

# Simulacija mikromreže zgrade gotovo nulte energetske potrošnje pomoću modela RES2GEO

---

Suton, Darinko

Master's thesis / Diplomski rad

2022

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:220676>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-27**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij naftnog rudarstva

**SIMULACIJA MIKROMREŽE ZGRADE GOTOVO NULTE  
ENERGETSKE POTROŠNJE POMOĆU MODELA RES2GEO**

Diplomski rad

Darinko Suton

N341

Zagreb, 2022.

SIMULACIJA MIKROMREŽE ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGETSKE  
POTROŠNJE POMOĆU MODELA RES2GEO

DARINKO SUTON

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Procjenjuje se da su zgrade u EU odgovorne za 40% potrošene sveukupne energije i 36% emisija CO<sub>2</sub> što ih čini velikim potrošačima energije i zagađivačima okoliša, te su iz tog razloga postavljeni novi kriteriji za njihovu izgradnju. Radi se o takozvanim zgradama nulte energetske potrošnje (engl. *Nearly zero energy building – NZEB*) koje se temelje na potrošnji izuzetno niskih količina energije i pridobivanju energije primarno iz obnovljivih izvora. Svrha ovog rada je provesti tehnoeкономsku analizu energetske opskrbe definiranog stambenog kompleksa. Za izračun energetske tokova stambenog kompleksa i energetske bilance plitkog geotermalnog ležišta, kao i za određivanje referentnog scenarija korišten je model RES2GEO. Radi se o internom modelu napisanom u programu Python v3.8. Izmjenom parametara referentnog scenarija generirano je mnoštvo razmatranih scenarija, te je za svaki scenarij provedena tehnoeкономska analiza korištenjem programa Python v3.8. i MS Excel. U ovom radu je prikazana analiza scenarija koji najviše utječu na promjenu energetske opskrbe stambenog kompleksa u tehničkom i ekonomskom pogledu, te grafički prikaz analize osjetljivosti u kojoj se može vidjeti utjecaj različitih parametara na isplativost razmatranih scenarija.

Ključne riječi: NZEB, energija, emisije CO<sub>2</sub>, obnovljivi izvori energije, geotermalna energija, tehnoeкономska analiza, NPV energetske sustava, LCOE

Diplomski rad sadrži: 62 stranice, 24 slike, 41 tablicu, 15 referenci  
Jezik izvornika: Hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Pierrotijeva 6, Zagreb

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

Ocjenjivači: Dr. sc. Luka Perković, izvanredni profesor RGNF-a  
Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica RGNF-a  
Dr. sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNF-a

Datum obrane: 9. 9. 2022., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

SIMULATION OF NEARLY ZERO ENERGY BUILDING MICROGRID  
USING RES2GEO MODEL

DARINKO SUTON

Thesis completed in: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Petroleum and Gas Engineering and Energy  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

It is estimated that buildings in EU are responsible for 40% of total energy consumption and 36% of CO<sub>2</sub> emissions, making them major energy consumers and polluters. Therefore new criteria has been set for their construction. These are so-called Nearly Zero Energy Buildings (NZEB), which are based on the consumption of extremely low amounts of energy and obtaining energy primarily from renewable energy sources. The purpose of this thesis is to conduct a techno-economic analysis of the energy supply of a defined housing complex. RES2GEO model was used to calculate the energy flows of the housing complex and the energy balance of the shallow geothermal reservoir, as well as to determine the reference scenario. This is an in-house model written in Python v3.8. By changing the parameters of the reference scenario, a multitude of considered scenarios were generated, and for each scenario, a technoeconomic analysis was performed using Python v3.8 and MS Excel. This thesis presents an analysis of scenarios that have the greatest effect on the change of energy supply of the housing complex in technical and economic terms and provides a graphical representation of sensitivity analysis where the impact of different parameters on cost-effectiveness of the considered scenarios is clearly visible.

Keywords: NZEB, energy, CO<sub>2</sub> emissions, renewable energy sources, geothermal energy, technoeconomic analysis, NPV of energy system, LCOE

Thesis contains: 62 pages, 24 figures, 41 tables, 15 references

Original in: Croatian

Thesis deposited at: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Pierrotijeva 6, Zagreb

Supervisor: Associate Professor Luka Perković, PhD

Reviewers: Associate Professor Luka Perković, PhD  
Full Professor Daria Karasalihović Sedlar, PhD  
Full Professor Tomislav Kurevija, PhD

Date of defense: September 9, 2022., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

<b>SADRŽAJ</b>	
<b>POPIS SLIKA</b> .....	I
<b>POPIS TABLICA</b> .....	III
<b>POPIS KRATICA</b> .....	V
<b>POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH JEDINICA</b> .....	VII
<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. METODA</b> .....	2
2.1. Proračun energetske tokova .....	2
2.2. Proračun energetske bilance plitkog ležišta .....	3
2.3. Tehnoekonomska analiza .....	5
2.4. Emisije .....	8
<b>3. ANALIZA REZULTATA</b> .....	10
3.1. Opis zajedničkih postavki za svaki scenarij .....	10
3.2. Prikaz razmatranih scenarija .....	11
3.3. Opis parametara razmatranih scenarija .....	12
3.4. Rezultati .....	15
3.4.1. Referentni scenarij .....	15
3.4.2. Solarni paneli -20% .....	22
3.4.3. Solarni paneli +20% .....	28
3.4.4. Broj bušotina -20% .....	34
3.4.5. Broj bušotina +20% .....	40
3.4.6. Diskontna stopa -20% .....	46
3.4.7. Diskontna stopa +20% .....	49
3.4.8. Cijena el. energije -20% .....	52
3.4.9. Cijena el. energije +20% .....	55
3.4.10. Preostali scenariji .....	58
3.5. Analiza osjetljivosti .....	58
<b>4. ZAKLJUČAK</b> .....	60
<b>5. LITERATURA</b> .....	61

## POPIS SLIKA

<b>Slika 2-1.</b> Shema energetskeg sustava (mikromreže) u modelu RES2GEO.....	2
<b>Slika 2-2.</b> Shematski prikaz ležišta i koaksijalnog bušotinskog izmjenjivača topline.....	4
<b>Slika 3-1.</b> Energetski tokovi na godišnjoj razini – REF.....	15
<b>Slika 3-2.</b> Energetska bilanca na godišnjoj razini – REF.....	15
<b>Slika 3-3.</b> Potražnja električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini – REF.....	16
<b>Slika 3-4.</b> Temperatura ležišta na godišnjoj razini – REF.....	16
<b>Slika 3-5.</b> Energetski tokovi na godišnjoj razini – Solar -20%.....	22
<b>Slika 3-6.</b> Energetska bilanca na godišnjoj razini – Solar -20%.....	22
<b>Slika 3-7.</b> Potražnja električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini – Solar -20%.....	23
<b>Slika 3-8.</b> Prosječna temperatura ležišta na godišnjoj razini – Solar -20%.....	23
<b>Slika 3-9.</b> Energetski tokovi na godišnjoj razini – Solar +20%.....	28
<b>Slika 3-10.</b> Energetska bilanca na godišnjoj razini – Solar +20%.....	28
<b>Slika 3-11.</b> Potražnja električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini – Solar +20%.....	29
<b>Slika 3-12.</b> Prosječna temperatura ležišta na godišnjoj razini – Solar +20%.....	29
<b>Slika 3-13.</b> Energetski tokovi na godišnjoj razini – Broj bušotina -20%.....	34
<b>Slika 3-14.</b> Energetska bilanca na godišnjoj razini – Broj bušotina -20%.....	34
<b>Slika 3-15.</b> Potražnja električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini – Broj bušotina -20%.....	35
<b>Slika 3-16.</b> Prosječna temperatura ležišta na godišnjoj razini – Broj bušotina -20%.....	35
<b>Slika 3-17.</b> Energetski tokovi na godišnjoj razini – Broj bušotina +20%.....	40
<b>Slika 3-18.</b> Energetska bilanca na godišnjoj razini – Broj bušotina +20%.....	40
<b>Slika 3-19.</b> Potražnja električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini – Broj bušotina +20%.....	41
<b>Slika 3-20.</b> Prosječna temperatura ležišta na godišnjoj razini – Broj bušotina +20%.....	41

<b>Slika 3-21.</b> Analiza osjetljivosti – NPV.....	59
<b>Slika 3-22.</b> Analiza osjetljivosti – LCOE.....	59

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 3-1.</b> Prikaz razmatranih scenarija.....	11
<b>Tablica 3-2.</b> Relevantni podaci o stambenom kompleksu 1 – REF.....	17
<b>Tablica 3-3.</b> Investicija – Geotermal. – REF.....	18
<b>Tablica 3-4.</b> Investicija – solar + baterija – REF.....	18
<b>Tablica 3-5.</b> Relevantni podaci o stambenom kompleksu 2 – REF.....	19
<b>Tablica 3-6.</b> NPV analiza – REF.....	20
<b>Tablica 3-7.</b> LCOE analiza – REF.....	21
<b>Tablica 3-8.</b> Relevantni podaci o stambenom kompleksu 1 – Solar –20%.....	24
<b>Tablica 3-9.</b> Investicija – solar + baterija – Solar -20%.....	24
<b>Tablica 3-10.</b> Relevantni podaci o stambenom kompleksu 2 – Solar -20%.....	25
<b>Tablica 3-11.</b> NPV analiza – Solar -20%.....	26
<b>Tablica 3-12.</b> LCOE analiza – Solar -20%.....	27
<b>Tablica 3-13.</b> Relevantni podaci o stambenom kompleksu 1 – Solar +20%.....	30
<b>Tablica 3-14.</b> Investicija – solar + baterija – Solar +20%.....	30
<b>Tablica 3-15.</b> Relevantni podaci o stambenom kompleksu 2 – Solar +20%.....	31
<b>Tablica 3-16.</b> NPV analiza – Solar +20%.....	32
<b>Tablica 3-17.</b> LCOE analiza – Solar +20%.....	33
<b>Tablica 3-18.</b> Relevantni podaci o stambenom kompleksu 1 – Broj bušotina -20%.....	36
<b>Tablica 3-19.</b> Investicija – Geotermal. – Broj bušotina -20%.....	36
<b>Tablica 3-20.</b> Relevantni podaci o stambenom kompleksu 2 – Broj bušotina -20%.....	37
<b>Tablica 3-21.</b> NPV analiza – Broj bušotina -20%.....	38
<b>Tablica 3-22.</b> LCOE analiza – Broj bušotina -20%.....	39
<b>Tablica 3-23.</b> Relevantni podaci o stambenom kompleksu 1 – Broj bušotina +20%.....	42
<b>Tablica 3-24.</b> Investicija – Geotermal. – Broj bušotina +20%.....	42
<b>Tablica 3-25.</b> Relevantni podaci o stambenom kompleksu 2 – Broj bušotina +20%.....	43
<b>Tablica 3-26.</b> NPV analiza – Broj bušotina +20%.....	44



<b>Tablica 3-27.</b> LCOE analiza – Broj bušotina +20%.....	45
<b>Tablica 3-28.</b> Relevantni podaci u stambenom kompleksu – Diskontna stopa -20%.....	46
<b>Tablica 3-29.</b> NPV analiza – Diskontna stopa -20%.....	47
<b>Tablica 3-30.</b> LCOE analiza – Diskontna stopa -20%.....	48
<b>Tablica 3-31.</b> Relevantni podaci o stambenom kompleksu – Diskontna stopa +20%.....	49
<b>Tablica 3-32.</b> NPV analiza – Diskontna stopa +20%.....	50
<b>Tablica 3-33.</b> LCOE analiza – Diskontna stopa +20%.....	51
<b>Tablica 3-34.</b> Relevantni podaci o stambenom kompleksu – Cijena el. energije -20%.....	52
<b>Tablica 3-35.</b> NPV analiza – Cijena el. energije -20%.....	53
<b>Tablica 3-36.</b> LCOE analiza – Cijena el. energije -20%.....	54
<b>Tablica 3-37.</b> Relevantni podaci o stambenom kompleksu – Cijena el. energije +20%.....	55
<b>Tablica 3-38.</b> NPV analiza – Cijena el. energije +20%.....	56
<b>Tablica 3-39.</b> LCOE analiza – Cijena el. energije +20%.....	57
<b>Tablica 3-40.</b> Rezultati NPV analize svih razmatranih scenarija.....	58
<b>Tablica 3-41.</b> Rezultati LCOE analize svih razmatranih scenarija.....	58

## **POPIS KRATICA**

CAPEX – engl. *Capital Expenditures*

CO<sub>2</sub> – ugljikov dioksid

COP – engl. – *Coefficient of Performance*

COP - faktor učinka toplinske pumpe

C<sub>p</sub>' - cijena plina u početnoj godini simulacije, HRK

C<sub>p</sub> - cijena plina, HRK

C<sub>s</sub>' - cijena struje u početnoj godini simulacije, HRK

C<sub>s</sub> - cijena struje, HRK

E' - emisije konvencionalnog sustava grijanja na plinski bojler, tCO<sub>2</sub>

E - emisije referentnog scenarija, tCO<sub>2</sub>

e<sub>p</sub> - eskalacija cijene plina, %

e<sub>s</sub> - eskalacija cijene struje, %

EST - ulazna temperatura iz izvora tj. primarnog kruga, °C

EU – Europska unija

g - godina

i - diskontna stopa, %

IZ - izvezena električna energija, kWh

LCOE - engl. *Levelized Cost of Energy*, HRK/kWh

NPV – engl. *Net Present Value*, HRK

NZEB – engl. *Nearly zero energy building*

ODS – operator distribucijskog sustava

OIE – obnovljivi izvori energije

OPEX – engl. *Operative Expenditures*

P<sub>t</sub> - potražnja toplinske energije, kWh

PVGIS - engl. *Photovoltaic Geographical Information System*

REF – referentni scenarij

RES – engl. *Renewable Energy Sources*

RES - proizvedena električna energija uz pridodan izvoz električne energije, kWh

RES2GEO – engl. *Renewable Energy Sources to Geothermal*

T - trošak, HRK

T<sub>D</sub> - diskontinuirani trošak, HRK

U - kumulativna ušteda, HRK

U<sub>D</sub> - diskontinuirana ušteda, HRK

U<sub>e</sub> - ušteda električne energije, HRK

U<sub>e</sub>' - ušteda električne energije, kWh

U<sub>t</sub> - ušteda toplinske energije, HRK

U<sub>t</sub>' - ušteda toplinske energije, kWh

UV - uvezena električna energija, HRK

UV' - uvezena električna energija, kWh

## **POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH JEDINICA**

A - površina izmjene topline,  $m^2$

c - specifični toplinski kapacitet,  $kJ/kgK$

$c_w$  - specifični toplinski kapacitet vode,  $kJ/kgK$

k - koeficijent prolaza topline,  $W/m^2K$

m - masa, kg

$q_w$  - maseni protok vode,  $kg/s$

T – temperatura pojedine ćelije, K

$\lambda$  - toplinska vodljivost,  $W/mK$

$\rho$  – gustoća,  $kg/m^3$

## 1. UVOD

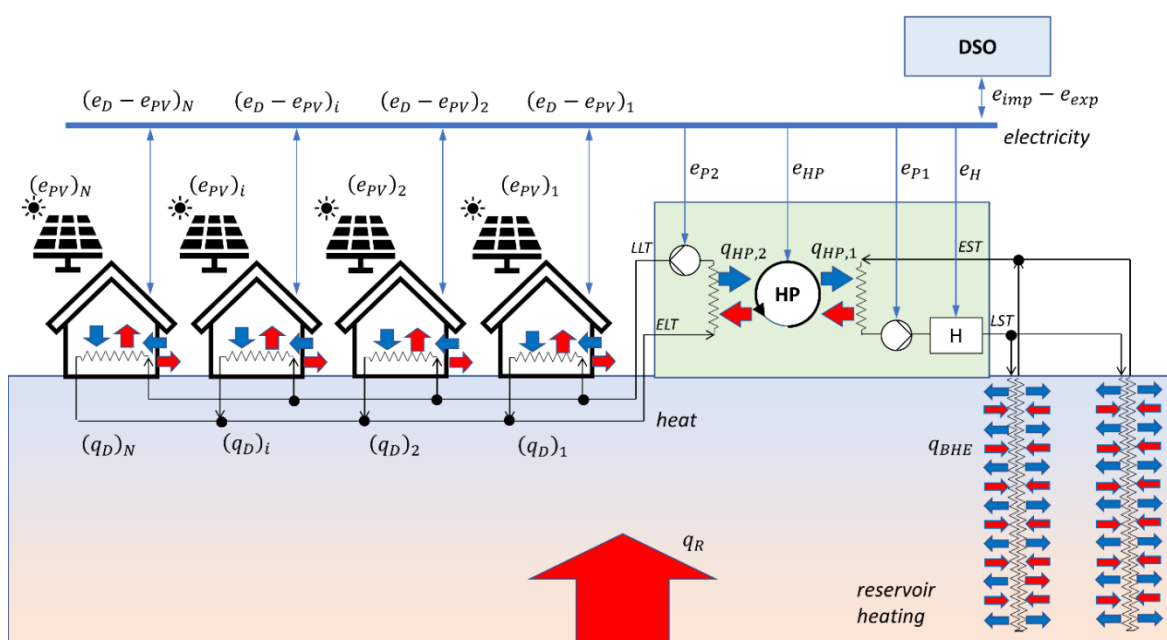
Energetska strategija Europske unije sastoji se od pet blisko povezanih ciljeva koje se međusobno nadopunjavaju i one čine stupove energetske razvoja EU: sigurnost opskrbe, integracija u jedinstveno tržište, smanjenje potrošnje energije odnosno povišenje energetske učinkovitosti, smanjenje emisija CO<sub>2</sub> i poticanje istraživanja i razvoja. Procjenjuje se da su zgrade u EU odgovorne za 40% potrošene sveukupne energije i 36% emisija CO<sub>2</sub> što ih čini velikim potrošačima energije i zagađivačima okoliša, te su iz tog razloga postavljeni novi kriteriji za njihovu izgradnju (MPUGDI, 2019). Radi se o takozvanim zgradama nulte energetske potrošnje (engl. *Nearly Zero Energy Building – NZEB*) koje se temelje na potrošnji izuzetno niskih količina energije i pridobivanju energije primarno iz obnovljivih izvora energije. Također, zakonska je obaveza da projekt za nove zgrade nakon 31. prosinca 2017. godine moraju biti izrađene po kriterijima NZEB za sve javne zgrade, a nakon 31. prosinca 2019. godine i za sve ostale zgrade (MPUGDI, 2019). Isto tako treba reći da ne postoje univerzalna rješenja za postizanje NZEB standarda nego je potreban koordiniran pristup svih struka koje sudjeluju u projektiranju zgrade kako bi energetske potrebe zgrade bile što niže.

Od ukupne energetske potrošnje zgrade, 50% odlazi na grijanje, klimatizaciju i ventiliranje iste, što ukazuje na neupitnu važnost energetske sektora u projektiranju zgrada gotovo nulte energetske potrošnje (Gondal, 2020). S obzirom da je jedna od glavnih tehničkih karakteristika NZEB-a pridobivanje minimalno 30% energije iz OIE („obnovljivi izvori energije“) mogućnost iskorištavanja plitkih geotermalnih potencijala je neupitna (MPUGDI, 2019). Činjenica je da je razvoj plitkih geotermalnih energetske potencijala znatno sporiji od ostalih OIE, primjerice energije vjetera ili sunca, stoga je puni potencijal geotermalne energije ostao inhibiran, te je potrebno dodatno istraživanje geotermalnih potencijala kako bi što prije došlo do komercijalne implementacije zgrada gotovo nulte energetske potrošnje. Cilj ovog rada je pokazati kako se integracijom OIE sa plitkim geotermalnim izvorima pri izgradnji mikromreže zgrada gotovo nulte energetske potrošnje ostvaruje manji CAPEX (engl. *Capital Expenditures*) i OPEX (engl. *Operative Expenditures*), te veći COP (engl. *Coefficient of Performance*), što ukazuje na znatno kvalitetniju ukupnu učinkovitost cijele mikromreže kao sustava koji se temelji na jednom od glavnih stupova energetske razvoja EU, smanjenju potrošnje energije tj. povišenju energetske učinkovitosti.

## 2. METODA

### 2.1. Proračun energetskih tokova

U ovom radu je korišten model est (engl. *Renewable Energy Sources to Geothermal*) (Perković, 2021). Ovo je interni model napisan u Pythonu v3.8. za trenutni rad i predstavljen u ovom odjeljku. Model za ulazne podatke uzima energetske zahtjeve i parametre okoliša. Kao rezultat, procjenjuje korištenje primarne energije iz obnovljivih izvora energije (PV i plitka geotermalna ležišta), uvoz/izvoz električne energije, kao i operativne i investicijske troškove sustava. Može simulirati višegodišnje scenarije s dovoljno malim vremenskim koracima, uravnotežujući sve tokove električne i toplinske energije. Shema je prikazana na Slici 2-1.



**Slika 2-1.** Shema energetskog sustava (mikromreže) u modelu RES2GEO

(Perković, 2021)

Tokovi električne i toplinske energije (ponuda i potražnja) uravnoteženi su na satnoj bazi. Model uzima u obzir toplinsku inerciju plitkog geotermalnog ležišta koje se modelira kao sustav s distribuiranim parametrima. Vremenski korak simulacije je jedna četvrtina sata, a rezultati se zapisuju svakih sat vremena.

Faktor učinka toplinske pumpe se računa prema formuli:

$$COP = 0,0029 * EST^2 + 0,0958 * EST + 3,3662 \quad (2-1)$$

gdje su:

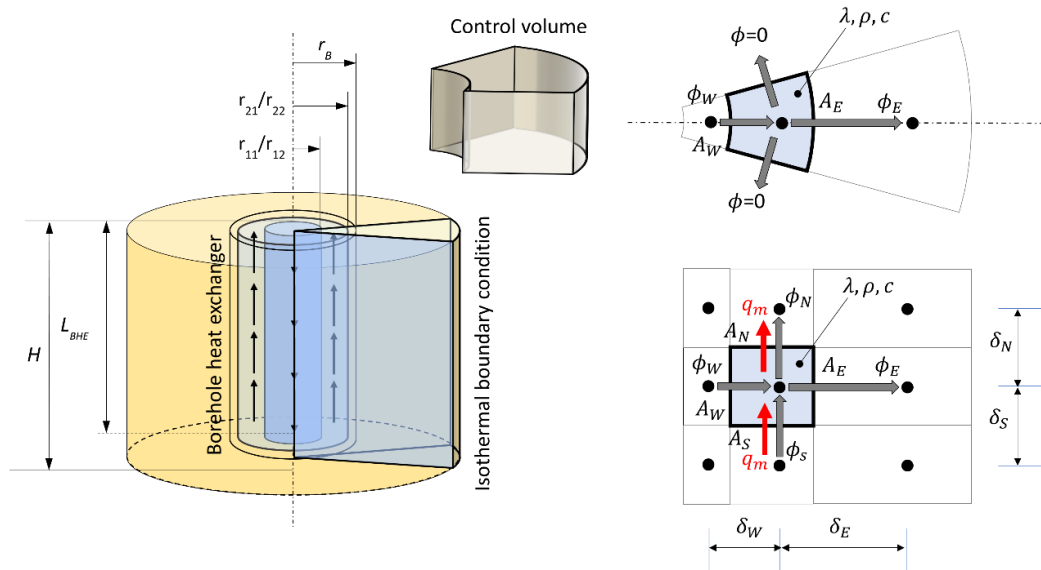
COP - faktor učinka toplinske pumpe

EST - ulazna temperatura iz izvora tj. primarnog kruga, °C

Tijekom razdoblja grijanja, EST je jednak temperaturi vode iz ležišta (računa se u zasebnom podmodelu), a tijekom razdoblja hlađenja temperatura je pretpostavljena na 12 °C (temperatura povrata iz hlađenog objekta). Tijekom sezone grijanja primarni cirkulacijski krug je između ležišta i toplinske pumpe, a tijekom sezone hlađenja primarni cirkulacijski krug je između hlađenog objekta i toplinske pumpe.

## 2.2. Proračun energetske bilance plitkog ležišta

Geotermalno ležište je modelirano u podmodelu kao koncentrični valjkasti oblik koji je aksijalno simetričan. Aksijalna simetrija nam omogućuje modeliranje ležišta kao tzv. kriške tj. 2D odsječka (vidi Sliku 2-2.). Modeliranje je s distribuiranim parametrima i povezan s modelom energetske sustava. Uloga ovog modela je procjena EST-a i utjecaja toplinske inercije ležišta. U ležištu se promijene temperature događaju značajno sporije od promjena u potražnji za električnom i toplinskom energijom i sunčeve insolacije, a potrebno je opisati i tzv. skin efekt.



**Slika 2-2.** Shematski prikaz ležišta i koaksijalnog bušotinskog izmjenjivača topline (Perković, 2021)

Ležište je podijeljeno u ćelije (kontrolne volumene), a rješenje se dobiva numerički rješavanjem bilance energije u svakoj ćeliji. Pri tome susjedne ćelije dijele svojstva na zajedničkoj površini. Rubovi domene su zadani preko temperatura, pri čemu je porast temperature u smjeru dubine na granici domene određen geotermalnim gradijentom. Jednadžba bilance pojedine ćelije je:

$$\frac{\Delta(m c T)}{\Delta T} = \sum_{i=N,S,W,E} \{k_i A (T_i - T) + q_m c_{w,i} (T_i - T)\} \quad (2-2)$$

gdje su:

m - masa, kg

c - specifični toplinski kapacitet, kJ/kgK

T - temperatura pojedine ćelije, K

k - koeficijent prolaza topline, W/m<sup>2</sup>K

A - površina izmjene topline, m<sup>2</sup>

q<sub>w</sub> - maseni protok vode, kg/s

c<sub>w</sub> - specifični toplinski kapacitet vode, kJ/kgK



Pozitivni predznaci za konvektivni i konduktivni prijenos topline i maseni protok odgovaraju smjerovima naznačenim na slici. Konvektivni dio jednadžbe je prisutan samo u onim ćelijama u kojima imamo strujanje fluida, a to su ćelije u kružnom i prstenastom prostoru bušotinskog izmjenjivača topline. Za izračun sveukupnog koeficijenta prolaza topline  $k$ , trebamo poznavati sva fizikalna svojstva radne tvari vode i materijala unutar ležišta. To podrazumijeva toplinske vodljivosti  $\lambda$ , specifičnog toplinskog kapaciteta  $c$  i gustoće  $\rho$  za tlo, bentonit, polietilen i vodu. Voda je modelirana kao savršeno nestlačivi medij.

### 2.3. Tehnoekonomska analiza

Tehnoekonomska analiza podrazumijeva izračun NPV-a i LCOE-a.

#### **Neto sadašnja vrijednost (engl. *Net Present Value - NPV*)**

za proračun NPV-a upotrijebljena je ušteda dobivena iz simulacije prve godine za svih 25 godina. Kako je u cijenu struje uračunata i realna eskalacija od 2%, cijena struje se računa po sljedećoj formuli:

$$C_s = C_s' * (1 + e_s)^g \quad (2-3)$$

gdje su:

$C_s$  - cijena struje, HRK

$C_s'$  - cijena struje u početnoj godini simulacije, HRK

$e_s$  - eskalacija cijene struje, %

$g$  - godina

S obzirom da je analiziran ekonomski parametar, uštedu električne energije je potrebno preračunati u HRK. Ušteda električne energije u HRK se računa po formuli:

$$U_e = U_e' * C_s \quad (2-4)$$

gdje su:

$U_e$  - ušteda električne energije, HRK

$U_e'$  - ušteda električne energije, kWh

Kao i s električnom energijom, simulacija je pokazala da se ušteda toplinske energije značajno ne mijenja obzirom na promatranu godinu, te je za proračun također upotrijebljena ista vrijednost za svih 25 godina. Za razliku od električne energije, ušteda toplinske energije je jednaka za sve razmatrane scenarije jer u svim scenarijima toplinska energija dolazi iz jednog izvora, geotermalne energije, koja zamjenjuje plinski kotao, a vrijednost uštede je dana ranije u tekstu. U cijenu plina je uračunata realna eskalacija od 10%, te se cijena plina računa po formuli:

$$C_p = C'_p * (1 + e_p)^g \quad (2-5)$$

gdje su:

$C_p$  - cijena plina, HRK

$C'_p$  - cijena plina u početnoj godini simulacije, HRK

$e_p$  - eskalacija cijene plina, %

Kako analiziramo ekonomski parametar, uštedu toplinske energije je potrebno preračunati u HRK. Energetska ušteda toplinske energije u HRK se računa po formuli:

$$U_t = U'_t * C_p \quad (2-6)$$

gdje su:

$U_t$  - ušteda toplinske energije, HRK

$U'_t$  - ušteda toplinske energije, kWh

Za izračun toka novca potrebno je zbrojiti oba izvora uštede i na taj način dobiti kumulativnu uštedu po formuli:

$$U = U_e + U_t \quad (2-7)$$

gdje je:

$U$  - kumulativna ušteda, HRK

S obzirom da se radi o dugoročnoj investiciji, da bi simulacija bila što točnija, financijsku uštedu je potrebno diskontirati uvođenjem diskontne stope kako bi izračunali sadašnju

vrijednost budućeg novčanog toka. Iskorištena je realna diskontna stopa od 5%, a diskontinuirana ušteta se može izračunati iz sljedeće formule:

$$U_D = \frac{U}{(1+i)^g} \quad (2-8)$$

gdje su:

$U_D$  - diskontinuirana ušteta, HRK

$i$  - diskontna stopa, %

Na kraju, za dobivanje NPV-a nakon 25 godina od početne kapitalne investicije, potrebno je pribrajati financijsku diskontiranu uštedu investiciji sa negativnim predznakom za svaku godinu simulacije.

#### **Nivelirani trošak energije (engl. *Levelized Cost of Energy - LCOE*)**

Kako je LCOE veličina koja opisuje prosječnu neto sadašnju vrijednost generirane električne energije za određeni period, potrebne su dvije veličine za izračun iste, trošak i proizvedena energija kompleksa. Dio troška odlazi na početnu investiciju, dok ostatak odlazi na uvoz električne energije. Početna investicija je kapitalno ulaganje, dok je jedini operativni trošak uvezena električna energija, koju zbog potrebe proračuna treba izraziti u HRK. Uvezena električna energija u HRK računa se po formuli:

$$UV = UV' * C_S \quad (2-9)$$

gdje su:

$UV$  - uvezena električna energija, HRK

$UV'$  - uvezena električna energija, kWh

Simulacija je pokazala da se količina proizvedene električne energije od strane solarnih panela ne razlikuje značajno iz godine u godinu, te je stoga iskorištena vrijednost prve godine za svih 25 godina analize.

Isto tako, kao i u slučaju NPV analize, s obzirom da se radi o dugoročnoj investiciji, trošak je potrebno diskontirati, a diskontirani trošak se računa po sljedećoj formuli:

$$T_D = \frac{T}{(1+i)^g} \quad (2-10)$$

gdje su:

$T_D$  - diskontinuirani trošak, HRK

$T$  - trošak, HRK

Za izračun LCOE-a potrebno je zbrojiti ukupne troškove i ukupnu proizvedenu električnu energiju kojoj se pribraja i izvezena električna energija. LCOE se računa po sljedećoj formuli:

$$LCOE = \frac{T_D}{RES} \quad (2-11)$$

gdje su:

LCOE - engl. *Levelized Cost of Energy*, HRK/kWh

RES - proizvedena električna energija uz pridodan izvoz električne energije, kWh

#### 2.4. Emisije

Implementacija solarnih panela i geotermalnih dizalica topline kao zamjene za stopostotni uvoz električne energije i korištenje plinskih bojlera za grijanje stambenog kompleksa, zasigurno je značajan korak ka smanjenju emisija CO<sub>2</sub>. Emisijski faktor za električnu energiju je 0,1 gCO<sub>2</sub>/kWh, dok emisijski faktor za plin iznosi 0,22 gCO<sub>2</sub>/kWh. Znajući da godišnja potražnja toplinske energije iznosi 281.000 kWh, korištenjem sljedeće formule možemo izračunati emisije konvencionalnog sustava grijanja na plinski bojler:

$$E' = \frac{P_t * 0,22}{1000} \quad (2-12)$$

gdje su:

$E'$  - emisije konvencionalnog sustava grijanja na plinski bojler, tCO<sub>2</sub>

$P_t$  - potražnja toplinske energije, kWh

Za izračun emisija referentnog scenarija potrebno je znati količine uvezene i izvezene električne energije. Uvezena energija jednaka je 90.399 kWh/g, dok je izvezena energija jednaka 51.641 kWh/g. Emisija referentnog scenarija se računa korištenjem formule:

$$E = \frac{(UV-IZ)*0,1}{1000} \quad (2-13)$$

gdje su:

E - emisije referentnog scenarija, tCO<sub>2</sub>

UV - uvezena električna energija, kWh

IZ - izvezena električna energija, kWh

### 3. ANALIZA REZULTATA

#### 3.1. Opis zajedničkih postavki za svaki scenarij

Referentni scenarij predstavlja prostor od 5000 m<sup>2</sup> koji čini 20 stambenih objekata veličine 250 m<sup>2</sup>. Potražnja toplinske i električne energije je raspoređena na svih 20 stambenih objekata. Procjena satne potražnje toplinske energije je bazirana na normalnoj distribuciji koja sadrži razliku unutarnje i vanjske temperature, kompletan stambeni prostor i godišnju potražnju toplinske energije. Period grijanja je od 7:00 do 19:00 sati. Grijanje se uključuje ukoliko sobna temperatura padne ispod 20 °C, a isključuje ukoliko temperatura prijeđe 24 °C. Hlađenje se uključuje ukoliko sobna temperatura prijeđe 26 °C, a isključuje ukoliko temperatura padne ispod 22 °C. Izvan perioda grijanja, grijanje se uključuje ukoliko sobna temperatura padne ispod 14 °C, a isključuje ukoliko temperatura prijeđe 18 °C. Vanjska temperatura je procijenjena korištenjem platforme PVGIS (engl. *Photovoltaic Geographical Information System*) za pridobivanje energetske parametara. Godišnja potražnja toplinske energije za kompletan stambeni kompleks iznosi 281.000 kWh. Pretpostavlja se da kompleks ima stropno grijanje i hlađenje. Kako je potražnja za grijanjem deset puta veća od potražnje za hlađenjem, temperaturna regeneracija ležišta nije moguća samim odbacivanjem topline hlađenog prostora. Rješenje problema leži u električnom grijaču koji bi radio koristeći višak proizvedene energije iz solarnih panela.

Potražnja električne energije je procijenjena koristeći superpoziciju nasumične bimodalne distribucije oko dva vrhunca potrošnje u 7:00 i 19:00 sati. Potražnja električne energije podrazumijeva sve potrošače osim dizalice topline, cirkulacijske pumpe i električnog grijača. Godišnja potražnja električne energije za kompletan stambeni kompleks iznosi 81.200 kWh. Također, u modelu je zadan uvjet da uvoz električne energije mora biti veći na godišnjoj razini od izvoza električne energije.

Simulacije mikromreže su provedene za 25 različitih scenarija temeljene na analizi osjetljivosti NPV i LCOE rezultata na porast i pad od 20% svakog razmatranog parametra zasebno. Također su izračunate i emisije CO<sub>2</sub> za sve razmatrane scenarije. Tablica 3-1. prikazuje sve razmatrane scenarije.

### 3.2. Prikaz razmatranih scenarija

**Tablica 3-1. Prikaz razmatranih scenarija**

Scenarij	PRIKAZ RAZMATRANIH SCENARIJA											
	Parametri											
	Solar (kW)	Grijač (kW)	Broj bušotina (-)	Snaga baterije (kW)	Kapacitet baterije (kWh)	Dizalica topline (kW)	Tr. radnog fluida (°C)	Toplinska vodljivost tla (W/mK)	Promjeri (mm)	Dubina bušotine (m)	Diskontna stopa (%)	Cijena el. en. (HRK)
REF	<b>160</b>	<b>80</b>	<b>24</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>70</b>	<b>50</b>	<b>2,5</b>	T-32 C-63 CE-80	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>0,97</b>
Solar -20%	<b>128</b>	80	24	10	20	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Solar +20%	<b>192</b>	80	24	10	20	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Grijač -20%	160	<b>64</b>	24	10	20	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Grijač +20%	160	<b>96</b>	24	10	20	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Broj bušotina -20%	160	80	<b>20</b>	10	20	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Broj bušotina +20%	160	80	<b>28</b>	10	20	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Snaga baterije -20%	160	80	24	<b>8</b>	20	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Snaga baterije +20%	160	80	24	<b>12</b>	20	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Kapacitet baterije -20%	160	80	24	10	<b>16</b>	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Kapacitet baterije +20%	160	80	24	10	<b>24</b>	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Dizalica topline -20%	160	80	24	10	20	<b>56</b>	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Dizalica topline +20%	160	80	24	10	20	<b>84</b>	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Tr. Radnog fluida -20%	160	80	24	10	20	70	<b>40</b>	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Tr. Radnog fluida +20%	160	80	24	10	20	70	<b>60</b>	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Toplinska vodljivost tla -20%	160	80	24	10	20	70	50	<b>2</b>	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Toplinska vodljivost tla +20%	160	80	24	10	20	70	50	<b>3</b>	T-32 C-63 CE-80	100	5	0,97
Promjeri -20%	160	80	24	10	20	70	50	2,5	T-26 C-50 CE-64	100	5	0,97
Promjeri +20%	160	80	24	10	20	70	50	2,5	T-38 C-76 CE-96	100	5	0,97
Dubina bušotine -20%	160	80	24	10	20	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	<b>80</b>	5	0,97
Dubina bušotine +20%	160	80	24	10	20	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	<b>120</b>	5	0,97
Diskontna stopa -20%	160	80	24	10	20	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	<b>4</b>	0,97
Diskontna stopa +20%	160	80	24	10	20	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	<b>6</b>	0,97
Cijena el. en. -20%	160	80	24	10	20	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	<b>0,77</b>
Cijena el. en. +20%	160	80	24	10	20	70	50	2,5	T-32 C-63 CE-80	100	5	<b>1,17</b>

### 3.3. Opis parametara razmatranih scenarija

- **Solarni paneli**

Solarni paneli se sastoje od mnoštva ćelija izrađenih od materijala koji su poluvodiči, najčešće se radi o silikonu u kojem dolazi do stvaranja struje uslijed sunčevog zračenja. Količina generirane električne struje uvelike ovisi o klimatskim prilikama određene regije ovisno o količini dostupnog zračenja, kao o kutu i nagibu instaliranih solarnih panela. Isto tako značajan utjecaj na proizvedenu struju imaju konstrukcijske karakteristike samih panela kao i način instalacije istih. Prednost implementacije solarnih panela u energetske miks zgrade je mogućnost ugradnje panela na već postojeće zgrade, te su izuzetno važne karike u opskrbi zgrade električnom energijom.

- **Električni grijač**

Implementacijom solarnih panela u energetske miks zgrade često dolazi do viškova proizvedene električne energije koja se u slučaju izostanka prekoračenja može izvesti u ODS ili iskoristiti za performanse tehničkih parametara sustava. Jedan od načina iskorištavanja viška energije je pogon električnog grijača koji omogućuje bolju toplinsku rekuperaciju ležišta, te samim time omogućuje dulji radni vijek geotermalnog sustava, veće zalihe toplinske energije i manje troškove uvoza električne struje za rad toplinske pumpe.

- **Broj bušotina**

Određena kumulativna duljina bušotinskog izmjenjivača može se postići na različite načine. Manipulacija brojem i rasporedom bušotina svakako je nezanemariv faktor. Broj i raspored bušotina je bitan iz aspekta termalnih interferencija susjednih bušotina koje nastaju u slučaju prevelikog broja bušotina na određenom prostoru ili neadekvatnog rasporeda istih, pogotovo u kompaktnijim mrežama. Ova pojava nastaje uslijed manje toplinske energije sadržane u stijenskoj masi. Rezultat je nužnost povećanja kontaktne površine između cijevi i tla, odnosno povećanje dubine pojedinih bušotina izmjenjivača ili dostupnog stijenskog volumena za izmjenu topline, kako bi se kompenzirao utjecaj interferencija i naglog pothlađivanja tla već u prvim godinama korištenja sustava.



- **Baterija**

Neovisno o vrsti obnovljivih izvora energije, varijabilnost klimatskih prilika uvelike utječe na količinu generirane energije. Iz tog razloga, kako bi sačuvali sigurnost energetske opskrbe, potrebno je osigurati vrstu skladištenja proizvedene energije. Ponekad je električnu energiju nemoguće skladištiti u bateriju, pa se ta energija šalje u ODS kako izvoz električne energije ne bi bio veći od uvoza. Analizirani parametri baterije u ovom slučaju su bili snaga i kapacitet baterije.

- **Dizalica topline**

Toplinske pumpe se najčešće dijele na sustave s otvorenim i zatvorenim krugom gdje se sustav sa zatvorenim krugom još može podijeliti na 3 podsustava: vertikalne izmjenjivače topline, horizontalne izmjenjivače topline i sustave iskorištavanja topline površinskih voda. Za pravilno modeliranje sustava toplinske pumpe potrebno je poznavati pet ključnih parametara: geološke i termogeološke značajke stijena, hidrogeološke karakteristike tla i stijena, geotermalni gradijent i toplinski tok, tehnoekonomske parametre bušotina i klimatske uvjete iz kojih proizlazi režim rada toplinske pumpe kao i omjer potrebne energije za grijanje i hlađenje objekta.

- **Izlazna temperatura radnog fluida**

Toplinski množitelj dizalice topline direktno ovisi o razlici temperatura između izlazne temperature radnog fluida iz bušotinskog izmjenjivača topline i temperature polaznog voda prema potrošaču. Što je navedena razlika temperature manja dizalica topline imat će veći toplinski množitelj i posljedično biti ekonomski isplativija u odnosu na konvencionalne sustave koji sagorijevaju plin.

- **Toplinska vodljivost tla**

Veličina toplinske vodljivosti tla jedan je od najvažnijih parametara prilikom modeliranja geotermalnog sustava. Toplinska vodljivost sadrži termogeološke karakteristike tla i moguće su znatne varijacije za istu vrstu stijena, ovisno o gustoći, poroznosti i zasićenju vodom. Obzirom da je tlo do stotinjak metara dubina do koje se najčešće koriste bušotinski izmjenjivači za određene lokacije iznimno heterogeno s izmjenom propusnih i nepropusnih naslaga, veličinu toplinske vodljivosti je iznimno teško procijeniti bez in-situ testa toplinske vodljivosti ili laboratorijskih ispitivanja uzoraka bušenja.

- **Promjeri**

U bušotinskom izmjenjivaču topline postoji uzlazni i silazni tok fluida, te je jako važna udaljenost među cijevima uzlaznog i silaznog toka zbog toplinske interferencije koja se javlja među njima. Što su cijevi udaljenije, to je toplinska interferencija manja. Naravno da je u praksi nemoguće uvijek postići optimalan razmak, ali manipulacija promjerima je jedan od načina koji zasigurno utječe na toplinsku interferenciju uz niz drugih parametara. Razmatrani promjeri su: vanjski promjer uzlaznih i silaznih cijevi, vanjski promjer zaštitnih cijevi i promjer bušotine.

- **Dubina bušotine**

Pri modeliranju bušotinskog izmjenjivača topline dubina bušotine je jednako važna kao i broj i raspored bušotina. Projektiranjem polja za instalaciju geotermalnog sustava treba ustanoviti koji je optimalan oblik mreže, broj bušotina i razmak među istima. U slučaju kada nije moguće postići optimalan razmak među bušotinama, dolazi do utjecaja termalnih interferencija susjednih bušotina, pogotovo u kompaktnijim mrežama bušotina. Rezultat je nužnost povećavanja kontaktne površine između cijevi i tla, odnosno povećanje dubine pojedinih bušotina izmjenjivača ili dostupnog stijenskog volumena za izmjenu topline, kako bi se kompenzirao utjecaj interferencija i naglog pothlađivanja tla.

- **Diskontna stopa**

Diskontiranje označava postupak izračunavanja sadašnje vrijednosti budućih novčanih tokova. Postupak je suprotan ukamaćivanju koje označava izračun buduće vrijednosti sadašnjih novčanih tokova. Diskontna stopa određuje intenzitet diskontiranja i direktno utječe na izračun vrijednosti budućih novčanih tokova.

- **Cijena električne energije**

Za kupce kategorije kućanstvo, korisnike javne usluge opskrbe (univerzalna usluga) primjenjuju se tarifne stavke sukladno odredbama Zakona o tržištu električne energije. Kupac dobiva jedinstveni račun, koji obuhvaća obračun utrošene električne energije te naknade za korištenje mreže. S obzirom da je elektrifikacija energetske sektora jedan od važnijih ciljeva EU, cijena električne energije predstavlja značajan parametar za razmatranje u sljedećim analizama.

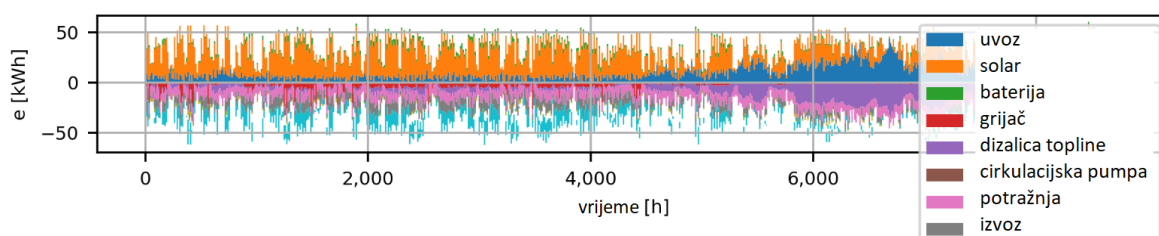
### 3.4. Rezultati

U poglavlju 3.2. nalazi se tablični prikaz svih razmatranih scenarija. Pojedini parametri imaju značajan utjecaj na rezultate tehnokonomske analize, dok je s druge strane utjecaj određenih parametara gotovo pa zanemariv. U poglavlju 3.1. su dane zajedničke postavke svih scenarija, a u ovom poglavlju će biti opisana tehnokonomska analiza referentnog scenarija i relevantnih usporednih scenarija, kao i emisije navedenih scenarija.

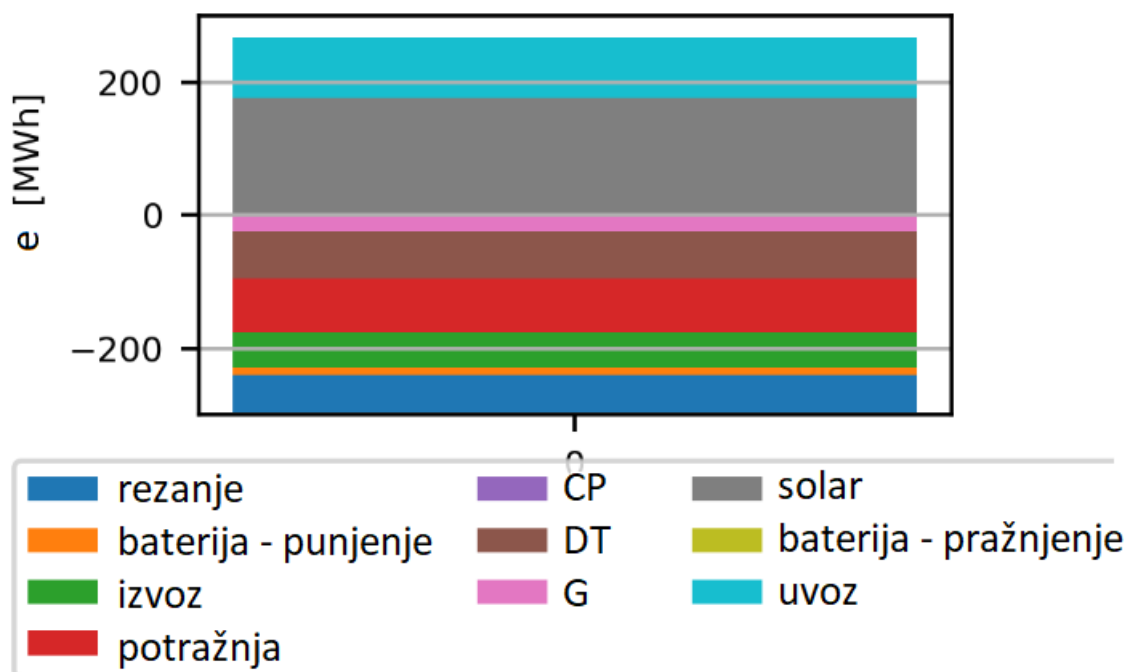
#### 3.4.1. Referentni scenarij

##### Tehnička analiza

Slika 3-1. prikazuje energetske tokove na godišnjoj razini, a slika 3-2. prikazuje energetske bilancu na godišnjoj razini.

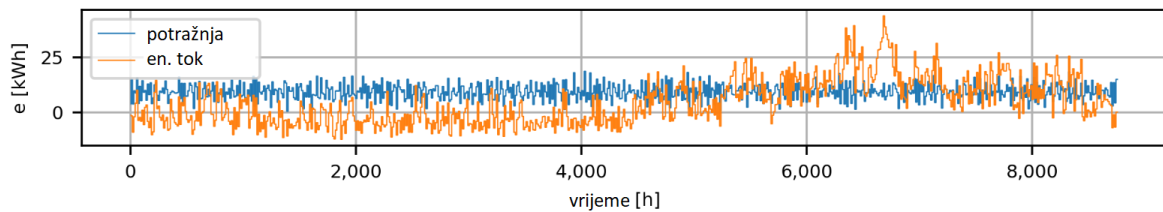


Slika 3-1. Energetski tokovi na godišnjoj razini – REF



Slika 3-2. Energetska bilanca na godišnjoj razini – REF

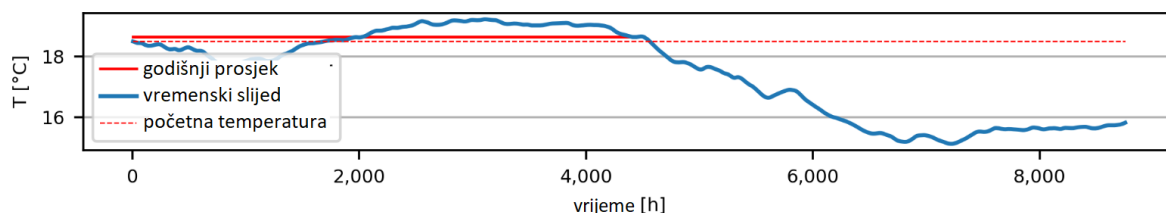
Rezultati se odnose na period od 1. travnja do 31. ožujka. Grafovi pokazuju kako električna energija proizvedena od strane solarnih panela uvelike umanjuju uvoz električne energije od strane ODS-a („operatora distributivnog sustava“). Također, električna energija od solarnih panela se koristi za pogon toplinske pumpe, cirkulacijske pumpe i električnog grijača. Slika 3-3. prikazuje potražnju električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini.



**Slika 3-3.** Potražnja električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini – REF

Graf pokazuje kako upravo zbog proizvodnje električne energije od strane solarnih panela možemo primijetiti kako tok električne energije u određenim periodima pada ispod nule, te na takav način uvelike smanjuje cijenu uvezene električne energije. U slučaju izostanka obnovljivih izvora implementiranih u stambeni kompleks, ukupna potreba za električnom energijom bi bila zadovoljena uvozom, te bi isti bio znatno veći no u ovom slučaju, a samim time i operativni troškovi kompleksa.

Početna temperatura ležišta iznosi 18,5 °C. Prosječna temperatura ležišta pokazuje oscilacije na višegodišnjoj razini. Amplitude godišnjih oscilacija su manje u slučaju korištenja električnog grijača. Pad temperature je najznačajniji u prvoj godini simulacije, dok je u zadnjih 10 godina znatno manji. Pad temperature ležišta je značajan zbog smanjenja ulazne temperature radnog fluida u toplinsku pumpu, te porastom potrošnje električne energije za zagrijavanje radnog fluida na potrebnu temperaturu. Slika 3-4. prikazuje prosječnu temperaturu ležišta na godišnjoj razini.



**Slika 3-4.** Temperatura ležišta na godišnjoj razini - REF

Na grafičkom prikazu možemo jasno vidjeti periode crpljena i regeneracije topline iz ležišta. Također, možemo vidjeti početnu temperaturu ležišta te maksimalnu godišnju temperaturnu amplitudu koja iznosi 3,5 °C, koja je najviša u prvoj godini simulacije.

## NPV

Kao što je već rečeno, referentni scenarij predstavlja prostor od 5000 m<sup>2</sup> koji čini 20 stambenih objekata veličine 250 m<sup>2</sup>. Godišnja potražnja toplinske energije iznosi 281.000 kWh, dok iskoristivost plinskog kotla iznosi 95%. Navedeni podatak je bitan za izračun uštede toplinske energije. Godišnja potražnja električne energije iznosi 81.000 kWh. Godišnji uvoz električne energije iznosi 90.399 kWh, a izvoz 51.641 kWh. Količina proizvedene električne energije na godišnjoj razini jest 190.659 kWh, što zajedno sa izvozom iznosi 242.300 kWh. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-2.

**Tablica 3-2.** Relevantni podaci o stambenom kompleksu 1 - REF

Kvadratura		5000	m <sup>2</sup>
Visina stropa		2,5	m <sup>2</sup>
Potražnja toplinske energije		281000	kWh
Iskoristivost plinskog kotla		95%	
Potražnja električne energije		81200	kWh
Uvoz		90399	kWh
Izvoz		51641	kWh
RES		242300	kWh

Energetski sustav kompleksa se može podijeliti na geotermalnu energiju i energiju dobivenu iz solarnih panela. Što se geotermalne energije tiče, izbušene su 24 bušotine dubine 100 metara. Cijena bušenja je procijenjena na 500 HRK/m te stoga ukupna cijena bušenja iznosi 1.200.000 HRK. Korištena je dizalica topline snage 70 kW čija je cijena 250.000 HRK. Također, ugrađen je i električni grijač snage 80kW, a cijena grijača iznosi 25.000 HRK. Ukupna investicija za ugradnju sustava za iskorištavanje geotermalne energije uz PDV od 25% iznosi 1.843.750,31 HRK. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-3.

**Tablica 3-3.** Investicija – Geotermal. - REF

Investicija - Geotermal.			
Bušenje	24 (100m)	1200000	HRK
Dizalica topline	70 kW	250000	HRK
Grijač	80 kW	25000	HRK
PDV		25%	
Ukupno		1843750,3	HRK

Kada pogledamo energiju dobivenu iz solarnih panela, potrebna snaga istih je 160 kW. Cijena ugradnje solarnih panela je procijenjena na 12.500 HRK/kW, te je stoga sveukupna cijena ugradnje solarnih panela 2.000.000 HRK. Također, korištena je baterija snage 10 kW i kapaciteta 20 kWh, te je cijena baterija 45.000 HRK. Uračunavši PDV od 25% za ugradnju sustava, ukupna investicija ugradnje solarnih panela uz iskorištavanje baterije iznosi 2.556.250 HRK. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-4.

**Tablica 3-4.** Investicija – solar + baterija - REF

Investicija - solar + baterija			
Solar	160 kW	2000000	HRK
Baterija	10 kW, 20 kWh	45000	HRK
PDV		25%	
Ukupno		2556250,3	HRK

Sumirana investicija ugradnje sustava za iskorištavanje geotermalne energije i energije dobivene iz solarnih panela iznosi 4.400.000 HRK. NPV 25 godina od investicije izračunat je korištenjem parametra uštede električne energije dobivene oduzimanjem električne potražnje od razlike uvezene i izvezene električne energije, a navedena ušteda za referentni scenarij iznosi 42.442 kWh/g. Cijena struje je 0,97 HRK/kWh. U proračun je u obzir uzeta i realna eskalacija cijene električne energije od 2%. Ako znamo da je potražnja za toplinskom energijom 281.000 kWh/g, a iskoristivost plinskog kotla 95%, možemo izračunati da ušteda toplinske energije iznosi 295.789 kWh/g. Cijena plina je 0,31 HRK/kWh. Također je u proračunu korištena i realna eskalacija cijene plina od 10%.

Simulacija je provedena za period od 25 godina. Korištena je realna diskontna stopa od 5%. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-5.

**Tablica 3-5.** Relevantni podaci o stambenom kompleksu 2 – REF

Investicija		4400000,6	HRK
Ušteda električne energije		42442	kWh
Cijena struje		0,97	HRK/kWh
Eskalacija		2%	
Ušteda toplinske energije		295789,47	kWh
Cijena plina		0,31	HRK/kWh
Eskalacija		10%	
Broj godina		25	
Diskontna stopa		5%	

Uz kapitalnu investiciju od 4.400.000 HRK, NPV nakon 25 godina za referentni scenarij iznosi 758.652 HRK, što znači da je razmatrani scenarij, sudeći po NPV analizi, isplativ. Kompletna NPV analiza referentnog scenarija je prikazana u tablici 3-6.

Tablica 3-6. NPV analiza – REF

Godine	Investicija HRK	En ušteda - struja kWh	Cijena - struja HRK/kWh	Ušteda - struja HRK	En ušteda - plin kWh	Cijena - plin HRK/kWh	Ušteda - plin HRK	Kumulativna ušteda HRK	Cash flow HRK	Disk ušteda HRK	Disk cash flow HRK
0	4400000,63		0,97			0,31			-4400000,63		-4400000,63
1		42442,00	0,99	41992,11	295789,47	0,34	100864,21	142856,33	-4257144,30	136053,64	-4263946,88
2		42442,00	1,01	42831,96	295789,47	0,38	110950,63	153782,59	-4103361,71	139485,34	-4124461,64
3		42442,00	1,03	43688,60	295789,47	0,41	122045,69	165734,29	-3937627,42	143167,51	-3981294,13
4		42442,00	1,05	44562,37	295789,47	0,45	134250,26	178812,63	-3758814,79	147109,60	-3834184,53
5		42442,00	1,07	45453,62	295789,47	0,50	147675,29	193128,91	-3565685,88	151321,55	-3682862,88
6		42442,00	1,09	46362,69	295789,47	0,55	162442,82	208805,51	-3356880,37	155813,88	-3527049,10
7		42442,00	1,11	47289,94	295789,47	0,60	178687,10	225977,04	-3130903,33	160597,67	-3366451,43
8		42442,00	1,14	48235,74	295789,47	0,66	196555,81	244791,55	-2886111,78	165684,56	-3200766,87
9		42442,00	1,16	49200,46	295789,47	0,73	216211,39	265411,85	-2620699,93	171086,84	-3029680,03
10		42442,00	1,18	50184,46	295789,47	0,80	237832,53	288017,00	-2332682,93	176817,45	-2852862,58
11		42442,00	1,21	51188,15	295789,47	0,88	261615,79	312803,94	-2019878,99	182889,98	-2669972,59
12		42442,00	1,23	52211,92	295789,47	0,97	287777,36	339989,28	-1679889,71	189318,75	-2480653,84
13		42442,00	1,25	53256,16	295789,47	1,07	316555,10	369811,26	-1310078,46	196118,80	-2284535,04
14		42442,00	1,28	54321,28	295789,47	1,18	348210,61	402531,89	-907546,57	203305,96	-2081229,08
15		42442,00	1,31	55407,70	295789,47	1,29	383031,67	438439,38	-469107,19	210896,84	-1870332,24
16		42442,00	1,33	56515,86	295789,47	1,42	421334,84	477850,70	8743,50	218908,91	-1651423,83
17		42442,00	1,36	57646,17	295789,47	1,57	463468,32	521114,50	529858,00	227360,53	-1424062,80
18		42442,00	1,39	58799,10	295789,47	1,72	509815,15	568614,25	1098472,25	236270,97	-1187791,84
19		42442,00	1,41	59975,08	295789,47	1,90	560796,67	620771,75	1719244,00	245660,46	-942181,88
20		42442,00	1,44	61174,58	295789,47	2,09	616876,34	678050,92	2397294,92	255550,26	-686581,11
21		42442,00	1,47	62398,07	295789,47	2,29	678563,97	740962,04	3138256,97	265962,67	-420618,15
22		42442,00	1,50	63646,04	295789,47	2,52	746420,37	810066,40	3948323,37	276921,10	-143697,85
23		42442,00	1,53	64918,96	295789,47	2,78	821062,41	885981,36	4834304,73	288450,11	144752,76
24		42442,00	1,56	66217,33	295789,47	3,05	903168,65	969385,98	5803690,71	300575,49	445328,24
25		42442,00	1,59	67541,68	295789,47	3,36	993485,51	1061027,19	6864717,91	313324,27	758652,51

NPV 758652,51



## LCOE

Ukupni troškovi, u koje ubrajamo kapitalne i operativne troškove, iznose 5.727.440 HRK, a proizvedena električna energija uz pribrojenu izvezenu električnu energiju iznosi 6.057.500 kWh. Uzevši u obzir navede podatke, proračunom je utvrđeno da LCOE za referentni scenarij nakon 25 godina provedene simulacije iznosi 0,94 HRK/kWh. S obzirom da je cijena električne energije 0,97 HRK/kWh, zaključujemo da je razmatrani scenarij isplativ. Kompletna LCOE analiza za referentni scenarij prikazana je u tablici 3-7.

**Tablica 3-7.** LCOE analiza - REF

Godine	CAPEX HRK	Uvoz HRK	RES kWh	Disk. Trošak HRK
1,00	4400000,63	89440,77	242300,00	4275658,47
2,00		91229,59	242300,00	82747,92
3,00		93054,18	242300,00	80383,70
4,00		94915,26	242300,00	78087,02
5,00		96813,57	242300,00	75855,96
6,00		98749,84	242300,00	73688,65
7,00		100724,83	242300,00	71583,26
8,00		102739,33	242300,00	69538,02
9,00		104794,12	242300,00	67551,22
10,00		106890,00	242300,00	65621,19
11,00		109027,80	242300,00	63746,30
12,00		111208,36	242300,00	61924,97
13,00		113432,52	242300,00	60155,69
14,00		115701,17	242300,00	58436,96
15,00		118015,20	242300,00	56767,33
16,00		120375,50	242300,00	55145,40
17,00		122783,01	242300,00	53569,82
18,00		125238,67	242300,00	52039,25
19,00		127743,44	242300,00	50552,42
20,00		130298,31	242300,00	49108,06
21,00		132904,28	242300,00	47704,98
22,00		135562,37	242300,00	46341,98
23,00		138273,61	242300,00	45017,92
24,00		141039,09	242300,00	43731,69
25,00		143859,87	242300,00	42482,22
<b>Ukupno</b>			<b>6057500,00</b>	<b>5727440,41</b>

LCOE	0,9455122	HRK/kWh
------	-----------	---------

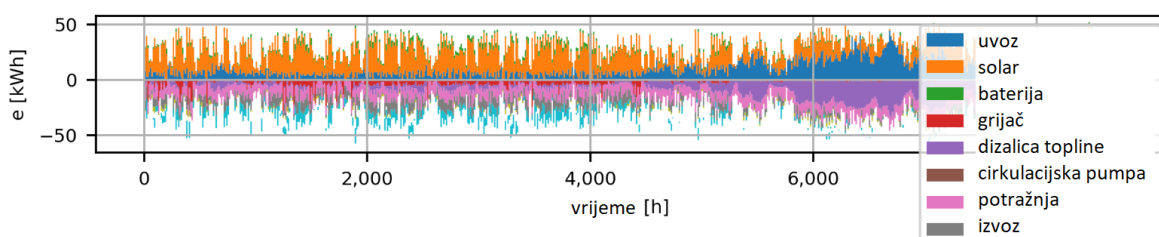
## Emisije

Korištenjem navedenih formula znamo da emisije konvencionalnog sustava grijanja na plinski bojler iznose 61,82 tCO<sub>2</sub>, dok emisije referentnog scenarija iznose 3,88 tCO<sub>2</sub>. Na temelju dobivenih podataka možemo zaključiti da implementacija solarnih panela za proizvodnju električne energije i implementacija geotermalne dizalice topline u energetski sustav stambenog kompleksa značajno smanjuje emisije u usporedbi sa konvencionalnim sustavom grijanja.

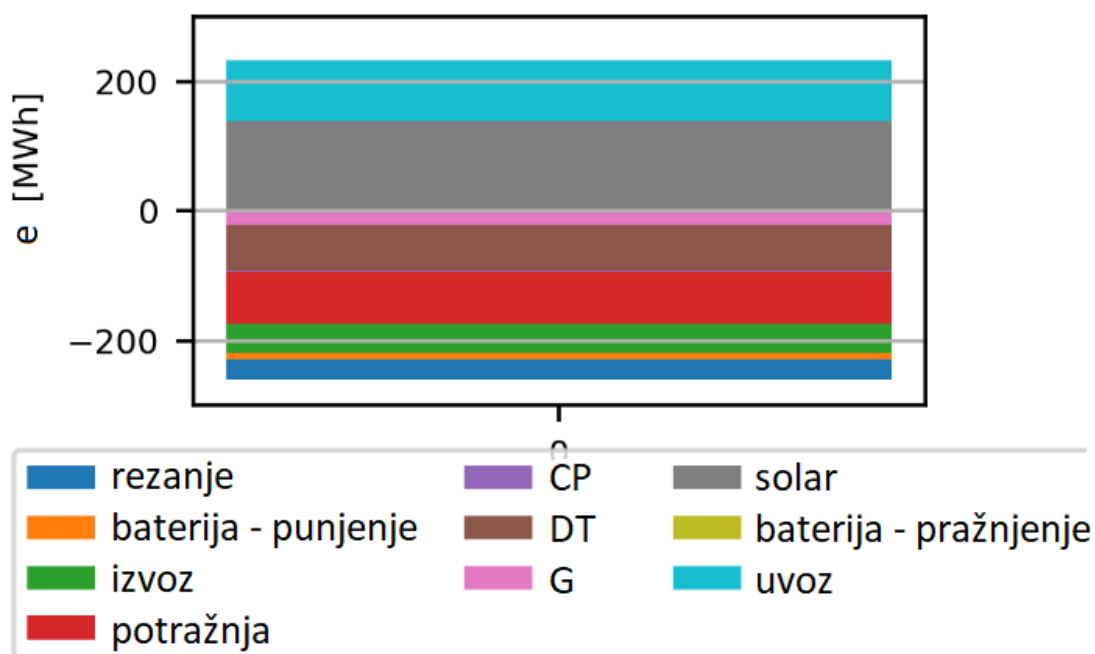
### 3.4.2. Solarni paneli -20%

## Tehnička analiza

Slika 3-5. prikazuje energetske tokove na godišnjoj razini, a slika 3-6. prikazuje energetska bilancu na godišnjoj razini.

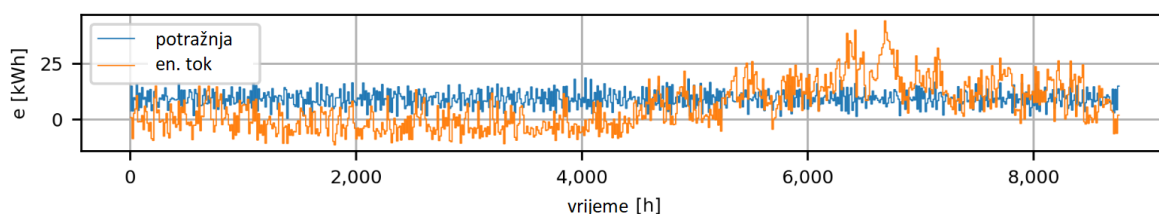


Slika 3-5. Energetski tokovi na godišnjoj razini – Solar -20%



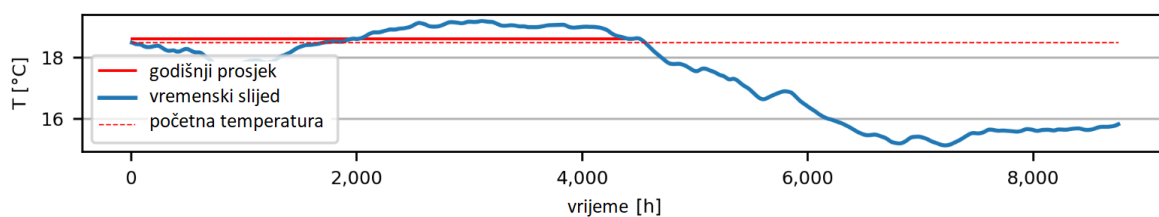
Slika 3-6. Energetska bilanca na godišnjoj razini – Solar -20%

Iz priloženih grafova možemo uočiti kako je proizvedena električna energija od strane solarnih panela znatno manja, pa je potrebna količina energije nadoknađena uvozom električne energije. Isto tako, primjetan je pad u rezanju proizvedene električne energije koje se mora činiti zbog zakonskog uvjeta. Rezanje električne energije smanjeno je sa 56.487 kWh/g na 30.215 kWh/g. Slika 3-7. prikazuje potražnju električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini.



**Slika 3-7.** Potražnja električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini – Solar -20%

Kada bismo detaljno proučili prezentirani graf, mogli bismo uočiti kako energetske tokove električne energije ukazuje na smanjeni izvoz i povećan uvoz tokom godine. Uvoz je povećan sa 90.399 kWh/g na 93.186 kWh/g, a izvoz je smanjen sa 51.641 kWh/g na 44.319 kWh/g. Takva situacija povisuje operativne troškove kompleksa, međutim smanjenje snage solarnih panela za 20% uvelike smanjuje kapitalnu investiciju, što značajno utječe na isplativost razmatranog scenarija, a navedeno će se vidjeti u financijskoj analizi. Slika 3-8. prikazuje prosječnu temperaturu ležišta na godišnjoj razini.



**Slika 3-8.** Prosječna temperatura ležišta na godišnjoj razini – Solar -20%

Iz grafa možemo zaključiti da smanjenje snage solarnih panela ne utječe značajno na prosječnu temperaturu ležišta na godišnjoj razini.

## NPV

U svim razmatranim scenarijima, kvadratura, visina stropa, potražnja energije i iskoristivost plinskog kotla su jednaki. Godišnji uvoz električne energije iznosi 93.186 kWh, a izvoz 44.319 kWh. Količina proizvedene električne energije na godišnjoj razini jest 152.527 kWh, što zajedno sa izvozom iznosi 196.846 kWh. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-8.

**Tablica 3-8.** Relevantni podaci o stambenom kompleksu 1 – Solar –20%

Kvadratura		5000	m <sup>2</sup>
Visina stropa		2,5	m <sup>2</sup>
Potražnja toplinske energije		281000	kWh
Iskoristivost plinskog kotla		95%	
Potražnja električne energije		81200	kWh
Uvoz		93186	kWh
Izvoz		44319	kWh
RES		196846	kWh

Ugrađeni su solarni paneli snage 128 kW, a cijena ugradnje iznosi 1.600.000 HRK. Ukupna investicija ugradnje solarnih panela uz iskorištavanje baterije iznosi 2.056.250 HRK. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-9.

**Tablica 3-9.** Investicija – solar + baterija – Solar -20%

Investicija - solar + baterija			
Solar	128 kW	1600000	HRK
Baterija	10 kW, 20 kWh	45000	HRK
PDV		25%	
Ukupno		2056250,31	HRK

U svim razmatranim scenarijima, eskalacija cijena, i broj godina simulacije su jednaki. Sumirana investicija ugradnje sustava za iskorištavanje geotermalne energije i energije dobivene iz solarnih panela iznosi 3.900.000 HRK. Ušteda električne energije iznosi 32.333 kWh/g. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-10.

**Tablica 3-10.** Relevantni podaci o stambenom kompleksu 2 – Solar -20%

Investicija		3900000,63	HRK
Ušteda električne energije		32333	kWh
Cijena struje		0,97	HRK/kWh
Eskalacija		2%	
Ušteda toplinske energije		295789,47	kWh
Cijena plina		0,31	HRK/kWh
Eskalacija		10%	
Broj godina		25	
Diskontna stopa		5%	

Uz Kapitalnu investiciju od 3.900.000 HRK, NPV nakon 25 godina za razmatrani scenarij iznosi 1.086.799 HRK, što znači da je razmatrani scenarij, sudeći po NPV analizi, isplativiji od referentnog scenarija. Manja kapitalna ulaganja u solarne panele značajno smanjuju početnu investiciju, pa je iz tog razloga isplativost nakon 25 godina veća. Kompletna NPV analiza razmatranog scenarija je prikazana u tablici 3-11.

Tablica 3-11. NPV analiza – Solar -20%

Godine	Investicija HRK	En ušteta - struja kWh	Cijena - struja HRK/kWh	Ušteta - struja HRK	En ušteta - plin kWh	Cijena - plin HRK/kWh	Ušteta - plin HRK	Kumulativna ušteta HRK	Cash flow HRK	Disk ušteta HRK	Disk cash flow HRK
0	3900000,63		0,97			0,31			-3900000,63		-3900000,63
1		32333,00	0,99	31990,27	295789,47	0,34	100864,21	132854,48	-3767146,14	126528,08	-3773472,55
2		32333,00	1,01	32630,08	295789,47	0,38	110950,63	143580,71	-3623565,44	130231,93	-3643246,61
3		32333,00	1,03	33282,68	295789,47	0,41	122045,69	155328,37	-3468237,07	134178,49	-3509062,13
4		32333,00	1,05	33948,33	295789,47	0,45	134250,26	168198,59	-3300038,47	138377,40	-3370684,73
5		32333,00	1,07	34627,30	295789,47	0,50	147675,29	182302,59	-3117735,88	142838,85	-3227845,88
6		32333,00	1,09	35319,84	295789,47	0,55	162442,82	197762,66	-2919973,22	147573,54	-3080272,33
7		32333,00	1,11	36026,24	295789,47	0,60	178687,10	214713,34	-2705259,88	152592,76	-2927679,57
8		32333,00	1,14	36746,76	295789,47	0,66	196555,81	233302,58	-2471957,30	157908,37	-2769771,20
9		32333,00	1,16	37481,70	295789,47	0,73	216211,39	253693,09	-2218264,21	163532,83	-2606238,37
10		32333,00	1,18	38231,33	295789,47	0,80	237832,53	276063,87	-1942200,34	169479,27	-2436759,11
11		32333,00	1,21	38995,96	295789,47	0,88	261615,79	300611,75	-1641588,59	175761,46	-2260997,65
12		32333,00	1,23	39775,88	295789,47	0,97	287777,36	327553,24	-1314035,35	182393,90	-2078603,74
13		32333,00	1,25	40571,40	295789,47	1,07	316555,10	357126,50	-956908,85	189391,81	-1889211,94
14		32333,00	1,28	41382,83	295789,47	1,18	348210,61	389593,44	-567315,42	196771,16	-1692440,78
15		32333,00	1,31	42210,48	295789,47	1,29	383031,67	425242,15	-142073,26	204548,75	-1487892,03
16		32333,00	1,33	43054,69	295789,47	1,42	421334,84	464389,53	322316,27	212742,19	-1275149,83
17		32333,00	1,36	43915,79	295789,47	1,57	463468,32	507384,11	829700,38	221370,01	-1053779,83
18		32333,00	1,39	44794,10	295789,47	1,72	509815,15	554609,26	1384309,63	230451,60	-823328,23
19		32333,00	1,41	45689,98	295789,47	1,90	560796,67	606486,65	1990796,29	240007,36	-583320,86
20		32333,00	1,44	46603,78	295789,47	2,09	616876,34	663480,12	2654276,41	250058,68	-333262,18
21		32333,00	1,47	47535,86	295789,47	2,29	678563,97	726099,83	3380376,24	260627,99	-72634,19
22		32333,00	1,50	48486,58	295789,47	2,52	746420,37	794906,94	4175283,18	271738,84	199104,64
23		32333,00	1,53	49456,31	295789,47	2,78	821062,41	870518,71	5045801,89	283415,91	482520,56
24		32333,00	1,56	50445,43	295789,47	3,05	903168,65	953614,08	5999415,97	295685,12	778205,68
25		32333,00	1,59	51454,34	295789,47	3,36	993485,51	1044939,85	7044355,83	308573,63	1086779,31

NPV 1086779,31

## LCOE

Ukupni troškovi, u koje ubrajamo kapitalne i operativne troškove, iznose 5.298.634 HRK, a proizvedena električna energija uz pribrojenu izvezenu električnu energiju iznosi 4.921.150 kWh. Uzevši u obzir navede podatke, proračunom je utvrđeno da LCOE za razmatrani scenarij nakon 25 godina provedene simulacije iznosi 1,07 HRK/kWh. S obzirom da je cijena električne energije 0,97 HRK/kWh, zaključujemo da razmatrani scenarij u promatranom vremenskom periodu neće biti isplativ, no neupitno je da bi kroz nekoliko godina postao isplativ s obzirom na porast omjera proizvedene energije i operativnih troškova. Kompletna LCOE analiza za razmatrani scenarij prikazana je u tablici 3-12.

**Tablica 3-12.** LCOE analiza – Solar -20%

Godine	CAPEX HRK	Uvoz HRK	RES kWh	Disk. Trošak HRK
1,00	3900000,63	92198,23	196846,00	3802094,15
2,00		94042,19	196846,00	85299,04
3,00		95923,04	196846,00	82861,93
4,00		97841,50	196846,00	80494,44
5,00		99798,33	196846,00	78194,60
6,00		101794,29	196846,00	75960,47
7,00		103830,18	196846,00	73790,17
8,00		105906,78	196846,00	71681,88
9,00		108024,92	196846,00	69633,83
10,00		110185,42	196846,00	67644,29
11,00		112389,13	196846,00	65711,59
12,00		114636,91	196846,00	63834,12
13,00		116929,65	196846,00	62010,29
14,00		119268,24	196846,00	60238,57
15,00		121653,60	196846,00	58517,46
16,00		124086,68	196846,00	56845,54
17,00		126568,41	196846,00	55221,38
18,00		129099,78	196846,00	53643,62
19,00		131681,77	196846,00	52110,95
20,00		134315,41	196846,00	50622,07
21,00		137001,72	196846,00	49175,72
22,00		139741,75	196846,00	47770,70
23,00		142536,59	196846,00	46405,82
24,00		145387,32	196846,00	45079,94
25,00		148295,06	196846,00	43791,94
<b>Ukupno</b>			<b>4921150,00</b>	<b>5298634,50</b>

LCOE	1,0767066	HRK/kWh
------	-----------	---------

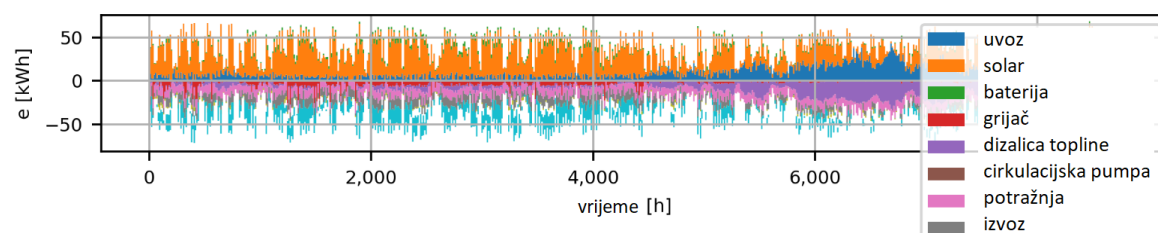
## Emisije

Uvezena energija jednaka je 93.186 kWh/g, dok je izvezena energija jednaka 44.319 kWh/g. Korištenjem prethodno prikazanih formula izračunate su emisije razmatranog scenarija, te one iznose 4,89 tCO<sub>2</sub>. Emisije su se povisile u usporedbi sa referentnim scenarijem zbog veće količine uvezene električne energije s obzirom da kompleks u razmatranom scenariju proizvodi manje količine energije.

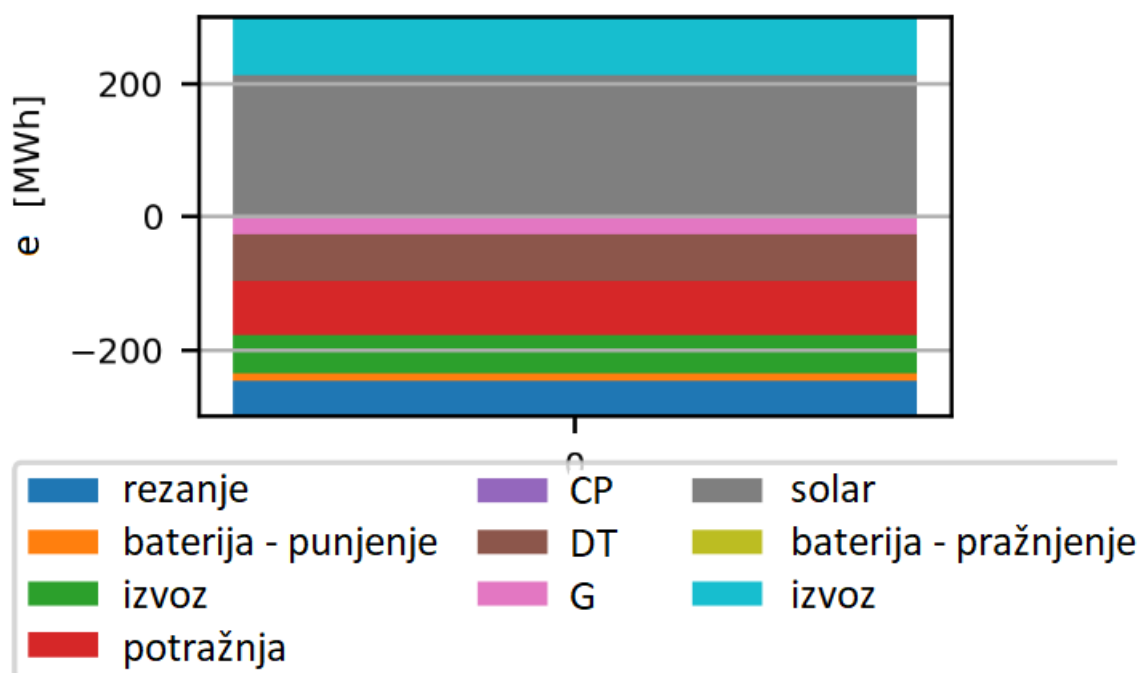
### 3.4.3. Solarni paneli +20%

## Tehnička analiza

Slika 3-9. prikazuje energetske tokove na godišnjoj razini, a slika 3-10. prikazuje energetska bilancu na godišnjoj razini.



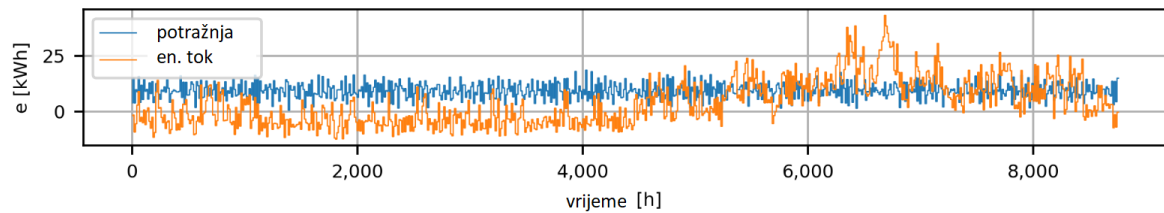
Slika 3-9. Energetski tokovi na godišnjoj razini – Solar +20%



Slika 3-10. Energetska bilanca na godišnjoj razini – Solar +20%

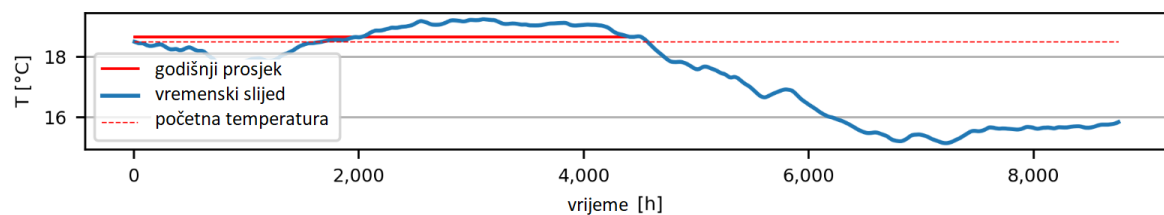


Iz priloženih grafova možemo uočiti kako je proizvedena električna energija od strane solarnih panela znatno manja, te je samim time potreba za uvozom električne energije smanjenja. Isto tako, primjetan je porast u rezanju proizvedene električne energije koje se mora činiti zbog zakonskog uvjeta. Rezanje električne energije povećano je sa 56.487 kWh/g na 85.835 kWh/g. Slika 3-11. prikazuje potražnju električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini.



**Slika 3-11.** Potražnja električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini – Solar +20%

Kada bismo detaljno proučili prezentirani graf, mogli bismo uočiti kako energetska tok električne energije ukazuje na smanjeni uvoz i povećan izvoz tokom godine. Uvoz je smanjen sa 90.399 kWh/g na 88.305 kWh/g, a izvoz je povećan sa 51.641 kWh/g na 56.842 kWh/g. Takva situacija smanjuje operativne troškove kompleksa, međutim povećanje snage solarnih panela za 20% uvelike povisuje kapitalnu investiciju, što značajno utječe na isplativost razmatranog scenarija, a navedeno će se vidjeti u financijskoj analizi. Slika 3-12. prikazuje prosječnu temperaturu ležišta na godišnjoj razini.



**Slika 3-12.** Prosječna temperatura ležišta na godišnjoj razini – Solar +20%

Iz grafa možemo zaključiti da smanjenje snage solarnih panela ne utječe značajno na prosječnu temperaturu ležišta na godišnjoj razini.

## NPV

Godišnji uvoz električne energije iznosi 88.305 kWh, a izvoz 56.842 kWh. Količina proizvedene električne energije na godišnjoj razini jest 228.791 kWh, što zajedno sa izvozom iznosi 285.633 kWh. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-13.

**Tablica 3-13.** Relevantni podaci o stambenom kompleksu 1 – Solar +20%

Kvadratura		5000	m <sup>2</sup>
Visina stropa		2,5	m <sup>2</sup>
Potražnja toplinske energije		281000	kWh
Iskoristivost plinskog kotla		95%	
Potražnja električne energije		81200	kWh
Uvoz		88305	kWh
Izvoz		56842	kWh
RES		285633	kWh

Ugrađeni su solarni paneli snage 192 kW, a cijena ugradnje iznosi 2.400.000 HRK. Ukupna investicija ugradnje solarnih panela uz iskorištavanje baterije iznosi 3.056.250 HRK. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-14.

**Tablica 3-14.** Investicija – solar + baterija – Solar +20%

Investicija - solar + baterija			
Solar	192 kW	2400000	HRK
Baterija	10 kW, 20 kWh	45000	HRK
PDV		25%	
Ukupno		3056250,3	HRK

Sumirana investicija ugradnje sustava za iskorištavanje geotermalne energije i energije dobivene iz solarnih panela iznosi 4.900.000 HRK. Ušteda električne energije iznosi 49.737 kWh/g. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-15.

**Tablica 3-15.** Relevantni podaci o stambenom kompleksu 2 – Solar +20%

Investicija		4900000,6	HRK
Ušteda električne energije		49737	kWh
Cijena struje		0,97	HRK/kWh
Eskalacija		2%	
Ušteda toplinske energije		295789,47	kWh
Cijena plina		0,31	HRK/kWh
Eskalacija		10%	
Broj godina		25	
Diskontna stopa		5%	

Uz Kapitalnu investiciju od 4.900.000 HRK, NPV nakon 25 godina za razmatrani scenarij iznosi 382.682 HRK, što znači da je razmatrani scenarij, sudeći po NPV analizi, isplativ, no ne isplativiji od referentnog scenarija. Razlog leži u znatno većoj kapitalnoj investiciji uslijed ugradnje jačeg sustava solarnih panela, no zbog veće uštede, razmatrani scenarij bi se kroz nekoliko godina izjednačio sa referentnim scenarijem, a kasnije i postao isplativiji. Kompletna NPV analiza razmatranog scenarija je prikazana u tablici 3-16.

Tablica 3-16. NPV analiza – Solar +20%

Godine	Investicija HRK	En ušteta - struja kWh	Cijena - struja HRK/kWh	Ušteta - struja HRK	En ušteta - plin kWh	Cijena - plin HRK/kWh	Ušteta - plin HRK	Kumulativna ušteta HRK	Cash flow HRK	Disk ušteta HRK	Disk cash flow HRK
0	4900000,63		0,97			0,31			-4900000,63		-4900000,63
1		49737,00	0,99	49209,79	295789,47	0,34	100864,21	150074,00	-4749926,63	142927,62	-4757073,01
2		49737,00	1,01	50193,98	295789,47	0,38	110950,63	161144,62	-4588782,01	146162,92	-4610910,09
3		49737,00	1,03	51197,86	295789,47	0,41	122045,69	173243,56	-4415538,45	149654,30	-4461255,79
4		49737,00	1,05	52221,82	295789,47	0,45	134250,26	186472,08	-4229066,37	153411,05	-4307844,75
5		49737,00	1,07	53266,26	295789,47	0,50	147675,29	200941,55	-4028124,82	157442,96	-4150401,79
6		49737,00	1,09	54331,58	295789,47	0,55	162442,82	216774,40	-3811350,42	161760,40	-3988641,39
7		49737,00	1,11	55418,21	295789,47	0,60	178687,10	234105,32	-3577245,10	166374,28	-3822267,11
8		49737,00	1,14	56526,58	295789,47	0,66	196555,81	253082,39	-3324162,71	171296,12	-3650970,99
9		49737,00	1,16	57657,11	295789,47	0,73	216211,39	273868,50	-3050294,21	176538,08	-3474432,91
10		49737,00	1,18	58810,25	295789,47	0,80	237832,53	296642,78	-2753651,43	182112,94	-3292319,97
11		49737,00	1,21	59986,46	295789,47	0,88	261615,79	321602,24	-2432049,19	188034,17	-3104285,80
12		49737,00	1,23	61186,19	295789,47	0,97	287777,36	348963,55	-2083085,64	194315,96	-2909969,84
13		49737,00	1,25	62409,91	295789,47	1,07	316555,10	378965,01	-1704120,63	200973,24	-2708996,61
14		49737,00	1,28	63658,11	295789,47	1,18	348210,61	411868,72	-1292251,91	208021,69	-2500974,92
15		49737,00	1,31	64931,27	295789,47	1,29	383031,67	447962,94	-844288,97	215477,83	-2285497,08
16		49737,00	1,33	66229,90	295789,47	1,42	421334,84	487564,73	-356724,23	223359,02	-2062138,05
17		49737,00	1,36	67554,49	295789,47	1,57	463468,32	531022,82	174298,58	231683,50	-1830454,55
18		49737,00	1,39	68905,58	295789,47	1,72	509815,15	578720,74	753019,32	240470,42	-1589984,14
19		49737,00	1,41	70283,69	295789,47	1,90	560796,67	631080,37	1384099,69	249739,93	-1340244,21
20		49737,00	1,44	71689,37	295789,47	2,09	616876,34	688565,71	2072665,39	259513,17	-1080731,04
21		49737,00	1,47	73123,16	295789,47	2,29	678563,97	751687,13	2824352,52	269812,35	-810918,69
22		49737,00	1,50	74585,62	295789,47	2,52	746420,37	821005,99	3645358,51	280660,79	-530257,89
23		49737,00	1,53	76077,33	295789,47	2,78	821062,41	897139,74	4542498,25	292082,96	-238174,94
24		49737,00	1,56	77598,88	295789,47	3,05	903168,65	980767,52	5523265,77	304104,54	65929,60
25		49737,00	1,59	79150,86	295789,47	3,36	993485,51	1072636,37	6595902,13	316752,49	382682,09

NPV 382682,09

## LCOE

Ukupni troškovi, u koje ubrajamo kapitalne i operativne troškove, iznose 6.168.028 HRK, a proizvedena električna energija uz pribrojenu izvezenu električnu energiju iznosi 7.140.825 kWh. Uzevši u obzir navede podatke, proračunom je utvrđeno da LCOE za razmatrani scenarij nakon 25 godina provedene simulacije iznosi 0,86 HRK/kWh. Kako je LCOE referentnog scenarija 0,94 HRK/kWh, zaključujemo da je razmatrani scenarij isplativiji od referentnog scenarija. Zbog veće uštede koja se javlja uslijed većeg ulaganja u ugradnju solarnih panela, LCOE je primjetno manji, pa je tako i isplativost razmatranog scenarija veća. Kompletna LCOE analiza za razmatrani scenarij prikazana je u tablici 3-17.

**Tablica 3-17.** LCOE analiza – Solar +20%

Godine	CAPEX HRK	Uvoz HRK	RES kWh	Disk. Trošak HRK
1,00	4900000,63	87368,97	285633,00	4749875,80
2,00		89116,35	285633,00	80831,15
3,00		90898,67	285633,00	78521,69
4,00		92716,65	285633,00	76278,21
5,00		94570,98	285633,00	74098,84
6,00		96462,40	285633,00	71981,73
7,00		98391,65	285633,00	69925,11
8,00		100359,48	285633,00	67927,25
9,00		102366,67	285633,00	65986,47
10,00		104414,00	285633,00	64101,14
11,00		106502,28	285633,00	62269,68
12,00		108632,33	285633,00	60490,55
13,00		110804,98	285633,00	58762,24
14,00		113021,08	285633,00	57083,32
15,00		115281,50	285633,00	55452,37
16,00		117587,13	285633,00	53868,02
17,00		119938,87	285633,00	52328,93
18,00		122337,65	285633,00	50833,82
19,00		124784,40	285633,00	49381,42
20,00		127280,09	285633,00	47970,53
21,00		129825,69	285633,00	46599,94
22,00		132422,20	285633,00	45268,51
23,00		135070,65	285633,00	43975,13
24,00		137772,06	285633,00	42718,69
25,00		140527,50	285633,00	41498,16
<b>Ukupno</b>			<b>7140825,00</b>	<b>6168028,70</b>

LCOE	0,8637698	HRK/kWh
------	-----------	---------

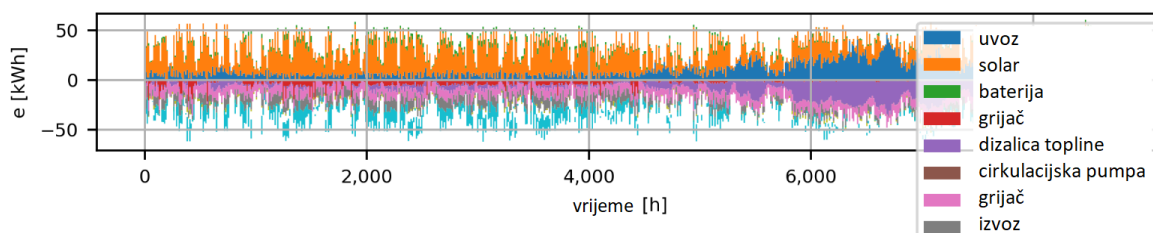
## Emisije

Uvezena energija jednaka je 88.305 kWh/g, dok je izvezena energija jednaka 56.842 kWh/g. Korištenjem prethodno prikazanih formula izračunate su emisije razmatranog scenarija, te one iznose 3,15 tCO<sub>2</sub>. Emisije su se smanjile u usporedbi sa referentnim scenarijem zbog manje količine uvezene električne energije s obzirom da kompleks u razmatranom scenariju proizvodi veće količine energije.

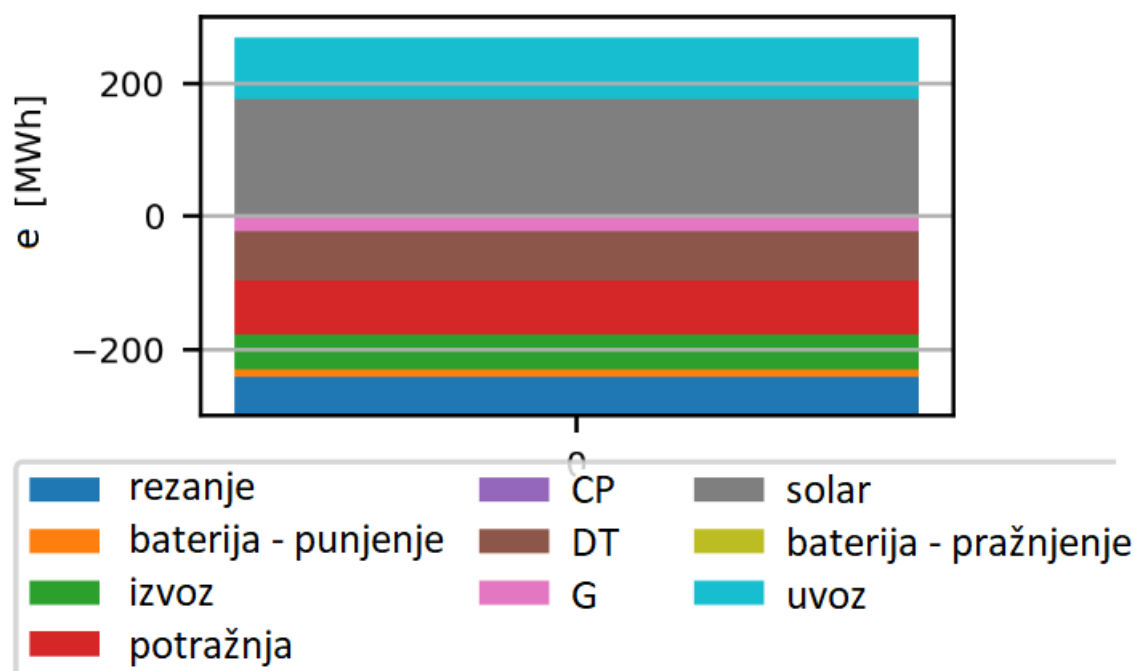
### 3.4.4. Broj bušotina -20%

## Tehnička analiza

Slika 3-13. prikazuje energetske tokove na godišnjoj razini, a slika 3-14. prikazuje energetska bilancu na godišnjoj razini.

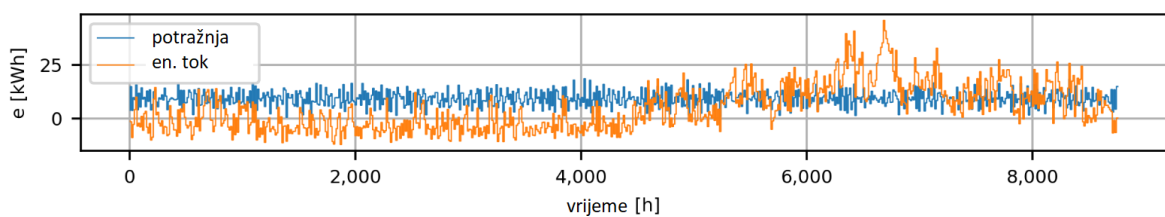


Slika 3-13. Energetski tokovi na godišnjoj razini – Broj bušotina -20%



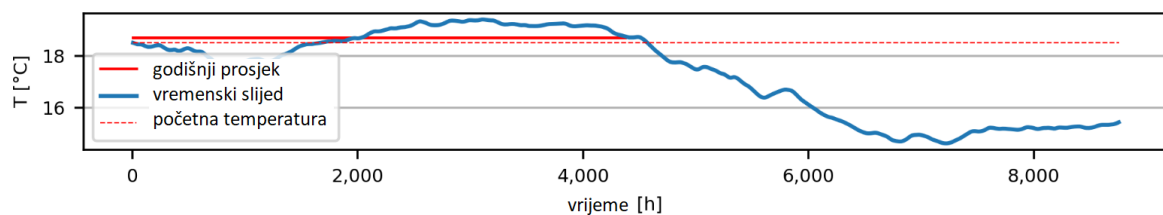
Slika 3-14. Energetska bilanca na godišnjoj razini – Broj bušotina -20%

Iz priloženih grafova može se uočiti da se udio dizalice topline u potrošnji energije povisio, dok se udio električnog grijača smanjio. Potrošnja energije dizalice topline povisila se sa 70.653 kWh/g na 73.291 kWh/g, dok se potrošnja energije električnog grijača smanjila sa 24.148 kWh/g na 23.153 kWh/g. Smanjenjem broja bušotina smanjuje se količina pridobivene topline iz ležišta, a samim time, kako bi se zadovoljila jednaka potražnja toplinske energije, dizalica topline mora raditi većim intenzitetom. S obzirom da je pridobivena količina topline iz ležišta manja, električni grijač može raditi manjim intenzitetom. Slika 3-15. prikazuje potražnju električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini.



**Slika 3-15.** Potražnja električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini – Broj bušotina -20%

Kada bismo detaljno proučili prezentirani graf, mogli bismo uočiti kako energetska tok električne energije ukazuje na povećanje uvoza i izvoza tokom godine. Uvoz je povećan sa 90.399 kWh/g na 92.586 kWh/g, a izvoz je povećan sa 51.641 kWh/g na 51.843 kWh/g. Slika 3-16. prikazuje prosječnu temperaturu ležišta na godišnjoj razini.



**Slika 3-16.** Prosječna temperatura ležišta na godišnjoj razini – Broj bušotina -20%

Iz prikazanog grafa može se primijetiti da su godišnji prosjek i konačna temperatura ležišta na kraju godine nešto niže od referentnog scenarija. Razlog je potreba za većim opterećenjem pojedinih bušotina s obzirom na manji broj istih, a jednaku potražnju toplinske energije.

## NPV

Godišnji uvoz električne energije iznosi 92.586 kWh, a izvoz 51.843 kWh. Količina proizvedene električne energije na godišnjoj razini jest 190.659 kWh, što zajedno sa izvozom iznosi 242.493 kWh. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-18.

**Tablica 3-18.** Relevantni podaci o stambenom kompleksu 1 – Broj bušotina -20%

Kvadratura		5000	m <sup>2</sup>
Visina stropa		2,5	m <sup>2</sup>
Potražnja toplinske energije		281000	kWh
Iskoristivost plinskog kotla		95%	
Potražnja električne energije		81200	kWh
Uvoz		92586	kWh
Izvoz		51843	kWh
RES		242493	kWh

Izbušeno je 20 bušotina dubine 100 metara. Ukupna cijena bušenja iznosi 1.000.000 HRK. Ukupna investicija za ugradnju sustava za iskorištavanje geotermalne energije uz PDV od 25% iznosi 1.593.750 HRK. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-19.

**Tablica 3-19.** Investicija – Geotermal. – Broj bušotina -20%

Investicija - Geotermal.			
Bušenje	20 (100m)	1000000	HRK
Dizalica topline	70 kW	250000	HRK
Grijač	80 kW	25000	HRK
PDV		25%	
Ukupno		1593750,3	HRK

Sumirana investicija ugradnje sustava za iskorištavanje geotermalne energije i energije dobivene iz solarnih panela iznosi 4.1500.000 HRK. Ušteda električne energije iznosi 40.457 kWh/g. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-20.



**Tablica 3-20.** Relevantni podaci o stambenom kompleksu 2 – Broj bušotina -20%

Investicija		4150000,6	HRK
Ušteda električne energije		40457	kWh
Cijena struje		0,97	HRK/kWh
Eskalacija		2%	
Ušteda toplinske energije		295789,47	kWh
Cijena plina		0,31	HRK/kWh
Eskalacija		10%	
Broj godina		25	
Diskontna stopa		5%	

Uz Kapitalnu investiciju od 4.150.000 HRK, NPV nakon 25 godina za razmatrani scenarij iznosi 974.903 HRK, što znači da je razmatrani scenarij, sudeći po NPV analizi, isplativiji od referentnog scenarija. Kako je smanjen broj bušotina, smanjena su i kapitalna ulaganja, te je na taj način povećana isplativost u periodu od 25 godina. Kompletna NPV analiza razmatranog scenarija je prikazana u tablici 3-21.

**Tablica 3-21.** NPV analiza – Broj bušotina -20%

Godine	Investicija HRK	En ušteda - struja kWh	Cijena - struja HRK/kWh	Ušteda - struja HRK	En ušteda - plin kWh	Cijena - plin HRK/kWh	Ušteda - plin HRK	Kumulativna ušteda HRK	Cash flow HRK	Disk ušteda HRK	Disk cash flow HRK
0	4150000,63		0,97			0,31			-4150000,63		-4150000,63
1		40457,00	0,99	40028,16	295789,47	0,34	100864,21	140892,37	-4009108,26	134183,21	-4015817,42
2		40457,00	1,01	40828,72	295789,47	0,38	110950,63	151779,35	-3857328,91	137668,35	-3878149,07
3		40457,00	1,03	41645,29	295789,47	0,41	122045,69	163690,99	-3693637,92	141402,43	-3736746,64
4		40457,00	1,05	42478,20	295789,47	0,45	134250,26	176728,46	-3516909,46	145394,94	-3591351,70
5		40457,00	1,07	43327,76	295789,47	0,50	147675,29	191003,05	-3325906,40	149655,89	-3441695,81
6		40457,00	1,09	44194,32	295789,47	0,55	162442,82	206637,14	-3119269,26	154195,81	-3287500,00
7		40457,00	1,11	45078,20	295789,47	0,60	178687,10	223765,31	-2895503,96	159025,83	-3128474,17
8		40457,00	1,14	45979,77	295789,47	0,66	196555,81	242535,58	-2652968,38	164157,63	-2964316,54
9		40457,00	1,16	46899,36	295789,47	0,73	216211,39	263110,76	-2389857,62	169603,54	-2794713,00
10		40457,00	1,18	47837,35	295789,47	0,80	237832,53	285669,88	-2104187,74	175376,53	-2619336,47
11		40457,00	1,21	48794,10	295789,47	0,88	261615,79	310409,88	-1793777,85	181490,23	-2437846,24
12		40457,00	1,23	49769,98	295789,47	0,97	287777,36	337547,34	-1456230,51	187958,99	-2249887,25
13		40457,00	1,25	50765,38	295789,47	1,07	316555,10	367320,48	-1088910,03	194797,89	-2055089,36
14		40457,00	1,28	51780,69	295789,47	1,18	348210,61	399991,30	-688918,73	202022,79	-1853066,57
15		40457,00	1,31	52816,30	295789,47	1,29	383031,67	435847,97	-253070,76	209650,33	-1643416,24
16		40457,00	1,33	53872,63	295789,47	1,42	421334,84	475207,47	222136,71	217698,02	-1425718,23
17		40457,00	1,36	54950,08	295789,47	1,57	463468,32	518418,40	740555,11	226184,23	-1199534,00
18		40457,00	1,39	56049,08	295789,47	1,72	509815,15	565864,24	1306419,35	235128,28	-964405,72
19		40457,00	1,41	57170,06	295789,47	1,90	560796,67	617966,73	1924386,08	244550,42	-719855,30
20		40457,00	1,44	58313,46	295789,47	2,09	616876,34	675189,80	2599575,89	254471,94	-465385,36
21		40457,00	1,47	59479,73	295789,47	2,29	678563,97	738043,71	3337619,59	264915,15	-200468,21
22		40457,00	1,50	60669,33	295789,47	2,52	746420,37	807089,70	4144709,29	275903,51	75435,30
23		40457,00	1,53	61882,72	295789,47	2,78	821062,41	882945,12	5027654,41	287461,60	362896,89
24		40457,00	1,56	63120,37	295789,47	3,05	903168,65	966289,02	5993943,42	299615,22	662512,11
25		40457,00	1,59	64382,78	295789,47	3,36	993485,51	1057868,29	7051811,71	312391,44	974903,55

NPV 974903,55

## LCOE

Ukupni troškovi, u koje ubrajamo kapitalne i operativne troškove, iznose 5.526.528 HRK, a proizvedena električna energija uz pribrojenu izvezenu električnu energiju iznosi 6.062.235 kWh. Uzevši u obzir navede podatke, proračunom je utvrđeno da LCOE za razmatrani scenarij nakon 25 godina provedene simulacije iznosi 0,91 HRK/kWh. Kako je LCOE referentnog scenarija 0,94 HRK/kWh, zaključujemo da je razmatrani scenarij isplativiji od referentnog scenarija. Uslijed manje kapitalne investicije zbog smanjenog broja bušotina, i veće količine izvezene energije, LCOE je niži od referentnog scenarija, pa je samim time i razmatrani scenarij isplativiji. Kompletna LCOE analiza za razmatrani scenarij prikazana je u tablici 3-22.

**Tablica 3-22.** LCOE analiza – Broj bušotina -20%

Godine	CAPEX HRK	Uvoz HRK	RES kWh	Disk. Trošak HRK
1,00	4150000,63	91604,59	242493,00	4039624,01
2,00		93436,68	242493,00	84749,82
3,00		95305,41	242493,00	82328,40
4,00		97211,52	242493,00	79976,16
5,00		99155,75	242493,00	77691,13
6,00		101138,87	242493,00	75471,38
7,00		103161,64	242493,00	73315,06
8,00		105224,88	242493,00	71220,34
9,00		107329,38	242493,00	69185,47
10,00		109475,96	242493,00	67208,74
11,00		111665,48	242493,00	65288,49
12,00		113898,79	242493,00	63423,11
13,00		116176,77	242493,00	61611,02
14,00		118500,30	242493,00	59850,71
15,00		120870,31	242493,00	58140,69
16,00		123287,72	242493,00	56479,52
17,00		125753,47	242493,00	54865,82
18,00		128268,54	242493,00	53298,23
19,00		130833,91	242493,00	51775,42
20,00		133450,59	242493,00	50296,12
21,00		136119,60	242493,00	48859,09
22,00		138841,99	242493,00	47463,12
23,00		141618,83	242493,00	46107,03
24,00		144451,21	242493,00	44789,68
25,00		147340,23	242493,00	43509,98
<b>Ukupno</b>			<b>6062325,00</b>	<b>5526528,54</b>

LCOE	0,9116187	HRK/kWh
------	-----------	---------

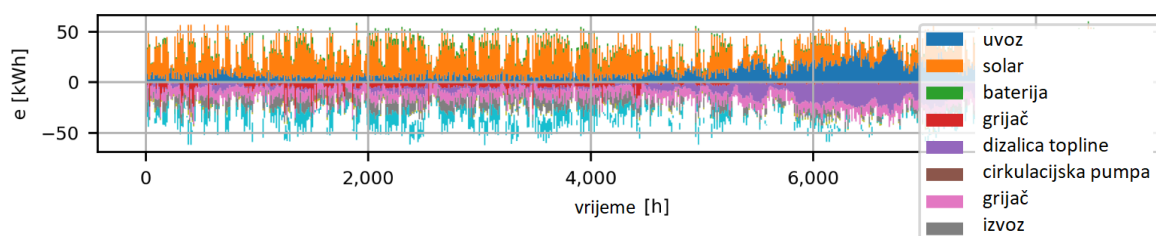
## Emisije

Uvezena energija jednaka je 92.586 kWh/g, dok je izvezena energija jednaka 51.843 kWh/g. Korištenjem prethodno prikazanih formula izračunate su emisije razmatranog scenarija, te one iznose 4,07 tCO<sub>2</sub>. Smanjenjem broja bušotina, opskrba obnovljivim čistim izvorom energije se smanjuje, pa se samim time povećavaju emisije razmatranog scenarija zbog dodatne potrebe za energijom.

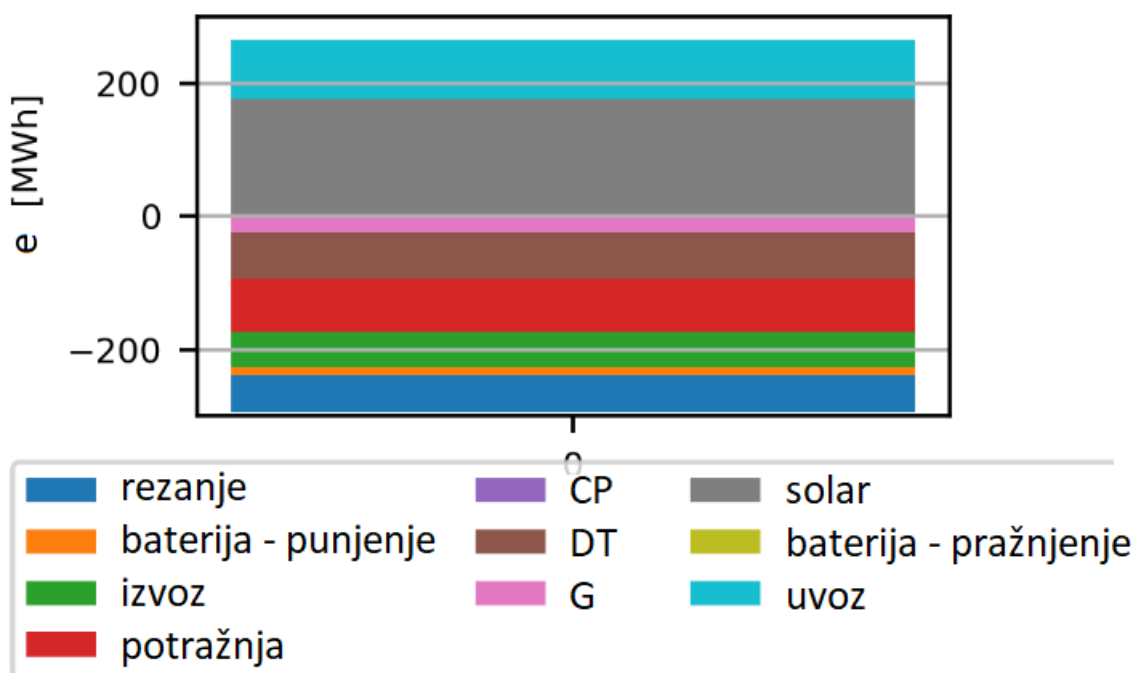
### 3.4.5. Broj bušotina +20%

## Tehnička analiza

Slika 3-17. prikazuje energetske tokove na godišnjoj razini, a slika 3-18. prikazuje energetska bilancu na godišnjoj razini.

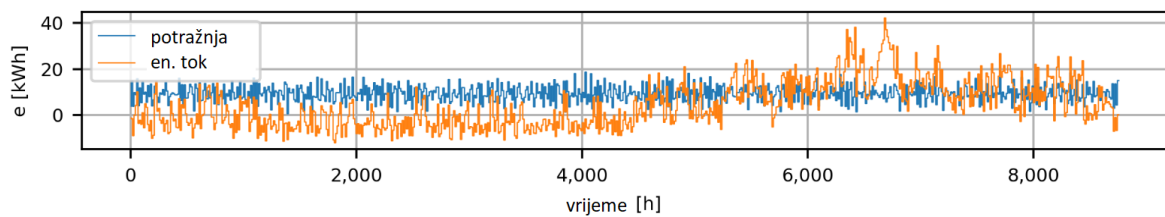


Slika 3-17. Energetski tokovi na godišnjoj razini – Broj bušotina +20%



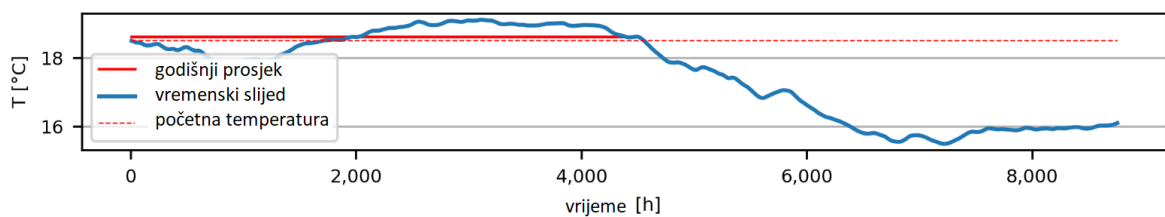
Slika 3-18. Energetska bilanca na godišnjoj razini – Broj bušotina +20%

Iz priloženih grafova može se uočiti da se udio dizalice topline u potrošnji energije smanjio, dok se udio električnog grijača povećao. Potrošnja energije dizalice topline smanjila se sa 70.653 kWh/g na 68.805 kWh/g, dok se potrošnja energije električnog grijača povećala sa 24.148 kWh/g na 24.745 kWh/g. Povećanjem broja bušotina povisuje se količina pridobivene topline iz ležišta, a samim time, kako bi se zadovoljila jednaka potražnja toplinske energije, dizalica topline može raditi manjim intenzitetom. S obzirom da je pridobivena količina topline iz ležišta veća, električni grijač mora raditi većim intenzitetom. Slika 3-19. prikazuje potražnju električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini.



**Slika 3-19.** Potražnja električne energije i tok električne energije na godišnjoj razini – Broj bušotina +20%

Kada bismo detaljno proučili prezentirani graf, mogli bismo uočiti kako energetske tokove električne energije ukazuje na smanjenje uvoza i izvoza tokom godine. Uvoz je smanjen sa 90.399 kWh/g na 88.859 kWh/g, a izvoz je smanjen sa 51.641 kWh/g na 51.414 kWh/g. Slika 3-20. prikazuje prosječnu temperaturu ležišta na godišnjoj razini.



**Slika 3-20.** Prosječna temperatura ležišta na godišnjoj razini – Broj bušotina +20%

Iz prikazanog grafa može se primijetiti da su godišnji prosjek i konačna temperatura ležišta na kraju godine nešto više od referentnog scenarija. Razlog je mogućnost lakšeg režima rada pojedinih bušotina s obzirom na veći broj istih, a jednaku potražnju toplinske energije.

## NPV

Godišnji uvoz električne energije iznosi 88.859 kWh, a izvoz 51.414 kWh. Količina proizvedene električne energije na godišnjoj razini jest 190.659 kWh, što zajedno sa izvozom iznosi 242.073 kWh. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-23.

**Tablica 3-23.** Relevantni podaci o stambenom kompleksu 1 – Broj bušotina +20%

Kvadratura		5000	m <sup>2</sup>
Visina stropa		2,5	m <sup>2</sup>
Potražnja toplinske energije		281000	kWh
Iskoristivost plinskog kotla		95%	
Potražnja električne energije		81200	kWh
Uvoz		88859	kWh
Izvoz		51414	kWh
RES		242073	kWh

Izbušeno je 28 bušotina dubine 100 metara. Ukupna cijena bušenja iznosi 1.400.000 HRK. Ukupna investicija za ugradnju sustava za iskorištavanje geotermalne energije uz PDV od 25% iznosi 2.093.750 HRK. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-24.

**Tablica 3-24.** Investicija – Geotermal. – Broj bušotina +20%

Investicija - Geotermal.			
Bušenje	28 (100m)	1400000	HRK
Dizalica topline	70 kW	250000	HRK
Grijač	80 kW	25000	HRK
PDV		25%	
Ukupno		2093750,3	HRK

Sumirana investicija ugradnje sustava za iskorištavanje geotermalne energije i energije dobivene iz solarnih panela iznosi 4.6500.000 HRK. Ušteda električne energije iznosi 43.755 kWh/g. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-25.

**Tablica 3-25.** Relevantni podaci o stambenom kompleksu 2 – Broj bušotina +20%

Investicija		4650000,6	HRK
Ušteda električne energije		43755	kWh
Cijena struje		0,97	HRK/kWh
Eskalacija		2%	
Ušteda toplinske energije		295789,47	kWh
cijena plina		0,31	HRK/kWh
Eskalacija		10%	
Broj godina		25	
Diskontna stopa		5%	

Uz Kapitalnu investiciju od 4.650.000 HRK, NPV nakon 25 godina za razmatrani scenarij iznosi 530.976 HRK, što znači da je razmatrani scenarij, sudeći po NPV analizi, isplativ, no ne isplativiji od referentnog scenarija. Kako je povećan broj bušotina, povećana su i kapitalna ulaganja, te je na taj način smanjena isplativost u periodu od 25 godina, no uzevši u obzir povećanje energetske uštede, da se zaključiti da bi za određeni period razmatrani scenarij postao isplativiji. Kompletna NPV analiza razmatranog scenarija je prikazana u tablici 3-26.

Tablica 3-26. NPV analiza – Broj bušotina +20%

Godine	Investicija HRK	En ušteda - struja kWh	Cijena - struja HRK/kWh	Ušteda - struja HRK	En ušteda - plin kWh	Cijena - plin HRK/kWh	Ušteda - plin HRK	Kumulativna ušteda HRK	Cash flow HRK	Disk ušteda HRK	Disk cash flow HRK
0	4650000,63		0,97			0,31			-4650000,63		-4650000,63
1		43755,00	0,99	43291,20	295789,47	0,34	100864,21	144155,41	-4505845,22	137290,86	-4512709,76
2		43755,00	1,01	44157,02	295789,47	0,38	110950,63	155107,65	-4350737,56	140687,21	-4372022,55
3		43755,00	1,03	45040,16	295789,47	0,41	122045,69	167085,86	-4183651,71	144335,04	-4227687,50
4		43755,00	1,05	45940,96	295789,47	0,45	134250,26	180191,23	-4003460,48	148243,77	-4079443,73
5		43755,00	1,07	46859,78	295789,47	0,50	147675,29	194535,07	-3808925,41	152423,32	-3927020,41
6		43755,00	1,09	47796,98	295789,47	0,55	162442,82	210239,80	-3598685,61	156884,18	-3770136,24
7		43755,00	1,11	48752,92	295789,47	0,60	178687,10	227440,02	-3371245,59	161637,38	-3608498,86
8		43755,00	1,14	49727,98	295789,47	0,66	196555,81	246283,79	-3124961,80	166694,56	-3441804,30
9		43755,00	1,16	50722,54	295789,47	0,73	216211,39	266933,93	-2858027,87	172067,99	-3269736,31
10		43755,00	1,18	51736,99	295789,47	0,80	237832,53	289569,52	-2568458,35	177770,57	-3091965,74
11		43755,00	1,21	52771,73	295789,47	0,88	261615,79	314387,51	-2254070,83	183815,87	-2908149,87
12		43755,00	1,23	53827,16	295789,47	0,97	287777,36	341604,53	-1912466,31	190218,18	-2717931,69
13		43755,00	1,25	54903,71	295789,47	1,07	316555,10	371458,81	-1541007,50	196992,54	-2520939,15
14		43755,00	1,28	56001,78	295789,47	1,18	348210,61	404212,39	-1136795,11	204154,72	-2316784,43
15		43755,00	1,31	57121,82	295789,47	1,29	383031,67	440153,49	-696641,62	211721,35	-2105063,08
16		43755,00	1,33	58264,25	295789,47	1,42	421334,84	479599,09	-217042,53	219709,87	-1885353,21
17		43755,00	1,36	59429,54	295789,47	1,57	463468,32	522897,86	305855,33	228138,60	-1657214,60
18		43755,00	1,39	60618,13	295789,47	1,72	509815,15	570433,28	876288,61	237026,81	-1420187,79
19		43755,00	1,41	61830,49	295789,47	1,90	560796,67	622627,16	1498915,77	246394,71	-1173793,08
20		43755,00	1,44	63067,10	295789,47	2,09	616876,34	679943,44	2178859,20	256263,53	-917529,55
21		43755,00	1,47	64328,44	295789,47	2,29	678563,97	742892,41	2921751,62	266655,56	-650873,59
22		43755,00	1,50	65615,01	295789,47	2,52	746420,37	812035,38	3733787,00	277594,19	-373279,80
23		43755,00	1,53	66927,31	295789,47	2,78	821062,41	887989,72	4621776,71	289103,97	-84175,83
24		43755,00	1,56	68265,86	295789,47	3,05	903168,65	971434,50	5593211,21	301210,67	217034,83
25		43755,00	1,59	69631,17	295789,47	3,36	993485,51	1063116,68	6656327,90	313941,30	530976,14
										NPV	530976,14



## LCOE

Ukupni troškovi, u koje ubrajamo kapitalne i operativne troškove, iznose 5.939.352 HRK, a proizvedena električna energija uz pribrojenu izvezenu električnu energiju iznosi 6.051.825 kWh. Uzevši u obzir navede podatke, proračunom je utvrđeno da LCOE za razmatrani scenarij nakon 25 godina provedene simulacije iznosi 0,98 HRK/kWh. S obzirom da je cijena električne energije 0,97 HRK/kWh, zaključujemo da razmatrani scenarij u promatranom vremenskom periodu neće biti isplativ. Povećanje kapitalne investicije zbog većeg broja bušotina uzrokovalo je značajno povišenje troškova, no uslijed veće energetske uštede, kroz nekoliko godina, razmatrani scenarij bi zasigurno postao isplativ. Kompletna LCOE analiza za razmatrani scenarij prikazana je u tablici 3-27.

**Tablica 3-27.** LCOE analiza – Broj bušotina +20%

Godine	CAPEX HRK	Uvoz HRK	RES kWh	Disk. Trošak HRK
1,00	4650000,63	87917,09	242073,00	4512302,59
2,00		89675,44	242073,00	81338,26
3,00		91468,95	242073,00	79014,31
4,00		93298,32	242073,00	76756,76
5,00		95164,29	242073,00	74563,71
6,00		97067,58	242073,00	72433,32
7,00		99008,93	242073,00	70363,80
8,00		100989,11	242073,00	68353,40
9,00		103008,89	242073,00	66400,45
10,00		105069,07	242073,00	64503,29
11,00		107170,45	242073,00	62660,34
12,00		109313,86	242073,00	60870,05
13,00		111500,13	242073,00	59130,90
14,00		113730,14	242073,00	57441,45
15,00		116004,74	242073,00	55800,26
16,00		118324,83	242073,00	54205,97
17,00		120691,33	242073,00	52657,23
18,00		123105,16	242073,00	51152,74
19,00		125567,26	242073,00	49691,23
20,00		128078,61	242073,00	48271,48
21,00		130640,18	242073,00	46892,29
22,00		133252,98	242073,00	45552,51
23,00		135918,04	242073,00	44251,01
24,00		138636,40	242073,00	42986,70
25,00		141409,13	242073,00	41758,51
<b>Ukupno</b>			<b>6051825,00</b>	<b>5939352,57</b>

LCOE	0,9814151	HRK/kWh
------	-----------	---------

## Emisije

Uvezena energija jednaka je 88.859 kWh/g, dok je izvezena energija jednaka 51.414 kWh/g. Korištenjem prethodno prikazanih formula izračunate su emisije razmatranog scenarija, te one iznose 3,74 tCO<sub>2</sub>. Povećanjem broja bušotina, opskrba obnovljivim čistim izvorom energije se povisuje, pa se samim time smanjuju emisije razmatranog scenarija.

### 3.4.6. Diskontna stopa -20%

U sljedećim scenarijima neće se provoditi tehnička analiza jer su analizirani parametri ekonomskog karaktera, te je konfiguracija identična kao u referentnom scenariju. Iz istog razloga u sljedećim scenarijima neće biti razmatrane emisije istog.

## NPV

Diskontna stopa smanjena je sa 5% na 4%. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-28.

**Tablica 3-28.** Relevantni podaci u stambenom kompleksu – Diskontna stopa -20%

Investicija		4400001	HRK
Ušteda električne energije		42442	kWh
Cijena struje		0,97	HRK/kWh
Eskaacija		2%	
Ušteda toplinske energije		295789,47	kWh
Cijena plina		0,31	HRK/kWh
Eskaacija		10%	
Broj godina		25	
Diskontna stopa		4%	

Uz Kapitalnu investiciju od 4.400.000 HRK, NPV nakon 25 godina za razmatrani scenarij iznosi 1.558.733 HRK, što znači da je razmatrani scenarij, sudeći po NPV analizi, isplativiji od referentnog scenarija. Smanjenjem diskontne stope povećava se vrijednost novca, a samim time i isplativost razmatranog scenarija. Kompletna NPV analiza razmatranog scenarija je prikazana u tablici 3-29.

Tablica 3-29. NPV analiza – Diskontna stopa -20%

Godine	Investicija HRK	En ušteda - struja kWh	Cijena - struja HRK/kWh	Ušteda - struja HRK	En ušteda - plin kWh	Cijena - plin HRK/kWh	Ušteda - plin HRK	Kumulativna ušteda HRK	Cash flow HRK	Disk ušteda HRK	Disk cash flow HRK
0	4400000,63		0,97			0,31			-4400000,63		-4400000,63
1		42442,00	0,99	41992,11	295789,47	0,34	100864,21	142856,33	-4257144,30	137361,85	-4262638,77
2		42442,00	1,01	42831,96	295789,47	0,38	110950,63	153782,59	-4103361,71	142180,65	-4120458,13
3		42442,00	1,03	43688,60	295789,47	0,41	122045,69	165734,29	-3937627,42	147337,18	-3973120,94
4		42442,00	1,05	44562,37	295789,47	0,45	134250,26	178812,63	-3758814,79	152849,79	-3820271,16
5		42442,00	1,07	45453,62	295789,47	0,50	147675,29	193128,91	-3565685,88	158737,88	-3661538,27
6		42442,00	1,09	46362,69	295789,47	0,55	162442,82	208805,51	-3356880,37	165022,03	-3496511,25
7		42442,00	1,11	47289,94	295789,47	0,60	178687,10	225977,04	-3130903,33	171723,98	-3324787,27
8		42442,00	1,14	48235,74	295789,47	0,66	196555,81	244791,55	-2886111,78	178866,79	-3145920,48
9		42442,00	1,16	49200,46	295789,47	0,73	216211,39	265411,85	-2620699,93	186474,84	-2959445,63
10		42442,00	1,18	50184,46	295789,47	0,80	237832,53	288017,00	-2332682,93	194573,96	-2764871,67
11		42442,00	1,21	51188,15	295789,47	0,88	261615,79	312803,94	-2019878,99	203191,47	-2561680,20
12		42442,00	1,23	52211,92	295789,47	0,97	287777,36	339989,28	-1679889,71	212356,30	-2349328,90
13		42442,00	1,25	53256,16	295789,47	1,07	316555,10	369811,26	-1310078,46	222099,06	-2127221,84
14		42442,00	1,28	54321,28	295789,47	1,18	348210,61	402531,89	-907546,57	232452,14	-1894772,70
15		42442,00	1,31	55407,70	295789,47	1,29	383031,67	438439,38	-469107,19	243449,82	-1651322,88
16		42442,00	1,33	56515,86	295789,47	1,42	421334,84	477850,70	8743,50	255128,39	-1396194,49
17		42442,00	1,36	57646,17	295789,47	1,57	463468,32	521114,50	529858,00	267526,24	-1128668,25
18		42442,00	1,39	58799,10	295789,47	1,72	509815,15	568614,25	1098472,25	280683,99	-847984,26
19		42442,00	1,41	59975,08	295789,47	1,90	560796,67	620771,75	1719244,00	294644,61	-553339,65
20		42442,00	1,44	61174,58	295789,47	2,09	616876,34	678050,92	2397294,92	309453,59	-243885,06
21		42442,00	1,47	62398,07	295789,47	2,29	678563,97	740962,04	3138256,97	325159,04	81272,98
22		42442,00	1,50	63646,04	295789,47	2,52	746420,37	810066,40	3948323,37	341811,88	423084,86
23		42442,00	1,53	64918,96	295789,47	2,78	821062,41	885981,36	4834304,73	359465,97	782550,83
24		42442,00	1,56	66217,33	295789,47	3,05	903168,65	969385,98	5803690,71	378178,29	1160729,12
25		42442,00	1,59	67541,68	295789,47	3,36	993485,51	1061027,19	6864717,91	398009,13	1558738,25

NPV 1558738,25

## LCOE

Ukupni troškovi, u koje ubrajamo kapitalne i operativne troškove, iznose 5.950.631 HRK, a proizvedena električna energija uz pribrojenu izvezenu električnu energiju iznosi 6.057.000 kWh. Uzevši u obzir navede podatke, proračunom je utvrđeno da LCOE za razmatrani scenarij nakon 25 godina provedene simulacije iznosi 0,98 HRK/kWh. S obzirom da je cijena električne energije 0,97 HRK/kWh, zaključujemo da razmatrani scenarij u promatranom vremenskom periodu neće biti isplativ. Kako smanjenje diskontne stope uzrokuje povećanje vrijednosti novca, tako diskontirani trošak u razmatranom scenariju također raste, a samim time i LCOE. Kompletna LCOE analiza za razmatrani scenarij prikazana je u tablici 3-30.

**Tablica 3-30.** LCOE analiza – Diskontna stopa -20%

Godine	CAPEX HRK	Uvoz HRK	RES kWh	Disk. Trošak HRK
1,00	4400000,63	89440,77	242300,00	4316770,57
2,00		91229,59	242300,00	84346,88
3,00		93054,18	242300,00	82724,83
4,00		94915,26	242300,00	81133,96
5,00		96813,57	242300,00	79573,69
6,00		98749,84	242300,00	78043,43
7,00		100724,83	242300,00	76542,60
8,00		102739,33	242300,00	75070,62
9,00		104794,12	242300,00	73626,96
10,00		106890,00	242300,00	72211,05
11,00		109027,80	242300,00	70822,38
12,00		111208,36	242300,00	69460,41
13,00		113432,52	242300,00	68124,63
14,00		115701,17	242300,00	66814,54
15,00		118015,20	242300,00	65529,65
16,00		120375,50	242300,00	64269,46
17,00		122783,01	242300,00	63033,51
18,00		125238,67	242300,00	61821,33
19,00		127743,44	242300,00	60632,46
20,00		130298,31	242300,00	59466,45
21,00		132904,28	242300,00	58322,86
22,00		135562,37	242300,00	57201,27
23,00		138273,61	242300,00	56101,25
24,00		141039,09	242300,00	55022,38
25,00		143859,87	242300,00	53964,25
<b>Ukupno</b>			<b>6057500,00</b>	<b>5950631,44</b>

LCOE	0,9823576	HRK/kWh
------	-----------	---------

### 3.4.7. Diskontna stopa +20%

#### NPV

Diskontna stopa povećana je sa 5% na 6%. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-31.

**Tablica 3-31.** Relevantni podaci o stambenom kompleksu – Diskontna stopa +20%

Investicija		4400000,6	HRK
Ušteda električne energije		42442	kWh
Cijena struje		0,97	HRK/kWh
Eskalacija		2%	
Ušteda toplinske energije		295789,47	kWh
Cijena plina		0,31	HRK/kWh
Eskalacija		10%	
Broj godina		25	
Diskontna stopa		6%	

Uz Kapitalnu investiciju od 4.400.000 HRK, NPV nakon 25 godina za razmatrani scenarij iznosi 92.621 HRK, što znači da je razmatrani scenarij isplativ, no nije isplativiji od referentnog scenarija. Povećanjem diskontne stope smanjuje se vrijednost novca, a samim time i isplativost razmatranog scenarija. Kompletna NPV analiza razmatranog scenarija je prikazana u tablici 3-32.

Tablica 3-32. NPV analiza – Diskontna stopa +20%

Godine	Investicija HRK	En ušteda - struja kWh	Cijena - struja HRK/kWh	Ušteda - struja HRK	En ušteda - plin kWh	Cijena - plin HRK/kWh	Ušteda - plin HRK	Kumulativna ušteda HRK	Cash flow HRK	Disk ušteda HRK	Disk cash flow HRK
0	4400000,63		0,97			0,31			-4400000,63		-4400000,63
1		42442,00	0,99	41992,11	295789,47	0,34	100864,21	142856,33	-4257144,30	134770,12	-4265230,53
2		42442,00	1,01	42831,96	295789,47	0,38	110950,63	153782,59	-4103361,71	136865,96	-4128364,55
3		42442,00	1,03	43688,60	295789,47	0,41	122045,69	165734,29	-3937627,42	139153,71	-3989210,84
4		42442,00	1,05	44562,37	295789,47	0,45	134250,26	178812,63	-3758814,79	141636,35	-3847574,49
5		42442,00	1,07	45453,62	295789,47	0,50	147675,29	193128,91	-3565685,88	144317,15	-3703257,34
6		42442,00	1,09	46362,69	295789,47	0,55	162442,82	208805,51	-3356880,37	147199,64	-3556057,69
7		42442,00	1,11	47289,94	295789,47	0,60	178687,10	225977,04	-3130903,33	150287,64	-3405770,05
8		42442,00	1,14	48235,74	295789,47	0,66	196555,81	244791,55	-2886111,78	153585,25	-3252184,81
9		42442,00	1,16	49200,46	295789,47	0,73	216211,39	265411,85	-2620699,93	157096,87	-3095087,94
10		42442,00	1,18	50184,46	295789,47	0,80	237832,53	288017,00	-2332682,93	160827,19	-2934260,75
11		42442,00	1,21	51188,15	295789,47	0,88	261615,79	312803,94	-2019878,99	164781,21	-2769479,54
12		42442,00	1,23	52211,92	295789,47	0,97	287777,36	339989,28	-1679889,71	168964,26	-2600515,28
13		42442,00	1,25	53256,16	295789,47	1,07	316555,10	369811,26	-1310078,46	173381,95	-2427133,34
14		42442,00	1,28	54321,28	295789,47	1,18	348210,61	402531,89	-907546,57	178040,24	-2249093,09
15		42442,00	1,31	55407,70	295789,47	1,29	383031,67	438439,38	-469107,19	182945,43	-2066147,66
16		42442,00	1,33	56515,86	295789,47	1,42	421334,84	477850,70	8743,50	188104,15	-1878043,51
17		42442,00	1,36	57646,17	295789,47	1,57	463468,32	521114,50	529858,00	193523,38	-1684520,13
18		42442,00	1,39	58799,10	295789,47	1,72	509815,15	568614,25	1098472,25	199210,47	-1485309,65
19		42442,00	1,41	59975,08	295789,47	1,90	560796,67	620771,75	1719244,00	205173,14	-1280136,51
20		42442,00	1,44	61174,58	295789,47	2,09	616876,34	678050,92	2397294,92	211419,48	-1068717,03
21		42442,00	1,47	62398,07	295789,47	2,29	678563,97	740962,04	3138256,97	217957,99	-850759,04
22		42442,00	1,50	63646,04	295789,47	2,52	746420,37	810066,40	3948323,37	224797,56	-625961,49
23		42442,00	1,53	64918,96	295789,47	2,78	821062,41	885981,36	4834304,73	231947,49	-394013,99
24		42442,00	1,56	66217,33	295789,47	3,05	903168,65	969385,98	5803690,71	239417,54	-154596,45
25		42442,00	1,59	67541,68	295789,47	3,36	993485,51	1061027,19	6864717,91	247217,88	92621,43

NPV 92621,43

## LCOE

Ukupni troškovi, u koje ubrajamo kapitalne i operativne troškove, iznose 5.532.224 HRK, a proizvedena električna energija uz pribrojenu izvezenu električnu energiju iznosi 6.057.000 kWh. Uzevši u obzir navede podatke, proračunom je utvrđeno da LCOE za razmatrani scenarij nakon 25 godina provedene simulacije iznosi 0,91 HRK/kWh. S obzirom da je cijena električne energije 0,97 HRK/kWh, zaključujemo da je razmatrani scenarij u promatranom vremenskom isplativ. Kako povećanje diskontne stope uzrokuje smanjenje vrijednosti novca, tako diskontirani trošak u razmatranom scenariju također pada, a samim time i LCOE. Kompletna LCOE analiza za razmatrani scenarij prikazana je u tablici 3-33.

**Tablica 3-33.** LCOE analiza – Diskontna stopa +20%

Godine	CAPEX HRK	Uvoz HRK	RES kWh	Disk. Trošak HRK
1,00	4400000,63	89440,77	242300,00	4235322,07
2,00		91229,59	242300,00	81194,01
3,00		93054,18	242300,00	78130,08
4,00		94915,26	242300,00	75181,78
5,00		96813,57	242300,00	72344,73
6,00		98749,84	242300,00	69614,74
7,00		100724,83	242300,00	66987,77
8,00		102739,33	242300,00	64459,93
9,00		104794,12	242300,00	62027,48
10,00		106890,00	242300,00	59686,82
11,00		109027,80	242300,00	57434,49
12,00		111208,36	242300,00	55267,15
13,00		113432,52	242300,00	53181,59
14,00		115701,17	242300,00	51174,74
15,00		118015,20	242300,00	49243,62
16,00		120375,50	242300,00	47385,37
17,00		122783,01	242300,00	45597,24
18,00		125238,67	242300,00	43876,59
19,00		127743,44	242300,00	42220,87
20,00		130298,31	242300,00	40627,63
21,00		132904,28	242300,00	39094,51
22,00		135562,37	242300,00	37619,25
23,00		138273,61	242300,00	36199,65
24,00		141039,09	242300,00	34833,63
25,00		143859,87	242300,00	33519,15
<b>Ukupno</b>			<b>6057500,00</b>	<b>5532224,87</b>

LCOE	0,9132852	HRK/kWh
------	-----------	---------

### 3.4.8. Cijena el. energije -20%

#### NPV

Cijena el. energije smanjena je sa 0,97 HRK/kWh na 0,77 HRK/kWh. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-34.

**Tablica 3-34.** Relevantni podaci o stambenom kompleksu – Cijena el. energije -20%

Investicija		4400000,6	HRK
Ušteda električne energije		42442	kWh
Cijena struje		0,77	HRK/kWh
Eskalacija		2%	
Ušteda toplinske energije		295789,47	kWh
Cijena plina		0,31	HRK/kWh
Eskalacija		10%	
Broj godina		25	
Diskontna stopa		5%	

Uz Kapitalnu investiciju od 4.400.000 HRK, NPV nakon 25 godina za razmatrani scenarij iznosi 609.869 HRK, što znači da je razmatrani scenarij isplativ, no ne isplativiji od referentnog scenarija. Smanjenjem cijene el. energije smanjuje se i ušteda dobivena implementacijom obnovljivih izvora energije u energetske sustav kompleksa, pa se na taj način smanjuje i NPV razmatranog scenarija. Kompletna NPV analiza razmatranog scenarija je prikazana u tablici 3-35.



Tablica 3-35. NPV analiza – Cijena el. energije -20%

Godine	Investicija HRK	En ušteta - struja kWh	Cijena - struja HRK/kWh	Ušteta - struja HRK	En ušteta - plin kWh	Cijena - plin HRK/kWh	Ušteta - plin HRK	Kumulativna ušteta HRK	Cash flow HRK	Disk ušteta HRK	Disk cash flow HRK
0	4400000,63		0,77			0,31			-4400000,63		-4400000,63
1		42442,00	0,79	33333,95	295789,47	0,34	100864,21	134198,16	-4265802,47	127807,77	-4272192,86
2		42442,00	0,80	34000,63	295789,47	0,38	110950,63	144951,26	-4120851,21	131475,06	-4140717,29
3		42442,00	0,82	34680,64	295789,47	0,41	122045,69	156726,33	-3964124,88	135386,10	-4005331,69
4		42442,00	0,83	35374,25	295789,47	0,45	134250,26	169624,52	-3794500,36	139550,51	-3865781,29
5		42442,00	0,85	36081,74	295789,47	0,50	147675,29	183757,03	-3610743,34	143978,44	-3721802,75
6		42442,00	0,87	36803,37	295789,47	0,55	162442,82	199246,19	-3411497,15	148680,58	-3573122,27
7		42442,00	0,88	37539,44	295789,47	0,60	178687,10	216226,54	-3195270,61	153668,16	-3419454,61
8		42442,00	0,90	38290,23	295789,47	0,66	196555,81	234846,04	-2960424,57	158953,04	-3260500,96
9		42442,00	0,92	39056,03	295789,47	0,73	216211,39	255267,42	-2705157,14	164547,66	-3095953,31
10		42442,00	0,94	39837,15	295789,47	0,80	237832,53	277669,68	-2427487,46	170465,10	-2925488,21
11		42442,00	0,96	40633,90	295789,47	0,88	261615,79	302249,68	-2125237,78	176719,13	-2748769,68
12		42442,00	0,98	41446,57	295789,47	0,97	287777,36	329223,94	-1796013,84	183324,21	-2565444,87
13		42442,00	1,00	42275,50	295789,47	1,07	316555,10	358830,61	-1437183,23	190295,53	-2375149,34
14		42442,00	1,02	43121,01	295789,47	1,18	348210,61	391331,63	-1045851,61	197649,06	-2177500,28
15		42442,00	1,04	43983,43	295789,47	1,29	383031,67	427015,11	-618836,50	205401,57	-1972098,71
16		42442,00	1,06	44863,10	295789,47	1,42	421334,84	466197,94	-152638,56	213570,65	-1758528,66
17		42442,00	1,08	45760,37	295789,47	1,57	463468,32	509228,69	356590,13	222174,79	-1536853,27
18		42442,00	1,10	46675,57	295789,47	1,72	509815,15	556490,73	913080,86	231233,39	-1305119,88
19		42442,00	1,12	47609,08	295789,47	1,90	560796,67	608405,75	1521486,61	240766,82	-1064353,66
20		42442,00	1,14	48561,27	295789,47	2,09	616876,34	665437,60	2186924,21	250796,43	-813556,63
21		42442,00	1,17	49532,49	295789,47	2,29	678563,97	728096,46	2915020,68	261344,67	-552211,96
22		42442,00	1,19	50523,14	295789,47	2,52	746420,37	796943,51	3711964,19	272435,04	-279776,93
23		42442,00	1,21	51533,60	295789,47	2,78	821062,41	872596,01	4584560,20	284092,22	4315,30
24		42442,00	1,24	52564,28	295789,47	3,05	903168,65	955732,92	5540293,12	296342,11	300657,41
25		42442,00	1,26	53615,56	295789,47	3,36	993485,51	1047101,07	6587394,19	309211,85	609869,26
<b>NPV</b>											<b>609869,26</b>

## LCOE

Ukupni troškovi, u koje ubrajamo kapitalne i operativne troškove, iznose 5.410.540 HRK, a proizvedena električna energija uz pribrojenu izvezenu električnu energiju iznosi 6.057.000 kWh. Uzevši u obzir navede podatke, proračunom je utvrđeno da LCOE za razmatrani scenarij nakon 25 godina provedene simulacije iznosi 0,89 HRK/kWh. Kako je cijena električne energije za razmatrani scenarij jednaka 0,77 HRK/kWh, isti nije isplativ. S obzirom na omjer troškova i proizvedene količine energije zajedno sa izvezenom energijom, da se zaključiti da bi razmatrani scenarij kroz nekoliko godina postao isplativ. Kompletna LCOE analiza za razmatrani scenarij prikazana je u tablici 3-36.

**Tablica 3-36.** LCOE analiza – Cijena el. energije -20%

Godine	CAPEX HRK	Uvoz HRK	RES kWh	Disk. Trošak HRK
1,00	4400000,63	70999,37	242300,00	4258095,24
2,00		72419,36	242300,00	65686,50
3,00		73867,75	242300,00	63809,74
4,00		75345,10	242300,00	61986,60
5,00		76852,01	242300,00	60215,56
6,00		78389,05	242300,00	58495,11
7,00		79956,83	242300,00	56823,82
8,00		81555,96	242300,00	55200,29
9,00		83187,08	242300,00	53623,14
10,00		84850,82	242300,00	52091,05
11,00		86547,84	242300,00	50602,73
12,00		88278,80	242300,00	49156,94
13,00		90044,37	242300,00	47752,45
14,00		91845,26	242300,00	46388,10
15,00		93682,17	242300,00	45062,72
16,00		95555,81	242300,00	43775,22
17,00		97466,93	242300,00	42524,50
18,00		99416,27	242300,00	41309,51
19,00		101404,59	242300,00	40129,24
20,00		103432,68	242300,00	38982,69
21,00		105501,34	242300,00	37868,90
22,00		107611,36	242300,00	36786,93
23,00		109763,59	242300,00	35735,88
24,00		111958,86	242300,00	34714,85
25,00		114198,04	242300,00	33723,00
<b>Ukupno</b>			<b>6057500,00</b>	<b>5410540,69</b>

LCOE	0,893197	HRK/kWh
------	----------	---------

### 3.4.9. Cijena el. energije +20%

#### NPV

Cijena el. energije povećana je sa 0,97 HRK/kWh na 1,17 HRK/kWh. Navedeni podaci su prikazani u tablici 3-37.

**Tablica 3-37.** Relevantni podaci o stambenom kompleksu – Cijena el. energije +20%

Investicija		4400001	HRK
Ušteda električne energije		42442	kWh
Cijena struje		1,17	HRK/kWh
Eskalacija		2%	
Ušteda toplinske energije		295789,47	kWh
Cijena plina		0,31	HRK/kWh
Eskalacija		10%	
Broj godina		25	
Diskontna stopa		5%	

Uz Kapitalnu investiciju od 4.400.000 HRK, NPV nakon 25 godina za razmatrani scenarij iznosi 907.435 HRK, što znači da je razmatrani scenarij isplativ, no ne isplativiji od referentnog scenarija. Povišenjem cijene el. energije povećava se i ušteda dobivena implementacijom obnovljivih izvora energije u energetske sustav kompleksa, pa se na taj način povećava i NPV razmatranog scenarija. Kompletna NPV analiza razmatranog scenarija je prikazana u tablici 3-38.

**Tablica 3-38.** NPV analiza – Cijena el. energije +20%

Godine	Investicija HRK	En ušteta - struja kWh	Cijena - struja HRK/kWh	Ušteta - struja HRK	En ušteta - plin kWh	Cijena - plin HRK/kWh	Ušteta - plin HRK	Kumulativna ušteta HRK	Cash flow HRK	Disk ušteta HRK	Disk cash flow HRK
0	4400000,63		1,17			0,31			-4400000,63		-4400000,63
1		42442,00	1,19	50650,28	295789,47	0,34	100864,21	151514,49	-4248486,13	144299,52	-4255701,11
2		42442,00	1,22	51663,29	295789,47	0,38	110950,63	162613,92	-4085872,21	147495,62	-4108205,49
3		42442,00	1,24	52696,55	295789,47	0,41	122045,69	174742,25	-3911129,96	150948,92	-3957256,56
4		42442,00	1,27	53750,49	295789,47	0,45	134250,26	188000,75	-3723129,21	154668,68	-3802587,88
5		42442,00	1,29	54825,50	295789,47	0,50	147675,29	202500,79	-3520628,43	158664,66	-3643923,22
6		42442,00	1,32	55922,00	295789,47	0,55	162442,82	218364,82	-3302263,60	162947,19	-3480976,02
7		42442,00	1,34	57040,45	295789,47	0,60	178687,10	235727,55	-3066536,06	167527,17	-3313448,86
8		42442,00	1,37	58181,25	295789,47	0,66	196555,81	254737,07	-2811798,99	172416,07	-3141032,78
9		42442,00	1,40	59344,88	295789,47	0,73	216211,39	275556,27	-2536242,72	177626,03	-2963406,75
10		42442,00	1,43	60531,78	295789,47	0,80	237832,53	298364,31	-2237878,41	183169,80	-2780236,95
11		42442,00	1,45	61742,41	295789,47	0,88	261615,79	323358,20	-1914520,21	189060,84	-2591176,11
12		42442,00	1,48	62977,26	295789,47	0,97	287777,36	350754,62	-1563765,59	195313,30	-2395862,81
13		42442,00	1,51	64236,81	295789,47	1,07	316555,10	380791,91	-1182973,68	201942,08	-2193920,73
14		42442,00	1,54	65521,54	295789,47	1,18	348210,61	413732,15	-769241,53	208962,85	-1984957,88
15		42442,00	1,57	66831,97	295789,47	1,29	383031,67	449863,64	-319377,89	216392,10	-1768565,78
16		42442,00	1,61	68168,61	295789,47	1,42	421334,84	489503,45	170125,57	224247,17	-1544318,61
17		42442,00	1,64	69531,98	295789,47	1,57	463468,32	533000,31	703125,87	232546,27	-1311772,34
18		42442,00	1,67	70922,62	295789,47	1,72	509815,15	580737,78	1283863,65	241308,54	-1070463,79
19		42442,00	1,70	72341,08	295789,47	1,90	560796,67	633137,75	1917001,40	250554,11	-819909,69
20		42442,00	1,74	73787,90	295789,47	2,09	616876,34	690664,24	2607665,63	260304,09	-559605,60
21		42442,00	1,77	75263,66	295789,47	2,29	678563,97	753827,63	3361493,26	270580,67	-289024,93
22		42442,00	1,81	76768,93	295789,47	2,52	746420,37	823189,30	4184682,56	281407,16	-7617,78
23		42442,00	1,84	78304,31	295789,47	2,78	821062,41	899366,71	5084049,27	292808,00	285190,22
24		42442,00	1,88	79870,39	295789,47	3,05	903168,65	983039,04	6067088,31	304808,86	589999,08
25		42442,00	1,92	81467,80	295789,47	3,36	993485,51	1074953,31	7142041,62	317436,69	907435,77

NPV 907435,77

## LCOE

Ukupni troškovi, u koje ubrajamo kapitalne i operativne troškove, iznose 6.044.340 HRK, a proizvedena električna energija uz pribrojenu izvezenu električnu energiju iznosi 6.057.000 kWh. Uzevši u obzir navede podatke, proračunom je utvrđeno da LCOE za razmatrani scenarij nakon 25 godina provedene simulacije iznosi 0,99 HRK/kWh. Kako je cijena električne energije za razmatrani scenarij jednaka 1,17 HRK/kWh, vidljivo je da je scenarij isplativ. Povećavanjem cijene el. energije povećava se i isplativost scenarija gledajući LCOE analizu iako se trošak povećava jer vrijednost proizvedene količine energije od strane obnovljivih izvora energije uz izvoz energije raste. Kompletna LCOE analiza za razmatrani scenarij prikazana je u tablici 3-39.

**Tablica 3-39.** LCOE analiza – Cijena el. energije +20%

Godine	CAPEX HRK	Uvoz HRK	RES kWh	Disk. Trošak HRK
1,00	4400000,63	107882,17	242300,00	4293221,71
2,00		110039,81	242300,00	99809,35
3,00		112240,61	242300,00	96957,66
4,00		114485,42	242300,00	94187,44
5,00		116775,13	242300,00	91496,37
6,00		119110,63	242300,00	88882,19
7,00		121492,84	242300,00	86342,69
8,00		123922,70	242300,00	83875,76
9,00		126401,15	242300,00	81479,31
10,00		128929,18	242300,00	79151,33
11,00		131507,76	242300,00	76889,86
12,00		134137,91	242300,00	74693,01
13,00		136820,67	242300,00	72558,92
14,00		139557,09	242300,00	70485,81
15,00		142348,23	242300,00	68471,93
16,00		145195,19	242300,00	66515,59
17,00		148099,10	242300,00	64615,15
18,00		151061,08	242300,00	62769,00
19,00		154082,30	242300,00	60975,60
20,00		157163,95	242300,00	59233,44
21,00		160307,22	242300,00	57541,05
22,00		163513,37	242300,00	55897,02
23,00		166783,64	242300,00	54299,97
24,00		170119,31	242300,00	52748,54
25,00		173521,70	242300,00	51241,44
<b>Ukupno</b>			<b>6057500,00</b>	<b>6044340,13</b>

LCOE	0,9978275	HRK/kWh
------	-----------	---------

### 3.4.10. Preostali scenariji

Uz solarne panele i broj bušotina, u analizi su sudjelovali i drugi tehnički parametri već spomenuti u ranijim poglavljima, kao što su: električni grijač, snaga baterije, kapacitet baterije, dizalica topline, maksimalna temperatura radnog fluida, toplinska vodljivost tla, promjeri bušotinskog izmjenjivača topline i dubina bušotine. Izmjenom navedenih parametara u simulaciji stvoreni su scenariji koji se značajno ne razlikuju od referentnog scenarija, stoga analiza navedenih scenarija neće biti uključena u rad. U nastavku će biti prikazana analiza osjetljivosti i tablični prikaz rezultata analize svih razmatranih scenarija.

### 3.5. Analiza osjetljivosti

Tablica 3-40. Prikazuje rezultat NPV analize svih razmatranih scenarija. Tablica 3-41. Prikazuje rezultat LCOE analize svih razmatranih scenarija.

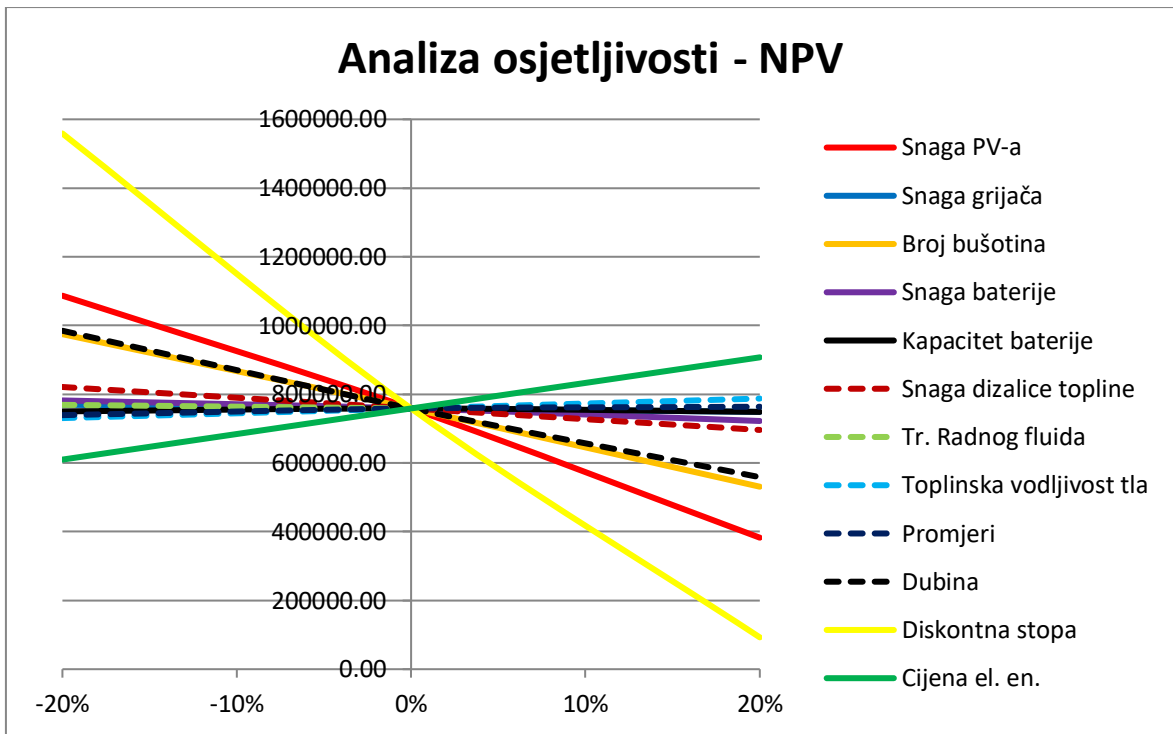
**Tablica 3-40.** Rezultati NPV analize svih razmatranih scenarija

NPV												
X (%)	Y (HRK)											
	Snaga PV-a	Snaga grijača	Broj bušotina	Snaga baterije	Kapacitet baterije	Snaga dizalice topline	Tr. Radnog fluida	Toplinska vodljivost tla	Promjeri	Dubina bušotine	Diskontna stopa	Cijena el. en.
-20%	1086779,63	769561,37	974903,86	781974,24	750112,50	821152,83	769143,06	730684,54	739287,55	984816,02	1558738,56	609869,57
0%	758652,83	758652,83	758652,83	758652,83	758652,83	758652,83	758652,83	758652,83	758652,83	758652,83	758652,83	758652,83
20%	382682,40	748713,39	530976,45	722205,86	748660,97	696152,83		787488,21	763651,41	558706,71	92621,74	907436,08

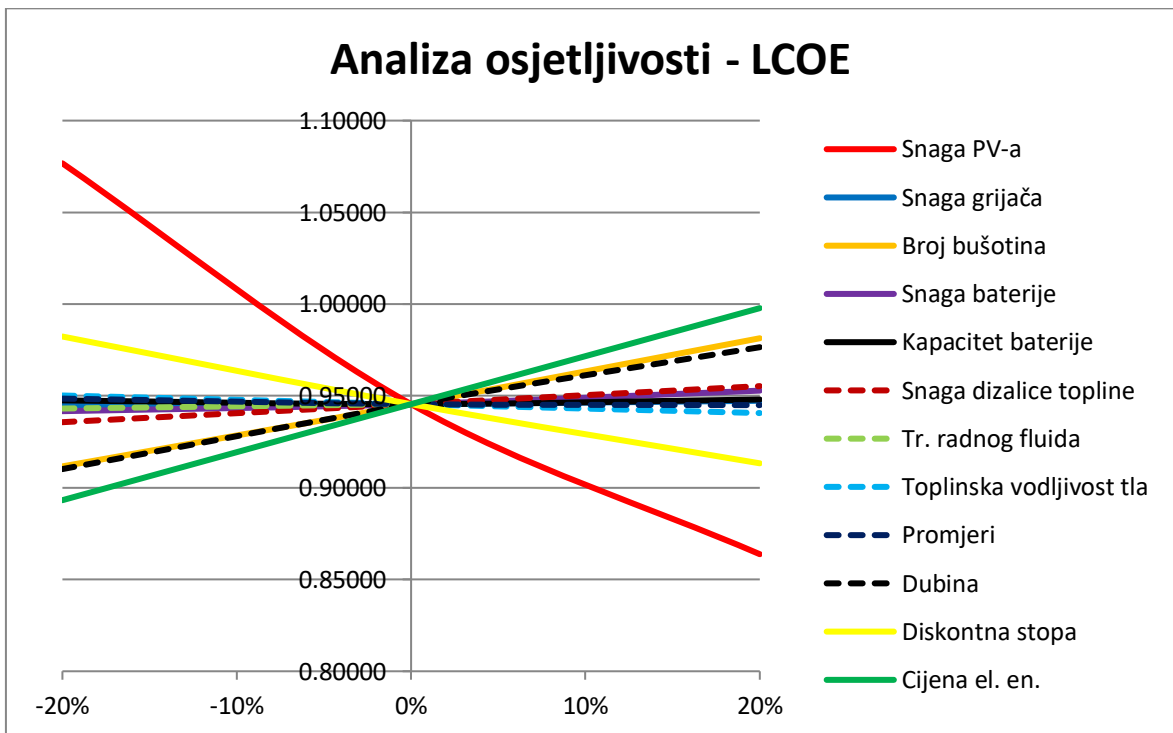
**Tablica 3-41.** Rezultati LCOE analize svih razmatranih scenarija

LCOE												
X (%)	Y (HRK/kWh)											
	Snaga PV-a	Snaga grijača	Broj bušotina	Snaga baterije	Kapacitet baterije	Snaga dizalice topline	Tr. Radnog fluida	Toplinska vodljivost tla	Promjeri	Dubina bušotine	Diskontna stopa	Cijena el. en.
-20%	1,07671	0,94453	0,91162	0,94170	0,94757	0,93569	0,94314	0,95022	0,94854	0,91014	0,98236	0,89320
0%	0,94551	0,94551	0,94551	0,94551	0,94551	0,94551	0,94551	0,94551	0,94551	0,94551	0,94551	0,94551
20%	0,86377	0,94735	0,98142	0,95288	0,94804	0,95534		0,94067	0,94498	0,97654	0,91329	0,99783

Korištenjem analize osjetljivosti moguće je utvrditi na koji način različite vrijednosti nezavisnih varijabli, u ovom slučaju to su razmatrani tehnički i ekonomski parametri, utječu na određenu zavisnu varijablu, NPV i LCOE. Slika 3-21. prikazuje NPV analizu osjetljivosti. Slika 3-22. prikazuje LCOE analizu osjetljivosti.



Slika 3-21. Analiza osjetljivosti – NPV



Slika 3-22. Analiza osjetljivosti – LCOE



#### 4. ZAKLJUČAK

Korištenjem modela RES2GEO provedeno je više simulacija kojima je utvrđena optimalna konfiguracija promatranog stambenog prostora. Na takav način, stvoren je referentni scenarij na kojem je provedena tehnoekonomska analiza gdje se u oba slučaja ispostavilo kako je projekt opskrbe zgrada obnovljivim izvorima energije u periodu od 25 godina simulacije isplativ. Zatim je provedena NPV i LCOE analiza za niz različitih scenarija u kojima su mijenjani različiti tehnički i ekonomski parametri u odnosu na referentni scenarij, te su ispitivane tehničke i ekonomske karakteristike razmatranih scenarija. Detaljno su prikazane analize najznačajnijih scenarija, dok su preostali scenariji, za koje su analize također provedene, prikazane tabličnim putem i u obliku grafičkog prikaza analize osjetljivosti sa kojih se jasno mogu iščitati utjecaji različitih parametara na projekt.

Analiza osjetljivosti jasno pokazuje kako najveći utjecaj na isplativost scenarija u NPV i LCOE pogledu imaju scenariji u kojima su izmijenjena dva tehnička i dva ekonomska parametra, a to su izmjena snage solarnih panela i broja bušotina, te izmjena diskontne stope i cijene električne energije. U slučaju smanjenja snage solarnih panela, manja kapitalna ulaganja smanjuju kapitalne troškove, pa je i isplativost veća. Kod porasta snage solarnih panela, zbog veće energetske uštede neupitno je da bi se kroz nekoliko godina isplativost izjednačila, a zbog istog razloga je niveliran trošak energije izuzetno isplativ. U slučaju smanjenja broja bušotina, isto kao i kod solarnih panela, manja kapitalna ulaganja uzrokuju veću isplativost unatoč padu u uštedi energije. Kod porasta broja bušotina, ušteda energije je veća, pa bi kroz nekoliko godina scenarij postao isplativiji. U slučaju smanjenja diskontne stope povećava se vrijednost novca, a samim time i isplativost scenarija. Kod porasta diskontne stope smanjuje se vrijednost novca, pa tako i isplativost, dok se u isto vrijeme niveliran trošak energije smanjuje s obzirom na pad vrijednosti operativnih troškova. U slučaju smanjenja cijene električne energije, ostvarena ušteda dobivena implementacijom obnovljivih izvora energije bi bila smanjena, pa tako i isplativost scenarija, no isti bi i dalje bio isplativ, samo manje. Kod povećanja cijene električne energije, niveliran trošak energije bi bio isplativ unatoč povećanju operativnih troškova jer vrijednost proizvedenoj količini energije od strane obnovljivih izvora uz izvoz energije raste. Iz analize osjetljivosti primjetno je da i ostali parametri nezanemarivo utječu na projekt, međutim, jasno je vidljivo kako upravo predstavljeni scenariji imaju najveći utjecaj na optimizaciju energetske bilance, kao i troškove grijanja i hlađenja razmatranih stambenih objekata.



## 5. LITERATURA

1. BALETA, J., MIKULČIĆ, H., KLEMEŠ, J.J., URBANIEC, K., DUIĆ, N., 2019. Integration of Energy, Water and Environmental Systems for a Sustainable Development. *Journal of Cleaner Production*, 215.
2. CHEW, K.H., KLEMEŠ, J.J., WAN ALWI, S.R., MANAN, Z.A., 2015. Process Modifications to Maximise Energy Savings in Total Site Heat Integration. *Applied Thermal Engineering*, 78.
3. CONNOLLY, D., DRYSDALE, D., HANSEN, K., NOVOSEL, T., 2021. Creating Hourly Profiles to Model both Demand and Supply. Background Report 2, Stratego Project. Project No: IEE/13/650.
4. GONDAL, I.A., 2020. Prospects of Shallow geothermal systems in HVAC for NZEB. *Energy and Built Environment*, 80.
5. KLEMEŠ, J.J., VARBANOV, P.S., 2013. Process Intensification and Integration: An Assessment. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 15.
6. KUREVIJA, T., 2010. Doktorska disertacija: Energetsko vrednovanje plitkih geotermalnih potencijala Republike Hrvatske.
7. ENERGETSKI INSTITUT HRVOJE POŽAR, 2018. Republic of Croatia, Ministry of Environment and Energy, Annual Energy Report, Energy in Croatia. ISSN 847-0602.
8. PERKOVIĆ, L., LEKO, D., LEKIĆ BRETTSCHEIDER, A., MIKULIČIĆ, H., VARBANOV, P., S., 2021. Integration of Photovoltaic Electricity with Shallow Geothermal Systems for Residential Microgrids: Proof of Concept and Techno-Economic Analysis with RES2GEO Model. *Energies*, 14.
9. WALCH, A., MOHAJERI, N., GUDMUNDSSON, A., SCARTEZZINI, J., L., 2021. Quantifying the technical geothermal potential from shallow borehole heat exchangers at regional scale. *Renewable Energy*, 165, 369-380.

### WEB IZVORI:

10. DANISH ENERGY AGENCY, 2016. URL: <https://ens.dk/en>. (25. 10. 2021.)
11. ECOFOREST HEAT PUMPS TECHNICAL DANA, 2001. URL: [www.ecoforest.es](http://www.ecoforest.es). (25. 10. 2021.)
12. EUROSTAT, 2006. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat>. (25. 10. 2021.)

13. MINISTARSTVO PROSTORNOG UREĐENJA, GRADITELJSTVA I DRŽAVNE IMOVINE, 2021. URL: <https://mpgi.gov.hr/>. (11. 10. 2021.)
14. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM, 2021. URL: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en). (9. 8. 2021.)
15. PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. PYTHON LANGUAGE REFERENCE, VERSION 3.8., 2001. URL: [www.python.org](http://www.python.org). (28. 8. 2021.)

## IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno uz znanje stečeno na Rudarsko-geološko- naftnom fakultetu, služeći se navedenom literaturom.



---

Darinko Suton



KLASA: 602-04/21-01/277  
URBROJ: 251-70-12-21-2  
U Zagrebu, 02.09.2022.

**Darinko Suton, student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/277, URBROJ: 251-70-12-21-1 od 09.12.2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### SIMULACIJA MIKROMREŽE ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGETSKE POTROŠNJE POMOĆU MODELA RES2GEO

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada izv.prof.dr.sc. Luka Perković nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(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)