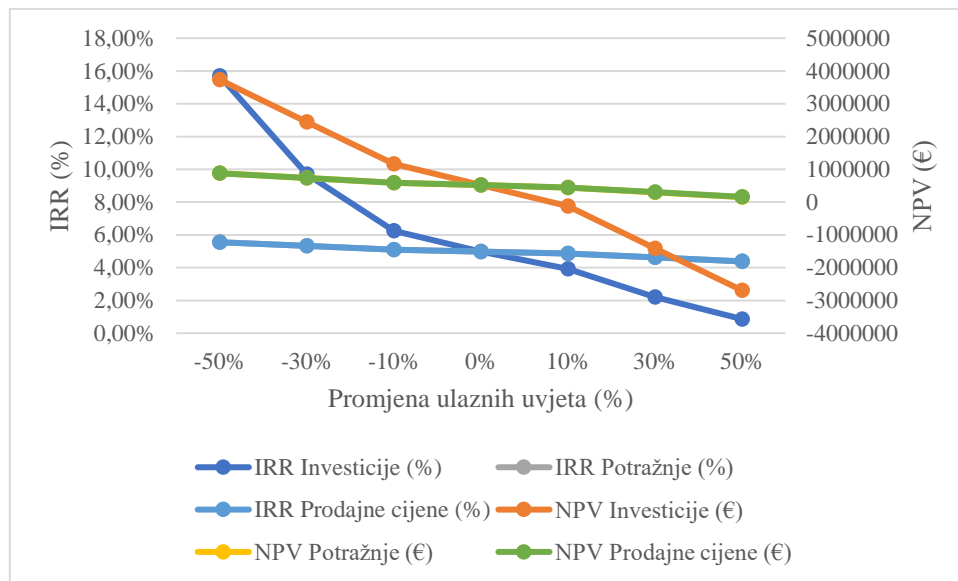
Tablica 14 Rezultati tehno ekonomske analize O-3

Veličina	Iznos	Jedinica
Duljina cjevovoda	1000	m
Broj bušotina	2	
Investicijski troškovi	6.426.260,00	EUR
Varijabilni O&M	824,79	EUR/godina
Godišnji prihod od prodaje toplinske energije	315.481,95	EUR
Godišnja ušteda učinkovitijeg sustava	102.597,63	EUR
IRR	4,98	%
NPV	518.031,27	EUR
Rok povrata investicije	21,28	Godina
Indeks profitabilnosti	8,06	%

Slika 29. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podatak za scenarij O-3. S negativnom promjenom od 50 % dobit ćemo najveće iznose NPV-a, a samim time i IRR-a, dok će se u suprotnome, dobivati najmanji iznosi. Kada će povećanje iznositi 10 %, 30 % i 50 %, vrijednosti NPV-a će biti negativne, što znači da projekt neće biti isplativ u planiranom tijeku trajanja. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i

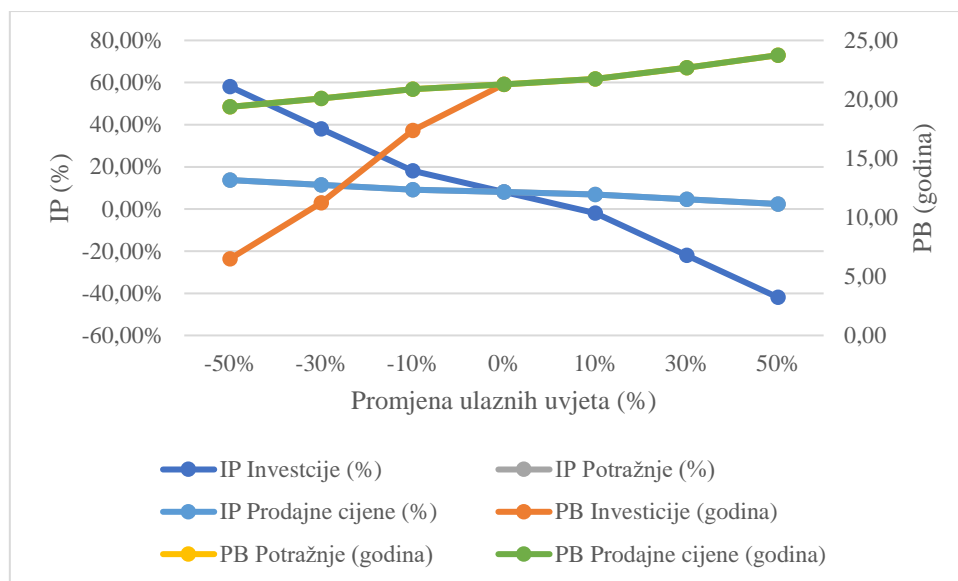


Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



**Slika 29 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za O-3**

Slika 30. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podatak za scenarij O-3. S negativnom promjenom za 50 % dobit će se najveći iznos IP-a, a samim time će i broj godina za isplativost projekta biti manji. U suprotnome, kada povećanje bude 10 %, 30 % i 50 %, broj godina za isplativost projekta nije prikazan jer je negativan IP, što znači da projekt neće biti isplativ. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



Slika 30 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za O-3

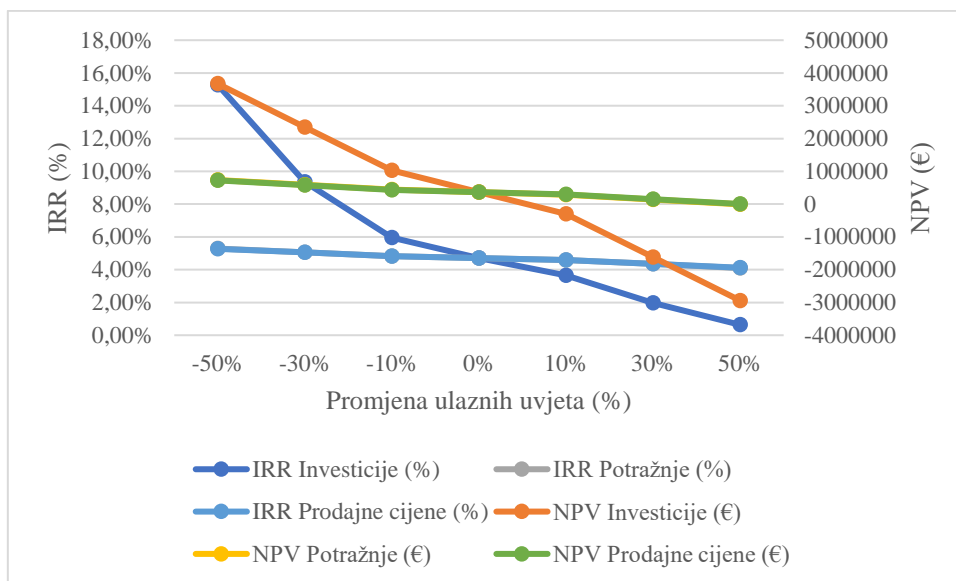
## 6.2.4. Scenarija naselja Olajnica 4

Tablica 15 Rezultati tehno ekonomske analize O-4

Veličina	Iznos	Jedinica
Duljina cjevovoda	2000	m
Broj bušotina	2	
Investicijski troškovi	6.612.520,00	EUR
Varijabilni O&M	1649,58	EUR/godina
Godišnji prihod od prodaje toplinske energije	315.481,95	EUR
Godišnja ušteda učinkovitijeg sustava	102.597,63	EUR
IRR	4,71	%
NPV	363.724,56	EUR
Rok povrata investicije	22,33	Godina
Indeks profitabilnosti	5,50	%

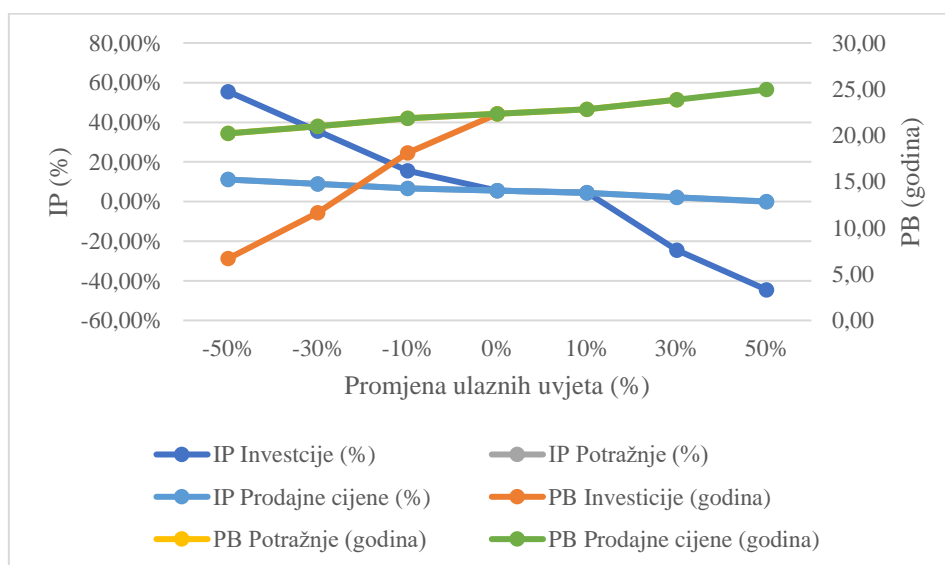
Slika 31. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podatak za scenarij O-4. S negativnom promjenom od 50 % dobit ćemo najveće iznose NPV-a, a samim time i IRR-a, dok će se u suprotnome, dobivati najmanji iznosi. Kada će povećanje iznositi 10 %, 30 % i 50 %, vrijednosti NPV-a će biti negativne, što znači da projekt neće biti isplativ u planiranom tijeku trajanja. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i

Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



**Slika 31 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IRR i NPV za O-4**

Slika 32. prikazuje analizu osjetljivosti na promjenu ulaznih podatak za scenarij O-4. S negativnom promjenom za 50 % dobit će se najveći iznos IP-a, a samim time će i broj godina za isplativost projekta biti manji. U suprotnome, kada povećanje bude 10 %, 30 % i 50 %, broj godina za isplativost projekta nije prikazan jer je negativan IP, što znači da projekt neće biti isplativ. Može se primijetiti kako se promijene, za Prodajnu cijenu toplinske energije i Potražnju toplinske energije, poklapaju. Razlog tome je što su oba uvjeta proračunski povezana te promjenom parametara u istom smjeru promijene, dobit će se isti rezultat za oba slučaja.



**Slika 32 Utjecaj promjene ulaznih uvjeta na IP i PB za O-4**

## 7. ZAKLJUČAK

Zajedničkim korištenjem CTS-a i geotermalne toplinske energije mogu se postići znatne uštede učinkovitijeg sustava.

U ovome radu su obrađene dvije lokacije s 4 različita scenarija za svaku lokaciju. Najpovoljnije rezultate je dalo Borovo Naselje jer ima veću toplinsku potražnju od naselja Olajnica, što znači da će Godišnji prihod od prodaje toplinske energije biti veća za Borovo Naselje. IRR za najpovoljniji slučaj Borovog Naselja, kada je udaljenost geotermalnog izvora iznosila 0 m, je iznosio 7,77 %, dok je IRR za najpovoljniji slučaj naselja Olajnica, geotermalni izvor se isto nalazio na udaljenosti od 0 m, iznosio 5,26 %. Promjena cijene investicije za Borovo Naselje je tek u krajnjim slučajevima, kada je udaljenost bila najveća i kada je promjena investicije bila najveća, ostvarivala negativne vrijednosti NPV-a, dok je naselja Olajnica imalo negativan NPV i kod najmanjih udaljenosti s povećanjem cijene investicije. U najnepovoljnijem slučaju, kada bi udaljenost geotermalnog izvora iznosila 2000 m, IRR Borovog Naselja je iznosio 6,90 %, a IRR naselja Olajnica 4,71 %. Utjecaj promijene cijene investicije znatno je bio veći od promijene potražnje toplinske energije i prodajne cijene toplinske energije. Promijene potražnje toplinske energije i prodajne cijene toplinske energije su se poklapale zato što su oba uvjeta bila proračunski povezana, te su im iz tog razloga promijene bile jednake.

## LITERATURA

- [1] Geothermal energy - Renewable, Heat, Power | Britannica. [Online].; 2024  
[Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s:  
<https://www.britannica.com/science/geothermal-energy/History>
- [2] How does geothermal energy work to produce electricity? [Online].; 2023  
[Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s: <https://www.sciencefocus.com/science/how-does-geothermal-energy-work-to-produce-electricity>
- [3] Geotermalne Elektrane. [Online].; 2024 [Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s:  
<https://www.hrastovic-inzenjering.hr/elektricna-energija/geotermalne-elektrane.html>
- [4] Geothermal Energy. [Online].; 2024 [Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s:  
<https://education.nationalgeographic.org/resource/geothermal-energy>
- [5] What exactly is 'district heating'? [Online].; 2021 [Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s:  
<https://www.bmwk-energiawende.de/EWD/Redaktion/EN/Newsletter/2021/03/Meldung/direkt-account.html>
- [6] Technology data, Generation of Electricity and District heating. [Online].; 2016  
[Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s:  
[https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology\\_data\\_catalogue\\_for\\_el\\_and\\_dh.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_catalogue_for_el_and_dh.pdf)
- [7] EGEN GEOTHERMAL MARKET REPORT. [Online].; 2023 [Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s: [https://www.egec.org/wp-content/uploads/2023/05/EGEC-Market-Report-2022\\_Key-Findings.pdf](https://www.egec.org/wp-content/uploads/2023/05/EGEC-Market-Report-2022_Key-Findings.pdf)
- [8] Plan razvoja geotermalnog potencijala Republike Hrvatske do 2030. [Online].; 2023  
[Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s:  
<https://mingor.gov.hr/UserDocsImages//UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU//Plan%20razvoja%20geotermalnog%20potencijala%20Republike%20Hrvatske%20do%202030..pdf>
- [9] Program korištenja potencijala za učinkovitost u grijanju i hlađenju za razdoblje 2016. – 2030. [Online].; 2015 [Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s:  
[https://energy.ec.europa.eu/system/files/2017-09/croatia\\_report\\_eed\\_art\\_141update\\_hr\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2017-09/croatia_report_eed_art_141update_hr_0.pdf)

- [10] Potencijal obnovljivih izvora energije u Vukovarsko – srijemskoj županiji. [Online] 2016 [Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s: [https://www.door.hr/wp-content/uploads/2016/01/REPAM\\_studija\\_16\\_vukovarsko-srijemska-2.pdf](https://www.door.hr/wp-content/uploads/2016/01/REPAM_studija_16_vukovarsko-srijemska-2.pdf)
- [11] Vukovar, geotermalno grijanje - Hrastović Inženjering. [Online].; 2024 [Pristupljeno: 2024. Siječanj. Preuzeto s: <https://www.hrastovic-inzenjering.hr/primjena-energije/energetski-clanci/energijske-tehnologije/item/736-vukovar-geotermalno-grijanje.html>
- [12] Važeće cijene od 01.10.2022. [Online].; 2022 [Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s: [https://tehnostan-vukovar.hr/site/assets/files/1157/vazece\\_cijene\\_toplinske\\_energije\\_od\\_01\\_10\\_2022.pdf](https://tehnostan-vukovar.hr/site/assets/files/1157/vazece_cijene_toplinske_energije_od_01_10_2022.pdf)
- [13] Obavijest Europske komisije o referentnoj i diskontnoj stopi i stopi povrata u primjeni od 1. siječnja 2024. [Online].; 2024 [Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s: <https://mfin.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/koncesije-dp/ref/Obavijest%20Europske%20komisije%20o%20referentnoj%20i%20diskontnoj%20stopi%20i%20stopi%20povrata%20u%20primjeni%20od%201.%20sije%C4%8Dnja%202024.pdf>
- [14] Credit institutions' interest rate statistics for April 2023. [Online].; 2023 [Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s: <https://www.hnb.hr/en/-/objava-statistike-kamatnih-stop-a-kreditnih-institucija-za-travanj-2023>
- [15] Technology dana, Energy transport. [Online].; 2017 [Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s: [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology\\_data\\_for\\_energy\\_transport.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_for_energy_transport.pdf)
- [16] AMORTIZACIJA IMOVINE, AMORTIZACIJSKE STOPE I RASHODOVANJE. [Online].; 2021 [Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s: <https://www.virtualni-ured.net/racunovodstvo/item/321-stop-a-amortizacije-otpisadugotrajne-imovine.html>
- [17] Korugirana cijev SN8 DN-ID 400X6000. [Online].; 2024 [Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s: <https://minja-commerc.hr/cijevi-korugirane/korugirane-cijevi-unutarnjeg-promjera-400>
- [18] Procjena prijedloga projekta. [Online].; 2024 [Pristupljeno: 2024 Siječanj. Preuzeto s: [https://enerpedia.net/index.php/ENERGETSKA\\_EKONOMIKA#Procjena\\_prijedloga\\_projekta](https://enerpedia.net/index.php/ENERGETSKA_EKONOMIKA#Procjena_prijedloga_projekta)