

# Scenarij za ostvarivanje energetske neutralnog grada Ivanić-Grada korištenjem programa EnergyPLAN

---

Kesić, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*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:169:963490>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-31**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij naftnog rudarstva

**SCENARIJI ZA OSTVARIVANJE ENERGETSKI NEUTRALNOG  
GRADA IVANIĆ-GRADA KORIŠTENJEM PROGRAMA  
ENERGYPLAN**

Diplomski rad

Luka Kesić

N332

Zagreb, 2021.

SCENARIJI ZA OSTVARIVANJE ENERGETSKI NEUTRALNOG GRADA IVANIĆ-  
GRADA KORIŠTENJEM PROGAMA ENERGYPLAN

LUKA KESIĆ

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

Sažetak

Geotermalna energija u Republici Hrvatskoj i Europskoj uniji ima relativno niski udio u ukupnoj proizvodnji toplinske energije međutim prema brojnim studijama postoje značajni potencijali u iskorištavanju takve vrste energije. Budući se Ivanić-Grad nalazi na području iznimno dobro geotermalnog lokaliteta, za potrebe izrade ovog rada napravljena je scenarijska analiza s povećanjem dobave toplinske energije putem centraliziranog toplinskog sustava u kombinaciji sa dizalicama topline. Osim za potrebe toplinske energije razmatrane su i opcije povećanja udjela električnih vozila i proizvodnje električne energije uz pomoć fotonaponskih panela. Scenarijska analiza napravljena je uz pomoć računalnog programa EnergyPLAN.

Ključne riječi: centralizirani toplinski sustav, Ivanić-Grad, obnovljivi izvori energije

Diplomski rad sadrži: 62 stranice, 59 slika, 20 tablica i 23 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

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

Voditelj: Dr.sc. Luka Perković, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr.sc. Luka Perković, izvanredni profesor RGNF

Dr.sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNF

Dr.sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica RGNF

Datum obrane: 17. rujna 2021., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Master's Thesis

SCENARIOS FOR ACHIEVING THE ENERGY NEUTRAL CITY OF IVANIĆ USING  
THE ENERGYPLAN SOFTWARE

KESIĆ LUKA

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

Abstract

Geothermal energy in the Republic of Croatia and the European Union has a relatively low share in the total production of thermal energy. However, according to numerous studies there are significant use of this type of energy. Because the City of Ivanić is located in the area with excellent geothermal potential, for the purposes of this thesis, a scenario analysis was made by increasing the supply of thermal energy through a district heating system in combination with heat pumps. Apart from the needs for thermal energy, the options of increasing the share of electric vehicles and electricity production with photovoltaic panels were also considered. The scenario analysis was done with the help of EnergyPLAN software.

Keywords: district heating, renewable energy sources, City of Ivanić

Thesis contains: 62 pages, 59 figures, 20 tables and 23 references.

Original in: Croatian

Archived at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Associate Professor Luka Perković, PhD

Reviewers: Associate Professor Luka Perković, PhD

Full Professor Tomislav Kurevija, PhD

Full Professor Daria Karasalihović-Sedlar, PhD

Date of defense: September 17, 2021., Faculty of Mining, Geology and Petroleum  
Engineering, University of Zagreb

*Zahvaljujem se svom mentoru prof.dr.sc. Luki Perkoviću na strpljenju i svesrdnoj pomoći prilikom sastavljanja ovog rada. Zahvalu upućujem i ostalim profesorima RGN fakulteta koji su mi pružili savjete i pomoć prilikom izrade diplomskog rada, ali i tijekom studija.*

*Zahvaljujem se i mojoj dragoj Lorenni na podršci, a posebice majci Mirjani i ocu Miroslavu koji su uvijek bili tu za mene.*

## SADRŽAJ

<b>POPIS SLIKA</b> .....	I
<b>POPIS TABLICA</b> .....	IV
<b>POPIS KORIŠTENIH SKRAĆENICA</b> .....	V
<b>1. UVOD</b> .....	1
1.1. Centralizirani toplinski sustavi .....	1
1.2. Centralizirani toplinski sustavi u RH .....	1
1.3. Geotermalna energija u RH .....	1
1.4. Dizalice topline velikih snaga u centraliziranim toplinskim sustavima .....	4
<b>2. METODOLOGIJA</b> .....	6
2.1. EnergyPLAN .....	6
2.2. Opće karakteristike i primjena EnergyPLAN-a.....	6
<b>3. ANALIZA SLUČAJA IVANIĆ-GRADA</b> .....	9
3.1. Geografske karakteristike .....	9
3.2. Demografske karakteristike.....	10
3.3. Gospodarske karakteristike.....	12
3.4. Postavke energetske sustava Ivanić-Grada.....	13
3.5. Potrošnja električne energije .....	13
3.6. Potrošnja toplinske energije .....	15
3.7. Cestovni promet.....	16
3.8. Analiza ukupne energetske potrošnje Ivanić-Grada.....	18
3.9. Geotermalno i naftno polje „Ivanić“ .....	19
3.10. Naftno-plinsko polje „Žutica“ .....	20
<b>4. SCENARIJSKA ANALIZA</b> .....	23
4.1. BAU scenarij – 2030. godina .....	23
4.2. Scenarij Ivanić-Grad_25.....	28

4.3.	Scenarij Ivanić-Grad_50.....	35
4.4.	Scenarij Ivanić-Grad_75.....	40
4.5.	Scenarij Ivanić-Grad_100.....	45
<b>5.</b>	<b>TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA .....</b>	<b>50</b>
<b>6.</b>	<b>ANALIZA REZULTATA.....</b>	<b>55</b>
<b>7.</b>	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>59</b>
<b>8.</b>	<b>POPIS LITERATURE.....</b>	<b>60</b>

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1-1.</b> Dubinska karta Mohorovičićevog diskontinuiteta u JI Europi.....	2
<b>Slika 1-2.</b> Geotermalna područja u Republici Hrvatskoj .....	3
<b>Slika 1-3.</b> Geotermalni lokaliteti u Hrvatskoj .....	3
<b>Slika 1-4.</b> Princip rada kompresijske dizalice topline .....	4
<b>Slika 1-5.</b> Radni ciklus dizalice topline .....	5
<b>Slika 3-1.</b> Teritorijalno-politički ustroj Ivanić-Grada. ....	9
<b>Slika 3-2.</b> Raspodjela zaposlenih osoba prema djelatnostima .....	12
<b>Slika 3-3.</b> Struktura potrošnje električne energije.....	15
<b>Slika 3-4.</b> Potrošnja osobnih vozila prema tipu goriva .....	17
<b>Slika 3-5.</b> Ukupna potrošnja energije prema podsektorima .....	19
<b>Slika 3-6.</b> Geotermalno polje Ivanić .....	20
<b>Slika 3-7.</b> Prikaz naftno-plinskog polja "Žutica" i Ivanić-Grada.....	21
<b>Slika 4-1.</b> BAU scenarij - unos potražnje električne energije u EnergyPLAN-u.....	23
<b>Slika 4-2.</b> Sustav središnjih naselja Ivanić-Grada.....	24
<b>Slika 4-3.</b> BAU scenarij – vrijednosti primarne potražnje toplinske energije u EnergyPLAN-u .....	25
<b>Slika 4-4.</b> BAU scenarij - potražnja energije za osobna vozila u EnergyPLAN-u .....	26
<b>Slika 4-5.</b> BAU scenarij - potražnja električne energije za Ivanić-Grad.....	26
<b>Slika 4-6.</b> BAU scenarij - uvoz električne energije za Ivanić-Grad.....	27
<b>Slika 4-7.</b> BAU scenarij – potražnja prirodnog plina za Ivanić-Grad.....	27
<b>Slika 4-8.</b> BAU scenarij - uvoz prirodnog plina za Ivanić-Grad .....	28
<b>Slika 4-9.</b> Scenarij Ivanić-Grad_25 - potražnja energije za osobna vozila u EnergyPLAN-u .....	31
<b>Slika 4-10.</b> Scenarij Ivanić-Grad_25 - karakteristike punjenja električnih automobila u EnergyPLAN-u.....	31
<b>Slika 4-11.</b> Scenarij Ivanić-Grada_25 – proizvodnja električne energije iz varijabilnih obnovljivih izvora.....	32



<b>Slika 4-12.</b> Scenarij Ivanić-Grad_25 - odabrane karakteristike dizalica topline .....	32
<b>Slika 4-13.</b> Scenarij Ivanić-Grad_25 - potražnja električne energije .....	33
<b>Slika 4-14.</b> Scenarij Ivanić-Grad_25 – uvoz električne energije .....	33
<b>Slika 4-15.</b> Scenarij Ivanić-Grad_25 - potražnja toplinske energije putem CTS-a.....	34
<b>Slika 4-16.</b> Scenarij Ivanić-Grad_25 - dobava toplinske energije putem CTS-a.....	34
<b>Slika 4-17.</b> Scenarij Ivanić-Grad_25 - potražnja prirodnog plina.....	35
<b>Slika 4-18.</b> Scenarij Ivanić-Grad_25 - uvoz prirodnog plina.....	35
<b>Slika 4-19.</b> Scenarij Ivanić-Grad_50 - odabrane karakteristike dizalica topline .....	37
<b>Slika 4-20.</b> Scenarij Ivanić-Grad_50 - potražnja električne energije .....	38
<b>Slika 4-21.</b> Scenarij Ivanić-Grad_50 - izvoz električne energije .....	38
<b>Slika 4-22.</b> Scenarij Ivanić-Grad_50 - potražnja toplinske energije putem CTS-a.....	39
<b>Slika 4-23.</b> Scenarij Ivanić-Grad_50 - dobava toplinske energije putem CTS-a.....	39
<b>Slika 4-24.</b> Scenarij Ivanić-Grad_50 - potražnja prirodnog plina.....	40
<b>Slika 4-25.</b> Scenarij Ivanić-Grad_50 - uvoz prirodnog plina.....	40
<b>Slika 4-26.</b> Scenarij Ivanić-Grad_75 – odabrane karakteristike dizalica topline.....	42
<b>Slika 4-27.</b> Scenarij Ivanić-Grad_75 – potražnja električne energije .....	42
<b>Slika 4-28.</b> Scenarij Ivanić-Grad_75 – izvoz električne energije .....	43
<b>Slika 4-29.</b> Scenarij Ivanić-Grad_75 – potražnja toplinske energije putem CTS-a.....	43
<b>Slika 4-30.</b> Scenarij Ivanić-Grad_75 – dobava toplinske energije putem CTS-a .....	44
<b>Slika 4-31.</b> Scenarij Ivanić-Grad_75 - potražnja prirodnog plina.....	44
<b>Slika 4-32.</b> Scenarij Ivanić-Grad_75 – uvoz prirodnog plina .....	45
<b>Slika 4-33.</b> Scenarij Ivanić-Grad_100 – odabrane karakteristike dizalica topline.....	47
<b>Slika 4-34.</b> Scenarij Ivanić-Grad_100 - potražnja električne energije .....	47
<b>Slika 4-35.</b> Scenarij Ivanić-Grad_100 - izvoz električne energije .....	47
<b>Slika 4-36.</b> Scenarij Ivanić-Grad_100 - potražnja toplinske energije putem CTS-a.....	48
<b>Slika 4-37.</b> Scenarij Ivanić-Grad_100 - dobava toplinske energije putem CTS-a.....	48

<b>Slika 4-38.</b> Scenarij Ivanić-Grad_100 - potražnja prirodnog plina (Industrija).....	49
<b>Slika 4-39.</b> Scenarij Ivanić-Grad_100 - uvoz prirodnog plina (Industrija).....	49
<b>Slika 5-1.</b> Kretanje cijena električne energije na CROPEX-u .....	52
<b>Slika 5-2.</b> Cijene plina u EU za kućanstva od 2008. do 2020. godine .....	53
<b>Slika 6-1.</b> Smanjenje emisija CO <sub>2</sub> prema scenarijima.....	55
<b>Slika 6-2.</b> Povećanje udjela obnovljivih izvora prema scenarijima .....	55
<b>Slika 6-3.</b> Kompozicija troškova na godišnjoj razini prema scenarijima.....	56
<b>Slika 6-4.</b> Ukupni investicijski troškovi prema scenarijima .....	57
<b>Slika 6-5.</b> Godišnji investicijski troškovi prema scenarijima .....	58

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 3-1.</b> Stanovništvo Ivanić-Grada po naseljenim mjestima .....	10
<b>Tablica 3-2.</b> Projekcije stanovništva Ivanić-Grada.....	12
<b>Tablica 3-3.</b> Potrošnja električne energije u sektoru zgradarstva.....	13
<b>Tablica 3-4.</b> Potrošnja toplinske energije za sektor zgradarstva.....	15
<b>Tablica 3-5.</b> Struktura potrošnje energenata u javnom prijevozu.....	17
<b>Tablica 3-6.</b> Analiza potrošnje goriva osobnih automobila.....	18
<b>Tablica 3-7.</b> Potrošnja energije Ivanić-Grada.....	18
<b>Tablica 4-1.</b> Potrošnja toplinske energije u kućanstvima i stanovima – BAU scenarij.....	25
<b>Tablica 4-2.</b> BAU scenarij – proračunate vrijednosti potražnje toplinske energije.....	25
<b>Tablica 4-3.</b> Podaci o scenariju "Ivanić-Grad_25" .....	29
<b>Tablica 4-4.</b> Potrošnja energije u sektoru transporta za scenarij Ivanić-Grad_25.....	30
<b>Tablica 4-5.</b> Podaci o scenariju Ivanić-Grad_50 .....	36
<b>Tablica 4-6.</b> Potrošnja energije u sektoru transporta za scenarij Ivanić-Grad_50.....	37
<b>Tablica 4-7.</b> Podaci o scenariju Ivanić-Grad_75 .....	41
<b>Tablica 4-8.</b> Potrošnja energije u sektoru transporta za scenarij Ivanić-Grad_75.....	41
<b>Tablica 4-9.</b> Podaci o scenariju Ivanić-Grad_100 .....	46
<b>Tablica 4-10.</b> Potrošnja energije u sektoru transporta za scenarij Ivanić-Grad_100.....	46
<b>Tablica 5-1.</b> Prikaz troškova za dizalice topline.....	54
<b>Tablica 5-2.</b> Prikaz troškova za fotonaponske ćelije .....	54
<b>Tablica 6-1.</b> Rezultati tehno-ekonomske analize prema scenarijima .....	56

## POPIS KORIŠTENIH SKRAĆENICA

<b>Skraćenica</b>	<b>Puni naziv</b>
CTS	Centralizirani toplinski sustav
PV	Fotonaponske ćelije
CO <sub>2</sub>	Ugljični dioksid
R134a	Tetrafluoroetan
R1234ze	Tetrafluoropropan
R717	Amonijak
m.n.m	Metara nad morem
COP	Koeficijent učinkovitosti dizalica topline

## 1. UVOD

### 1.1. Centralizirani toplinski sustavi

Koncept centraliziranih toplinskih sustava je izgradnja mjesta gdje postoji jedan centralizirani izvor topline koji opskrbljuje više kućanstava ili više zasebnih zgrada na nekoj lokaciji putem podzemne cijevne mreže. U središtu filozofije takvih sustava je koncept poboljšanja energetske učinkovitosti, smanjenje emisija CO<sub>2</sub> i uštede na troškovima tako što jedan veliki izvor topline radi vrlo učinkovito umjesto da jedna zgrada ili više kućanstava proizvodi toplinu pojedinačno.

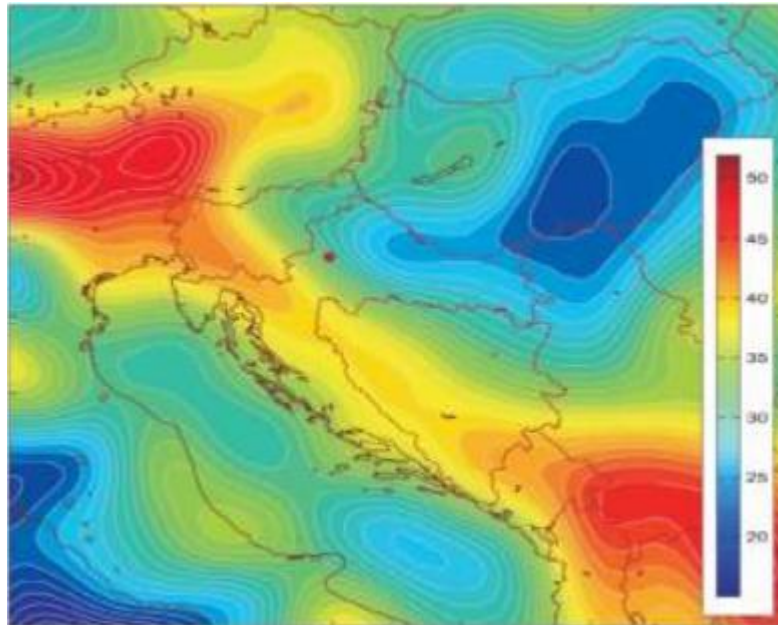
### 1.2. Centralizirani toplinski sustavi u RH

U posljednjih petnaest godina u Hrvatskoj nije došlo do značajnih proširenja centralnih toplinskih sustava te postoji potreba za obnovom postojećih mreža radi povećanja povjerenja kupaca, isplativosti i povećanja energetske učinkovitosti. Prema tipu goriva koji se koriste u takvim sustavima tu spadaju prirodni plin, nafta i naftni derivati (lož-ulje), obnovljivi izvori energije i kogeneracijska postrojenja u kojima se istovremeno proizvodi toplinska i električna energija. U posljednjih desetak godina postotak svakog korištenog goriva mijenjao se iz godine u godinu. Međutim, postotak prirodnog plina koji se koristi za proizvodnju toplinske energije u centralnim toplinskim sustavima u posljednjem desetljeću je u porastu dok pada zastupljenost nafte i naftnih derivata. Preduvjet za daljnji razvoj takvih sustava u RH je intenzivno obnavljanje i tehnološka poboljšanja, posebice u smislu prelaska na niskotemperaturne sustave. Na taj način doći će do smanjenja opterećenja toplinskih sustava, otvarajući mogućnost povezivanja novih krajnjih kupaca i razvoja sustava četvrte generacije. Posebno je pozornost potrebno posvetiti u povećanju korištenja obnovljivih izvora energije, prvenstveno biomase i geotermalne energije (Maras, 2019).

### 1.3. Geotermalna energija u RH

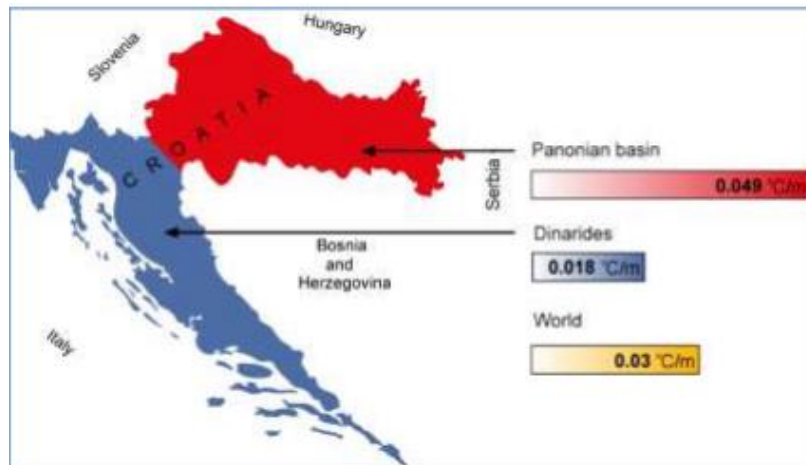
Položaj Hrvatske u dvije glavne geološke regije, Panonskoj nizini na sjeveru i Dinaridima na jugu, ima izravan utjecaj na geotermalni potencijal u oba područja. Dinaridi su 200-300 km široki jugozapadni kopneni pojas koji se proteže u smjeru sjeverozapada-jugoistoka uz istočnu stranu Jadranskog mora. Nastali su kao rezultat konvergentnog pomicanja afričke ploče prema euroazijskog ploči uzrokujući subdukciju kontinentalne kore i produbljivanje Moho diskontinuiteta (slika 1-1). Panonski bazen je također nastao istim pokretima afričke

ploče. Prva faza nastanka bila je karakterizirana tektonskim stanjivanjem kora i izostatičkim slijeganjem. Dakle, zbog vrlo različitog geološkog okruženja i podrijetla, regije se razlikuju u smislu geotermalnih uvjeta. Debljina kontinentalne kore u području Dinarida varira između 35 i 40 km, dok se raspon u Panonskom bazenu kreće između 25 i 30 km što za posljedicu ima izravan utjecaj na gustoću toplinskog toka kao jednog od glavnih parametara geotermalnog potencijala (Energetski institut Hrvoje Požar, 2017).



**Slika 1-1.** Dubinska karta Mohorovičićevog diskontinuiteta u JI Europi (Energetski institut Hrvoje Požar, 2017)

Sukladno navedenom, područje Republike Hrvatske možemo podijeliti na dva geotermalna područja: Panonski bazen i Dinaridi. Područje Panonskog bazena ima značajan geotermalni potencijal gdje su geotermalni gradijenti često puta veći od  $0,04^{\circ}\text{C}/\text{m}$ , a na mjestima vrijednosti sežu do  $0,07^{\circ}\text{C}/\text{m}$  (slika 1-2). Gustoća toplinskog toka također varira u visokim vrijednostima od 60 do preko  $100 \text{ mW}/\text{m}^2$ . S druge strane, Dinaridi su područje sa geotermalnim gradijentima od  $0,01$  do  $0,03^{\circ}\text{C}/\text{m}$  i gustoćama toplinskih tokova od 20 do  $60 \text{ mW}/\text{m}^2$  (Energetski institut Hrvoje Požar, 2017).



**Slika 1-2.** Geotermalna područja u Republici Hrvatskoj (Energetski institut Hrvoje Požar, 2017)

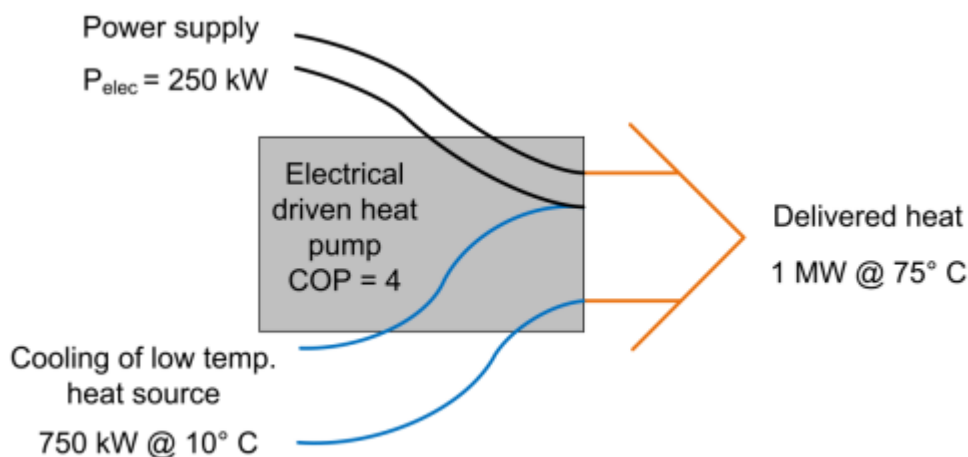
Geotermalni potencijal u Panonskom bazenu obilježen je sa 30 geotermalnih izvora pretežito u zapadnom dijelu RH, od kojih su mnogi poznati još od Rimskog doba. U drugoj polovici 20. stoljeća na području Panonskog bazena u sklopu istraživanja nafte i plina pronađeni su geotermalni izvori sa višim temperaturama. U tom vremenu izrađeno je više od 4000 kanala bušotina te je uz brojna naftna i plinska polja u proizvodnju pušteno i pet geotermalnih polja (Zagreb, Bizovac, Ivanić, Lunjkovec-Kutnjak, Velika Ciglena) (Energetski institut Hrvoje Požar, 2017). Na slici 1-3 prikazani su geotermalni lokaliteti u Hrvatskoj.



**Slika 1-3.** Geotermalni lokaliteti u Hrvatskoj (Energetski institut Hrvoje Požar, 2017)

#### 1.4. Dizalice topline velikih snaga u centraliziranim toplinskim sustavima

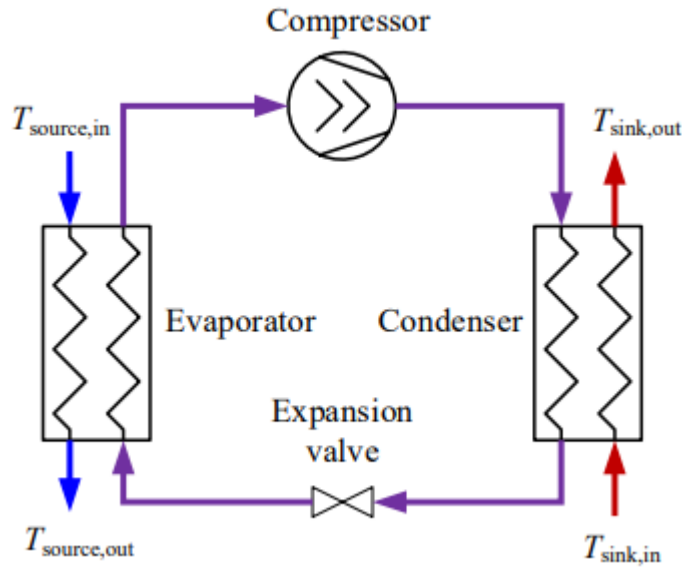
Za kompresijske dizalice topline, količina proizvedene toplinske energije u pravilu je 3 do 5 puta veća od ulazne električne energije. Taj se odnos još naziva koeficijentom učinkovitosti ili toplinskim množiteljem (*engl. Coefficient of performance-COP*). Koeficijent u osnovi ovisi o efikasnosti pojedine dizalice topline (Lorenzov faktor), temperature ulaznog medija i temperature odlaznog medija prema potrošaču odnosno njihovoj temperaturnoj razlici. (Danish Energy Agency, 2020). Energetski tok takvih uređaja ilustriran je na slici 1-4.



**Slika 1-4.** Princip rada kompresijske dizalice topline (Danish Energy Agency, 2020)

Za dizalice topline koje toplinskom energijom opskrbljuju centralizirane toplinske sustave, primarni fluid u prvom cirkulacijskom krugu može biti npr. okolni zrak ili nisko-temperaturni fluid iz nekog industrijskog procesa dok se kao sekundarni fluid u drugom cirkulacijskom krugu može primjerice koristiti voda iz centraliziranog toplinskog sustava. Isparivač (*engl. Evaporator*) i kondenzator (*engl. Condenser*) su izmjenjivači topline koji omogućuju izmjenu topline primarnog i sekundarnog fluida. Općeniti radni ciklus dizalice topline prikazan je na slici 1-5 (Danish Energy Agency, 2020).





**Slika 1-5.** Radni ciklus dizalice topline (Danish Energy Agency, 2020)

Dizalice topline su dakle uređaji koji koriste vanjski izvor topline kako bi toplinu podignuli na izvor visoke temperature uz pomoć radne tvar (*engl. Refrigerant*) koja ima veliku sposobnost apsorpcije topline u isparivaču i oslobađanja topline u kondenzatoru. Ako je snaga takvih dizalica najmanje 1000 kW tada one spadaju u kategoriju dizalice topline velikih snaga. Raspon snaga takvih dizalica je veliki i ovisi o tehnologiji koja se koristi; kada se koriste centrifugalni kompresori snaga može doseći 30 MW. Dizalice topline tog tipa mogu isporučivati u mrežu fluide temperature do 100°C i biti vrlo energetske učinkovite te se lako integriraju u energetske sustave. Lako mogu pružati potrošačima toplinsku energiju iz lokalno dostupnih resursa kao što su podzemne vode, rijeke, jezera i mora što je glavni razlog zbog kojeg se povećava globalna popularnost takve tehnologije. U kombinaciji s takvim uređajima centralizirani toplinski sustavi mogu značajno povećati svoju efikasnost. Osim za potrebe grijanja, dizalice topline mogu služiti i za potrebe hlađenja čim se ukupna efikasnost sustava dodatno povećava. Najveća prednost dizalica toplina velikih snaga je što se lako mogu integrirati u postojeći centralizirani toplinski sustav. Ono što takve sustave karakterizira da bi efikasno radili su visoki koeficijent učinkovitosti i visoki investicijski troškovi. Kao radna tvar u dizalicama toplina velikih snaga koriste se R134a, R1234ze i u mnogo slučajeva R717 (amonijak) koji se jedini može koristiti na dizalicama toplina sa vijčanim kompresorima. S izlaznom temperaturom od 90°C-100°C navedene dizalice topline mogu opskrbljivati visoko-temperaturne centralizirane toplinske sustave (Araner, 2021).

## 2. METODOLOGIJA

Prilikom izrade scenarija energetskeg sustava Ivanić-Grada koristit će se računalni program EnergyPLAN.

### 2.1. EnergyPLAN

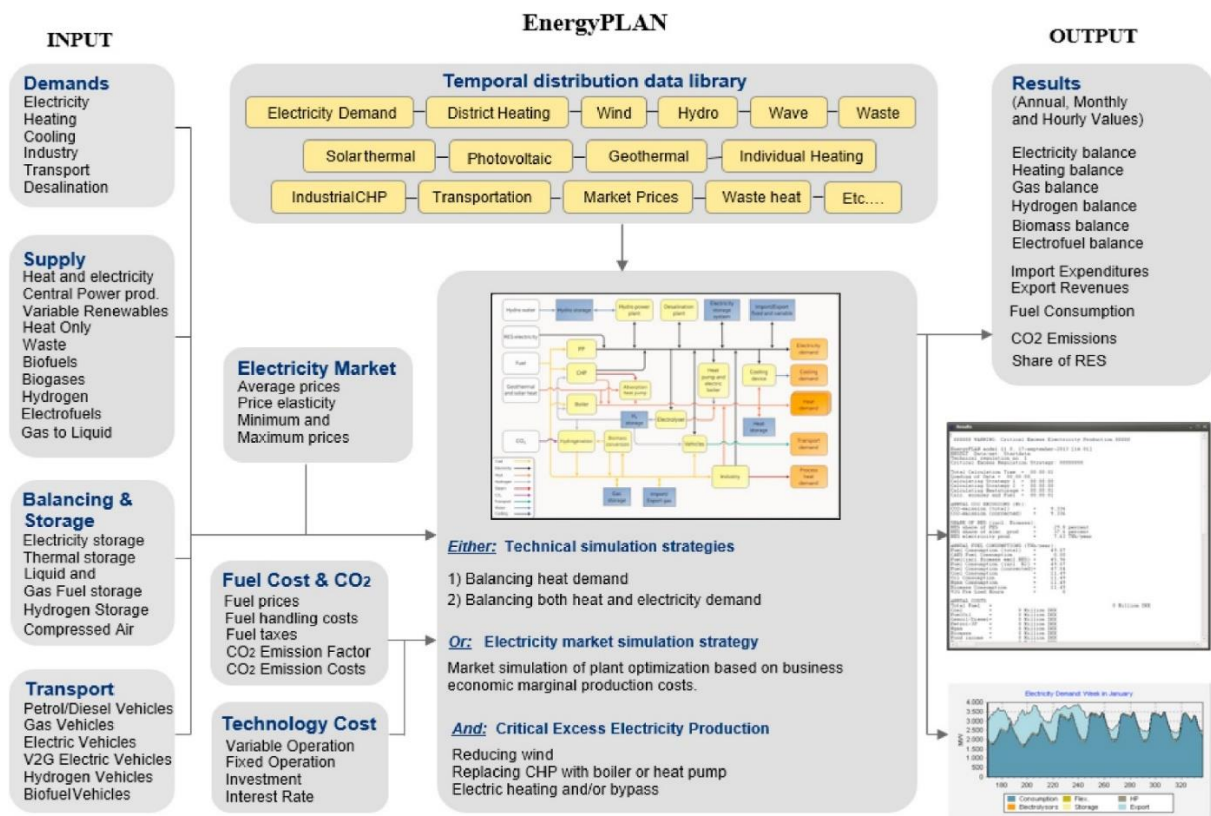
Kako bi se emisije ugljičnog dioksida smanjivale sukladno ciljevima Pariškog sporazuma, energetske sustavi moraju se prebacivati sa pretežno fosilnih goriva na sustave zasnovanim na obnovljivim izvorima energije. Budući su takvi sustavi vrlo složeni po prirodi, njihovo detaljno analiziranje i modeliranje zahtijeva korištenje naprednih alata. Trenutno širok raspon takvih računalnih alata omogućuje korisnicima da svoje sustave modeliraju i analiziraju na nacionalnoj i regionalnoj razini kako bi njihov prijelaz na obnovljive izvore energije bio što jednostavniji i prikladniji. Tri najčešća metodološka pristupa modeliranju energetskeg sustava su optimizacija, simulacija i korištenje modela. Svaki od njih prema svojim karakteristikama ukazuje na neke prednosti i nedostatke naspram drugog pristupa. Iako su alati za optimizaciju prepoznatljivi u analizama energetskeg sustava, njihova složenost može uzrokovati nedostatke u interpretaciji rezultata. Priesman i skupina autora ističu kako korištenje složenijeg modela ne osigurava i njegovu veću garanciju ka točnosti. Jedan od alata koji se najčešće koristi za analizu energetskeg sustava sa visokim udjelom obnovljivih izvora energije je program EnergyPLAN. Mnogi autori smatraju ga najprikladnijim alatom za integraciju obnovljivih izvora energije u mnoge energetske sustave kao npr. u Kini, Danskoj i Irskoj. Razvijen je tako da njegov korisnik brzo i jednostavno može razmotriti kombinacije alternativnih energetskeg sustava (Lund et al., 2021).

### 2.2. Opće karakteristike i primjena EnergyPLAN-a

Kako bi korisnik što lakše modelirao sustav na 100% obnovljive izvore energije, program u svojem sučelju nudi niz novijih tehnologija kao što su grijanje i hlađenje putem centraliziranih sustava, energija plime i oseke, koncentrirana solarna energija, proizvodnja bioplina, skladištenje energije i razne druge „Power-to-X“ tehnologije. Program također omogućava transparentnu usporedbu više različitih tranzicijskih alternativa umjesto da generira samo jedno optimalno rješenje. Na primjer, energetske sustav koji se oslanja na visoki udio uvoza energije može biti manje prihvatljiv u odnosu na skuplji sustav koji

primarno koristi domaće resurse. Nadalje, pokazalo se da su dugoročne projekcije cijena energije sklone velikim fluktuacijama što sustave dizajnirane na temelju jednog optimalnog rješenja sa nižim troškovima program percipira kao manje učinkovite i nesigurnije. Simulacija scenarija u programu može se izvršiti za manje od 10 sekundi što implicira da korisnici u relativno kratkom razdoblju mogu uspoređivati različite alternative. EnergyPLAN ukupno simulira vremensko razdoblje od jedne godine tako da bi za dulje analize trebalo provesti nekoliko simulacija. Unutar jednogodišnjeg razdoblja program simulira energetske sustav na satnoj razini odnosno kroz 8760 koraka. Takav koncept analize omogućava korisniku da istražuje satne, dnevne, tjedne ili sezonske razlike u potražnji toplinske i električne energije (Lund et al., 2021).

EnergyPLAN dolazi sa grafičkim sučeljem u koje korisnik može upisivati ulazne podatke i vršiti pregled modela. Na slici 2-1 prikazani su ulazno/izlazni podaci sa rezultatima.



Slika 2-1. Ulazno/izlazni podaci i rezultati u programu Energy PLAN (Lund et al., 2021)

Od ulaznih podataka koje korisnik unosi ubrajaju se:

- Potrošnja energije (toplinska, električna, transport i dr.)
- Proizvodnja energije (vjetroelektrane, solarne elektrane i dr.), uključujući postrojenja za pretvorbu energije kao što su elektrolizatori, postrojenja za bioplin i jedinice za hidrogenizaciju.
- Simulacija (definiranje načina rada svakog postrojenja i sustava, uključujući tehnička ograničenja kao što su prijenosni kapacitet)
- Troškovi (cijena energenata, porez, varijabilni i fiksni operativni troškovi i troškovi ulaganja.)

Izlazni podaci generirani programom su vrijednosti energetske bilance, rezultat godišnje proizvodnje energije, potrošnja goriva, uvoz/izvoz električne energije, ukupni troškovi i prihodi od razmjene električne energije.

Simulacija je prezentirana u mjesečnim, godišnjim i satnim pregledima proizvodnje i potražnje energije, ukupnim emisijama ugljičnog dioksida i novčanim tokova prema/ s vanjskog tržišta električne energije. Satna distribucija omogućava još dublju analizu u proizvodnju i potrošnju energije, a rezultati osim prikaza na ekranu mogu se prikazati i u excel tablicama (Lund et al., 2021).

### 3. ANALIZA SLUČAJA IVANIĆ-GRADA

#### 3.1. Geografske karakteristike

Grad Ivanić-Grad pripada Zagrebačkoj županiji u Republici Hrvatskoj. Prema svom prostornom položaju nalazi se tridesetak kilometara jugoistočno od Zagreba. Površinom od 173,48 km<sup>2</sup> Ivanić-Grad zauzima 5,7% površine Županije te je peta po veličini (od ukupno 34) jedinica lokalne samoupravne. Na jugu graniči sa Sisačko-moslavačkom županijom, a na sjeveroistočnom dijelu graniči sa Bjelovarsko-bilogorskom županijom. Na slici 3-1 prikazan je teritorijalno-politički ustroj Grada Ivanić-Grada (Zavod za prostorno uređenje Zagrebačke županije, 2018).



**Slika 3-1.** Teritorijalno-politički ustroj Ivanić-Grada. (Zavod za prostorno uređenje Zagrebačke županije, 2018)

Grad pripada nizinskom području istočnog dijela Zagrebačke županije i pretežito je ravničarski prostor sa prosječnim 103 m.n.m. Što se klimatskih karakteristika tiče, područje Grada pripada umjereno toploj kišnoj klimi sa oborinama jednoliko raspoređenim tijekom

godine. Srednja godišnja temperatura iznosi 10,9°C (21°C u najtoplijem mjesecu, 0°C u najhladnijem). U sastavu Grada do 2010. godine nalazi se 19 naselja: Zelina Breška, Zaklepica, Trebovec, Topolje, Tarno, Šumećani, Šemovec Breški, Prerovec, Prečno, Posavski Bregi, Opatinec, Lijevi Dubrovčak, Lepšić, Ivanić-Grad, Greda Breška. Graberje Ivaničko, Derežani, Deanovec, Caginec. Nakon 2010. godine odlukama Gradskog vijeća izmijenjene su granice naselja. Naselja Prkos Ivanički i Jalševac Breški pripojena su naselju Ivanić-Grad, a naselje Donji Šarampov dijelom je pripojeno naseljima Caginec i Derežani, a dijelom naselju Ivanić-Grad (Zavod za prostorno uređenje Zagrebačke županije, 2018).

### 3.2. Demografske karakteristike

Prema popisu stanovništva iz 2011. godine na području Ivanić-Grada boravi 14548 stanovnika, od čega 9379 stanovnika boravi na području užeg gradskog naselja. Prikaz broja stanovnika po naseljima te gustoće naseljenosti i površine naselja dan je u tablici 3-1.

**Tablica 3-1.** Stanovništvo Ivanić-Grada po naseljenim mjestima (Zavod za prostorno uređenje Zagrebačke županije, 2018)

Naselje	Broj stanovnika	Površina [km <sup>2</sup> ]	Gustoća naseljenosti
Caginec	555	5,25	105,71 st./km <sup>2</sup>
Deanovec	536	6,70	80,0 st./km <sup>2</sup>
Derežani	246	5,34	46,07 st./km <sup>2</sup>
Graberje Ivaničko	664	8,13	81,67 st./km <sup>2</sup>
Greda Breška	156	2,81	55,52 st./km <sup>2</sup>
Ivanić-Grad	9379	42,82	219,03 st./km <sup>2</sup>
Lepšić	46	3,36	13,69 st./km <sup>2</sup>
Lijevi Dubrovčak	351	7,05	49,79 st./km <sup>2</sup>

Opatinec	321	2,88	111,46 st./km <sup>2</sup>
Posavski Bregi	816	18,10	45,08 st./km <sup>2</sup>
Prečno	98	5,15	19,03 st./km <sup>2</sup>
Prerovec	98	4,63	21,17 st./km <sup>2</sup>
Šemovec Breški	85	1,59	53,46 st./km <sup>2</sup>
Šumečani	494	8,29	59,59 st./km <sup>2</sup>
Tarno	57	2,48	22,98 st./km <sup>2</sup>
Topolje	112	31,47	3,56 st./km <sup>2</sup>
Trebovec	347	14,85	23,37 st./km <sup>2</sup>
Zaklepica	88	0,86	102,33 st./km <sup>2</sup>
Zelina Breška	99	1,96	50,51 st./km <sup>2</sup>
Donji Šarampov	( Pripojeno naselje)		
Jalševac Breški	( Pripojeno naselje)		
Prkos Ivanički	( Pripojeno naselje)		
Ukupno	14548	173,72	83,74 st./km <sup>2</sup>

U odnosu na 2001. godinu kada je na području Grada boravilo 14723 stanovnika došlo je do blagog pada stanovništva do 2011. godine sa indeksom 98,8% i prosječnom stopom rasta od -0,10. Središnje naselje bilježi skok stanovništva sa 7714 na 9379, a rezultat povećanja je prvenstveno pripajanje naselja Jalševac Breški, Prkos Ivanički i dio naselja Donji Šarampov. Do 2011. godine Grad je imao pozitivan migracijski saldo, a nakon 2011. godine nastavlja se negativan migracijski saldo što ukazuje na iseljavanje stanovništva. Od ukupnog broja stanovnika 81,94% su žene, a 48,06% muškarci. Prema projekcijama stanovništva za Grad

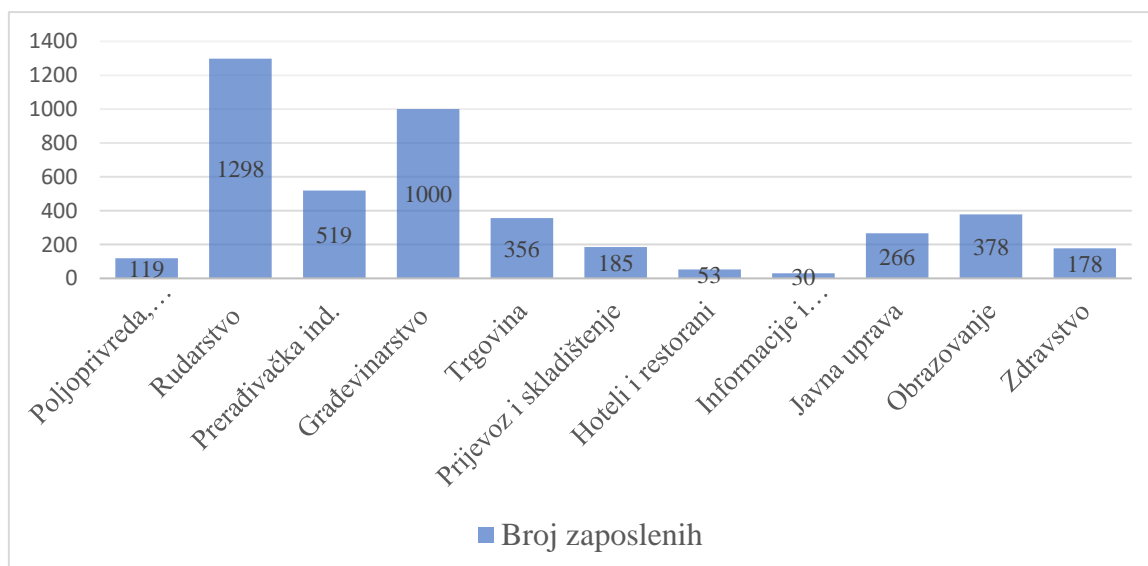
se može zaključiti kako nije realno očekivati značajan porast broja stanovnika do 2030. godine. Najpovoljnije demografske prilike očekuju se za središnje naselje Ivanić-Grad budući su tamo smještene središnje funkcije i jači gospodarski subjekti (Zavod za prostorno uređenje Zagrebačke županije, 2018). U Tablici 3-2 je dan prikaz projekcija stanovništva.

**Tablica 3-2.** Projekcije stanovništva Ivanić-Grada (Zavod za prostorno uređenje Zagrebačke županije, 2018)

Prostorna jedinica	Broj stanovnika			Indeks promjene	
	2011.	2020.	2030.	2020./11.	2030./20.
Ivanić-Grad	14548	14646	14792	100,7	101
Središnje naselje Ivanić-Grad	9379	9447	9541	100,7	101

### 3.3. Gospodarske karakteristike

Prema podacima iz 2013. godine djelatnosti s najvećim brojem zaposlenih u Ivanić-Gradu su eksploatacija nafte i plina, zatim građevinarstvo, uslužne djelatnosti i prerađivačka industrija. Broj nezaposlenih osoba između 2013. i 2016. godine kretao se između 2000 i 1500. Raspodjela zaposlenih osoba prema klasifikaciji djelatnosti dana je na slici 3-2.



**Slika 3-2.** Raspodjela zaposlenih osoba prema djelatnostima (Zavod za prostorno uređenje Zagrebačke županije, 2018)



### 3.4. Postavke energetskeg sustava Ivanić-Grada

Kako bi se što preciznije postavili ciljevi uštede energije i smanjenje emisija CO<sub>2</sub>, od velike je važnosti prikupiti što kvalitetnije podatke o potrošnji energije u Ivanić Gradu. Prema preporuci Europske komisije za sve gradove, sektori energetske potrošnje u Ivanić Gradu podijeljeni su na:

- Zgradarstvo
- Promet
- Javna rasvjeta.

Svaki od navedenih sektora podijeljen je još i na nekoliko podsektora pa se tako sektor zgradarstva sastoji od zgrada u vlasništvu Grada, zgrada uslužnih i komercijalnih djelatnosti i stambenih zgrada. U sektor prometa ubrajaju se vozila u vlasništvu Grada, javni prijevoz te osobna i komercijalna vozila (Kolega et al, 2010).

### 3.5. Potrošnja električne energije

Analiza potrošnje električne energije u Ivanić-Gradu napravljena je prema podacima prikupljenima iz Akcijskog plana energetske održivosti (SEAP) za 2008. godinu. Prilikom kategoriziranja potrošača, razlikovane su kategorije zgradarstvo, promet i javna rasvjeta. Analiza potrošnje napravljena je za svaku kategoriju posebno te, na kraju, skupno za cijeli Ivanić Grad. U tablici 3-3. prikazana je potrošnja električne energije u sektoru zgradarstva sa pripadajućim vrijednostima specifične potrošnje i ukupnog udjela u potrošnji.

**Tablica 3-3.** Potrošnja električne energije u sektoru zgradarstva (Kolega et al, 2010)

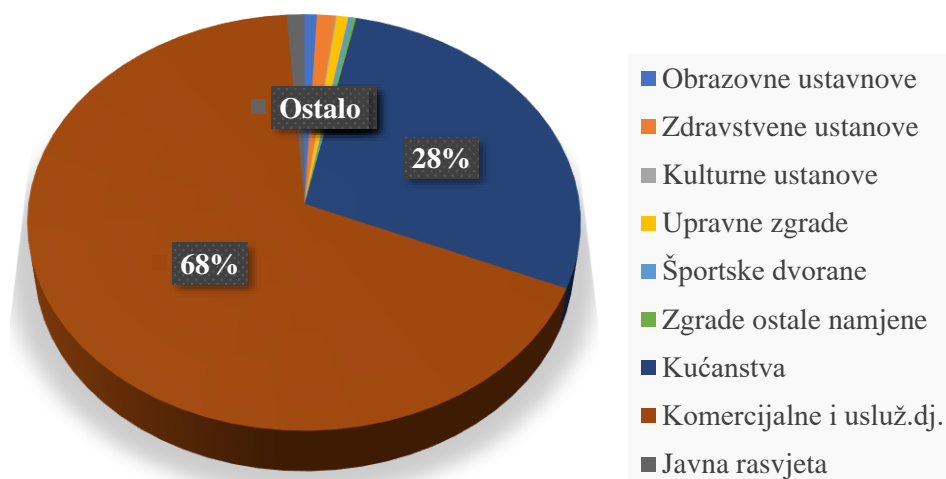
Sektor zgradarstva	Ukupna potrošnja električne energije (MWh)	Specifična potrošnja električne energije (kWh/m <sup>2</sup> )	Udio u potrošnji (%)
Obrazovne ustanove	388,58	23,23	0,79
Zdravstvene ustanove	579,60	70,92	1,17
Kulturne ustanove	43,50	22,77	0,09

Upravne zgrade	367,27	134,98	0,74
Športske dvorane	135,04	34,04	0,27
Zgrade ostale namjene	107,91	94,57	0,22
Kućanstva	13.938,55	34,31	28,19
Komercijalne i uslužne djelatnosti	33.324,83	97,3	67,40

Prema podacima iz tablice vidljivo je da se na području grada najviše električne energije u zgradarstvu utroši na sektor kućanstva te na komercijalne i uslužne djelatnosti. Sektor kućanstva prema mjerenjima od 2006. do 2009. godine trošio je u prosjeku godišnje oko 14 000 MWh, dok se u sektoru komercijalnih i uslužnih djelatnosti potrošnja kretala oko 30 000 MWh (Kolega et al, 2010).

Osim potrošnje električne energije u zgradarstvu potrebno je razmotriti i potrošnju u prometnom sektoru. Kao jedini potrošač električne energije u navedenom sektoru izdvaja se željeznički promet. Dnevno kroz Ivanić-Grad prometuje oko 50 vlakova od čega je 18 konvencionalnih s E vučom, a 32 elektromotorna. Godišnji utrošak električne energije prethodno navedenih vozila za 2008. godinu iznosio je 356 269 kWh (Kolega et al, 2010).

Sustav električne javne rasvjete Ivanić-Grada sastoji se od 2142 rasvjetna tijela sa ukupnom priključnom snagom od 308,17 kW, a u prosjeku godišnje radi oko 3500 sati. Prema podacima iz 2008. godine, u sustavu javne rasvjete najviše su zastupljene natrijeve žarulje 96,83%, zatim živine 2,10%, a štedne svega 0,14%. Takav sustav rasvjete koji osvjetljava Grad i naselja oko njega u 2008. godini utrošio je 1051 MWh električne energije (Kolega et al, 2010). Na slici 3-3 prikazana je struktura potrošnje električne energije u Ivanić-Gradu.



**Slika 3-3.** Struktura potrošnje električne energije (Kolega et al, 2010).

### 3.6. Potrošnja toplinske energije

Prilikom analiziranja godišnjih potreba za toplinskom energijom, sektor zgradarstva sagledavat će se kroz sljedeće podsektore: zgrade i poduzeća u vlasništvu Grada, stambene zgrade-kućanstva i zgrade komercijalnih i uslužnih djelatnosti. U tablici 3-4 dani su parametri o grijanoj površini, ukupnoj potrošnji toplinske energije i specifičnoj potrošnji u zgradama i poduzećima u vlasništvu Grada tijekom 2008. godine.

**Tablica 3-4.** Potrošnja toplinske energije za sektor zgradarstva (Kolega et al, 2010).

Kategorija	Ukupna grijana površina (m <sup>2</sup> )	Potrošnja toplinske energije (MWh)	Specifična potrošnja (kWh/m <sup>2</sup> )
Školstvo	16725	2789,9	166,81
Zdravstvo	8172	2751,6	336,71
Kultura	1910	204,3	106,96
Uprava	2721	451,6	165,97
Šport	3967	358,4	90,34

Zgrade ostale namjene	1141	239,3	209,76
Kućanstva	406266	50.352,0	123,86
Komercijalne i uslužne djelat.	342486	68.737,0	200,7

Budući se radi o ustanovama koje su građene prije tridesetak i više godina evidentno je prema podacima iz tablice da se radi o energetske neučinkovitim zgradama od kojih većina pripada energetske razredu „D“ ili nižem. Kako bi se zadovoljile smjernice Europske Unije o povećanju energetske učinkovitosti, javne ustanove Grada Ivanić-Grada svakako će morati biti uključene u energetske obnovu kroz sljedećih nekoliko godina što je i predviđeno razvojnim planom (Novotny et al., 2014).

Kada je riječ o kućanstvima na području Grada, prema zadnjem popisu stanovništva iz 2011. godine, ukupan broj kućanstava iznosio je 4983. Od zastupljenosti energenata u navedenom podsektoru najviše prednjači prirodni plin sa 95%, zatim ogrjevno drvo 4%, a manje od 1% kućanstava priključeno je na gradski centralizirani toplinski sustav. Ukupna potrošnja toplinske energije u 2008. godini iznosila je 125,28 MWh, a specifična potrošnja u kućanstvima iznosila je 123,86 kWh/m<sup>2</sup> (Kolega et al, 2010).

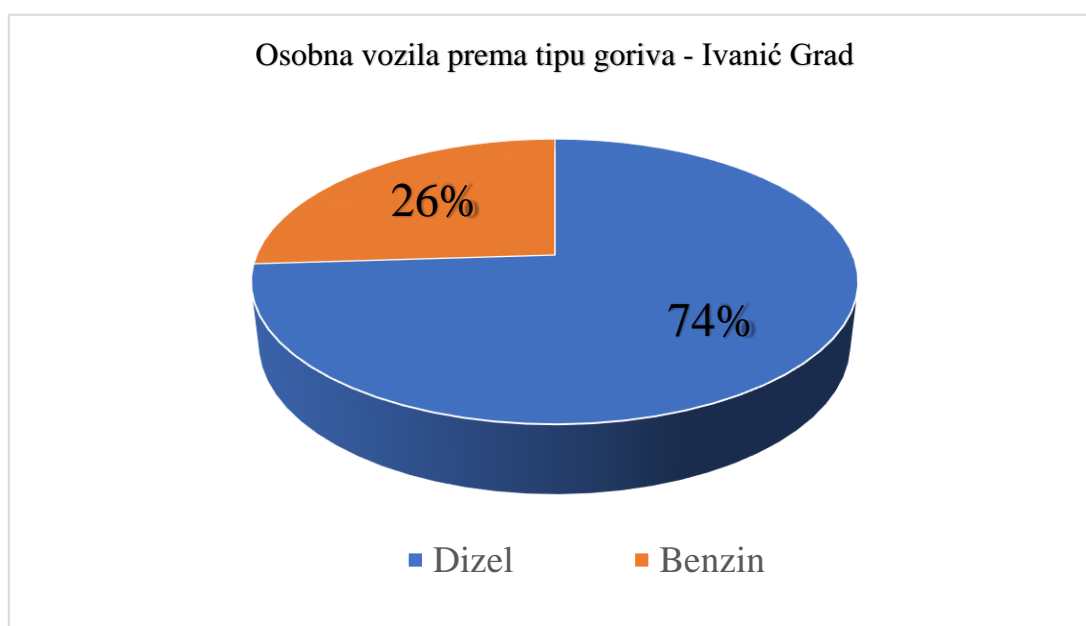
### 3.7. Cestovni promet

Prema dostupnim podacima, u vlasništvu Grada Ivanić-Grada ukupno je 14 automobila od kojih 9 prometuje na dizelsko gorivo, a 5 na benzin. Od javnog gradskog prijevoza istaknuti se mogu gradski sa 7 autobusa, međugradski sa 14 autobusa i taksij prijevoz sa ukupno 8 automobila, od čega tri prometuju na benzinsko, a ostatak na dizelsko gorivo (Kolega et al, 2010). U tablici 3-5 prikazana je potrošnja i kategorija goriva u javnom prijevozu.

**Tablica 3-5.** Struktura potrošnje energenata u javnom prijevozu

	Dizelsko gorivo [MWh]	Benzinsko gorivo [MWh]	Električna energija [MWh]	Ukupno [MWh]
<b>Gradski autobusi</b>	1477,78	0	0	<b>1477,78</b>
<b>Međugradski autobusi</b>	97,22	0	0	<b>97,22</b>
<b>Taksi prijevoz</b>	148,2	49,43	0	<b>197,63</b>
<b>Željeznički promet</b>	0	0	355,56	<b>355,56</b>
<b>Ukupno</b>	<b>1723,2</b>	<b>49,43</b>	<b>355,56</b>	<b>2128,19</b>

U 2008. godini na području grada registrirano je 7516 osobnih vozila raspoređenih u omjeru dizel/benzin = 74%/26%. Ukupno je to 5592 dizelskih vozila i 1923 benzinskih vozila. Grafički prikaz vozila prema vrsti pogonskog goriva vidljiv je na slici 3-4.



**Slika 3-4.** Potrošnja osobnih vozila prema tipu goriva (Kolega et al, 2010)

Uz pretpostavku da svaki od navedenih automobila prođe godišnje oko 12 000 km (Poslovni, 2016), možemo uz pomoć računalnog alata „Microsoft Excel“ izračunati ukupnu potrošnju benzina i dizela na način da prosječni broj kilometara koje vozilo napravi pomnožimo sa brojem vozila uzimajući u obzir i njihovu specifičnu potrošnju koja je u ovom slučaju pretpostavljena kao 0,66 kWh/km. Rezultati proračuna prikazani su u tablici 3-6.

**Tablica 3-6.** Analiza potrošnje goriva osobnih automobila

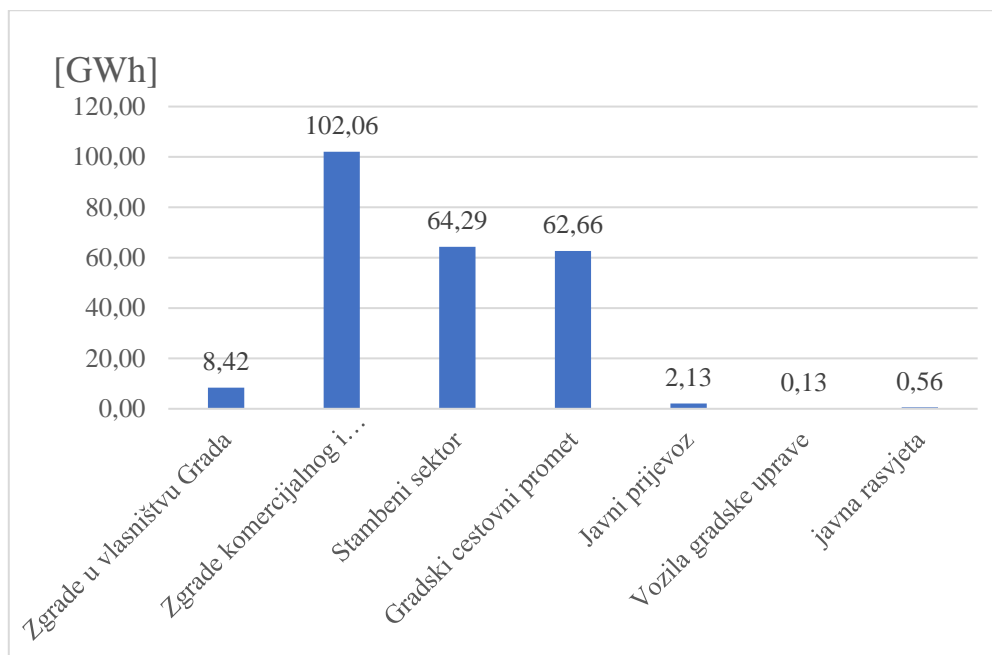
Broj osobnih vozila	7516
Prosjek po kućanstvu [km]	12000
Ukupno [tkm/god.]	90192
Udio cestovnih u ukupnom broju	95%
Udio benzinskih vozila	26%
Udio dizelskih goriva	74%
Potrošnja benzinskih vozila [GWh/god.]	16,29
Potrošnja dizelskih vozila [GWh/god.]	46,37

### 3.8. Analiza ukupne energetske potrošnje Ivanić-Grada

Tablica 3-7. prikazuje ukupnu potrošnju energije grada Ivanić-Grada prema sektorima i podsektorima, a slika 3-5. prikazuje prikaz potrošnje prema podsektorima.

**Tablica 3-7.** Potrošnja energije Ivanić-Grada

Sektor	Podsektor	Potrošnja električne energije [MWh]	Potrošnja toplinske energije [MWh]	Ukupna potrošnja energije [GWh]
Zgradarstvo	Zgrade u vlasništvu Grada	1621,88	6795,1	8,42
	Zgrade komercijalnog i uslužnog sektora	33324,83	68737,0	102,06
	Stambeni sektor	13938,55	50352,0	64,29
	Ukupno	48885,26	125884,1	174,77
Promet	Gradski cestovni promet	0	0	62,66
	Javni prijevoz	0	0	2,13
	Vozila gradske uprave	0	0	0,13
	Ukupno	0	0	64,92
Javna rasvjeta		557,03	0	0,56
Ukupno		49442,56	125884,1	240,24



**Slika 3-5.** Ukupna potrošnja energije prema podsektorima

Prema podacima na slici iznad možemo primijetiti kako se najveća potrošnja energije javlja u zgradama komercijalnih i uslužnih djelatnost te u stambenom sektoru i gradskom cestovnom prometu.

### 3.9. Geotermalno i naftno polje „Ivanić“

Rezerve geotermalne vode na području Ivanić-Grada otkrivene su u sklopu naftnog polja Ivanić na dubini od 1300 m. Tokom istraživanja otkrivena je temperatura vode na ušću od 60°C sa karakterističnim mirisom nafte te je kao takva upotrijebljena za potrebe lječilišta Naftalan (Energetski institut Hrvoje Požar, 2017). Na slici 3-6 prikazano je geotermalno polje Ivanić.



**Slika 3-6.** Geotermalno polje Ivanić (Kurevija et al, 2020)

Naftno polje Ivanić sastoji se od ukupno 89 bušotina od čega su 43 proizvodne, 22 utisne, 4 mjerne, 17 tehnički likvidirane i 3 napuštene dok se unutar geotermalnog polja Ivanić nalaze 23 naftne od čega su 11 proizvodne, 6 utisne, 5 utisne za CO<sub>2</sub> i 1 likvidirana bušotina. Godine 1988. za potrebe lječilišta Naftalan izrađena je bušotina Iva-1T, a 2006. godine prekinuta je proizvodnja gubitkom eksploatacijske dozvole. Davanje bušotine iznosilo je 3 l/s, a temperaturna na ušću 60°C. Dosadašnjim istraživanjima na geotermalnom polju pokazalo se kako se primjerice bušotinama Iva-1T i Iva-2 kao proizvodnima i Iva-50 kao utisno-naftnom bušotinom, mogu uz primjenu dizalica topline podmiriti toplinske potrebe za zgrade u vlasništvu Grada (Kurevija et al, 2020).

### 3.10. Naftno-plinsko polje „Žutica“

Naftno-plinsko polje ugljikovodika „Žutica“, prikazano na slici 3-7, smješteno je 50 km istočno od Zagreba i nalazi se na području Ivanić-Grada i općine Križ te zauzima površinu od 55,89 km<sup>2</sup>.





**Slika 3-7.** Prikaz naftno-plinskog polja "Žutica" i Ivanić-Grada (Geoportal, 2021)

Postojanje ugljikovodika na eksploatacijskom polju otkriveno je 1963. godine istražnom bušotinom Žu-1. U travnju. 1966. godine započelo je pridobivanje nafte i plina iz ležišta serije „Gama“. Prema *Rješenju kojim se utvrđuju količine i kakvoća rezervi ugljikovodika na eksploatacijskom polju „Žutica“* iz 2014. godine utvrđene su sljedeće rezerve:

- 60 526,11 x 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> nafte;
- 7 944, 901 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> plina otopljenog u nafti;
- 1 893, 323 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> plina iz plinske kape;
- 5 354, 943 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> plina iz plinskih ležišta;
- 612, 8 x 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> kondenzata

Do kraja 2016. godine iz ležišta serije „Gama“ pridobiveno je još 16 404 440 m<sup>3</sup> nafte, a do kraja 2041. godine predviđeno je kako će se pridobiti ukupno 19 537 269 m<sup>3</sup> nafte. Zbog prirodnog pada proizvodnje, kako bi se povećao iscrpak na polju je 2012. godine započeo proces utiskivanja ugljičnog dioksida koji se cjevovodom doprema sa centralne plinske stanice Molve zbog tehnološkog izdvajanja iz prirodnog plina. Očekuje se kako će do kraja 2040. godine u ležište biti utisnuto preko 5000 milijuna m<sup>3</sup> ugljičnog dioksida u superkritičnom stanju (Gaurina-Međimurec et al., 2018).

Prema dosadašnjem statusu do 2018. godine na polju Žutica nalaze se bušotine prikazane u tablici 3-7.

**Tablica 3-7.** Bušotinski fond naftno-plinskog polja Žutica (Gaurina-Međimurec et al., 2018).

Namjena	Broj Bušotina
Eksploatacijska naftna	141
Eksploatacijska plinska	16
Vodo-utisna	35
Utisna za vodu i CO <sub>2</sub>	8
Mjerna	63
Napuštена	52
Likvidirana	49

Iz tablice je vidljivo kako se na navedenom polju nalazi veliki broj bušotina koje više nisu u statusu proizvodnje odnosno da su tehnički likvidirane i napuštene. Takve bušotine moguće je prenamijeniti te se korištenjem različitih metoda može iskorištavati dostupna geotermalna energija. Stoga će se za potrebe ovog rada uvesti pretpostavka kako se toplinska energija za potrebe na području Grada može eksploatirati sa navedenog polja uz pomoć dizalica topline velikih snaga. Revitalizacija napuštenih naftnih i plinskih bušotina može se odvijati kroz nekoliko sljedećih koraka: ugradnja pakera na dnu odnosno iznad perforiranog intervala, čišćenje i ispitivanje zaštitnih cijevi te kao završna faza slijedi ugradnja tubinga koji predstavlja unutarnju cijev koaksijalnog izmjenjivača, a zaštitne cijevi vanjsku (Macenić, 2020). Prednosti konverzije takvih bušotina u geotermalne su višestruke. Primjerice naftne kompanije na taj način mogu eliminirati visoke troškove dekomisije bušotina dok investitori u geotermalni sektor izbjegavaju troškove istraživanja i izrade bušotina (Soldo i Alimonti, 2015).

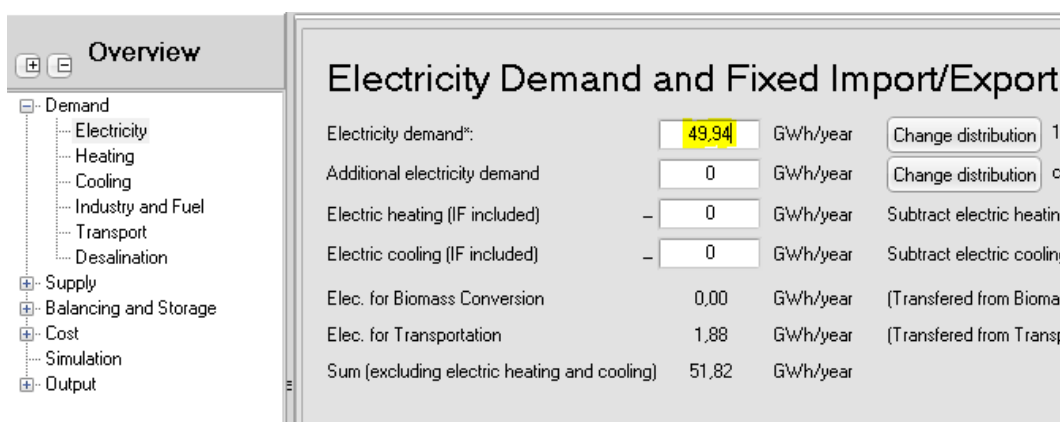
## 4. SCENARIJSKA ANALIZA

### 4.1. BAU scenarij –2030 . godina

Budući je glavni cilj ovoga rada energetska neovisnost Ivanić Grada, ona će se ostvariti metodama povećanja energetske učinkovitosti te integracijom obnovljivih izvora energije u postojeći sustav. Shodno navedenim doći će do smanjenja utjecaja na okoliš kao i do stvaranja sigurnog i neovisnog sustava opskrbe energije. Takav oblik energetske tranzicije u potpunosti slijedi smjernice Europske Unije. Kako bi se mogla u odnosu na postojeći energetski sustav procijeniti efikasnost različitih mjera i implementacija obnovljivih izvora energije najprije je potrebno modelirati takav energetski sustav.

Izrada BAU (*engl. Business as usual*) scenarija podrazumijeva da se Grad prema dosadašnjem stanju proizvodnje i potrošnje energije razvija uz primjenu postojećih tehnoloških i tehničkih rješenja te prema pretpostavljenim projekcijama porasta ili smanjenja stanovništva. Budući se prema prethodno navedenoj analizi ne očekuje značajan porast stanovništva, za izradu BAU scenarija pretpostavlja se da u predstojećem razdoblju neće doći do znatnog povećanja potrošnje električne i toplinske energije. Stoga podaci o potrošnji energije dostupni prema Akcijskom planu za 2008. godinu, preuzet će se za izradu BAU scenarija do 2030. godine.

U sučelju programa (slika 4-1) pod rubrikom potražnja električne energije (*engl. demand-> Electricity*) unesena je ukupna potražnja električne energije za Ivanić-Grad (49,94 GWh/god.), a odnosi se na potrošače u svim naseljima na području Grada.

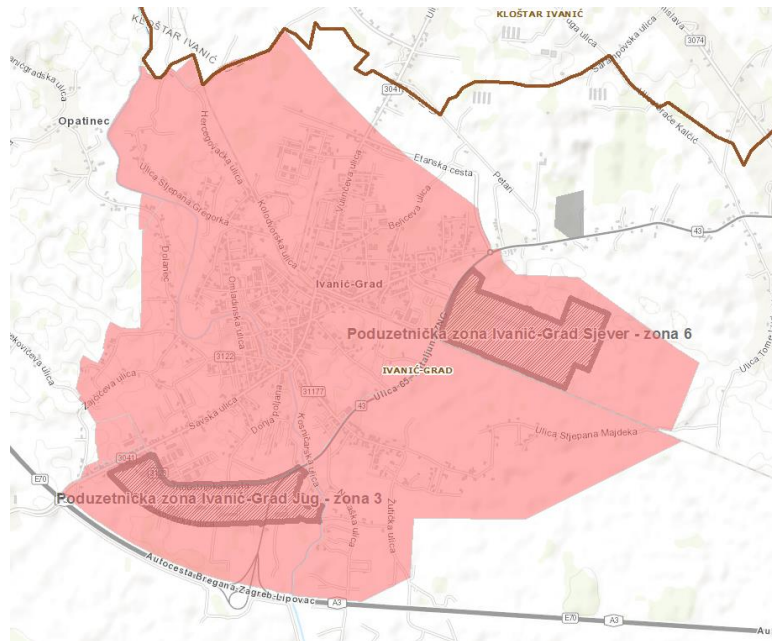


The screenshot shows the 'Overview' window of EnergyPLAN. On the left is a tree view with 'Demand' expanded to 'Electricity'. The main window is titled 'Electricity Demand and Fixed Import/Export' and contains a table of energy demand components.

Category	Value	Unit	Notes
Electricity demand*	49,94	GWh/year	
Additional electricity demand	0	GWh/year	
Electric heating (IF included)	0	GWh/year	Subtract electric heating
Electric cooling (IF included)	0	GWh/year	Subtract electric cooling
Elec. for Biomass Conversion	0,00	GWh/year	(Transferred from Biomass)
Elec. for Transportation	1,88	GWh/year	(Transferred from Transport)
Sum (excluding electric heating and cooling)	51,82	GWh/year	

Slika 4-1. BAU scenarij - unos potražnje električne energije u EnergyPLAN-u

Ivanić-Grad prostire na ukupnoj površini od oko 170 km<sup>2</sup> i sastoji se 22 naselja od kojih je velika većina međusobno raštrkana. Kako bi se u postojeću infrastrukturu Grada mogao implementirati neki od suvremenih centraliziranih toplinskih sustava od iznimne važnosti bi bilo da takav sustav ne raspolaže sa velikim gubicima u prijenosu topline na velike udaljenosti, stoga za potrebe analize toplinske energije uzet će se u obzir sustav središnjih gradskih naselja prikazanih na slici 4-2.



**Slika 4-2.** Sustav središnjih naselja Ivanić-Grada (Zavod za prostorno uređenje Zagrebačke Županije, 2021)

Prema podacima iz Akcijskog plana Ivanić-Grada za 2008. godinu, specifična potrošnja toplinske energije u kućanstvima iznosi 123,86 kWh/m<sup>2</sup>, a prosječno kućanstvo veličine je oko 80 m<sup>2</sup>, međutim taj se podatak odnosi na sva kućanstva uključujući i ona koja se ne nalaze u sustavu središnjih naselja. Prema zadnjem popisu stanovništva na području središnjih naselja u Ivanić-Gradu registrirano je 3161 kućanstvo i 3650 stanova (Državni zavod za statistiku, 2011). Slijedom navedenog uvedene su sljedeće pretpostavke: prosječni stan veličine je 38 m<sup>2</sup>, a prosječno kućanstvo 80 m<sup>2</sup>. Uz zadržavanje iste specifične potrošnje za oba slučaja, ukupna potrošnja toplinske energije za središnja naselja iznosi 50,34 GWh/god. što je prikazano u tablici 4-1. Uzmemo li u obzir i potrošnju iz ostalih sektora, ukupna potrošnja ima vrijednost od 125,88 GWh/god..

**Tablica 4-1.** Potrošnja toplinske energije u kućanstvima i stanovima – BAU scenarij

Ivanić-Grad (gradsko naselje)	Broj stambenih jedinica	Pretpostavljena specifična potrošnja toplinske energije [kWh/m <sup>2</sup> ]	Pretpostavljena prosječna veličina stambene jedinice	Potrošnja toplinske energije [GWh/god.]
Kućanstva	3161	123,93	80	33,29
Stanovi	3650	123,93	38	17,05
			Ukupno	50,34

Nakon unosa podataka o električnoj energiji, sljedeća kartica programa odnosi se na potražnju toplinske energije (*engl. heat demand*) koju je potrebno prethodno proračunati na način da se vrijednost finalne potrošnje množi sa udjelima pojedinih energenata, dok primarnu potražnju energije unosimo kao omjer finalne potražnje i pretpostavljenog koeficijenta termalne učinkovitosti pojedinog procesa tj. 0,8 za kotao na biomasu i 0,9 za plinski kotao. U tablici 4-2 prikazane su proračunate vrijednosti, a na slici 4-3 dan je prikaz vrijednosti koje se unose u program unutar rubrike za potražnju toplinske energije.

**Tablica 4-2.** BAU scenarij – proračunate vrijednosti potražnje toplinske energije

BAU scenarij	Udio [%]	Finalna potrošnja toplinske energije [GWh/god.]	Termalna učinkovitost	Primarna potražnja toplinske energije [GWh/god.]
Prirodni plin	96%	120,85	0,9	134,28
Biomasa	4%	5,04	0,8	6,29
Ukupno	100%	<b>125,88</b>		<b>140,57</b>

**Individual Heating:**

GWh/year	Fuel Input	Efficiency Thermal	Heat Demand	Efficiency Electric	Capacity Limit*	Estimated Electricity Production
Distribution: <input type="button" value="Heat"/> Hour_distr-heat.txt						
Coal boiler :	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0,8"/>	0,00			
Oil boiler :	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0,85"/>	0,00			
Ngas boiler :	<input type="text" value="134,28"/>	<input type="text" value="0,9"/>	120,85			
Biomass boiler :	<input type="text" value="6,29"/>	<input type="text" value="0,8"/>	5,03			

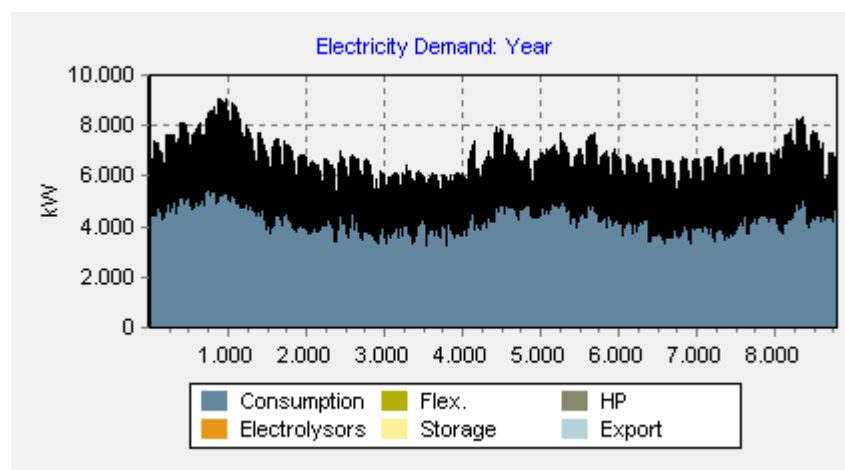
**Slika 4-3.** BAU scenarij – potražnja toplinske energije u EnergyPLAN-u

Za isti scenarij napravljena je i simulacija u sektoru prometa. Prema podacima prikazanim u analizi cestovnog prometa za 2008. godinu, dizelska osobna vozila potraživala su 46,37 GWh/godišnje, dok benzinska 16,29 GWh/godišnje. Na slici 4-4 su prikazane navedene vrijednosti koje se u programu unose unutar rubrike „Demand -> Transport“.

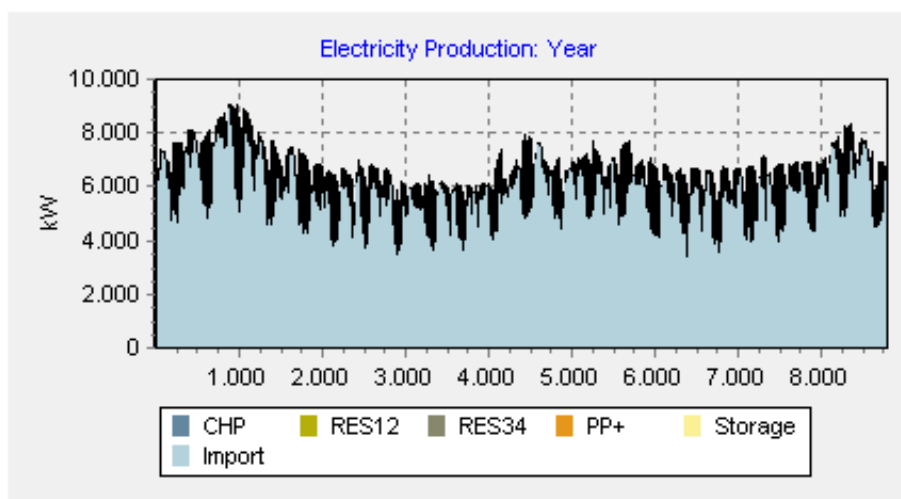
GWh/year	Fossil	Biofuel	Waste*	Electrofuel	Total	Distribution
JP (Jet Fuel)	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		<input type="text" value="0"/>	0,00	
Diesel / DME	<input type="text" value="46,37"/>	<input type="text" value="0"/>	0,00	<input type="text" value="0"/>	46,37	
Petrol / Methanol	<input type="text" value="16,29"/>	<input type="text" value="0"/>		<input type="text" value="0"/>	16,29	
Ngas* (Grid Gas)	<input type="text" value="0"/>				0,00	<input type="button" value="Gas"/> const.txt
LPG	<input type="text" value="0"/>				0,00	
Ammonia (NH3)				<input type="text" value="0"/>	0,00	
H2 (Produced by Electrolysers)					<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="H2"/> Hour_transport.txt
Electricity (Dump Charge)					<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="Dump"/> Hour_transport.txt
Electricity (Smart Charge)					<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="Smart"/> Hour_transport.txt

**Slika 4-4.** BAU scenarij - potražnja energije za osobna vozila u EnergyPLAN-u

Nakon pokretanja simulacije, pod rubrikom „Output -> Graphics“ prikazuju se satne distribucijske krivulje potražnje i uvoza električne energije koje su prikazane na slikama 4-5 i 4-6.

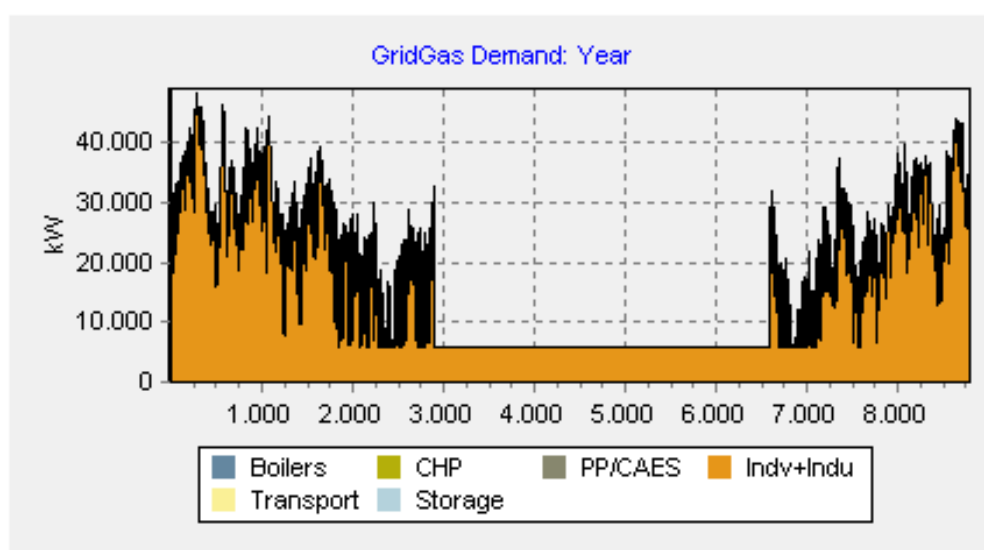


**Slika 4-5.** BAU scenarij - potražnja električne energije za Ivanić-Grad

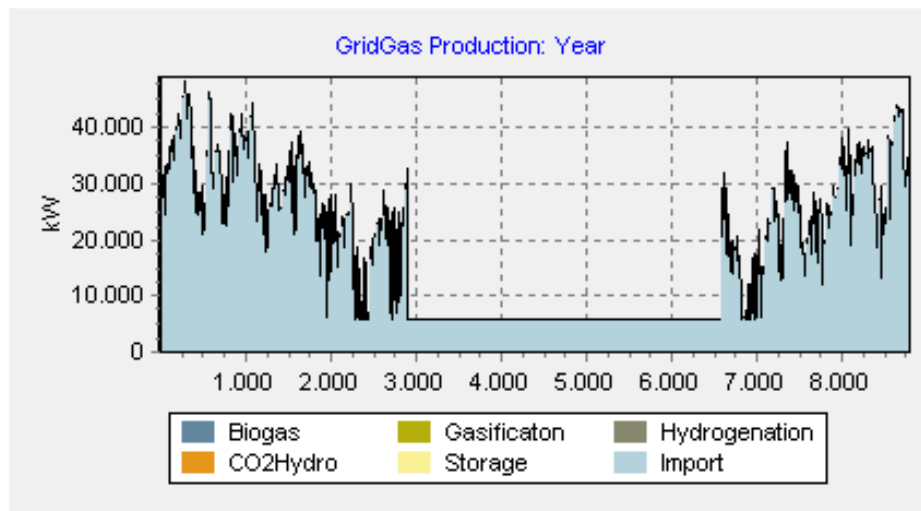


**Slika 4-6.** BAU scenarij - uvoz električne energije za Ivanić-Grad

Sljedeće slike prikazuju satne distribucijske krivulje potražnje i uvoza prirodnog plina za navedeni scenarij. Uzevši u obzir da na području Grada postoje industrijske djelatnosti pretpostavljeno je da iste zahtijevaju potrebe prirodnog plina od 10 GWh/godišnje.



**Slika 4-7.** BAU scenarij – potražnja prirodnog plina za Ivanić-Grad



**Slika 4-8.** BAU scenarij - uvoz prirodnog plina za Ivanić-Grad

Na slikama 4-5 i 4-6 uočljivo je kako se gotovo sve potrebe za električnom energijom ostvaruju putem uvoza. Potražnja za toplinskom energijom (140,57 GWh/god.) prikazana je na slici 4-7 narančastom bojom, a uvoz prirodnog plina kojim se navedene potrebe zadovoljavaju prikazan je na slici 4-8 svijetloplavom bojom. Možemo primijetiti kako Ivanić-Grad uvelike ovisi o uvozu prirodnog plina i električne energije te da ne postoji gotovo nikakva zastupljenost obnovljivih izvora energije osim biomase (4%).

#### 4.2. Scenarij Ivanić-Grad\_25

U ovome scenariju prikazat će se na primjeru Ivanić-Grada kretanje potrošnje toplinske i električne energije do 2030. godine u slučaju kada se potrebe za toplinskom energijom zadovoljavaju 25% putem centraliziranom toplinskog sustava (dalje u tekstu „CTS“) uz pomoć dizalica topline i kada udio električnih automobila na području grada iznosi 2,5%. Osim toga, u ovom scenariju primijeniti će se i pretpostavka da je energetska sustav grada opremljen fotonaponskim ćelijama snage 10 MW.

S obzirom da na području Grada u sektoru javne rasvjete ne postoji gotovo nikakva zastupljenost energetska učinkovitih izvora svjetlosti, pretpostavit će se za potrebe rada zamjena svih 2142 rasvjetnih tijela sa energetska efikasnijim svjetiljkama (LED). Upotrebom takve vrste svjetiljki doći će do reduciranja potrošnje za 80% (Kolega et al, 2009), odnosno u ovom slučaju 840,8 MWh što u konačnici znači da će ukupna godišnja potrošnja rasvjetnih tijela na području Ivanić-Grada iznositi 210,2 MWh.



Kako je većina kućanstava i zgrada javne namjene u Ivanić-Gradu građeno prije više od tridesetak godina, za izradu scenarija pretpostavit ćemo da će se izvršiti energetska obnova na istima u smislu zamjene vanjske ovojnice na ukupno 50% sektora zgradarstva. Primjenom takvih mjera očekivane uštede toplinske energije mogu se kretati i do 75% (Andrassy et al., 2010). Za potrebe ovog rada uzeta je pretpostavka kako će se ovom mjerom smanjiti godišnja potreba toplinske energije u sektoru zgradarstva za 45% što u konačnici znači smanjenje sa dosadašnjih 125,88 GWh na 69,23 GWh.

Toplinska energija kojom se u ovom primjeru opskrbljuje centralizirani toplinski sustav pod pretpostavkom je proizvedena iz naftno-plinskog ležišta „Žutica“ revitalizacijom napuštenih bušotina u geotermalne uz pomoć kompresijskih dizalica topline. U obzir su uzete sljedeće pretpostavke: raspoloživa toplinska energija iz navedenog ležišta iznosi 14,42 GWh/god., koeficijent učinkovitosti dizalica topline odnosno COP iznosi 4,0.

U programu „Microsoft Excel“ prethodno je izračunata količina toplinske energije u GWh kojom se centralizirani toplinski sustav opskrbljuje za slučaj povećanja od 25% putem dizalica topline odnosno za koliko se toplinskih jedinica tada smanjuje potrošnja prirodnog plina. U ovom i sljedećim scenarijima koristit će se pretpostavljeni koeficijenti termalne učinkovitosti: 0,9 za prirodni plin i 0,8 za biomasu, a uz pretpostavku da su distribucijski gubici u CTS-u 10%, koristit će se koeficijent 0,9. Tablica 4-3 prikazuje potražnju toplinske energije prema udjelima za ovaj scenarij.

**Tablica 4-3.** Podaci o scenariju "Ivanić-Grad\_25"

Scenarij „Ivanić-Grad_25“	Udio [%]	Finalna potrošnja toplinske [GWh/god.]	Termalna učinkovitost/ učinkovitost	Potražnja toplinske energije [GWh/god.]
Prirodni plin	71	49,15	0,9	54,61
Biomasa	4	2,77	0,8	3,46
CTS	25	17,31	0,9	19,23
<b>Ukupno</b>		<b>69,23</b>		<b>77,31</b>

Obzirom na pretpostavku da je 25% sektora zgradarstva spojeno na centralizirani toplinski sustav, podatak unutar programa EnergyPLAN-a koji se odnosi na potražnju toplinske energije u ovom slučaju unosi se unutar rubrike „Demand -> District Heating“ (slika 4-8).

District Heating:					
	Group 1:	Group 2:	Group 3:	Total:	Distribution:
Production:	0	0	19,23	19,23	Change 1_district_heat_demand_svigradovi_Croatia_2012.t
Network Losses:	0,2	0,15	0,1		
Heat Demand:	0,00	0,00	17,31	17,31	

**Slika 4-8.** Potražnja toplinske energije u CTS-u za scenarij Ivanić-Grad\_25

U sektoru prometa razmatrana je opcija sa povećanjem udjela električnih vozila za 2,5%. Obzirom na ukupni broj osobnih vozila u Gradu to je 188 električnih vozila. U tom slučaju dolazi do redukcije potrošnje fosilnih goriva što je proračunato u tablici 4-4.

**Tablica 4-4.** Potrošnja energije u sektoru transporta za scenarij Ivanić-Grad\_25

Tip vozila	Potrošnja fosilnih goriva [GWh/god.]	Potrošnja električne energije [GWh/god.]
Dizelska vozila	45,21	0
Benzinska vozila	15,88	0
Električna vozila	0	0,47

Obzirom na broj električnih vozila u proračun se uvode pretpostavke da je kapacitet baterije svakog električnog vozila 50 kWh, a snaga punjenja 10 kW pod uvjetom da su oni priključeni na elektroenergetsku mrežu u noćnim satima odnosno u pametnom režimu punjenja kako bi se smanjilo opterećenje mreže tokom dana. Temeljem navedenog, raspoloživi priključni kapacitet mreže za punjenje svih vozila iznosi 1879 kW. Na sljedećim slikama prikazani su podaci koji se unose u EnergyPLAN unutar rubrike „*Transport*“, a odnose se na potrošnju energije u prometu i karakteristike punjenja električnih vozila.

GWh/year	Fossil	Biofuel	Waste*	Electrofuel	Total
JP (Jet Fuel)	0	0		0	0,00
Diesel / DME	45,21	0	0,00	0	45,21
Petrol / Methanol	15,88	0		0	15,88
Ngas* (Grid Gas)	0				0,00
LPG	0				0,00
Ammonia (NH3)				0	0,00
H2 (Produced by Electrolysers)					0
Electricity (Dump Charge)					0
Electricity (Smart Charge)					0,47

**Slika 4-9.** Scenarij Ivanić-Grad\_25 - potražnja energije za osobna vozila u EnergyPLAN-u

**Electric Vehicle Specifications**

Smart Charge Vehicles:

Max. share of cars during peak demand:

Capacity of grid to battery connection:  kW

Share of parked cars grid connected:

Efficiency (grid to battery)

Battery storage capacity  MWh

Additional Specifications for Vehicle-to-Grid (V2G):

Capacity of battery to grid connection  kW

Efficiency (battery to grid)

**Slika 4-10.** Scenarij Ivanić-Grad\_25 - karakteristike punjenja električnih automobila u EnergyPLAN-u

Što se tiče proizvodnje električne energije kao što je prethodno navedeno na području Grada od varijabilnih obnovljivih izvora energije bit će implementirane fotonaponske (PV) ćelije ukupne snage 10 MW. Podatak se unosi unutar rubrike „Supply -> Variable Renewable Electricity“, a prikazan je na slici 4-11.

Variable Renewable Electricity			
Renewable Energy Source	Capacity: kW	Stabilisation share	Distribution profile*
Wind	0	0	Change Hour_wind_1.txt
Photo Voltaic	10000	0	Change 1_PV_Croatia_2C
Wave Power	0	0	Change Hour_solar_prod1
River Hydro	0	0	Change Hour_solar_prod1
Tidal	0	0	Change hour_tidal_power
Wave Power	0	0	Change Hour_wave_200*
CSP Solar Power	0	0	Change Hour_solar_prod1

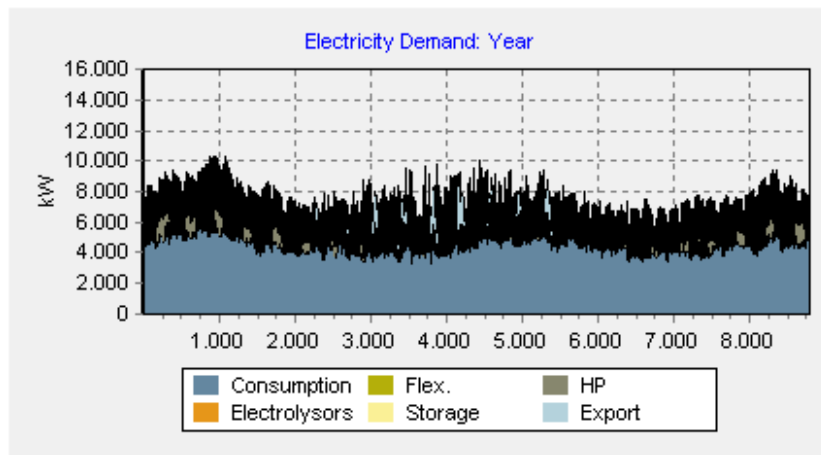
**Slika 4-11.** Scenarij Ivanić-Grada\_25 – proizvodnja električne energije iz varijabilnih obnovljivih izvora

Pretpostavljene vrijednosti koje se odnose na dobavu toplinske energije putem kompresijskih dizalica topline, unose se u rubriku „Supply -> Heat Only“, a prikazane su na slici 4-12.

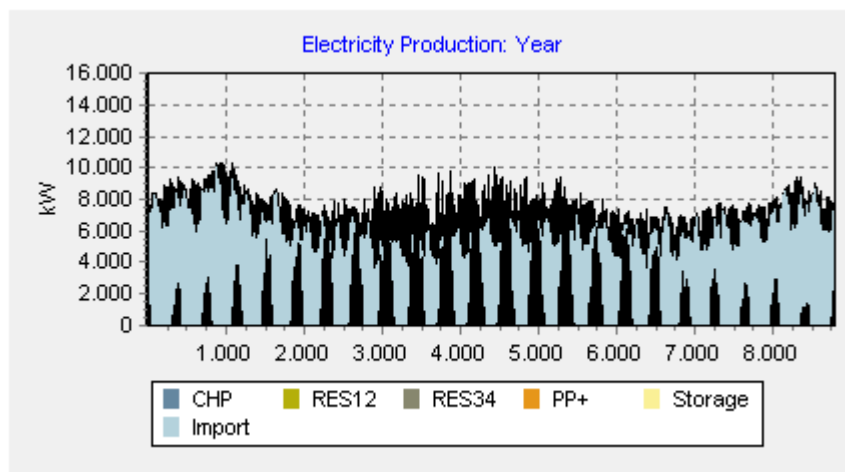
Compression Heat Pumps		
Electric Capacity	0	1700 kW-e
COP	3	4
Thermal Capacity	0	6800 kJ/s

**Slika 4-12.** Scenarij Ivanić-Grad\_25 - odabrane karakteristike dizalica topline

Sljedeći korak nakon unosa svih potrebnih podataka je pokretanje simulacije. Ukupna proizvedena električna energija za ovaj scenarij iz obnovljivih izvora energije iznosi 15,39 GWh/godišnje. Na slici 4-14 vidljivo je kako se potražnja za uvoznom električnom energijom jednim dijelom smanjila, točnije za 20% u odnosu na BAU scenarij posebice u ljetnom periodu godine budući se tada očekuje veći broj sunčanih sati na PV ćelijama.

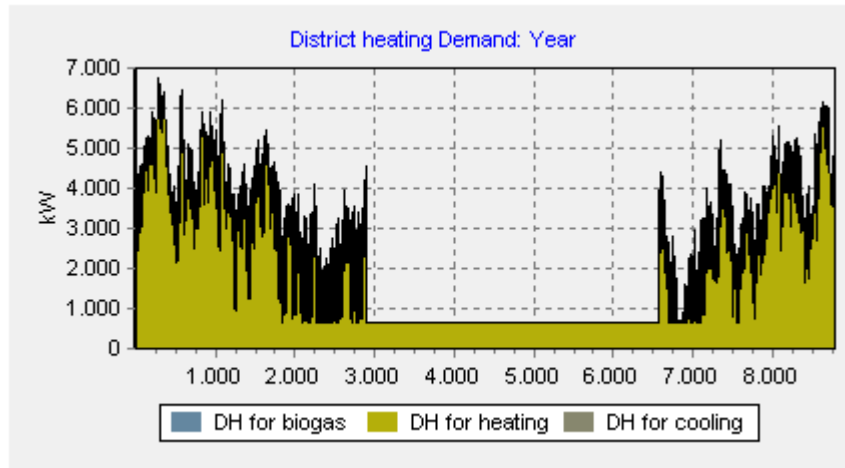


**Slika 4-13.** Scenarij Ivanić-Grad\_25 - potražnja električne energije

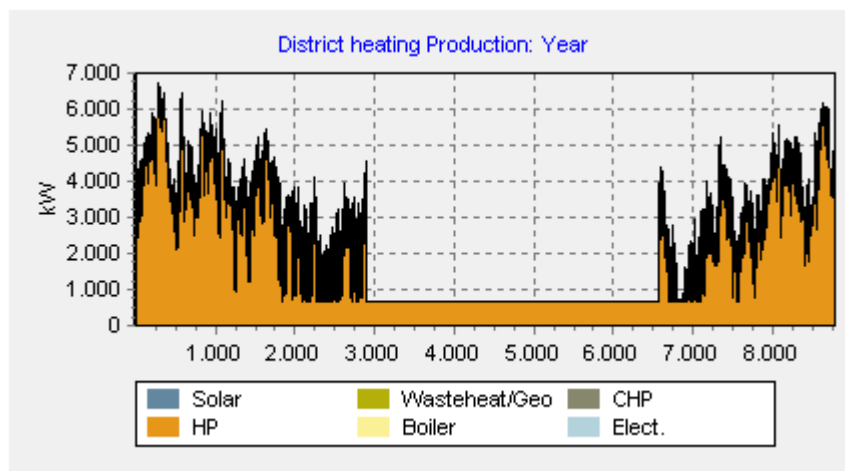


**Slika 4-14.** Scenarij Ivanić-Grad\_25 – uvoz električne energije

U ovom scenariju pretpostavljeno je da se 25% potreba za toplinskom energijom osigurava putem centraliziranog toplinskog sustava u kombinaciji sa dizalicama topline snage 1700 kW-e i koeficijentom učinkovitosti 4,0. Na sljedećim slikama možemo primijetiti kako se ukupne potrebe putem takvom sustava mogu u potpunosti osigurati čak i pri vršnim opterećenjima tokom zimskih mjeseci.

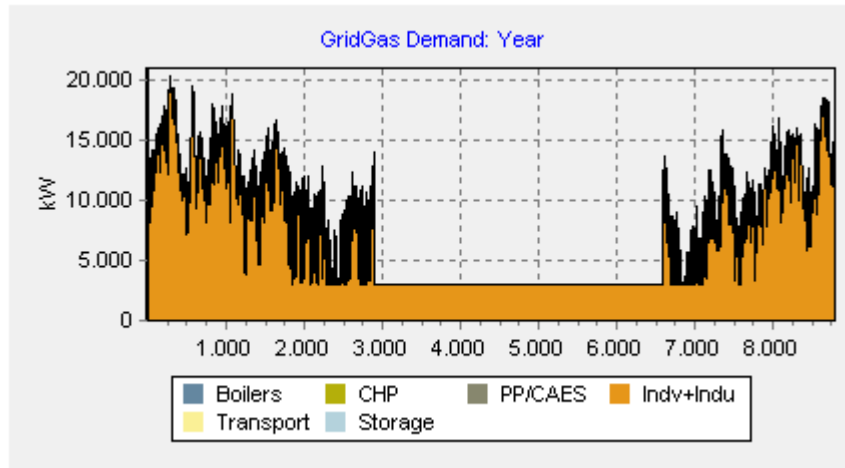


**Slika 4-15.** Scenarij Ivanić-Grad\_25 - potražnja toplinske energije putem CTS-a

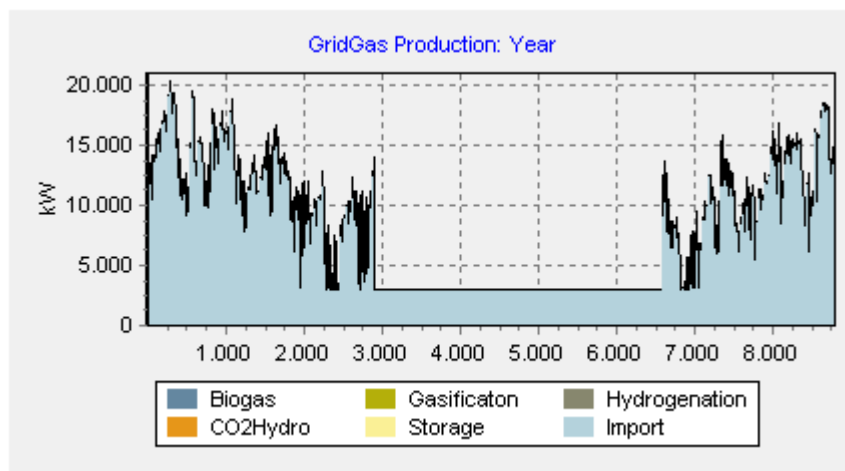


**Slika 4-16.** Scenarij Ivanić-Grad\_25 - dobava toplinske energije putem CTS-a

Sljedeće slike prikazuju potražnju i uvoz prirodnog plina u ovom scenariju. Ukupna potrošnja biomase u ovom scenariju iznosi 3,46 GWh/god., a prirodnog plina 64,61 GWh/god., od čega 10 GWh/god. odlazi na potrošnju za industrijske potrebe.



**Slika 4-17.** Scenarij Ivanić-Grad\_25 - potražnja prirodnog plina



**Slika 4-18.** Scenarij Ivanić-Grad\_25 - uvoz prirodnog plina

U ovom scenariju implementiranjem mjera energetske učinkovitosti smanjila se potražnja za toplinskom energijom za 45%. Osiguravanjem 25% toplinskih potreba uz pomoć dizalica topline i 10 MW fotonaponskih panela za proizvodnju električne energije, udio obnovljivih izvora povećao se na 13%. Ukupni broj emisijskih jedinica CO<sub>2</sub> prema simulaciji iznosi 29461 t/god. što je smanjenje od 36% u odnosu na BAU scenarij.

#### 4.3. Scenarij Ivanić-Grad\_50

U prethodnom scenariju u Ivanić-Gradu povećana je toplinska zaštitna vanjske ovojnice na 50% sektora zgradarstva i 25% potrebne topline osiguravalo se putem CTS-a uz pomoć dizalica topline. Na slikama se moglo primijetiti kako se potrošnja toplinske energije znatno smanjila ali Grad u velikoj mjeri i dalje ovisi o uvozu prirodnog plina. U ovom scenariju po pitanju toplinske energije se sada želi udio prirodnog plina u potrošnji još više smanjiti

odnosno povećati dobavu topline putem CTS-a. Konkretno, radi se o povećanju dobave toplinske energije putem CTS-a na 50%, 4% putem biomase, a ostatak potražnje oslanja se na uvoz prirodnog plina. Što se tiče potrošnje električne energije ona u ovom slučaju ostaje ista (49,10 GWh/god.) kao i u prethodnom scenariju nakon implementacije energetske učinkovitije rasvjete. Od varijabilnih obnovljivih izvora koristit će se fotonaponske ćelije snage 20 MW.

Također kao i u prethodnom scenariju pretpostavljeno je da se toplinska energija kojom se opskrbljuje CTS, proizvodi iz naftno-plinskog ležišta „Žutica“ revitalizacijom napuštenih bušotina u geotermalne uz pomoć kompresijskih dizalica topline. Uz uvjet da se 50% potreba osigura takvim načinom grijanja, pretpostavljena raspoloživa toplinska energija iz ležišta za ovaj slučaj iznosi 28,85 GWh/godišnje, a pretpostavljeni koeficijent učinkovitosti toplinskih pumpi iznosi 4,0.

Za slučaj povećanja udjela proizvodnje toplinske energije za 50% preko CTS-a i dizalica topline u Excelu je izračunata raspodjela potrošnje toplinskih jedinica što je vidljivo u sljedećoj tablici 4-5.

**Tablica 4-5.** Podaci o scenariju Ivanić-Grad\_50

Scenarij „Ivanić-Grad_50“	Udio [%]	Finalna potrošnja toplinske [GWh/god.]	Termalna učinkovitost/ učinkovitost	Potražnja toplinske energije [GWh/god.]
Prirodni plin	46	31,85	0,9	35,38
Biomasa	4	2,77	0,8	3,46
CTS	50	34,62	0,9	38,46
Ukupno	100	<b>69,22</b>		<b>77,31</b>

Za sektor prometa razmatrat će se povećanje udjela električnih vozila na 5%. Ukupni broj takvih vozila u Gradu povećat će se na 376. U kojoj mjeri će se tada reducirati potrošnja dizelskih i benzinskih goriva prikazano je u tablici 4-6.



**Tablica 4-6.** Potrošnja energije u sektoru transporta za scenarij Ivanić-Grad\_50

Tip vozila	Potrošnja fosilnih goriva [GWh/god.]	Potrošnja električne energije [GWh/god.]
Dizelska vozila	44,05	0
Benzinska vozila	15,48	0
Električna vozila	0	0,94

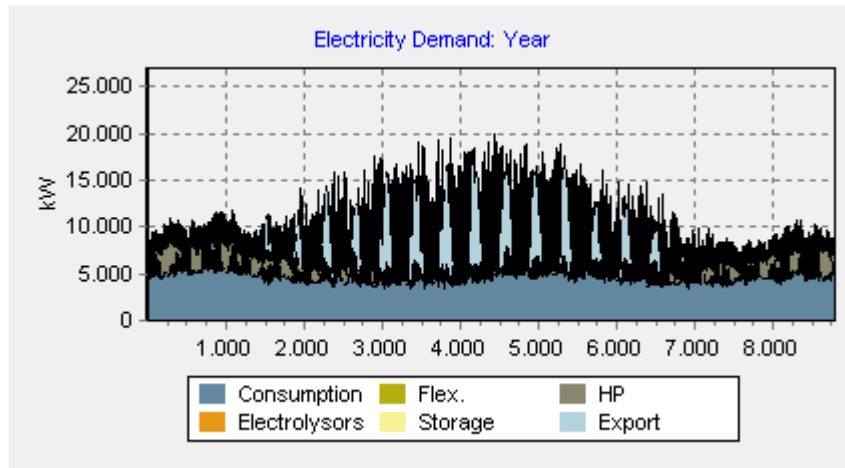
Kao i u prethodnom scenariju uvode se pretpostavke: kapacitet baterije svakog vozila je 50 kWh, snaga punjača iznosi 10 kW i punjenje u pametnom režimu odnosno noćim satima. Temeljem navedenog, raspoloživi priključni kapacitet mreže koja mora omogućiti punjenje takvih vozila iznosi 3758 kW, a ukupni baterijski kapacitet vozila povećava se na 18,79 MWh.

Obzirom na potrebnu toplinsku energiju koju CTS mora isporučiti potrošačima i raspoloživu energiju iz ležišta u ovom scenariju, u EnergyPLAN-u je pretpostavljena potrebna snaga dizalica topline i koeficijent učinkovitosti što je prikazano na slici 4-19.

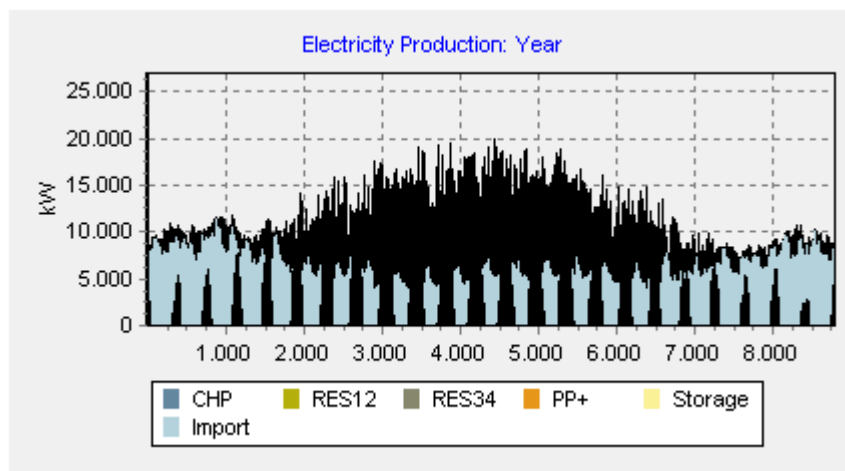
Compression Heat Pumps			
Electric Capacity	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="3400"/>	kW-e
COP	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	
Thermal Capacity	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="13600"/>	kJ/s

**Slika 4-19.** Scenarij Ivanić-Grad\_50 - odabrane karakteristike dizalica topline

Nakon što su uneseni svi potrebni podaci sljedeći korak je pokretanje simulacije. Prema ovom modelu ukupna proizvedena električna energija iz obnovljivih izvora porasla je na 30,78 GWh/godišnje. Na slikama 4-20 i 4-21 prikazane su krivulje potražnje i uvoza električne energije za ovaj scenarij.



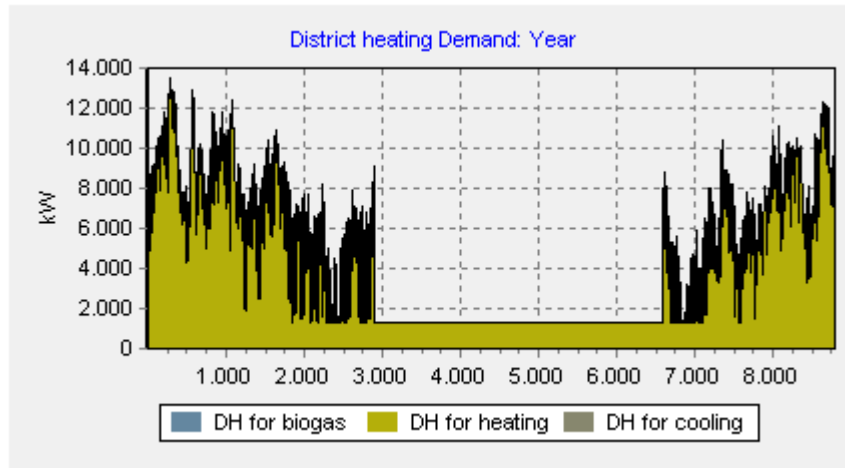
**Slika 4-20.** Scenarij Ivanić-Grad\_50 - potražnja električne energije



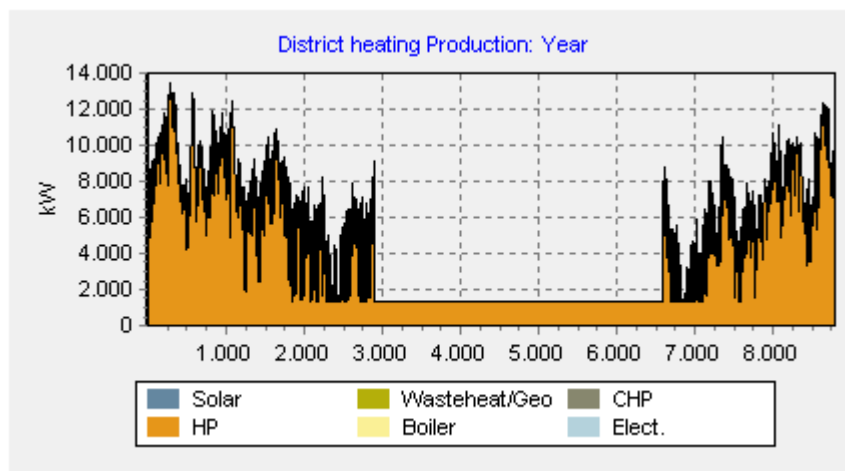
**Slika 4-21.** Scenarij Ivanić-Grad\_50 - izvoz električne energije

Na gornjim slikama možemo uočiti kako sustav raspolaže sa viškovima električne energije u većoj mjeri nego u prethodnom scenariju i posljedično tome za očekivati je smanjenje uvoza međutim u odnosu na prošli scenarij ovdje dolazi do smanjenja uvoza od tek 2%. Razlog tome je što se u ovom slučaju povećala potražnja električne energije na dizalicama topline posebice u zimskom periodu godine što je na slici 4-20 vidljivo u sivoj boji. Što se tiče izvoza el.en. u odnosu na prijašnji scenarij dolazi do povećanja od 91%, odnosno 10,37 GWh/godišnje.

Obzirom na odabrane karakteristike dizalica topline, na sljedećim slikama (4-22 i 4-23) možemo vidjeti kako se potrebe za grijanjem u ovom scenariju mogu u potpunosti podmiriti. Najveće očekivano vršno opterećenje koje se može pojaviti iznosi 13 473 kW toplinske energije.

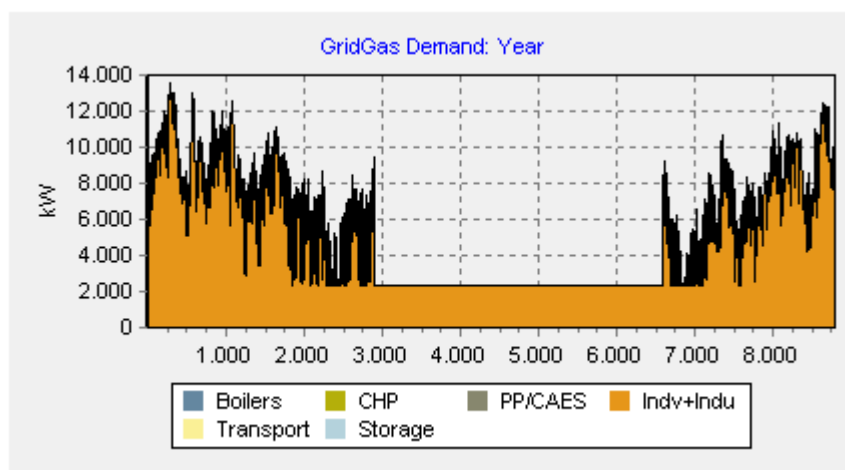


**Slika 4-22.** Scenarij Ivanić-Grad\_50 - potražnja toplinske energije putem CTS-a

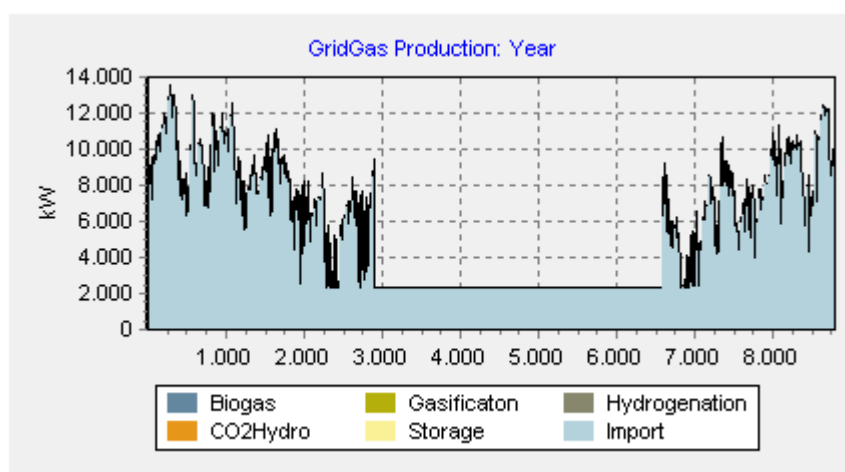


**Slika 4-23.** Scenarij Ivanić-Grad\_50 - dobava toplinske energije putem CTS-a

Povećanjem proizvodnje toplinske energije za 50% putem dizalica topline rezultiralo je naravno smanjenjem potreba za uvoz prirodnog plina, što u konačnici znači da su potrebe otprilike jednoliko podijeljene u odnosu na prirodni plin obzirom da je udio biomase ostao na 4%. Budući se potrošnja za potrebe industrije nije mijenjala, u sektoru zgradarstva došlo je do smanjenja potražnje prirodnog plina od 35% u odnosu na prethodni scenarij. U sektoru zgradarstva očekivana potrošnja prirodnog plina prema ovom modelu iznosi 35,38 GWh/godišnje. Sljedeće slike prikazuju potražnju i uvoz prirodnog plina u ovom scenariju.



**Slika 4-24.** Scenarij Ivanić-Grad\_50 - potražnja prirodnog plina



**Slika 4-25.** Scenarij Ivanić-Grad\_50 - uvoz prirodnog plina

Smanjenjem potreba za prirodnim plinom i penetracijom električnih automobila za 5% smanjile su se emisije CO<sub>2</sub> što se i očekivalo prilikom modeliranja ovog scenarija. Ukupne emisije u prethodnom scenariju iznosile su 29 461 t/god., a u ovom scenariju 25 122 t/god., što je smanjenje za 15%. Udio obnovljivih izvora energije u ovom scenariju povećao se na 24,6% što je povećanje za 10,1% u odnosu na prošli scenarij.

#### 4.4. Scenarij Ivanić-Grad\_75

Kao i u prethodnim scenarijima zadržat će se pretpostavka o povećanoj toplinskoj zaštiti vanjske ovojnice na 50% sektora zgradarstva ali prilikom izrade ovog scenarija, 75% potreba toplinske energije ostvarivat će se putem CTS-a uz pomoć dizalica topline, što znači povećanje za 25% u odnosu na prethodni scenarij. Udio biomase od 4% u proizvodnji ostat će nepromijenjen međutim doći će do redukcije uvoza prirodnog plina, a samim time i

potrošnje. Ukupna potrošnja toplinske (69,22 GWh/god.) i električne (49,10 GWh/god.) energije u ovom primjeru ostaje nepromijenjena. U ovom scenariju pretpostavit će se kako su u energetske sustav integrirane fotonaponske ćelije od 30 MW.

Potrebe toplinske energije koje će se u ovom scenariju osiguravati 75 % putem CTS-a i dalje će dolaziti pod pretpostavkom iz naftno-plinskog ležišta „Žutica“ uz korištenje kompresijskih dizalica topline. Pretpostavljena raspoloživa toplina iz ležišta iznositi će 43,27 GWh/god., a koeficijent učinkovitosti dizalica topline i u ovom slučaju ostaje nepromijenjen tj. 4,0.

U sljedećoj tablici prikazana je raspodjela potrošnje toplinskih jedinica za slučaj povećanja dobave toplinske energije od 75% putem CTS-a i smanjene potrošnje prirodnog plina za 25%.

**Tablica 4-7.** Podaci o scenariju Ivanić-Grad\_75

Scenarij Ivanić-Grad_75	Udio [%]	Finalna potrošnja toplinske [GWh/god.]	Termalna učinkovitost/ učinkovitost	Potražnja toplinske energije [GWh/god.]
Prirodni plin	21	14,54	0,9	16,15
Biomasa	4	2,77	0,8	3,46
CTS	75	51,92	0,9	57,69
Ukupno	100	<b>69,22</b>		<b>77,31</b>

U prometnom sektoru za ovaj scenarij razmatrat će se povećanje udjela električnih vozila od 7,5% u odnosu na ukupni broj osobnih vozila u Gradu. Nakon spomenutog povećanja ukupni broj osobnih električnih vozila povećat će se na 564 vozila. Raspodjela potrošnje energije u navedenom sektoru prema takvom scenariju prikazana je u tablici 4-8.

**Tablica 4-8.** Potrošnja energije u sektoru transporta za scenarij Ivanić-Grad\_75

Tip vozila	Potrošnja fosilnih goriva [GWh/god.]	Potrošnja električne energije [GWh/god.]
Dizelska vozila	42,89	0
Benzinska vozila	15,07	0
Električna vozila	0	1,41

Prema karakteristikama, osobna električna vozila zadržat će isti baterijski kapacitet i snagu punjača kao u prethodnim scenarijima te punjenje tokom noćnih sati. Na osnovu

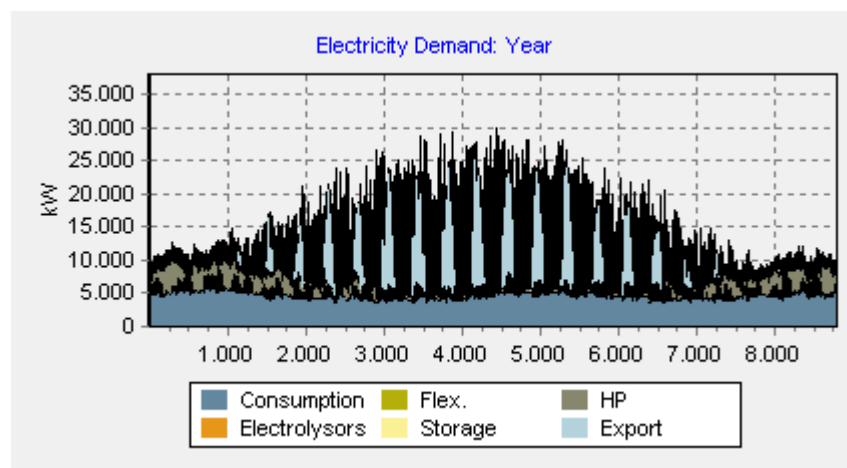
spomenutog, proračunati raspoloživi priključni kapacitet mreže za punjene svih 564 vozila iznosi 5637 kW, a ukupni baterijski kapacitet 28,185 MWh.

Obzirom na povećanje dobave toplinske energije za 75% putem CTS-a pretpostavljena je potrebna snaga dizalica topline koja u ovom slučaju iznosi 5000 kW-e. Na slici 4-26 su prikazane odabrane karakteristike kompresijskih dizalica topline.

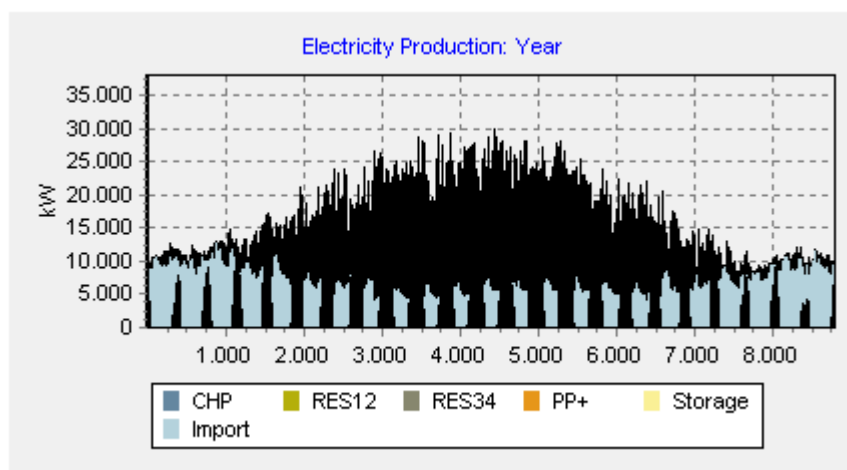
Compression Heat Pumps		
Electric Capacity	<input type="text" value="0"/> <input type="text" value="5000"/>	kW-e
COP	<input type="text" value="3"/> <input type="text" value="4"/>	
Thermal Capacity	<input type="text" value="0"/> <input type="text" value="20000"/>	kJ/s

**Slika 4-26.** Scenarij Ivanić-Grad\_75 – odabrane karakteristike dizalica topline

Na slikama 4-27 i 4-28 prikazane su krivulje potražnje i izvoza električne energije po satima kroz cijelu godinu za ovaj scenarij.



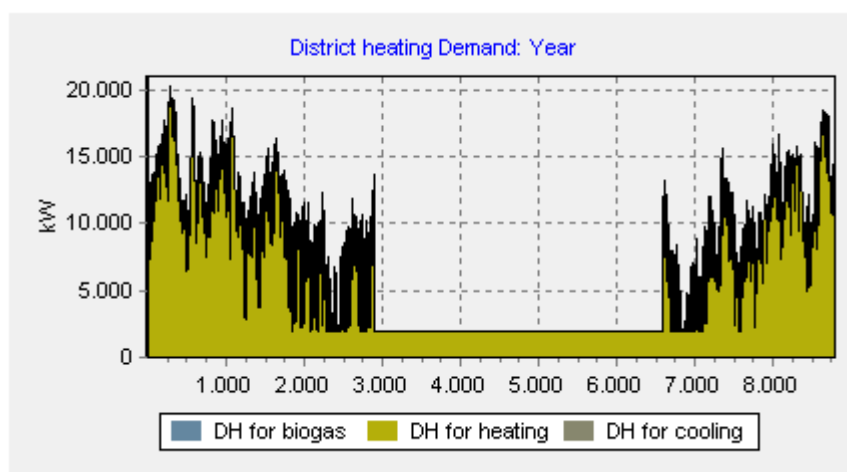
**Slika 4-27.** Scenarij Ivanić-Grad\_75 – potražnja električne energije



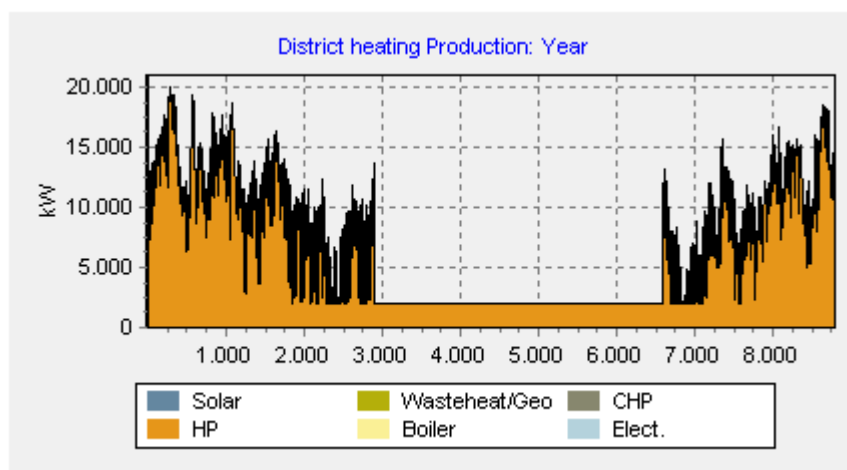
**Slika 4-28.** Scenarij Ivanić-Grad\_75 – izvoz električne energije

U odnosu na prethodne scenarije, na slici 4-27 očituje se još veća potražnja za električnom energijom na dizalicama topline osobito u zimskom periodu godine. Ukupna godišnja potrošnja električne energije za dizalice topline u ovom scenariju iznosi 14,42 GWh. Što se tiče ukupne količine uvezene električne energije za ovaj scenarij ona iznosi 41 GWh što je povećanje od 4% u odnosu na prijašnji scenarij. Budući su viškovi u proizvodnji i dalje prisutni osobito u ljetnim mjesecima, prema simulaciji u ovom scenariju ukupno je izvezeno 22,24 GWh električne energije što je povećanje od 53% u odnosu na prijašnji scenarij.

Na sljedećim slikama prikazane su krivulje u potražnji i dobavi toplinske energije kroz CTS po satima u cijeloj godini za ovaj scenarij.



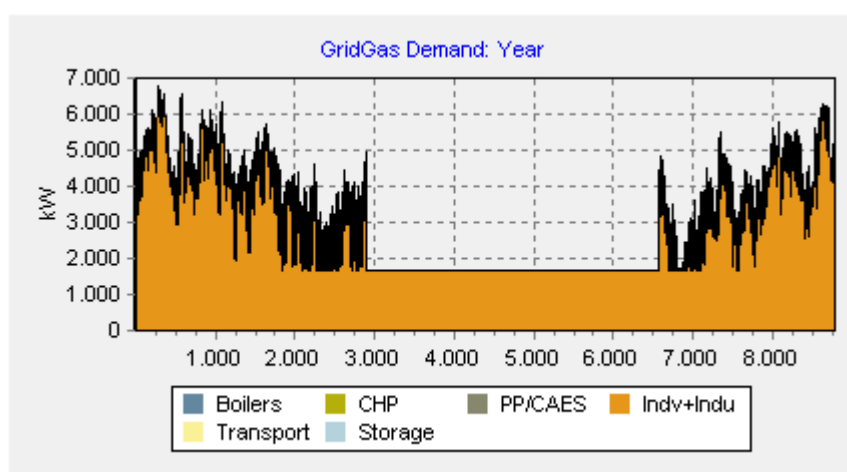
**Slika 4-29.** Scenarij Ivanić-Grad\_75 – potražnja toplinske energije putem CTS-a



**Slika 4-30.** Scenarij Ivanić-Grad\_75 – dobava toplinske energije putem CTS-a

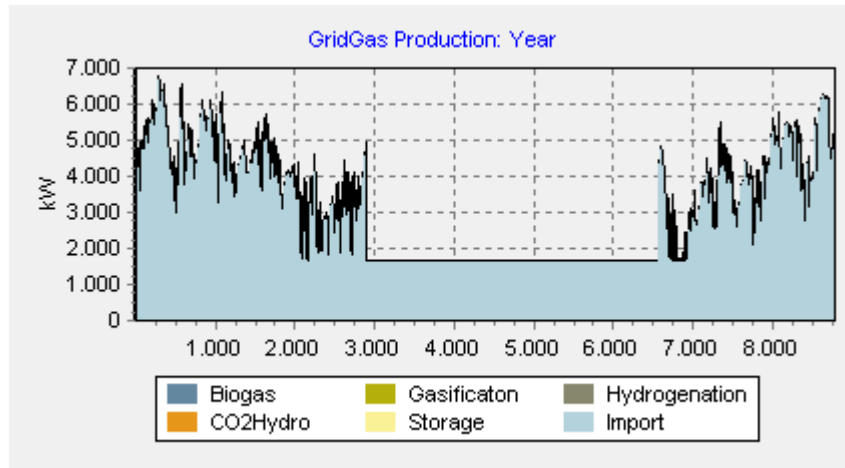
Toplinska energija u ovom scenariju koja je proizvedena iz ležišta „Žutica“ iznosi 57,69 GWh/god., a vršno opterećenje koje se može pojaviti tokom siječnja doseže vrijednost od 20 000 kW. Prema slikama 4-29 i 4-30 vidljivo je kako se potrebe za energijom mogu pokrivati prema odabranim karakteristikama dizalica topline.

Povećanje proizvodnje toplinske energije za 75% putem dizalica topline dovelo je do smanjenja uvoza prirodnog plina sa 35,38 GWh/god. iz prethodnog scenarija na 16,15 GWh/god. što je smanjenje od 54%. Nakon što pridodamo potrošnju za potrebe industrije od 10 GWh/god. možemo doći do zaključka da ukupni godišnji uvoz plina za ovaj scenarij iznosi 26,15 GWh/god., što je prema rezultatima programa u prosjeku mjesečno oko 3000 kW. Na slikama ispod prikazana je potražnja i uvoz prirodnog plina za ovaj scenarij.



**Slika 4-31.** Scenarij Ivanić-Grad\_75 - potražnja prirodnog plina





**Slika 4-32.** Scenarij Ivanić-Grad\_75 – uvoz prirodnog plina

Smanjenjem uvoza prirodnog plina za 54% i povećanjem udjela električnih automobila na 7,5% rezultiralo je smanjenjem emisija na 20 778 t/god što je za 17% manje u odnosu na prošli scenarij. Udio obnovljivih izvora energije u ovom scenariju povećao se na 37,1%.

#### 4.5. Scenarij Ivanić-Grad\_100

U posljednjem scenariju razmotrit će se potpuni prelazak Ivanić-Grada na centralizirani toplinski sustav koji koristi toplinu proizvedenu uz pomoć kompresijskih dizalica topline iz naftno-plinskog ležišta „Žutica“. Prijašnji scenariji obuhvaćali su kombinaciju proizvodnje toplinske energije iz prirodnog plina, biomase i putem dizalica topline. U ovom slučaju isključit će se proizvodnja topline iz biomase, a prirodni plin koristit će se samo za potrebe industrije pod pretpostavkom od 10 GWh/ godišnje. Potrošnja toplinske i električne energije ostaje ista kao i u prethodnim slučajevima, a proizvodnja el.en. iz varijabilnih obnovljivih izvora (PV ćelija) povećat će se na 40MW.

Potrebe za toplinskom energijom dakle u potpunosti se preusmjeravaju na centralizirani toplinski sustav, a ukupna potrošnja i potražnja toplinske.en. za modeliranje takvog scenarija prikazane su u tablici 4-9.

**Tablica 4-9.** Podaci o scenariju Ivanić-Grad\_100

Scenarij Ivanić-Grad_100	Udio [%]	Finalna potrošnja toplinske [GWh/god.]	Termalna učinkovitost / učinkovitost	Potražnja toplinske energije [GWh/god.]
Prirodni plin	0	0	0,9	0
Biomasa	0	0	0,8	0
CTS	100	69,22	0,9	76,92
Ukupno	100	<b>69,22</b>		<b>76,92</b>

Za sektor prometa u ovom scenariju razmotrit će se povećanje udjela električnih automobila od 10% u odnosu na ukupni broj vozila u Gradu. Ukupni broj električnih vozila u Gradu porasti će na 752. Raspodjela potrošnje energije u navedenom sektoru za ovaj scenarij prikazana je u tablici 4-10.

**Tablica 4-10.** Potrošnja energije u sektoru transporta za scenarij Ivanić-Grad\_100

Tip vozila	Potrošnja fosilnih goriva [GWh/god.]	Potrošnja električne energije [GWh/god.]
Dizelska vozila	41,73	0
Benzinska vozila	14,66	0
Električna vozila	0	1,88

Obzirom da se karakteristike vozila ne mijenjaju, pretpostavljeni baterijski kapacitet (50 kWh) i snaga punjenja (10 kW) ostaju nepromijenjeni kao i u prethodnim scenarijima. Budući je došlo do povećanja broja vozila, shodno tome potrebno je i povećati raspoloživi priključni kapacitet mreže za punjenje na 7516 kW. Ukupni baterijski kapacitet vozila u tom slučaju iznosi 37,58 MWh.

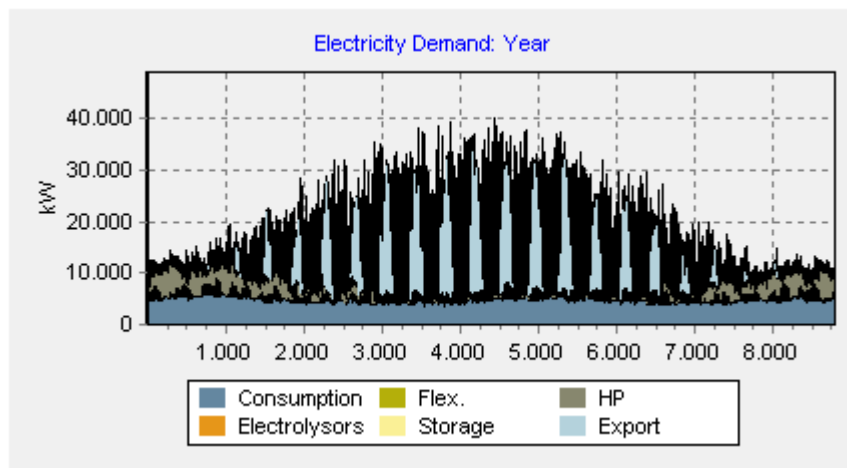
U ovom scenariju se po pitanju toplinske energije za sektor zgradarstva želi postići 100% neovisnost o fosilnim izvorima. Potražnja od 76,92 GWh/god. kao što je navedeno u potpunosti će se zadovoljavati pod pretpostavkom iz naftno-plinskog ležišta „Žutica“ putem kompresijskih dizalica topline. Pretpostavljena raspoloživa toplina iz ležišta u ovom slučaju iznosi 57,69 GWh/god., a koeficijent učinkovitosti dizalica topline ostaje nepromijenjen tj. 4,0.

Na osnovu povećane dobave toplinske energije putem CTS-a pretpostavljena potrebna snaga dizalica topline u ovom scenariju iznosi 6750 kW-e. Na slici 4-33 su prikazane odabrane karakteristike kompresijskih dizalica topline.

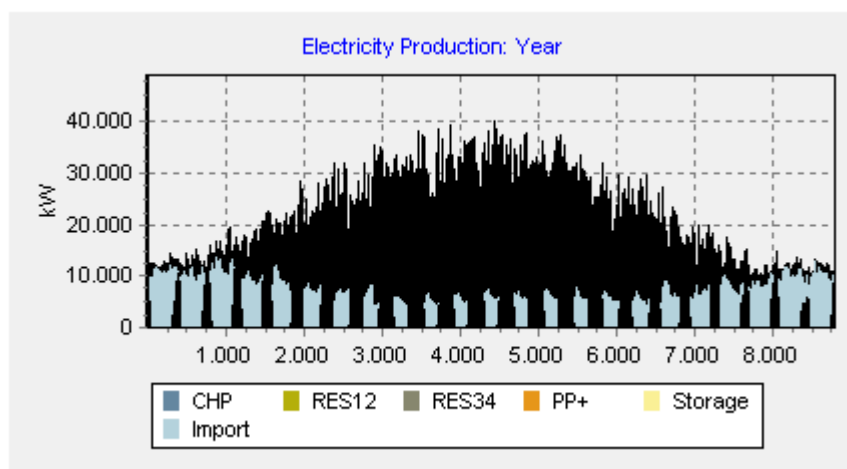
Compression Heat Pumps			
Electric Capacity	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="6750"/>	kW-e
COP	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	
Thermal Capacity	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="27000"/>	kJ/s

**Slika 4-33.** Scenarij Ivanić-Grad\_100 – odabrane karakteristike dizalica topline

Nakon što su uneseni svi potrebni podaci sljedeći korak je pokretanje simulacije za modelirani scenarij. Na slikama 4-34 i 4-35 prikazane su krivulje potražnje i izvoza električne energije po satima kroz cijelu godinu za ovaj scenarij.



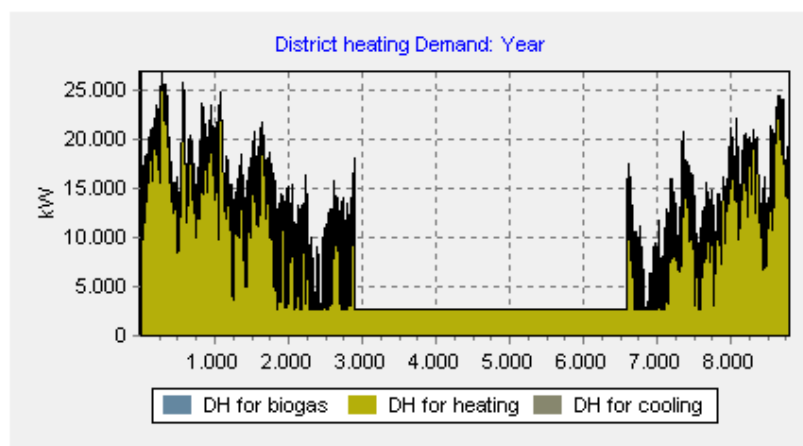
**Slika 4-34.** Scenarij Ivanić-Grad\_100 - potražnja električne energije



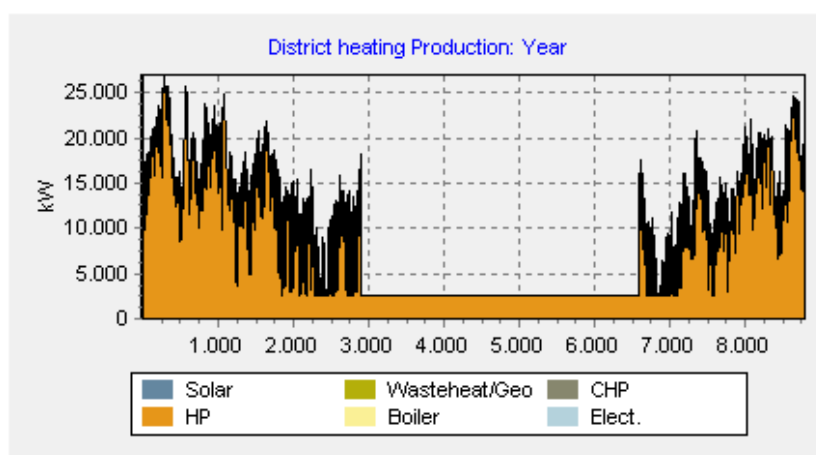
**Slika 4-35.** Scenarij Ivanić-Grad\_100 -izvoz električne energije

Na slici 4-34 vidljivo je kako se povećala potražnja za električnom energijom na dizalicama topline u odnosu na prijašnji scenarij. Ukupna godišnja potrošnja električne energije za dizalice topline u ovom scenariju iznosi 19,23 GWh. Što se tiče ukupne količine uvezene električne energije za ovaj scenarij ona iznosi 43,51 GWh što je povećanje uvoza za 6% u odnosu na prijašnji scenarij. Budući su viškovi u proizvodnji i dalje prisutni osobito u ljetnim mjesecima, prema simulaciji ukupno je izvezeno u 34,85 GWh električne energije što je povećanje izvoza za 36% u odnosu na prijašnji scenarij.

Na sljedećim slikama prikazane su krivulje u potražnji i dobavi toplinske energije po satima kroz cijelu godinu.



**Slika 4-36.** Scenarij Ivanić-Grad\_100 - potražnja toplinske energije putem CTS-a

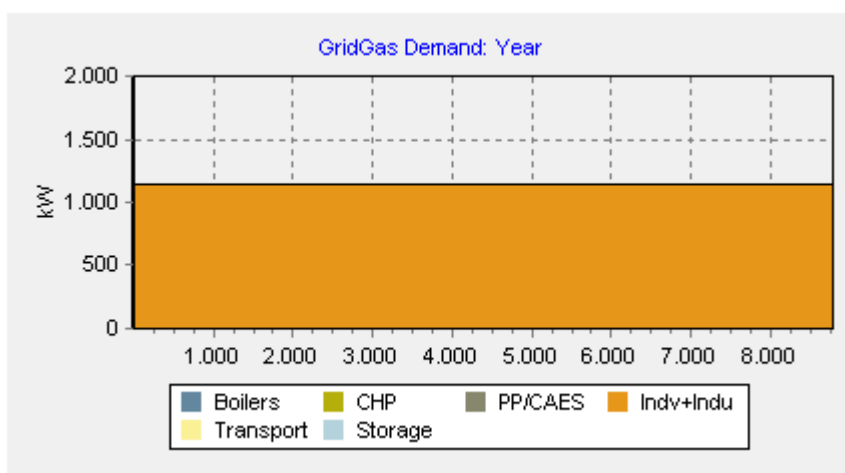


**Slika 4-37.** Scenarij Ivanić-Grad\_100 - dobava toplinske energije putem CTS-a

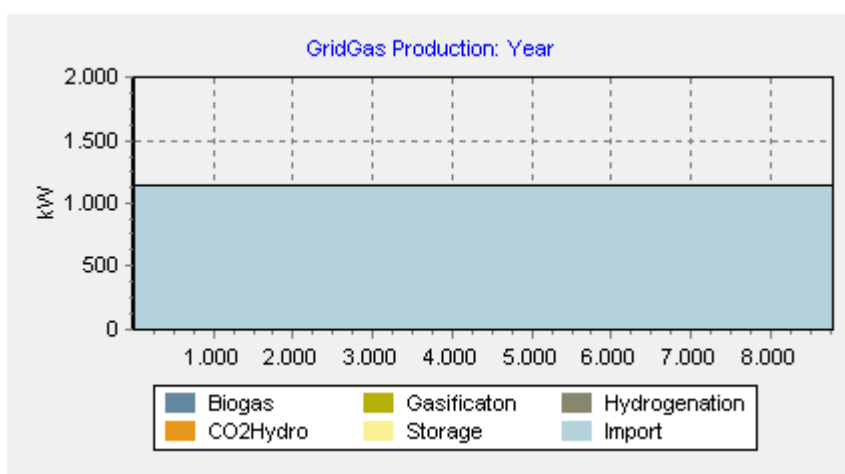
Toplinska energija koja je u ovom scenariju isporučena potrošačima putem centraliziranog toplinskog sustava iznosi 69,23 GWh/godišnje. Vršno satno opterećenje sustava koje se

može očekivati iznosi 27 000 kW toplinske energije. Prema slikama 4-36 i 4-37 vidljivo je kako se potrebe za toplinskom energijom mogu osigurati prema pretpostavljenim karakteristikama dizalica topline.

Obzirom da se za sektor zgradarstva u ovom scenariju ne koristi prirodni plin, na sljedećim slikama prikazana je potrošnja i uvoz prirodnog plina za industrijske potrebe.



**Slika 4-38.** Scenarij Ivanić-Grad\_100 - potražnja prirodnog plina (Industrija)



**Slika 4-39.** Scenarij Ivanić-Grad\_100 - uvoz prirodnog plina (Industrija)

U ovome scenariju na temelju navedenih pretpostavki pokazalo se kako se potrebe za toplinskom energijom u sektoru zgradarstva mogu u potpunosti osigurati. Povećanjem udjela električnih automobila na 10% i isključivanjem uvoza plina osim za potrebe industrije rezultiralo je smanjenjem emisija na 17063 t/godišnje što je smanjenje od 18% u odnosu na prijašnji scenarij. Udio obnovljivih izvora u proizvodnji energije u ovom scenariju porastao je na 48,1%.

## 5. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA

U ovom poglavlju opisuje se postupak izrade tehno-ekonomske analize na primjeru scenarija modeliranih prema energetske potrebama Ivanić-Grada te isti služi za ocjenjivanje isplativosti.

Prilikom proračuna troškova u ovoj analizi moraju se razmotriti sljedeći čimbenici: godišnji trošak sustava, godišnji investicijski trošak, godišnji operativni trošak, godišnji troškovi emisija CO<sub>2</sub> te trošak izmjene električne energije.

Godišnji trošak sustava se sastoji od niveliranih kapitalnih i operativnih troškova, troškova goriva, troškova emisija CO<sub>2</sub> i troškova izmjene električne energije s vanjskim tržištem, a računa se prema sljedećem izrazu:

$$C = C_I + C_{O\&M} + C_F + C_{CO_2} + C_{el}. \quad (5-1.)$$

Gdje su:

$C_I$  – Godišnji investicijski trošak, EUR

$C_{O\&M}$  – Kapitalni i operativni troškovi, EUR

$C_F$  – Troškovi goriva, EUR

$C_{CO_2}$  – troškovi emisija CO<sub>2</sub>, EUR

$C_{el}$  – troškovi izmjene električne energije s vanjskim tržištem, EUR

Godišnji investicijski trošak  $C_I$  računamo kao funkciju povrata kapitala i predstavlja godišnju ratu potrebnu da se isplati investicija  $I$  uz diskontnu stopu  $r$  u  $n$  godina:

$$C_I = \sum_i \left( I \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^{n-1}} \right)_i \quad (5-2.)$$

Gdje su:

$l$  – godišnja rata potrebna za isplatu investicije, EUR

$r$  -diskontna stopa, %

$n$  – broj godina

Godišnji operativni troškovi se računaju kao postotak investicije za svaki element sustava pri čemu treba definirati, odnosno procijeniti postotak investicije:

$$C_{O\&M} = \sum_i (I \cdot r_{O\&M})_i \quad (5-3.)$$

Gdje su:

$I$  – iznos investicije, EUR

$r_{O\&M}$  – postotak investicije, %

Godišnji trošak goriva je umnožak potrošnje goriva i specifične cijene goriva za svaki tip goriva te se računa prema izrazu:

$$C_F = \sum_j \sum_{t=1}^{8760} (q_{j,t} \cdot c_{F,j}) \quad (5-4.)$$

Gdje su:

$C_F$  – godišnji trošak goriva, EUR

$q_j$  – potrošnja goriva, MWh

$c_{F,j}$  – specifična cijena goriva, EUR/MWh

Godišnji trošak emisija CO<sub>2</sub> je umnožak specifičnih emisija pojedinog goriva  $em_{F,j}$  i cijene po jedinici mase emitiranog CO<sub>2</sub> po svakom gorivu  $c_{CO_2}$  te se računa prema sljedećem izrazu:

$$C_{CO_2} = \sum_j \sum_{t=1}^{8760} (q_{j,t} \cdot em_{F,j} \cdot c_{CO_2,t}) \quad (5-5.)$$

Gdje su:

$em_{F,j}$  – specifična emisija pojedinog goriva, CO<sub>2</sub>/t

$c_{CO_2}$  – cijena po jedinici mase CO<sub>2</sub>, EUR/t

Tipovi fosilnih goriva  $j$  su: prirodni plin, kapljevita goriva i ugljen. Ukoliko pretpostavimo konstantnu cijenu za CO<sub>2</sub>, onda gornji izraz možemo zapisati i jednostavnije:

$$C_{CO_2} = \sum_j \sum_{t=1}^{8760} (q_{j,t} \cdot em_{F,j}) c_{CO_2} \quad (5-6.)$$

Trošak izmjene električne energije je definiran kao umnožak izmjene električne energije na granici energetske sustava i cijene po kWh el. energije za svaki sat u simulaciji  $t$ :

$$C_{el.} = \sum_{t=1}^{8760} (e_{el.,t} \cdot c_{el,t}) \quad (5-7.)$$

Gdje su:

$e_{el}$  – količina izmijenjene električne energije na granici, MWh

$c_{el}$  – cijena električne energije, EUR/ MWh

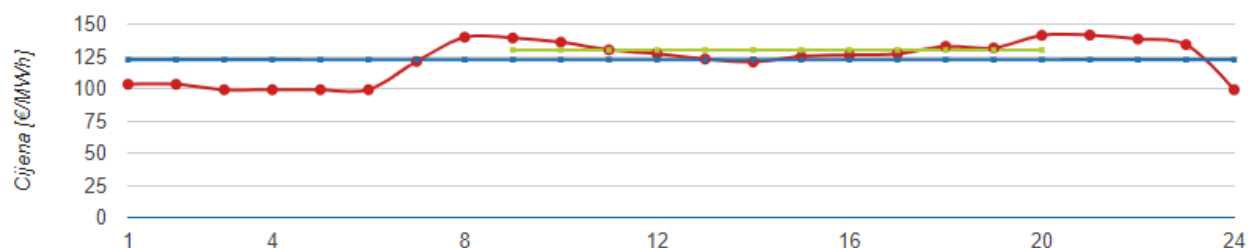
Ukoliko je cijena  $c_{el}$  pretpostavljena kao konstantna tijekom godine onda gornji izraz možemo pojednostaviti:

$$C_{el.} = \sum_{t=1}^{8760} (e_{el.})_t c_{el} \quad (5-8.)$$

Trošak izmjene električne energije može biti pozitivan (neto uvoz el. energije) ili negativan (neto izvoz el. Energije).

Godišnja potrošnja goriva  $q_j$  iz koje slijede troškovi goriva i troškovi emisija CO<sub>2</sub> te izmjene el. energije na granici sustava  $e_{el.}$  proizlaze iz energetske bilance sustava (simulacija u EnergyPLAN-u). U modelu je moguće navesti i dodatne troškove, kao što su posebni porezi na korištenje pojedinih tehnologija (Perković, 2021).

Cijena električne energije koja će se koristiti prilikom izrade analize uzeta je sa hrvatske burze električne energije CROPEX iz 2021. godine, u obzir nisu uzete cijene na regionalnim burzama kao niti volumeni električne energije kojima se trgovalo na istima. Na slici 5-1 prikazano je kretanje cijena električne energije na CROPEX-u za 25.8.2021.

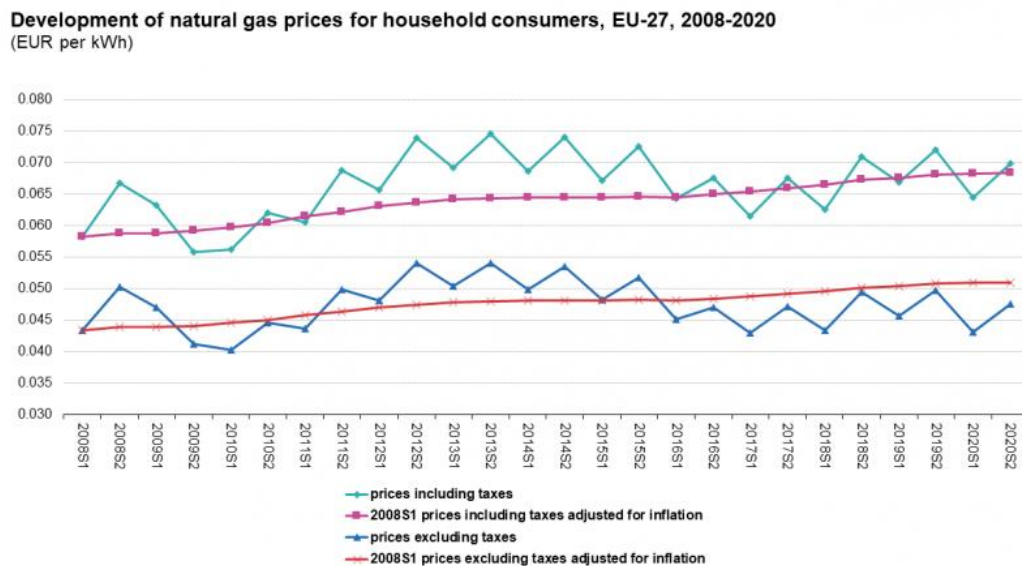


**Slika 5-1.** Kretanje cijena električne energije na CROPEX-u (CROPEX, 2021).



Na slici 5-1 je vidljivo kako se prosječna cijena električne energije kreće oko 100 EUR/MWh, stoga će se za potrebe analize koristiti ista uz pretpostavku da do 2030. godine neće dolaziti do porasta.

Cijene energije u Europskoj Uniji ovise o nizu brojnih faktora kao što su: geopolitičke situacije, diversifikacija uvoza, troškovi mreže, troškovi zaštite okoliša, ponudi i potražnji itd. Što se tiče cijena plina, one se mogu bitno razlikovati od svake države članice, primjerice u drugoj polovici 2020. godine cijena prirodnog plina za kućanstva u Švedskoj iznosila je 0,1073 EUR/kWh, a u Latviji 0,0280 kWh (Eurostat, 2021). Uzimajući u obzir prosječnu cijenu plina za kućanstva u EU (slika 5-2), može se uočiti kako u odnosu na 2008. godinu dolazi do blagog porasta cijena, međutim takav trend ne može se egzaktno predvidjeti do primjerice 2030. godine.



**Slika 5-2.** Cijene plina u EU za kućanstva od 2008. do 2020. godine (Eurostat, 2021).

Cijena prirodnog plina na području EU kao što je vidljivo na slici u zadnjih desetak godina, za sektor kućanstva kreće se u vrijednostima 0,045 EUR/kWh do 0,075 EUR/kWh. Stoga za potrebe ove analize pretpostavit će se fiksna cijena plina od 0,065 EUR/kWh.

Budući su prema klimatskom planu do 2030. godine članice Europske Unije obavezne smanjivati udio stakleničkih plinova za 55% u odnosu na razine iz 1990. godine, prema mnogim projekcijama izgledno je kako će zbog navedenog doći do rasta cijene emisijskih jedinica CO<sub>2</sub> (Schjølset, 2014). Stoga će se za potrebe ove analize u proračunu upotrebljavati pretpostavljena cijena od 60 EUR po toni CO<sub>2</sub>.

Za izradu analize pretpostavljene su cijene biomase od 0,01 EUR/kWh te cijene dizelskih i benzinskih goriva od 1,2 EUR/L.

Sljedeći korak u izradi analize odnosi se na određivanje godišnjih investicijskih i fiksnih operativnih troškova za dizalice topline i fotonaponske ćelije koji su odabrani prema (Danish Energy Agency, 2020) i prikazani u tablicama 5-1 i 5-2.

**Tablica 5-1.** Prikaz troškova za dizalice topline

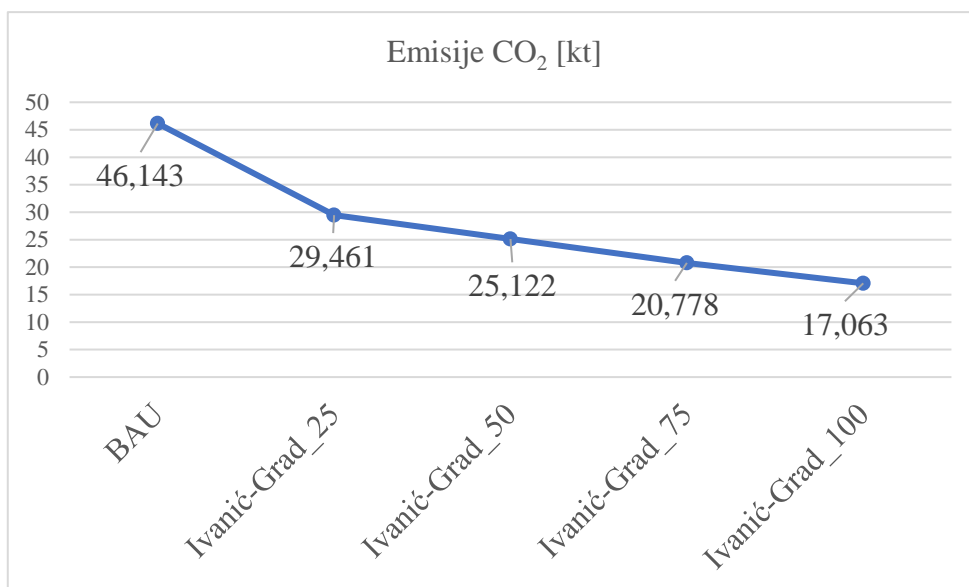
	Godišnji investicijski troškovi [MEUR/MW-t]	Fiksni operativni troškovi [EUR/MW-t]
Dizalice topline	2,88	23900

**Tablica 5-2.** Prikaz troškova za fotonaponske ćelije

	Godišnji investicijski troškovi [MEUR/MW-e]	Fiksni operativni troškovi [EUR/MW-e]
Fotonaponske ćelije	0,53	8750

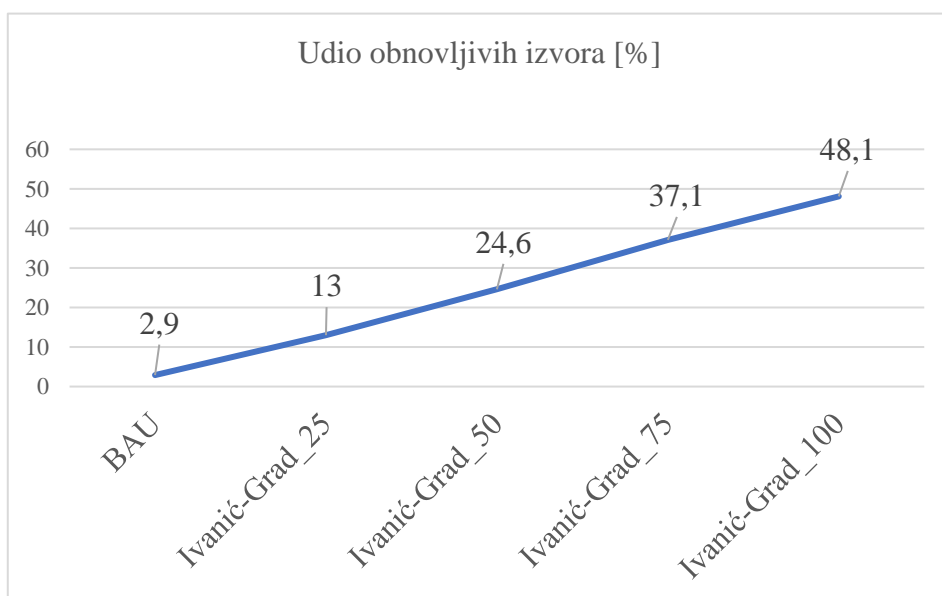
## 6. ANALIZA REZULTATA

Obzirom da se prilikom izrade scenarija u sektoru prometa i zgradarstva sve više smanjivao utjecaj fosilnih goriva u primarnoj potrošnji energije tako je dolazilo i do pada ukupnog broja emisijskih jedinica što je prikazano na sljedećoj slici 6-1.



Slika 6-1. Smanjenje emisija CO<sub>2</sub> prema scenarijima

Sljedeća slika prikazuje povećanje udjela obnovljivih izvora prema scenarijima za Ivanić-Grad gdje je vidljivo kako se u zadnjem scenariju udio penje na 48,1% što je u odnosu na BAU scenarij povećanje od 45%.

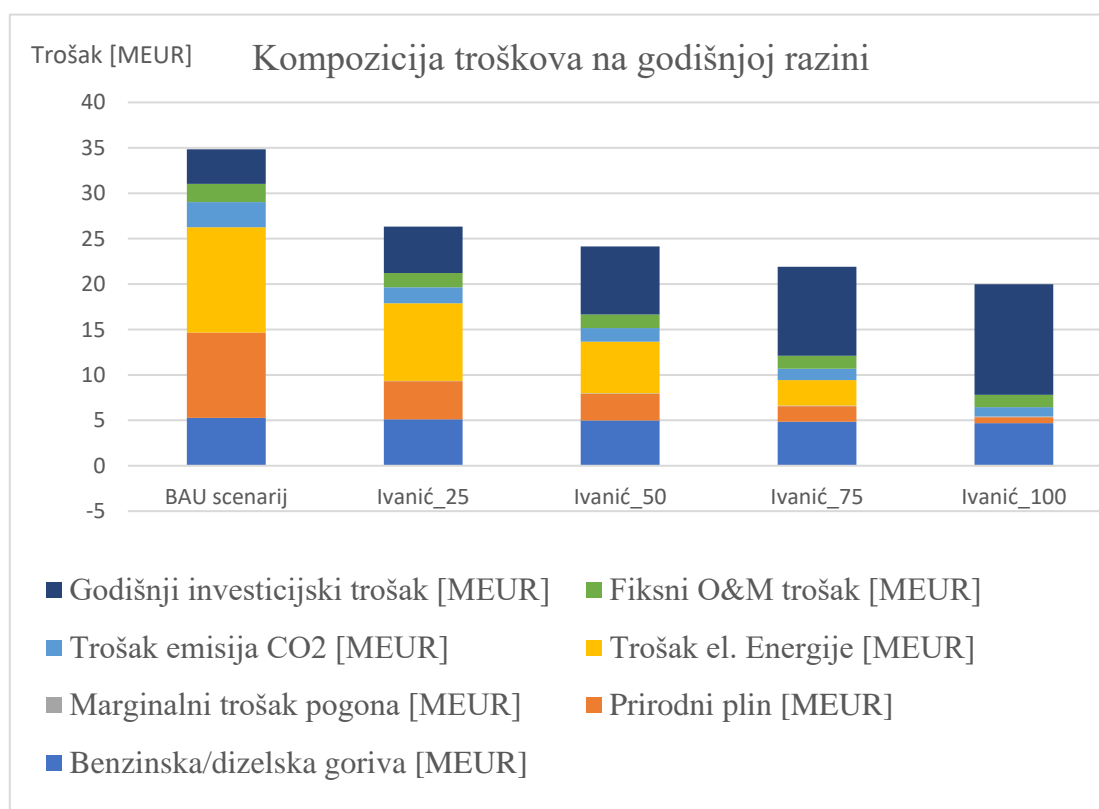


Slika 6-2. Povećanje udjela obnovljivih izvora prema scenarijima

Rezultati tehno-ekonomske analize prikazani su u tablici 6-1, a na slici 6-3 dana je kompozicija tih troškova prema scenarijima.

**Tablica 6-1.** Rezultati tehno-ekonomske analize prema scenarijima

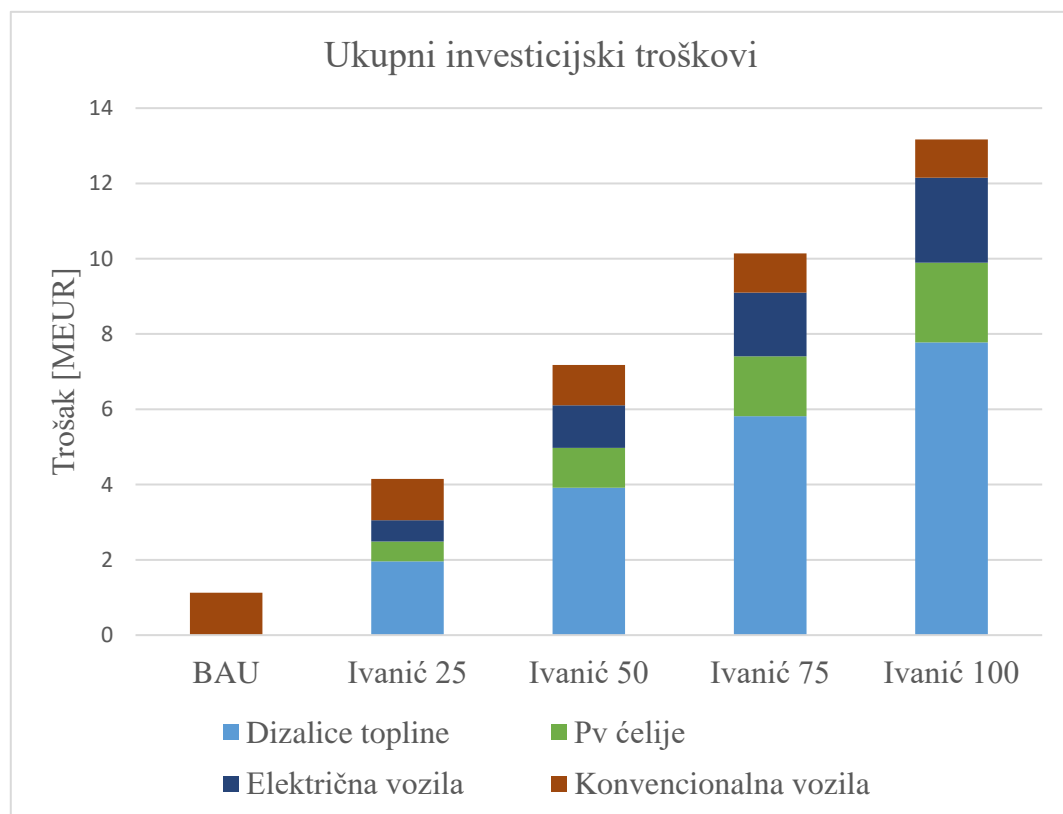
	BAU scenarij	Ivanić_25	Ivanić_50	Ivanić_75	Ivanić_100
Benzinska/dizelska goriva [MEUR]	5,27	5,11	4,98	4,85	4,69
Prirodni plin [MEUR]	9,39	4,20	2,95	1,70	0,65
Marginalni trošak pogona [MEUR]	0,00	0,02	0,04	0,07	0,09
Trošak el. Energije [MEUR]	11,61	8,54	5,67	2,81	-0,06
Trošak emisija CO2 [MEUR]	2,77	1,77	1,51	1,25	1,02
Ukupni varijabilni trošak [MEUR]	29,03	19,65	15,16	10,67	6,39
Fiksni O&M trošak [MEUR]	2,00	1,56	1,50	1,43	1,37
Godišnji investicijski trošak [MEUR]	3,81	5,12	7,49	9,81	12,18
Ukupni godišnji trošak [MEUR]	34,84	26,33	24,14	21,91	19,93



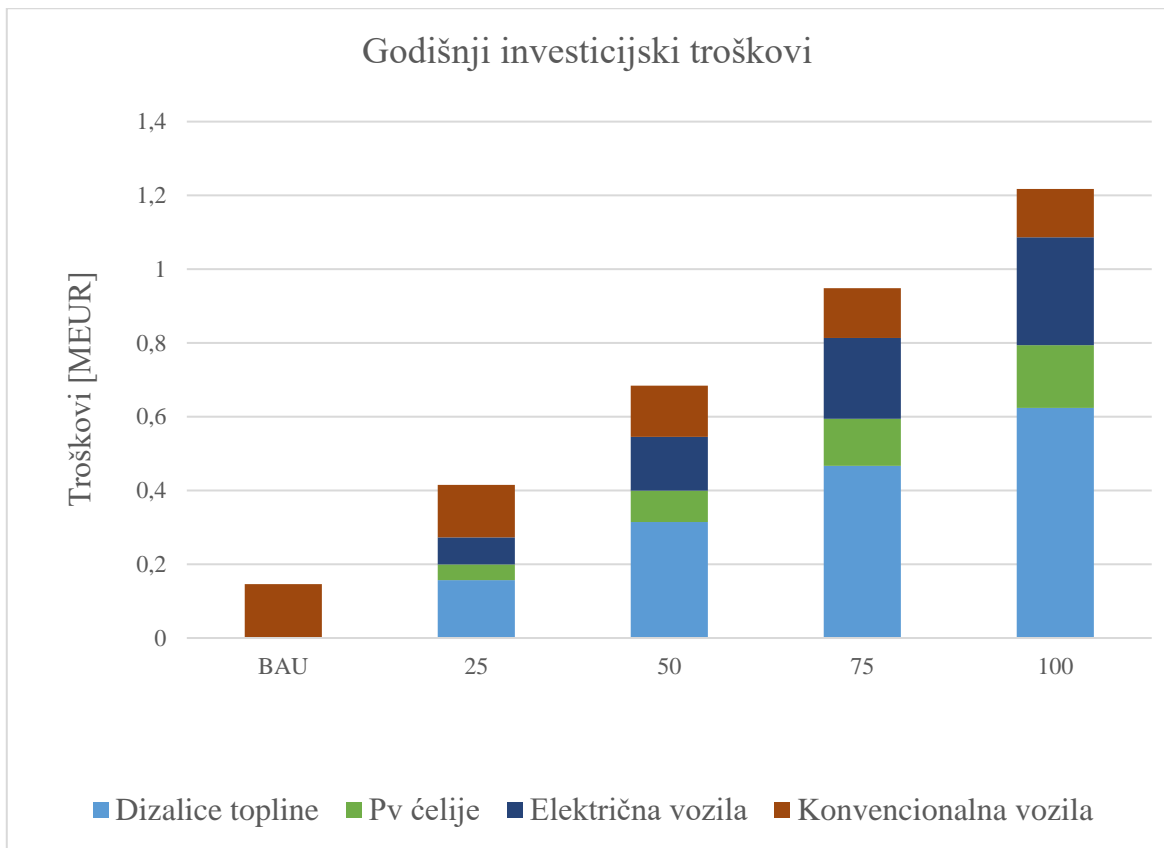
**Slika 6-3.** Kompozicija troškova na godišnjoj razini prema scenarijima

Uvidom u rezultate možemo uočiti kako se u BAU scenariju javljaju najveći godišnji troškovi, ponajviše iz razloga što se sva potražnja za električnom energijom oslanja na uvoz i gotovo sve toplinske potrebe podmiruju se uvozom prirodnog plina. Budući se proizvodnja električne energije povećavala za 10MW po svakom scenariju tako se i linearno smanjivao trošak uvoza električne energije, a u zadnjem scenariju sa fotonaponskim panelima kapaciteta 40MW očituje se prihod od 0,06 MEUR koji se ostvaruje prodajom el.en. u mrežu. Osim povećanja proizvodnog kapaciteta električne energije, kroz scenarije se i povećavala proizvodnja toplinske energije putem dizalica topline. Slijedom navedenog možemo primijetiti kako ulaganjem u takve tehnologije dolazi do rasta godišnjih investicijskih troškova.

Na slici 6-4 prikazani su ukupni investicijski troškovi, a na slici 6-5 godišnji investicijski troškovi koji se odnose na dizalice topline, PV ćelije i osobna vozila prema scenarijima.



**Slika 6-4.** Ukupni investicijski troškovi prema scenarijima



**Slika 6-5.** Godišnji investicijski troškovi prema scenarijima

Na slikama iznad vidljivo je kako investicijski troškovi rastu proporcionalno sa povećanjem udjela obnovljivih izvora energije. Ako izuzmemo troškove konvencionalnih vozila možemo primijetiti kako gotovo najveći dio investicijskih troškova zauzimaju dizalice topline zatim električni automobili i PV ćelije koje pokazuju da se radi o relativno jeftinoj tehnologiji koja ima veliki potencijal u proizvodnji električne energije u budućnosti.

## 7. ZAKLJUČAK

U ovom radu zadatak je bio istražiti u kojoj mjeri je potrebno implementirati obnovljive izvore energije u postojeći energetska sustav Ivanić-Grada kako bi on postao energetski što neovisniji do 2030. godine. Uzevši u obzir da na području Ivanić-Grada već postoje dokazane rezerve geotermalnih izvora, a osim toga i veliki broj napuštenih naftnih i plinskih bušotina, u analizama scenarija stavljen je naglasak na proizvodnju toplinske energije putem centraliziranog toplinskog sustava u kombinaciji sa dizalicama topline. S obzirom na to da Grad uvozi gotovo svu električnu energiju, za svaki scenarij razmatrane su opcije povećanja fotonaponskih ćelija za 10 MW. Za sektor transporta u svakom scenariju analizirana je penetracija električnih vozila s povećanjem za 2,5%. Rezultati scenarija pokazali su kako se ulaganjem u takve tehnologije mogu očekivati veći investicijski troškovi u odnosu na prijašnje stanje Grada međutim sve manjom upotrebom fosilnih goriva ukupni godišnji troškovi padaju zbog manjih operativnih troškova goriva i emisija CO<sub>2</sub>.

## 8. POPIS LITERATURE

1. ANDRASSY, M., BALEN, I., BORAS, I., DOVIĆ, D., HRS BORKOVIĆ, Ž., LENIĆ, K., LONČAR, D., PAVKOVIĆ, B., SOLDI, V., SUČIĆ, B., ŠVAIĆ, S., 2010. *Priručnik za provedbu energetske pregleda zgrada*. Zagreb: Program Ujedinjenih naroda za razvoj
2. DANISH ENERGY AGENCY, 2020. *Technology Data - Energy Plants for Electricity and District heating generation*. Danish Energy Agency and Energinet
3. ENERGETSKI INSTITUT HRVOJE POŽAR, 2017. *Geothermal Energy Utilisation Potential in Croatia*. Zagreb: EIHP
4. KOLEGA, V., KOVAČIĆ, I., DJUKIĆ, S., DOMAC, J., LONČAR, I., MARAS, H., PRŽULJ, I., ŠEGON, V., BERLAN VLAHEK, V., KORDIĆ, Z., ŠVEDEK, I., VEŠLIGAJ, D., GUZOVIĆ, Z., 2010. *Akcijski plan energetske održivog razvitka Grada Ivanić-Grad (SEAP)*. Zagreb
5. LUND, H., THELLUFSEN, J. Z., ØSTERGAARD, P. A., SORKNÆS, P., SKOV, I. R., & MATHIESEN, B. V. 2021. *EnergyPLAN – Advanced analysis of smart energy systems*. 1 ur. Copenhagen, Aalborg: Smart Energy.
6. NOVOTNY, D., HODŽIĆ, E., LONČAR, A., LOINA, K., KALE, P., 2014. *Ivanić-Grad - Strategija ekonomskog razvoja Grada za razdoblje 2014 - 2020*. Ivanić-Grad
7. PERKOVIĆ, L., 2021. *Interna skripta iz kolegija Distribucija i korištenje energije*. (neobjavljeno). Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet
8. GAURINA-MEĐIMUREC, N., SIMON, K., PAŠIĆ, B., MIJIĆ, P., MEDVED, I., HRGAREK, M., RUŽIĆ, I., RAK ZARIĆ, I. & MAĐERIĆ, A., 2018. *Elaborat o zaštiti okoliša za zahvat - Privođenje eksploataciji postojećih bušotina Selec-2 i Selec-3 (Slc-2 i Slc-3) na eksploatacijskom polju ugljikovodika „Žutica“*. Zagreb: RGNf

### Web izvori:

9. ARANER, 2021. *Large heat pump district heating systems*.  
URL: <https://www.araner.com/blog/large-heat-pumps-in-district-heating-systems>  
(16.8.2021.)



10. CROPEX, 2021. *Hrvatska burza električne energije*.  
URL: <https://www.cropex.hr/hr/> (21.8.2021.)
11. DANISH ENERGY AGENCY, 2020. *Technology Data for Energy Plants*.  
URL: [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology\\_data\\_for\\_el\\_and\\_dh.xlsx](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_for_el_and_dh.xlsx)  
(20.8.2021.)
12. DRŽAVNI ZAVOD ZA STATISTIKU, 2011. *Popisane osobe, kućanstva i stambene jedinice, 2011*.  
URL: [https://www.dzs.hr/hrv/censuses/census2011/firstres/htm/H11\\_Zup12\\_1589.html](https://www.dzs.hr/hrv/censuses/census2011/firstres/htm/H11_Zup12_1589.html)  
(20.8.2021.)
13. EUROSTAT, 2021. *Natural gas price statistics*.  
URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Natural\\_gas\\_price\\_statistics#Natural\\_gas\\_prices\\_for\\_non-household\\_consumers](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Natural_gas_price_statistics#Natural_gas_prices_for_non-household_consumers) (20.8.2021.)
14. GEOPORTAL, 2021.  
URL: <https://geoportal.dgu.hr> (6.8.2021.)
15. KUREVIJA, T., KARASALIHović SEDLAR, D., MACENIĆ, M., SMAJLA, I., JUKIĆ, L., 2020. *Geotermalna toplina je nova nafta*.  
URL: <https://het.hr/wp-content/uploads/2020/06/Geotermalna-toplina-je-nova-nafta.pdf>  
(15.8.2021.)
16. MACENIĆ, M., 2020. *Eksploatacija geotermalne energije revitalizacijom napuštenih naftnih i plinskih bušotina*.  
URL: <https://www.rgn.unizg.hr/hr/component/content/article/223-blog/2643-eksploatacija-geotermalne-energije-revitalizacijom-napustenih-naftnih-i-plinskih-busotina> (5.8.2021.)
17. MARAS, J., 2019. *District energy in Croatia*.  
URL: <https://www.euroheat.org/knowledge-hub/district-energy-croatia> (5.8.2021.)
18. POSLOVNI, 2016. *Ako autom godišnje prelazite više od 10.000 kilometara, čeka vas novo poskupljenje*.  
URL: <https://www.poslovni.hr/hrvatska/ako-autom-godisnje-prelazite-vise-od-10000-kilometara-ceka-vas-novo-poskupljenje-318703> (6.8.2021.)

19. REGEA, 2009. *Suvremena energetska učinkovita javna rasvjeta*.  
URL:<http://regea.org/wp-content/uploads/2018/05/Suvremena-energetski-učinkovita-javna-rasvjeta-siječanj-2009..pdf>(22.7.2021.)
20. SCHJØLSET, S., 2014. *The MSR: Impact on market balance and prices*.  
URL:[https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/0094/thomson\\_reuters\\_point\\_carbon\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/0094/thomson_reuters_point_carbon_en.pdf) (25.8.2021.)
21. SOLDI, E., ALIMONTI, C., 2015. *From an Oilfield to a Geothermal One: Use of a Selection Matrix to Choose Between Two Extraction Technologies*.  
URL:<https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2015/37008.pdf>  
(25.7.2021.)
22. ZAVOD ZA PROSTORNO UREĐENJE ZAGREBAČKE ŽUPANIJE, 2018. *Izješće o stanju u prostoru Grada Ivanić-Grada za razdoblje od 1.1.2013. do 31.12.2016. godine*.  
URL:<http://www.ivanic-grad.hr/media/597903/Službeni%20glasnik%203-2018.pdf>  
(25.7.2021.)
23. ZAVOD ZA PROSTORNO UREĐENJE ZAGREBAČKE ŽUPANIJE, 2021. *Preglednik prostornih planova na području Zagrebačke županije*.  
URL: <http://ensmartportal.gdi.net:81/visios/zagzup> (15.8.2021.)

## IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad pod nazivom *SCENARIJI ZA OSTVARIVANJE ENERGETSKI NEUTRALNOG GRADA IVANIĆ-GRADA KORIŠTENJEM PROGRAMA ENERGYPLAN* izradio samostalno, pod mentorstvom dr. sc. Luke Perkovića. U diplomskom sam radu primijenio metodologiju znanstveno-istraživačkog rada koristeći literaturu navedenu u posljednjem poglavlju rada.



---

Luka Kesić



KLASA: 602-04/21-01/216  
URBROJ: 251-70-12-21-2  
U Zagrebu, 15.9.2021.

Luka Kesić, student

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/216, URBROJ: 251-70-12-21-1 od 1.7.2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### SCENARIJI ZA OSTVARIVANJE ENERGETSKI NEUTRALNOG GRADA IVANIĆ-GRADA KORIŠTENJEM PROGAMA ENERGYPLAN

Za voditelja 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

Voditelj:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)