

# Mapiranje potreba za grijanjem i analiza utjecaja energetske obnove na potencijal širenja centraliziranih toplinskih sustava

---

Ćeranić, Anja

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:756324>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-10**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Anja Čeranić**

Zagreb, 2018. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

doc. dr. sc. Tomislav Pukšec, dipl. ing.

Student:

Anja Čeranić

Zagreb, 2018. godina

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

Zahvaljujem se svojem mentoru doc. dr. sc. Tomislavu Pukšecu, dipl. ing. na ukazanoj prilici za izradu ovog diplomskog rada kao i asistentu Tomislavu Novoselu, mag.ing. na razumijevanju, stručnim savjetima i uloženoj pomoći.

Isto tako, željela bih se zahvaliti kolegama u Elektroprojektu koji su moje studiranje upotpunili znanjem i konkretnim primjerima iz struke.

Također puno hvala gospođi Križaj i gospodinu Karačiću iz Ureda geodetskih poslova u Upravnom odjelu za urbanizam i zaštitu okoliša Grada Velike Gorice na ustupljenim podlogama.

Posebno zahvaljujem svojim roditeljima Jasni i Saši, bratu Davidu, bakama, djedu te ostaloj obitelji i prijateljima na podršci tijekom svih ovih godina. Za kraj, mojem Šimi veliko hvala za svu ljubav, pažnju i razumijevanje.

Anja Čeranić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Anja Čeranić** Mat. br.: 0035187070

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Mapiranje potreba za grijanjem i analiza utjecaja energetske obnove na potencijal širenja centraliziranih toplinskih sustava**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Heat demand mapping and the analysis of the impact of building refurbishment on the potential for the expansion of district heating**

Opis zadatka:

Detaljna analiza tehno-ekonomske isplativosti centraliziranih toplinskih sustava zahtjeva poznavanje prostorne distribucije trenutne i buduće potražnje za toplinskom energijom, postojećih i potencijalnih izvora otpadne i obnovljive energije te postojeće infrastrukture. Primjena GIS (Geografski informacijski sustav) alata omogućuje korisnicima obradu i vizualizaciju georeferenciranih podataka što ih čini idealnim okruženjem za takve analize.

U radu potrebno je:

1. Napraviti opsežan pregled literature na temu primjene centraliziranih toplinskih sustava u Europi i Republici Hrvatskoj, utjecaja energetske obnove zgrada na rad centraliziranih toplinskih sustava te primjenu GIS alata u energetici,
2. Izraditi GIS kartu Velike Gorice koja će sadržavati podatke o potražnji za grijanjem, njenoj gustoći te postojećoj infrastrukturi,
3. Proračunati razinu isplativosti investicije u širenje centraliziranog toplinskog sustava u Velikoj Gorici,
4. Analizirati utjecaj energetske obnove zgrada na potencijal širenja centraliziranog toplinskog sustava u Velikoj Gorici kroz tri odabrana scenarija,
5. Analizirati utjecaj spajanja mreže centraliziranog toplinskog sustava Velike Gorice i Zagreba na ekonomsku isplativost širenja centraliziranog toplinskog sustava u Velikoj Gorici.

Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
16. studenog 2017.

Datum predaje rada:  
18. siječnja 2018.

Predviđeni datum obrane:  
24., 25. i 26. siječnja 2018.

Zadatak zadao:

  
Doc. dr. sc. Tomislav Pukšec

Predsjednica Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA .....	V
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD.....	1
1.1. PREGLED REGULATORNOG OKVIRA .....	2
2. CENTRALIZIRANI TOPLINSKI SUSTAVI .....	5
2.1. Razvojni put centraliziranih toplinskih sustava .....	6
2.2. Pozitivni učinci implementacije centraliziranih toplinskih sustava.....	9
2.3. Toplinski sustavi u Republici Hrvatskoj .....	9
2.4. Integracija obnovljivih izvora i otpadne topline u centralizirane toplinske sustave ..	10
2.4.1. Biomasa.....	11
2.4.2. Solarna energija .....	12
2.4.3. Geotermalna energija .....	13
2.4.4. Otpadna toplina .....	13
3. ENERGETSKA UČINKOVITOST U SEKTORU ZGRADARSTVA .....	14
4. METODE.....	16
4.1. QGIS .....	16
4.2. MAPIRANJE POTRAŽNJE ZA TOPLINSKOM ENERGIJOM.....	19
4.2.1. Potražnja za toplinskom energijom.....	20
4.3. ISPLATIVOST ŠIRENJA CENTRALIZIRANOG TOPLINSKOG SUSTAVA .....	22
4.3.1. Prihod.....	23
4.3.2. Rashod.....	23
4.3.2.1. Nivelirani trošak proizvodnje toplinske energije (engl. <i>Levelized cost of heat</i> - <i>LCOH</i> ) .....	24
4.3.2.2. Duljina vrelovoda po metru kvadratnom tla .....	25
4.3.3. Ušteda emisije ugljičnog dioksida .....	25
5. MAPIRANJE VELIKE GORICE.....	27
5.1. Postojeće stanje opskrbe toplinskom energijom .....	27
5.2. Prikupljanje i obrada podataka.....	30
5.2.1. Tlocrtna površina .....	30
5.2.2. Namjena .....	31
5.2.3. Broj etaža .....	33
5.2.4. Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje.....	34
5.3. Potražnja za toplinskom energijom naselja Velika Gorica .....	35
6. SCENARIJSKA ANALIZA .....	37
6.1. Izgradnja novih toplinskih izvora .....	38
6.1.1. Prihod od prodaje toplinske energije .....	38

---

6.1.2.	Duljina vrelovoda po metru kvadratnom tla .....	40
6.1.3.	Nivelirani trošak proizvodnje toplinske energije ( <i>LCOH</i> ).....	41
6.1.3.1.	Bez energetske obnove .....	41
6.1.3.2.	Energetska obnova .....	43
6.2.	Spajanje mreže centraliziranog toplinskog sustava Velike Gorice i Grada Zagreba .	43
6.2.1.	Toplinski sustav Grada Zagreba .....	44
6.2.2.	Spojna veza .....	44
6.2.3.	Prihod od prodaje toplinske energije .....	46
6.2.4.	Nivelirani trošak proizvodnje toplinske energije ( <i>LCOH</i> ).....	48
7.	REZULTATI SCENARIJSKE ANALIZE.....	50
7.1.	Analiza rezultata .....	55
7.1.1.	Bez energetske obnove.....	55
7.1.1.1.	Analiza osjetljivosti .....	56
7.1.2.	Energetska obnova .....	57
7.2.	Analiza utjecaja širenja centraliziranog toplinskog sustava u Velikoj Gorici .....	59
8.	ZAKLJUČAK.....	62
	ZAHVALA.....	64
	LITERATURA.....	65
	PRILOG .....	71

**POPIS SLIKA**

Slika 1	Shema centraliziranog toplinskog sustava [16].....	5
Slika 2	Razvoj centraliziranih toplinskih sustava [22] .....	8
Slika 3	Toplinski sustavi u Republici Hrvatskoj [26].....	10
Slika 4	Toplana na biomasu u Pokupskom snage 1 MW [30].....	11
Slika 5	Postrojenje za proizvodnju toplinske energije u Strandbyu [32] .....	12
Slika 6	Karta toplinske potražnje Grada Zagreba i okolice [37] .....	15
Slika 7	Razlika između vektorske i rasterske grafike [39] .....	17
Slika 8	Geometrijski i atributivni podaci.....	18
Slika 9	Prikaz građevina .....	19
Slika 10	Namjena površine.....	21
Slika 11	Broj etaža.....	22
Slika 12	Kategorije kupaca toplinske energije [23].....	27
Slika 13	Postojeći vrelovod naselja Velika Gorica .....	28
Slika 14	Građevine naselja Velika Gorica.....	31
Slika 15	Namjena površina naselja Velika Gorica .....	32
Slika 16	Broje etaža u naselju Velika Gorica .....	33
Slika 17	Veza između namjene građevine i specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje [55].....	34
Slika 18	Potražnja za toplinskom energijom građevina .....	35
Slika 19	Karta potražnje za toplinskom energijom naselja Velike Gorice.....	36
Slika 20	Centralizirani toplinski sustav Grada Zagreba [27] .....	44
Slika 21	Geografski prikaz Grada Zagreba i Naselja Velika Gorica.....	45
Slika 22	Spojna veza TE-TO Zagreb – Velika Gorica .....	46
Slika 23	Scenarij 1. – Kotao na biomasu.....	50
Slika 24	Scenarij 2. – Kotao na prirodni plin (nova cijena goriva).....	50
Slika 25	Scenarij 3. – Kotao na prirodni plin (stara cijena goriva) .....	51
Slika 26	Scenarij 4. – Spojna veza .....	51
Slika 27	Scenariji 1a, 1b, 1c - Kotao na biomasu.....	52
Slika 28	Scenariji 2a, 2b, 2c – Kotao na prirodni plin (nova cijena goriva) .....	53
Slika 29	Scenariji 3a, 3b, 3c – Kotao na prirodni plin (stara cijena goriva).....	54
Slika 30	Ekonomski pokazatelji isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava – postojeće stanje.....	55
Slika 31	Analiza osjetljivosti za kotlove na prirodni plin i za kotao na biomasu.....	56
Slika 32	Ekonomski pokazatelji isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava – Scenariji 1a, 2a, 3a .....	57
Slika 33	Ekonomski pokazatelji isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava – Scenariji 1b, 2b, 3b.....	58
Slika 34	Ekonomski pokazatelji isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava – Scenariji 1c, 2c, 3c .....	58



**POPIS TABLICA**

Tablica 1	Duljina toplinske mreže prema nazivnom promjeru [23] .....	28
Tablica 2	Broj etaža građevine u odnosu na njenu tlocrtnu površinu .....	33
Tablica 3	Veza između namjene građevine i specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje .....	35
Tablica 4	Pregled scenarija.....	37
Tablica 5	Cjenik HEP Toplinarstva – Velika Gorica [49] .....	38
Tablica 6	Specifična priključna snaga [23] .....	39
Tablica 7	Duljina vrelovoda po metru kvadratnom tla u Velikoj Gorici .....	40
Tablica 8	Podaci za izračun <i>LCOH</i> kotla na biomasu .....	41
Tablica 9	Podaci za izračun <i>LCOH</i> kotla na prirodni plin .....	42
Tablica 10	<i>LCOH</i> – Energetska obnova – izgradnja toplinskih izvora.....	43
Tablica 11	Cjenik HEP Toplinarstva – Grad Zagreb [65].....	47
Tablica 12	Podaci za izračun $T_{TE-TO}$ .....	48
Tablica 13	Podaci za izračun <i>LCOH</i> spojne veze .....	49
Tablica 14	Udio energenata korištenih kod sustava pojedinačnog grijanja te pripadni faktori .....	59
Tablica 15	Uštede emisija CO <sub>2</sub> za slučaj postojećeg stanja, bez energetske obnove.....	60
Tablica 16	Uštede emisija CO <sub>2</sub> za slučaj energetske obnove.....	60

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$\Delta Q_{uk,i}$	MWh	povećanje potražnje za toplinskom energijom i-te tehnologije
$\varepsilon_{el}$	-	omjer proizvedene električne i toplinske energije
$\eta$	%	stupanj korisnosti kogeneracije
$\eta_k$	%	stupanj korisnosti kotla
$A_{bruto}$	m <sup>2</sup>	bruto površina
$A_{grid}$	m <sup>2</sup>	površina kvadrata vektorske mreže
$A_{neto}$	m <sup>2</sup>	neto površina
$A_{neto, uk}$	m <sup>2</sup>	neto površina građevine promatranog područja
$A_{neto, vrelovod}$	m <sup>2</sup>	neto površina prostora grijanog vrelovodom
$A_{tlocrt}$	m <sup>2</sup>	tlocrtna površina
$A_{tlo, uk}$	m <sup>2</sup>	površina promatranog područja
$c_1$	HRK/kW/mj.	tarifna stavka snaga
$c_2$	HRK/kWh	tarifna stavka energija
$c_3$	HRK/mj.	naknada za djelatnost opskrbe
$c_4$	HRK/m <sup>2</sup> /mj.	naknada za djelatnost kupca
$E_{CO_2}$	kg <sub>CO<sub>2</sub></sub>	ušteda emisija CO <sub>2</sub> na godišnjoj razini
$e_{CO_2,el}$	kg <sub>CO<sub>2</sub></sub> /MWh	specifični faktor emisije CO <sub>2</sub> za električnu energiju
$e_{CO_2,i}$	kg <sub>CO<sub>2</sub></sub> /MWh	specifični faktor emisije CO <sub>2</sub> i-te tehnologije
$e_{CO_2,kogeneracija}$	kg <sub>CO<sub>2</sub></sub> /MWh	specifični faktor emisije CO <sub>2</sub> za kogeneraciju
$e_{CO_2,uk}$	kg <sub>CO<sub>2</sub></sub> /MWh	specifični faktor emisije CO <sub>2</sub>
$G_i$	HRK	trošak goriva u i-toj godini
$G_{spec.}$	HRK/MW	specifični trošak goriva
$I_i$	HRK	investicija izgradnje postrojenja
$I_{spec}$	HRK/MW	specifična investicija
$LCOE$	HRK/kWh	nivelirani trošak proizvodnje električne energije
$LCOH$	HRK/kWh	nivelirani trošak proizvodnje toplinske energije
$L_{vrelovoda, uk}$	m	ukupna duljina, do sada, postavljenog vrelovoda
$n$	god	životni vijek postrojenja
$n_{kat}$	-	broj etaža
$O\&M_i$	HRK	troškovi upravljanja i održavanja u i-toj godini
$O\&M_{spec}$	HRK/MW	specifični troškovi upravljanja i održavanja
$P_{priključna,spec.}$	kW/m <sup>2</sup>	specifična priključna snaga
$P_{priključna,ukup.}$	kW	ukupna priključna snaga
$Q'_{H,nd}$	kWh/m <sup>2</sup> a	specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje
$Q_i$	kWh	ukupna proizvedena toplina u i-toj godini

---

$Q_{uk}$	kWh/a	potražnja za toplinskom energijom na godišnjoj razini
$r$	%	diskontna stopa
$T_{TE-TO}$	HRK/kWh	specifični trošak proizvodnje toplinske energije iz TE-TO Zagreb
$T_{vrelvod}$	HRK	trošak postavljanja vrelovoda po metru duljine
$x_i$	%	udio i-te tehnologije u sustavu s više pojedinačnih sustava grijanja

---

**SAŽETAK**

Postizanje sigurne i učinkovite opskrbe energijom temelj je kreiranja globalnih i nacionalnih energetske politika. Visoka potrošnja finalne energije identificira sektor zgradarstva kao kandidata za implementaciju mjera energetske učinkovitosti. Primjena centraliziranih toplinskih sustava i visokoučinkovite kogeneracije značajno može pridonijeti povećanju energetske učinkovitosti i sigurnosti opskrbe energije. Njihovoj obnovi i širenju prethode visoki kapitalni troškovi, stoga je nužno provesti određene predradnje, koje su predmet ovog rada, kako bi se procijenila ekonomski isplativa područja širenja.

U okviru ovoga rada izvršeno je mapiranje potreba za grijanjem i analiza isplativosti širenja centraliziranih toplinskih sustava na primjeru naselja Velika Gorica primjenom javno dostupnog alata QGIS koji korisnicima omogućuje obradu i vizualizaciju georeferenciranih podataka. Na temelju prikupljenih i obrađenih podataka o lokaciji, obrisima, namjeni, neto površini i godišnjoj potražnji toplinske energije predmetnih građevina generirana je karta koja prikazuje potražnju za toplinskom energijom. Kako bi se analiza implementirala kreirana su 4 scenarija: kotao na biomasu, kotlovi na prirodni plin s novom i starom cijenom plina te spajanje mreže centraliziranog toplinskog sustava Velike Gorice i Grada Zagreba spojnom vezom. Također, analiziran je utjecaj energetske obnove građevina na potencijal širenja centraliziranog toplinskog sustava kroz tri odabrana pod-scenarija: obnova javnih građevina neto površine veće od 300 m<sup>2</sup>, obnova svih građevina većih od 300 m<sup>2</sup> i obnova svih građevina.

Dobiveni rezultati pokazali su da je najveća isplativost širenja centraliziranih toplinskih sustava za scenarij bez energetske obnove postignuta implementacijom kotla na biomasu. Ovim rješenjem ostvaruje se povećanje spojene grijane površine od 162%, potencijala za opskrbu toplinskom energijom od 160% i područja pokrivenosti vrelovodom od 155% u odnosu na trenutačnu pokrivenost vrelovodom. Slijede ga kotlovi na prirodni plin s novom, zatim sa starom cijenom prirodnog plina te izgradnja spojne veze, tj. spajanje mreže centraliziranog toplinskog sustava Velike Gorice na TE-TO Zagreb. Jednaki trend isplativosti dobiven je i u slučaju implementacije scenarija energetske obnove. Kotao na biomasu pokazao je povećanje pokrivenosti grijane površine od 168% i područja pokrivenosti vrelovodom od 158% u prvom pod-scenariju, a potražnje za toplinskom energijom u drugom pod-scenariju od 242%.

Ključne riječi: centralizirani toplinski sustav, geografski informacijski sustav, Velika Gorica, mapiranje, energetska obnova

---

**SUMMARY**

The fundamental idea of global and national energy policies is the achievement of safe and efficient energy supply. High final energy consumption identifies buildings as a valid candidate for the application of energy efficiency measures. The use of district heating and highly efficient cogeneration can make significant contributions towards an increase in energy efficiency and safety of supply. Due to high capital investment that foregoes their expansion and life extension and in order to identify the cost effective areas preliminary steps of economical assessment are necessary.

Heat demand mapping and the analysis of the expansion of Velika Gorica's district heating system has been carried out using the open source geographic information system application QGIS. According to gathered and analyzed data, consisting of location, shape, purpose, useful floor area and annual specific heat demand of buildings, heat demand map was generated. In order to implement the analysis, 4 scenarios have been created: implementation of biomass boiler, gas boilers with new and old natural gas price, and joining of district heating systems of Zagreb and Velika Gorica. In addition to that, the impact of building refurbishment has been assessed throughout 3 additional sub-scenarios: refurbishment of public buildings larger than 300 m<sup>2</sup>, all buildings larger than 300 m<sup>2</sup> and all buildings.

The obtained results have shown that the most economically feasible solution is accomplished by implementation of biomass boiler. With this solution, the heated area of connected buildings has increased by 162%, the heat demand by 160% and area covered with grid by 155% in regard to current grid coverage. It is followed by a gas boiler with the new fuel price, then the old fuel price and joining of district heating systems of Zagreb and Velika Gorica. A similar trend can be observed in scenarios of building refurbishment. Biomass boiler increased heating area by 168% and area covered with grid by 158% in first sub-scenario and heat demand by 242% in second sub-scenario.

Key words: district heating systems, geographic information system, Velika Gorica, mapping, building refurbishment

## 1. UVOD

Energetski sustav Republike Hrvatske u potpunosti je uklopljen i otvoren prema tržištima Europske unije i jugoistočne Europe. Otvorenost omogućava njegov razvoj, podizanje konkurentnosti, privlačenje domaćih i inozemnih investicija u energetske djelatnosti, usklađivanje razvoja budućih strateških energetskih projekata i gospodarsku suradnju sa susjednim zemljama. Dužnost Republike Hrvatske, u neizvjesnim uvjetima globalnog tržišta energije i uz oskudne domaće energetske resurse, je izgradnja održivog energetskog sustava. [1] Za takvu izgradnju nužno je prepoznati područja u kojima je ostvarivo smanjenje potrošnje finalne energije što direktno utječe i na uštede primarne energije. Jedno od mogućih rješenja u ostvarivanju ušteda leži u energetskej obnovi zgrada te revitalizaciji postojeće i širenju nove mreže opskrbe toplinskom energijom. U tom pogledu centralizirani toplinski sustavi, visokoučinkovita kogeneracija i primjena obnovljivih izvora imaju znatan utjecaj na smanjenje potrošnje primarne energije. Zbog postojeće prakse neplanskog pristupa energetskom razvoju hrvatskih gradova i lošeg upravljanja, razvoj centraliziranih toplinskih sustava je zaustavljen. Velik dio proizvodnih kapaciteta i mreža za distribuciju toplinske energije su zastarjeli. Sustavno nedostatno ulaganje u postojeću infrastrukturu umanjuje sigurnost opskrbe i ostavlja propuštene prilike za unaprjeđenje konkurentnosti i održivosti. Stoga je nužno vršiti sustavno energetske planiranje, tehnološko osuvremenjivanje, poticanje razvoja i učinkovite uporabe toplinske energije te iskorištavanje obnovljivih izvora energije uz sinergijski obuhvat koordiniranih aktivnosti u djelatnostima njene proizvodnje, distribucije i potrošnje. [1]

Obnovi i širenju centraliziranih toplinskih sustava prethode visoki kapitalni troškovi izgradnje ili revitalizacije distribucijske toplinske mreže i proizvodnih kapaciteta. Kako bi se procijenila isplativost investicije širenja centraliziranog toplinskog sustava za konkretni slučaj naselja Velika Gorica, potrebno je poduzeti određene predradnje koje su predmet analize ovoga rada. Prostornim mapiranjem, pomoću Geografskog Informacijskog Sustava (GIS), moguće je izraditi kartu s jasnim pregledom potrošnje toplinske energije i postojeće infrastrukture koja će dati uvid u područja veće potrošnje i služiti kao podloga za daljnje proračune isplativosti širenja. Proračun je izvršen za dva toplinska izvora: kotao na biomasu i kotao na prirodni plin; i to za postojeće stanje građevina, tj. bez energetske obnove i za tri pod-scenarija njihove energetske obnove. Dodatno je analiziran utjecaj spajanja mreže centraliziranog toplinskog sustava Velike

Gorice i Grada Zagreba, tj. povezivanje sustava Velike Gorice spojnom vezom na termoelektranu-toplanu (TE-TO) Zagreb.

## **1.1. PREGLED REGULATORNOG OKVIRA**

U ovom je poglavlju dan kratak pregled relevantnog regulatornog okvira kojim se definiraju mjere za povećanje energetske učinkovitosti kroz korištenje centraliziranih toplinskih sustava, visokoučinkovite kogeneracije i obnovljivih izvora energije s fokusom na sektor toplinarstva.

Svaka država članica Europske unije dužna je uskladiti svoj nacionalni regulatorni okvir te formirati strategije i preporuke u skladu s onima donesenima od strane krovnih institucija Unije. Njezini strateški ciljevi, do 2020. godine, temelje se na energetske-klimatskom paketu zakona poznat pod nazivom „20-20-20“, [2] te su posljednjih godina u procesu prilagodbe kontekstu do 2030.

Europska komisija je u siječnju 2014. godine predstavila ciljeve nove politike energetske učinkovitosti u svrhu osiguranja konkurentnog i sigurnog energetskog sustava do 2030. Središtem klimatske politike postavljen je obvezujući cilj smanjenja emisije stakleničkih plinova od 40% ispod razine iz 1990., kojem će doprinositi povećanje udjela obnovljive energije od najmanje 27%, dok će uloga energetske učinkovitosti u novome okviru biti naknadno definirana.[3] Stoga je Europsko vijeće u listopadu 2014. odredilo ciljeve povećanja energetske učinkovitosti od najmanje 27 % do 2030. i zatražilo od Europske komisije do kraja 2020. preispitivanje i ocjenu postavljenog cilja. Ovim zahtjevom se tražilo povećanje s 27% na 30%, s time da se u reviziju uključio i Europski parlament tražeći obvezujući cilj povećanja energetske učinkovitosti od 40%. [3]

U svrhu aktivnog sudjelovanja i predvođenja trenda energetske tranzicije, Europska komisija je 30.11.2016. objavila tzv. „Zimski paket“ mjera i prijedloga za izmjenu zakona kojima bi Europska unija zadržala konkurentnost u globalnom procesu tranzicije prema čistoj energiji. Ovime se uspostavlja cilj od smanjenja emisija CO<sub>2</sub> za 40%. On je usmjeren na postizanje ambicioznih energetske ušteda, globalno liderstvo na području obnovljivih izvora energije i pravedan odnos prema potrošačima koji su glavni sudionici nove energetske politike. Njima se mora omogućiti liberalnije pravo na korištenje energetske usluga, informiranost oko cijena energije i mogućnost da proizvode i prodaju vlastitu električnu energiju kako bi aktivno sudjelovali na energetskom tržištu. [5]

Uslijed sve jačeg podizanja svijesti o klimatskim promjenama i utjecaju stakleničkih emisija, u prosincu 2015. godine u Parizu je postignut globalni sporazum poznat pod imenom Pariški

sporazum. Njime se nastoji ograničiti rast svjetske prosječne temperature znatno ispod 2 °C, s težnjom ograničenja na najviše 1,5 °C u odnosu na predindustrijsko razdoblje. Također, cilja se na povećanje svijesti o problemu klimatskih promjena i usmjeravanje financijskih tokova u projekte i programe predmetne problematike. U okviru sporazuma, države članice su se obvezale smanjiti emisije stakleničkih plinova za najmanje 40% do 2030., a to provode zajedničkim putem pomoću Europskog sustava trgovanja emisijskim jedinicama stakleničkih plinova. Hrvatska je u lipnju 2017. postala 147 stranka koja je ratificirala Pariški sporazum. Za njega je uspostavljena zajednička emisijska kvota te su uključena i 52 postrojenja iz Hrvatske.[6]

U svrhu aktivnih priprema za ispunjenje obaveza proizašlih iz Pariškog sporazuma, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike izradilo je Nacrt strategije niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu. [7] Ona će služiti kao podloga za novu Energetsku strategiju kako bi se mogla uskladiti s ambicioznim ciljevima Europske unije. Do tada je na snazi postojeća Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske (NN 130/2009) [1] koju je Hrvatski sabor donio za razdoblje do 2020. Strategija je usmjerena prema izgradnji sustava uravnoteženog razvoja odnosa između sigurnosti opskrbe energijom, konkurentnosti i očuvanja okoliša kako bi se građanima i gospodarstvu Republike Hrvatske omogućila kvalitetna, sigurna, dostupna i dostatna opskrba energijom kao glavni preduvjet gospodarskog i socijalnog napretka. Posebnu pozornost potrebno je usmjeriti prema učinkovitoj uporabi energije u sektorima neposredne potrošnje (kućanstvo, usluge, industrija, promet) i proizvodnje energije. Povećanjem energetske učinkovitosti na strani potrošnje moguće je smanjiti porast potražnje energije i time reducirati potrebu za izgradnjom novih kapaciteta ili njenim uvozom. Na strani proizvodnje, korištenje visokoučinkovite kogeneracije, centraliziranih toplinskih sustava i integracija obnovljivih izvora imaju znatan potencijal za uštedu primarne energije. U njihovom promicanju bitne su odrednice sljedećih aktualnih direktiva: Direktiva 2012/27/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 25. listopada 2012. o energetske učinkovitosti, [8] Direktiva 2010/31/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 19. svibnja 2010. o energetskim svojstvima zgrada [9] i Direktiva 2009/28/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća od 23. travnja 2009. o poticanju uporabe energije iz obnovljivih izvora. [10] Njima su dane mjere i preporuke od značaja za energetski sektor koje su dalje implementirane u regulatorni okvir Republike Hrvatske putem zakona i provedbenih propisa. Neki od bitnijih energetskih zakona jesu Zakon o tržištu toplinske energije (NN 80/13, 14/14, 102/14, 95/15), [11] Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji



(NN 100/2015), [12] Zakon o energetske učinkovitosti (NN 127/2014), [13] Zakon o tržištu električne energije (NN 22/13., 95/15.) [14] i Zakon o tržištu plina (NN 28/13., 14/14) [15].

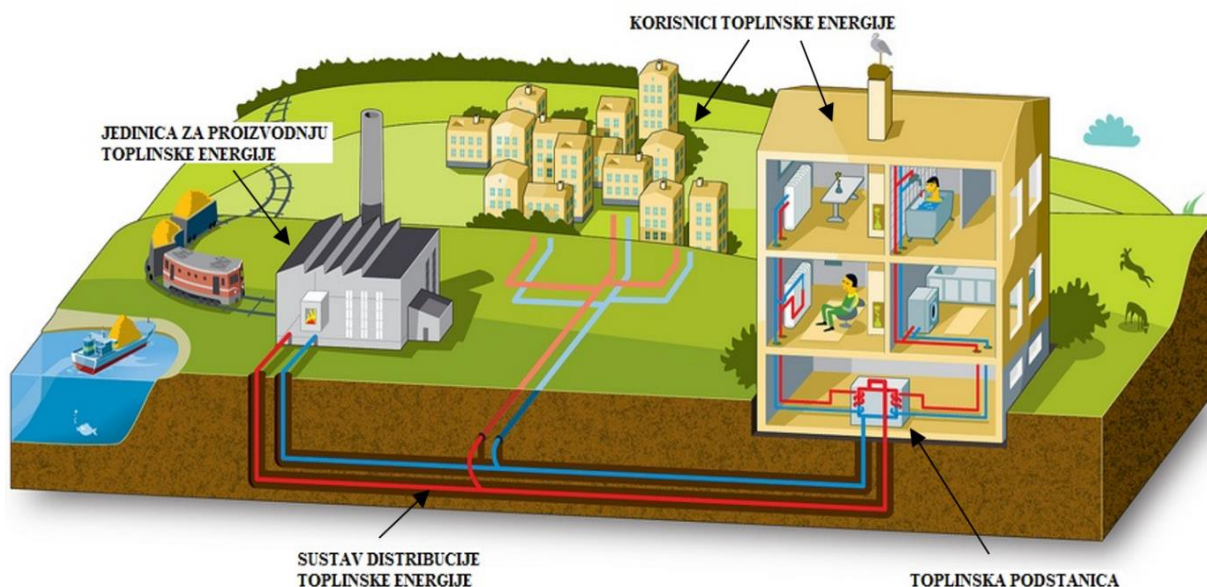
U pogledu opskrbe toplinskom energijom izgradnja, razvoj, održavanje i korištenje toplinskih sustava, a posebice centraliziranih toplinskih sustava, smatraju se bitnim elementima energetske učinkovitosti i od interesa su za postizanje ciljeva Republike Hrvatske. Prema zakonu o tržištu toplinske energije, toplinski sustav je definiran kao tehnički sustav koji se sastoji od uređaja i opreme za proizvodnju toplinske energije, unutarnjih i vanjskih instalacija ili distribucijske mreže te omogućuje opskrbu toplinskom energijom, a može biti samostalni, zatvoreni ili centralizirani.

*Samostalni toplinski sustav* je sustav kojim se isporučuje toplinska energija jednoj zgradi/građevini, koja se sastoji od više samostalnih uporabnih cjelina.

*Zatvoreni toplinski sustav* je sustav kojim se isporučuje toplinska energije više industrijskih i/ili stambeno-poslovnih zgrada/građevina. Uključuje mjerila toplinske energije i vanjske instalacije, koje su kraće od 2000 metara i ima priključeno manje od 500 samostalnih uporabnih cjelina.

*Centralizirani toplinski sustav* je sustav koji obuhvaća više zgrada/građevina spojenih na distribucijsku mrežu, a u kojemu energetska djelatnost proizvodnje i opskrbe toplinske energije može obavljati jedan ili više energetskih subjekata. Učinkovit centraliziran sustav grijanja, sukladno Direktivi 2012/27/EU podrazumijeva upotrebu najmanje 50% obnovljive energije, 50% otpadne topline, 75% topline dobivene kogeneracijom ili 50% kombinacije takve energije i topline. Oni su glavni parametar povećanja energetske učinkovitosti u pogledu opskrbe toplinske energije, što stoji u Zakonu o tržištu toplinske energije, kojim se potencira korištenje toplinskih sustava kao i poticanje razvoja i korištenja novih, inovativnih i održivih tehnologija u sektoru energetike. [11]

## 2. CENTRALIZIRANI TOPLINSKI SUSTAVI



Slika 1 Shema centraliziranog toplinskog sustava [16]

Kao što je već rečeno, centralizirani toplinski sustav je toplinski sustav koji obuhvaća više građevina spojenih na zajedničku distribucijsku mrežu koju toplinskom energijom ili potrošnom toplom vodom opskrbljuje jedna ili više proizvodnih jedinica. Tri su glavna djela centraliziranih toplinskih sustava: *proizvodnja* koja se vrši u proizvodnoj jedinici, *distribucija* putem distribucijskog sustava cijevi i *isporuka* u toplinskoj podstanici, što prikazuje Slika 1. Ovisno o tipu podstanice korisnici mogu biti direktno spojeni na distribucijsku mrežu (direktni tip) ili se putem izmjenjivača toplinska energija prenosi na medij koji cirkulira građevinom (indirektni tip). [17] Za svoje potrebe mogu koristiti fosilna goriva, otpadnu toplinu, ali i obnovljive izvore energije poput biomase, solarnih sustava, geotermalne energije, dizalica topline i sl.

Za ostvarenje tržišno konkurentnog sustava opskrbe toplinskom energijom potrebno je imati ekonomski isplativ izvor toplinske energije, potrebu za toplinskom energijom i učinkovitu toplinsku mrežu koja povezuje izvor s korisnicima. [18]

## 2.1. Razvojni put centraliziranih toplinskih sustava

Tijekom godina, centralizirani toplinski sustavi su se mijenjali kako bi zadovoljili nametnute zahtjeve. Najčešće su se zahtjevi svodili na smanjenje investicija i troškova proizvodnje i distribucije, ali isto tako ciljalo se i na smanjenje prostora potrebnog za opremu za grijanje kao i povećanje energetske učinkovitosti, ali i smanjenje rizika od požara. [18] S obzirom na vrstu korištene tehnologije, mogu se podijeliti u četiri generacije koje su objašnjene u daljnjem tekstu.

Početak modernih centraliziranih sustava smatra se parovodna distribucijska mreža nastala kasnih 1870-ih u Sjedinjenim Američkim Državama koja predstavlja njihovu *prvu generaciju*. Parom je moguće transportirati toplinsku energiju na visokim temperaturama, što je imalo utjecaj na projektirane parametre korištene za izgradnju sustava grijanja. Takvi nazivni parametri pare mogu doseći temperaturu od 300 °C i tlak od 20 bar. Cijevi za transport pare polagane su u betonske kanale; jedna veća cijev za paru i jedna manja za povrat kondenzata. Iako su prvotno bile položene, većina cijevi za povrat kondenzata je korodirala i bila izbačena iz upotrebe, a kondenzat nastao na pojedinoj lokaciji se ispuštao u odvod. [19]

U periodu od 30-ih do 80-ih godina prošloga stoljeća razvoj je doživjela *druga generacije* centraliziranih toplinskih sustava gdje medij za transport topline više nije para, već se radi o vreloj vodi temperature iznad 100 °C. Razvoj druge generacije potaknut je nužnim povećanjem sigurnosti u radu, povećanjem učinkovitosti kako proizvodnje tako i distribucije, ali i širenjem spektra korištenih toplinskih izvora. Cijevnu distribucijsku mrežu sačinjavale su dvije čelične cijevi; polaz, i povrat. Cirkulacija vrele vode kroz sustav ne bi bila moguća bez velikih pumpi, što nije bio slučaj u prvoj generaciji. [20] Pojavom kogeneracijskih postrojenja ostvario se dodatni potencijal za širenje toplinske mreže. Kogeneracija predstavlja termodinamički učinkovito korištenje goriva u postupku istovremene proizvodnje električne i korisne toplinske energije. Ona koristi otpadnu toplinsku energiju proizašlu iz procesa proizvodnje električne energije za proizvodnju pare, zagrijavanje vode ili zraka.

Rast cijena goriva, kao posljedica naftne krize 1970-ih, i podizanje svijesti o racionalnom iskorištenju primarne energije doveli su do razvoja *treće generacije* i značajnijeg širenja centraliziranih toplinskih sustava. Glavne karakteristike treće generacije su smanjenje temperatura polaza tople vode projektirane ispod 100 °C. Preduvjet za smanjenje temperature polaza je smanjenje toplinskih gubitaka u mreži, što se postiglo korištenjem predizoliranih cijevi. [21]

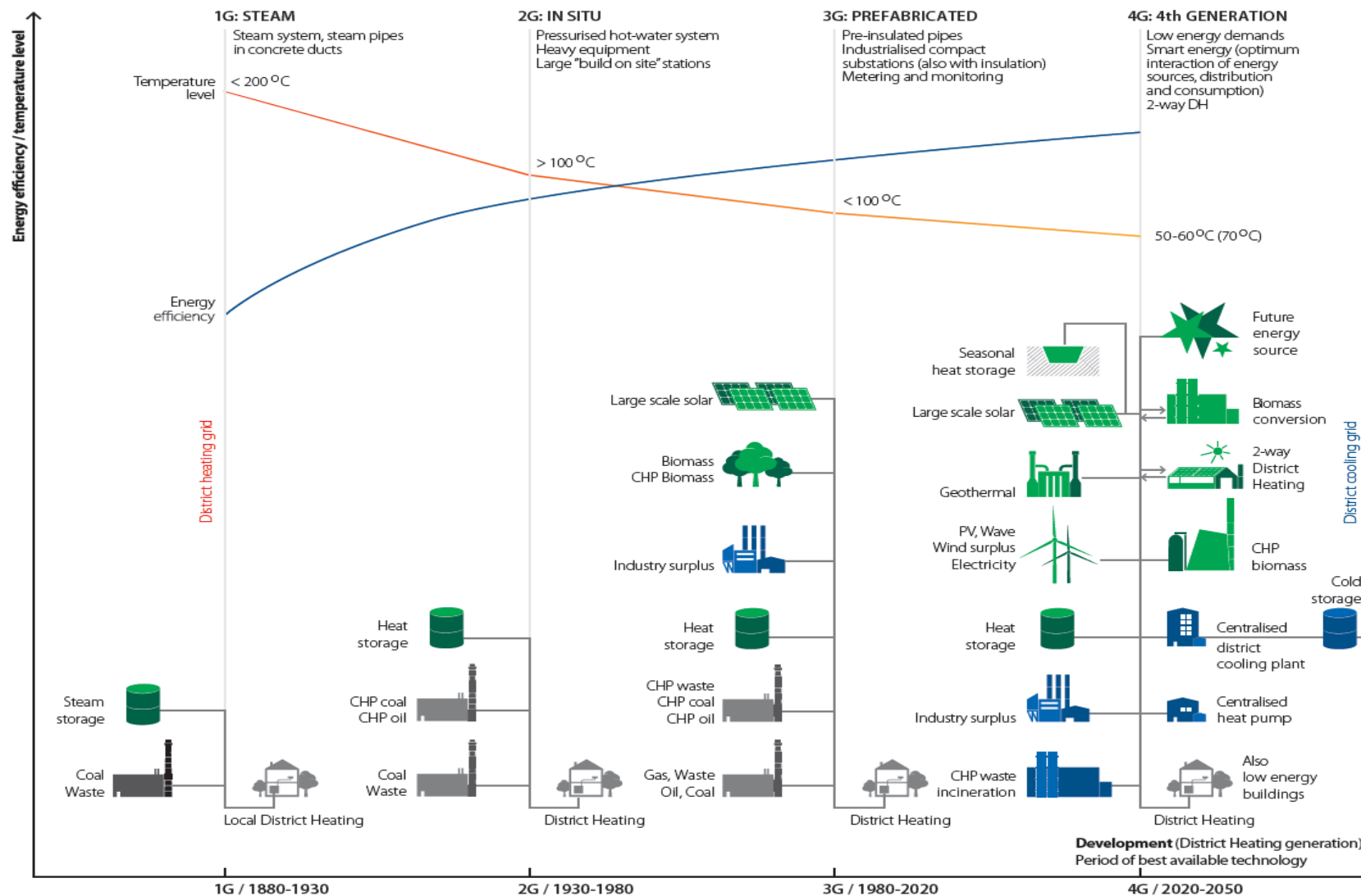
Centralizirani toplinski sustavi su se, najčešće gradili za već postojeće zgrade koje su bile glavni čimbenik pri samom projektiranju toplinske mreže u vidu projektnih temperatura i tlakova.

Nerijetko se radilo o slabo izoliranim zgradama s visokim toplinskim opterećenjima što je rezultiralo visokim temperaturama polaza. S vremenom su se unosile promjene u projektiranju centraliziranih toplinskih sustava čime se omogućilo smanjenje kako temperature polaza tako i temperature povrata. Niže operativne temperature otvorile su put iskorištavanju alternativnih energetskih izvora. Posljednjih godina došlo je do ekspanzije solarnih i geotermalnih tehnologija, čija implementacija ne bi bila moguća u visokotemperaturnom režimu rada. Također, prijelaz na niže operativne temperature rezultirao je jeftinijom i jednostavnijom pohranom toplinske energije u toplinskim spremnicima.

S ciljem povećanja energetske učinkovitosti i toplinske ugodnosti, velika pažnja posvećuje se poboljšanju toplinske izolacije zgrada. Ovo je postao standard novogradnje posljednjih godina, ali se sustavno implementira i u postojeće zgrade s nedostatnom toplinskom izolacijom. Reduciranjem potrebne toplinske energije, pogotovo u postojećim zgradama, pojavio se problem predimenzioniranosti postojećih sustava. Jedno od logičnih rješenja je smanjenje polazne temperature. Za ostvarenje samoodrživih energetskih sustava, povećanje udjela obnovljivih izvora i smanjenje ukupne potrošnje energije kao i polazne i povratne temperature, potrebna su dodatna ulaganja. Ovaj razvojni put definira se *četvrtom generacijom* centraliziranih toplinskih sustava. Za razliku od treće generacije, temperature polaza četvrte generacije mogu biti daleko niže i iznositi od 50 do 60 °C. [22]

Koncept nove generacije podrazumijeva da su oni integrirani u buduće pametne energetske sustave zajedno s hlađenjem, električnom energijom, plinskom mrežom kao i s HVAC sustavima u zgradama. U nadolazećim godinama veći fokus će biti bačen na širu upotrebu obnovljivih izvora energije i iskorištenje otpadne topline koja do sada nije bila dostatna za zagrijavanje vode za distribuciju toplinske energije. [18]

Slika 2 grafički prikazuje razvoj generacija centraliziranih toplinskih sustava.



Slika 2 Razvoj centraliziranih toplinskih sustava [22]

## **2.2. Pozitivni učinci implementacije centraliziranih toplinskih sustava**

Spajanjem više korisnika toplinske energije, čije toplinske potrebe variraju, na jedan toplinski izvor omogućen je kontinuirani rad proizvodne jedinice, umjesto povremenog rada individualnih toplinskih izvora. Takvi sustavi su fleksibilniji i jednostavnija je prilagodba proizvodnje vanjskim temperaturama i potražnji. Distribucija toplinske energije i njezina potrošnja gledano s pozicije korisnika je pojednostavljena u najvećoj mogućoj mjeri. Nadalje, centraliziranjem pojedinačnih toplinskih izvora u jedan veći postiže se veća učinkovitost što smanjuje količinu štetnih emisija i time umanjuje negativan utjecaj na okoliš. Izuzetno bitna stavka u razmatranju pozitivnih učinaka jest povećanje sigurnosti od zapaljenja ili eksplozija. Kod korisnika ne postoje eventualno zapaljivi i eksplozivni energenti, kao što je to kod korištenja plina, loživog ulja ili ugljena. Jednako tako, sustavni nadzor i pro aktivno održavanje jedne veće proizvodne jedinice jednostavnije je nego u slučaju više manjih. U slučaju dobrog održavanja, centralizirani toplinski sustavi mogu poživjeti i 50ak godina. [24]

## **2.3. Toplinski sustavi u Republici Hrvatskoj**

Na području Republike Hrvatske 2014. godine utvrđeno je postojanje nekog oblika toplinskog sustava u 12 gradova. Radi se o 20 centraliziranih, 55 zatvorenih i 57 samostalnih toplinskih sustava u kojima se proizvodnja toplinske energije vrši pomoću kogeneracijskih i kotlovskih postrojenja.

Godine 2013. zabilježeno je 1800 MW toplinske snage za potrebe sektora toplinarstva te je isporučeno ukupno 9678 TJ toplinske energije krajnjim kupcima. Distribucijski sustav ukupne je duljine 410 km u jednom smjeru te opskrbljuje 155000 krajnjih kupaca toplinskom energijom za potrebe grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode.

Djelatnosti proizvodnje, distribucije, opskrbe i kupaca toplinske energije na području Republike Hrvatske obavlja 11 poslovnih subjekata. Za gradove Zagreb, Osijek, Sisak, Samobor, Zaprešić i Velika Gorica te djelatnosti vrši HEP Toplinarstvo i to putem 13 centraliziranih, 26 zatvorenih i 24 samostalna toplinska sustava s ukupnom instaliranom snagom od 490,389 MW. HEP Toplinarstvo ima najveći tržišni udio te najveći udio instaliranih toplinskih kapaciteta. [23]

Na nivou države postoji dugogodišnja tradicija implementacije centraliziranih toplinskih sustava; posebice se to odražava u Gradu Zagrebu i njegovoj bližoj okolini. Primjerice, u Zagrebu je prvi vrelovod izgrađen i pušten u pogon 1954. godine te je spajao EL-TO Zagreb i

tvornicu „Rade Končar“, a prvi parovod 1958. godine spajao je EL-TO Zagreb i plivalište „Mladost“. [25]

Slika 3 prikazuje gradove u Republici Hrvatskoj u kojima postoje toplinski sustavi. Veličina sustava prikazana je ilustrativno.



Slika 3 Toplinski sustavi u Republici Hrvatskoj [26]

#### 2.4. Integracija obnovljivih izvora i otpadne topline u centralizirane toplinske sustave

Integracijom obnovljivih izvora energije i otpadne topline u centralizirane toplinske sustave moguće je svesti korištenje fosilnih goriva na minimum, reducirati štetne emisije i osigurati uštede primarne energije. Neki od mogućih izvora topline za obnovljive sustave jesu energija biomase, sunčeva energija, geotermalna energija. Kao problem njihove primjene javlja se neuravnoteženost proizvodnje i potrošnje koja je od presudne važnosti za stabilnost sustava. Jedno od mogućih rješenja njihove intermitentne prirode je korištenje toplinskih spremnika. Njima je moguće pohraniti viškove u obliku toplinske energije koji služe kao rezerva u trenucima nedostatne proizvodnje što ih čini prikladnim rješenjem budućih energetske sustava.

### 2.4.1. Biomasa

Najrasprostranjeniji način dobivanja toplinske energije u centraliziranim toplinskim sustavima je izgaranje goriva. Bitan zadatak razvoja suvremenih postrojenja je povećanje energetske učinkovitosti i smanjenje emisija štetnih tvari. U svrhu smanjenja štetnih emisija jedno od rješenja dobivanja toplinske energije je izgaranje biomase. Biomasa je organski materijal nastao tijekom procesa fotosinteze i kao takva predstavlja akumuliranu energiju sunčevog zračenja. U reverzibilnoj reakciji spajanja s kisikom tijekom izgaranja i prirodnih metaboličkih procesa, oslobađa se toplinska energija, CO<sub>2</sub> i voda. U takvom teoretskom zatvorenom ciklusu, neto prirast CO<sub>2</sub> jednak je nuli. U prirodi načelno postoji ravnoteža između količine CO<sub>2</sub> iz atmosfere apsorbirane kroz rast biljaka i količine oslobođene kroz procese njihovog raspadanja. Spaljivanjem biomase oslobađa se jednaka količina CO<sub>2</sub> koja bi ionako bila oslobođena kroz prirodne procese, ali samo onda ako je takva potrošnja biomase vremenski usklađena s prirodnim tijekom njenog obnavljanja. U praksi je intenzitet korištenja biomase znatno veći od njenog rasta, tako da i korištenje biomase kao goriva trenutno doprinosi povećanju koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi. [29]

Slika 4 primjer je jedne toplane na biomasu. Radi se o toplani u Pokupskom snage 1 MW.



**Slika 4** Toplana na biomasu u Pokupskom snage 1 MW [30]



### 2.4.2. Solarna energija

Primjena solarne energije u toplinskim sustavima uvedena je kasnih 70-ih u želji da se razviju solarni toplinski sustavi sa sezonskim spremnicima. Švedska, Nizozemska i Danska su imale vodeću ulogu i prva demonstracijska postrojenja, nakon čega su ih slijedile Njemačka i Austrija 90-ih godina. Osim tehnološkog procvata sjevernih zemalja, danas se otvaraju i razvijaju nova europska tržišta. Dozračenu sunčevu energiju moguće je iskoristiti pomoću polja solarnih kolektora za napajanje toplinske mreže proizvedenom toplinom. Takva polja se instaliraju na slobodnom zemljištu ili integriraju na krovove zgrada te je moguće postići snage i do 100 MW za najveće instalirane sustave. Ukoliko su dio toplinskih sustava, uobičajeni udio proizvedene solarne topline iznosi do 20% ukupne isporučene energije. Uz primjenu toplinskih spremnika, taj je udio moguće podići i do 50%. [31]

Slika 5 prikazuje postrojenje za proizvodnju toplinske energije u Danskom gradu Strandby. Sastoji se od 8000 m<sup>2</sup> solarnih kolektora, spremnika topline i apsorpcijskih dizalica topline.



**Slika 5** Postrojenje za proizvodnju toplinske energije u Strandbyu [32]

### **2.4.3. Geotermalna energija**

Geotermalna energija predstavlja toplinu pohranjenu u zemlji. Izvor topline je radioaktivni raspad materijala i sama zemljina struktura. Njezino korištenje ovisi o temperaturnom gradijentu. Proizvodnja električne energije isplativa je ukoliko je temperatura u blizini zemljine površine visoka, a ukoliko je niža, npr. 100 °C može se koristiti kao izvor energije za grijanje. Glavne prednosti geotermalnog grijanja su dobava lokalne i uvijek dostupne energije za pokrivanje baznog opterećenja, što utječe na diversifikaciju elektroenergetskog sustava i reducira korištenje fosilnih goriva. Primjena tehnologije podrazumijeva visoke investicijske troškove, naročito tamo gdje se izvori nalaze duboko pod zemljom, stoga je ona najisplativija u područjima s relativno visokom temperaturom na malim dubinama. Tijekom planiranja geotermalnih postrojenja, godišnja proizvodnja energije mora biti relativno visoka kako bi se financijski isplatila. [33]

### **2.4.4. Otpadna toplina**

Otpadna toplina je neiskorištena toplina nastala u industriji ili iz drugih izvora (npr. proizvodnja bioplina), te predstavlja važan izvor topline koji može imati vrlo nisku cijenu i moguće ju je upotrijebiti u centraliziranim toplinskim sustavima. Isplativost njenog korištenja direktno je vezana na lokaciju postrojenja te količinu koja se može iskoristiti, a da se pritom ne utječe na proizvodne procese u kojima je nastala. U sustavima koji iskorištavaju otpadnu toplinu, često se koriste dizalice topline u svrhu postizanja odgovarajućih temperatura za primjenu u centraliziranim toplinskim sustavima. [33]

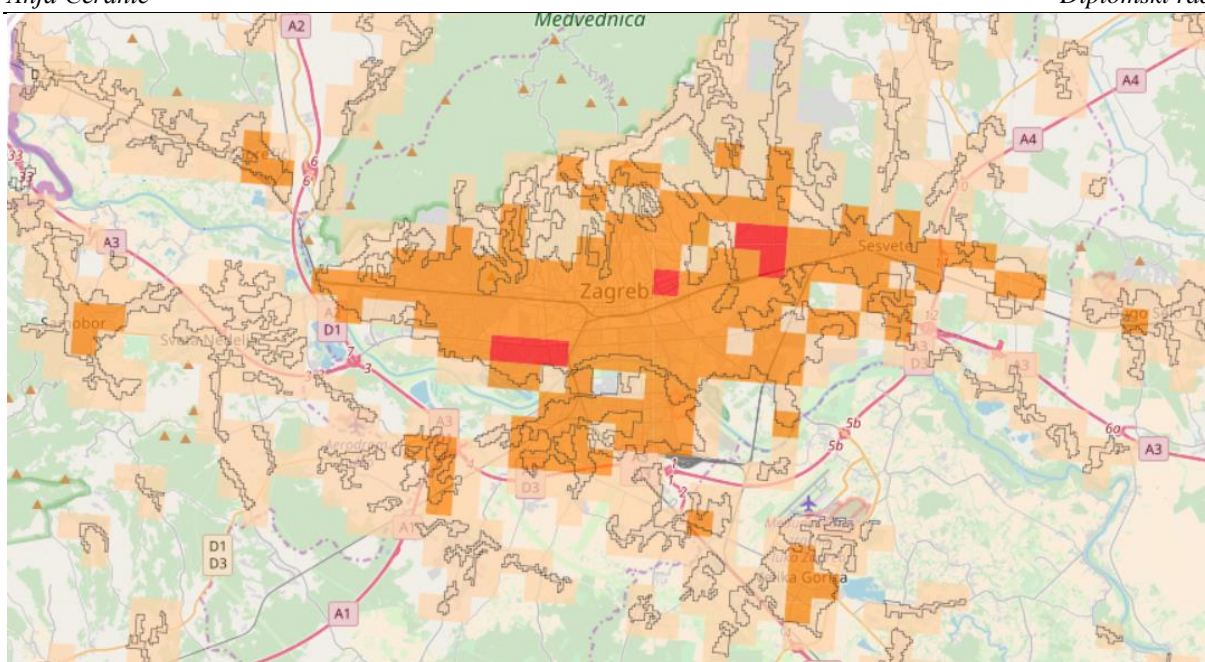
### 3. ENERGETSKA UČINKOVITOST U SEKTORU ZGRADARSTVA

Mjere postizanja energetske učinkovitosti jedne su od važnijih smjernica europske, ali i nacionalne politike. Visoka potrošnja finalne energije identificira sektor zgradarstva kao kandidata za implementaciju mjera energetske učinkovitosti. Ona ovisi o energetskim karakteristikama zgrade (oblik, korišteni materijali), energetskim sustavima (grijanje, hlađenje, rasvjeta, uređaji,..), ali i o klimatskoj zoni unutar koje se nalazi. Većina zgrada u Hrvatskoj je građena prije 1987. godine kada nije postojao jasan zakon koji bi definirao tehničke zahtjeve u pogledu racionalne uporabe energije, toplinske zaštite građevinskog dijela zgrade i nužnih tehničkih sustava. Stoga veliki postotak zgrada ima neefikasne tehničke sustave i velike gubitke topline. [34] U svrhu poboljšanja njihovih energetskih svojstva provodi se energetska obnova. Ona obuhvaća povećanje toplinske zaštite vanjske ovojnice zgrade, zamjenu vanjskih prozora i vrata, zamjenu ili unaprjeđenje sustava grijanja/hlađenja, ali i mjere korištenja obnovljivih izvora energije. [35]

Posljednjih godina javlja se trend smanjenja potražnje za toplinskom energijom; što kao posljedica energetske obnove, što kao posljedica ugradnje individualnih mjerila i razdjelnika topline koji su utjecali na navike korisnika u želji da ju racionalnije koriste. Utjecaji ugradnje mjerila i razdjelnika, implementacije mjera energetske učinkovitosti, integracije obnovljivih izvora energije i sl. smanjuju toplinsku potražnju i za posljedicu ostavljaju predimenzioniranost instaliranih kapaciteta.

Za dobivanje šire slike o mogućnostima iskorištenja izvora otpadne ili obnovljive energije kao i za potrebe lokalnog planiranja nužna je provedba mapiranja potražnje za toplinskom energijom i mapiranje mogućih izvora energije, čije je rezultate moguće prikazati kartom. Ona vizualno pruža skup informacija korisnih u energetskom planiranju te služi kao metoda praćenja ušteda energije. Kvantificiranje područja veće gustoće potražnje toplinske energije prvi je korak u prepoznavanju potencijalnih mjesta za provedbu mjera energetske učinkovitosti. Ovakvu kartu moguće je generirati unutar Geografskog Informacijskog Sustava (GIS) pridodajući detaljne informacije o toplinskim potrebama za svaku građevinu u urbanim područjima.

Prikaz jedne karte dan je u nastavku. Karta je izrađena u okviru projekta STRATEGO, koji je sufinanciran od strane Europske komisije u sklopu programa „Intelligent Energy Europe“. [36] Ona prikazuje toplinsku potražnju Grada Zagreba i njegove okolice te je dana u rezoluciji 1 × 1 km.



**Slika 6** Karta toplinske potražnje Grada Zagreba i okolice [37]

## 4. METODE

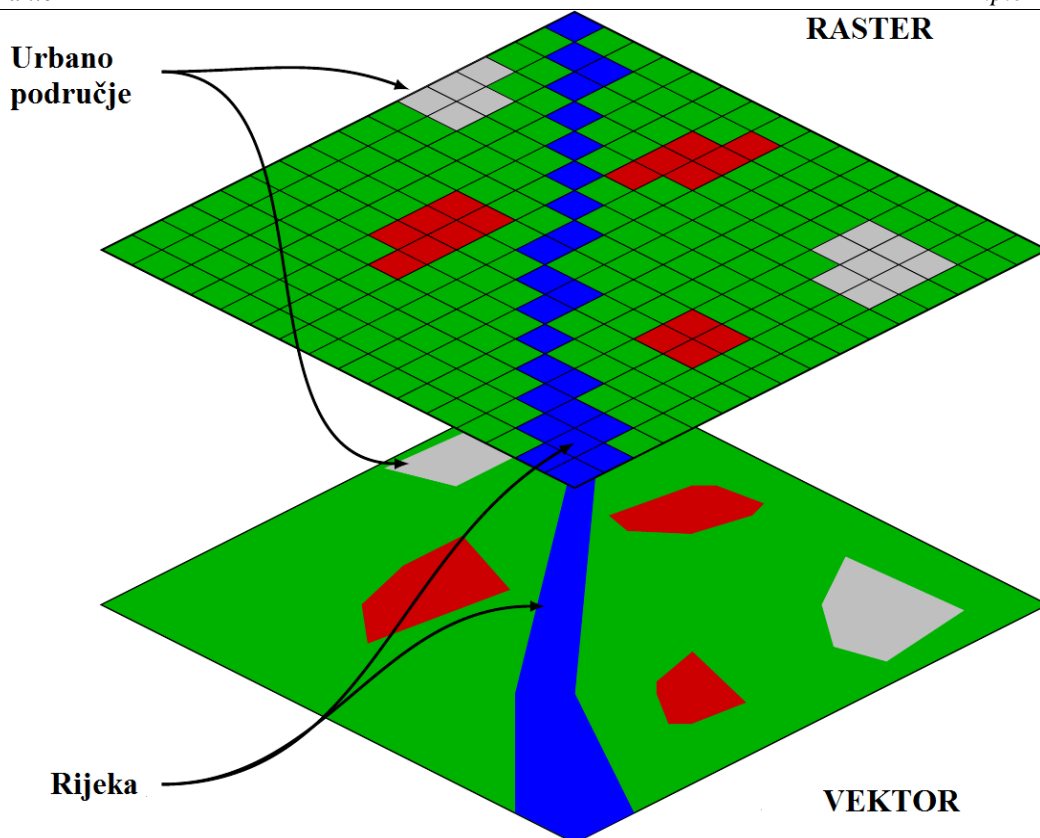
Zbog visokih kapitalnih troškova širenja centraliziranih toplinskih sustava, za njegovu izgradnju/nadogradnju nužno je izvršiti analizu isplativosti. Za analizu je potrebno poznavanje prostorne distribucije potražnje za toplinskom energijom te relevantnih ekonomskih parametara.

Kako bi se definirala prostorna distribucija potražnje za toplinskom energijom proveden je postupak mapiranja koji omogućuje izradu vizualnog prikaza potražnje, tj. izradu karte. Jedan od alata za provođenje ovakve analiza je QGIS.

### 4.1. QGIS

QGIS je besplatna računalna GIS aplikacija otvorenog koda koja omogućuje vizualizaciju, upravljanje, uređivanje i analiziranje georeferenciranih podataka. Aplikacija podržava veliki broj rasterskih i vektorskih formata te u konačnici omogućuje korisnicima izradu, uređivanje i izvoz grafičkih karata. [38]

Prikaz dijelova stvarnog svijeta omogućen je rasterskim i vektorskim slojevima koji su u prostor smješteni na točnu geografsku lokaciju. Osnovni element prikaza rasterske grafike je piksel čija se vrijednost simbolizira određenom bojom u pravokutnoj mreži polja jednake veličine. Svoju upotrebu pronalazi kod prikaza kontinuiranih prostornih pojava (reljef, temperatura, itd.), a kvaliteta njegovog prikaza ovisi o veličini polja mreže kojom je definiran. Za razliku od rasterske grafike, svi objekti vektorske grafike prikazani su pomoću tri elementa: točka (engl. *point*), linija (engl. *line*) i poligon (engl. *polygon*). Upotrebljava se za prikaz objekata s jasno izraženim granicama (katastarske čestice, građevine, prostorne namjene i sl.) pošto njegovim povećanjem na veću rezoluciju ne dolazi do gubitka kvalitete slike, što nije slučaj kod rasterske grafike. Razliku između vektorske i rasterske grafike prikazuje Slika 7.



Slika 7 Razlika između vektorske i rasterske grafike [39]

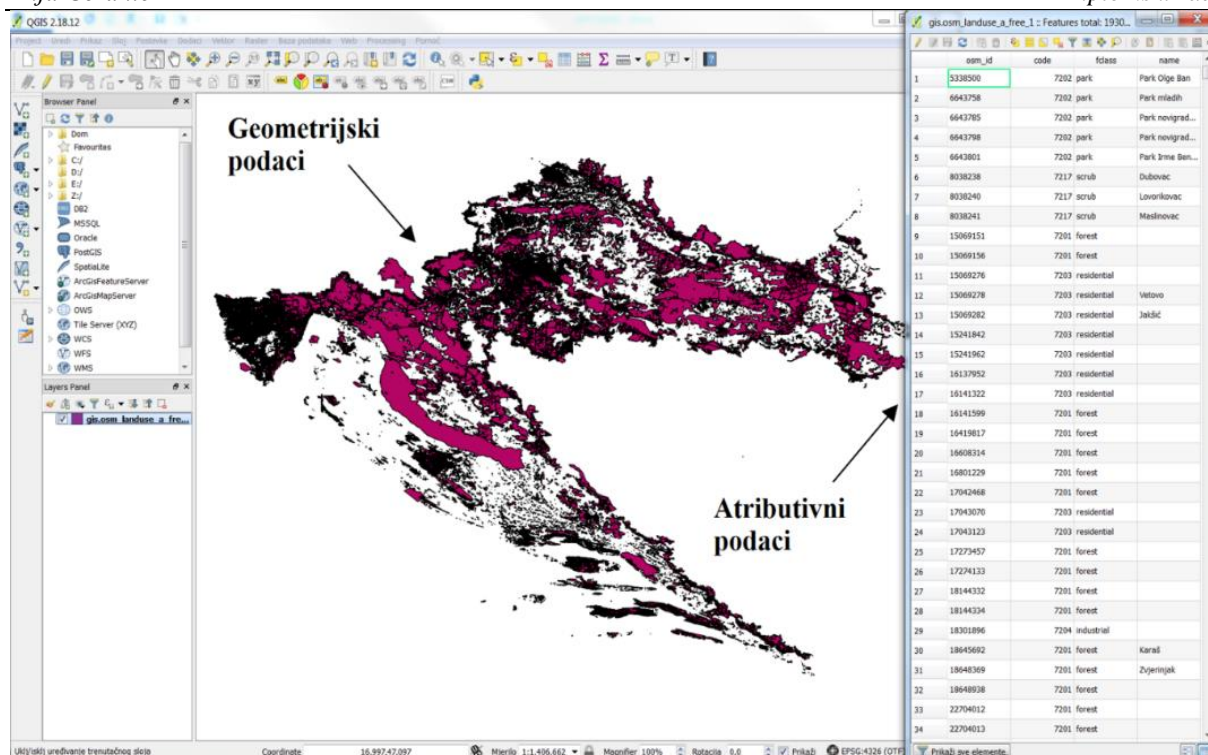
Rasterske i vektorske strukture podataka organizirane su u slojeve. Slojevi su vizualizirane baze podataka u kojima su objekti stvarnog svijeta grupirani prema nekoj zajedničkoj karakteristici, npr. namjena prostora, infrastruktura, katastarske čestice, i sl.

Svaki sloj obuhvaća geometrijske i atributivne podatke:

- *Geometrijski podaci* – georeferencirani prikazi prostorne stvarnosti (linije, točke, poligoni)
- *Atributivni podaci* – kvantitativne ili kvalitativne informacije o geometrijskim podacima zapisane u atributivnoj tablici

Slika 8 prikazuje geometrijske i atributivne podatke.





Slika 8 Geometrijski i atributivni podaci

Prilikom rada s georeferencirani podacima u QGIS-u često postoji potreba za modificiranjem postojećih slojeva, kao i kreiranje potpuno novih vektorskih slojeva u svrhu analize i prikaza željene pojave. Postojeće podatke moguće je uređivati unutar atributivne tablice sloja. U njoj se mogu ručno unositi novi podaci ili uređivati postojeći. Za dodavanje novog atributivnog obilježja, potrebno je stvoriti novi stupac u koji će novi podaci biti uneseni. S obzirom na veliku količinu prostornih podataka unutar jednog sloja, korisno sredstvo za uvid u osnovne karakteristike, opće statistička obilježja skupa podataka, te za izračun novih vrijednosti temeljem postojećih je jedan od alata unutar atributivne tablice, tablični kalkulator. [38]

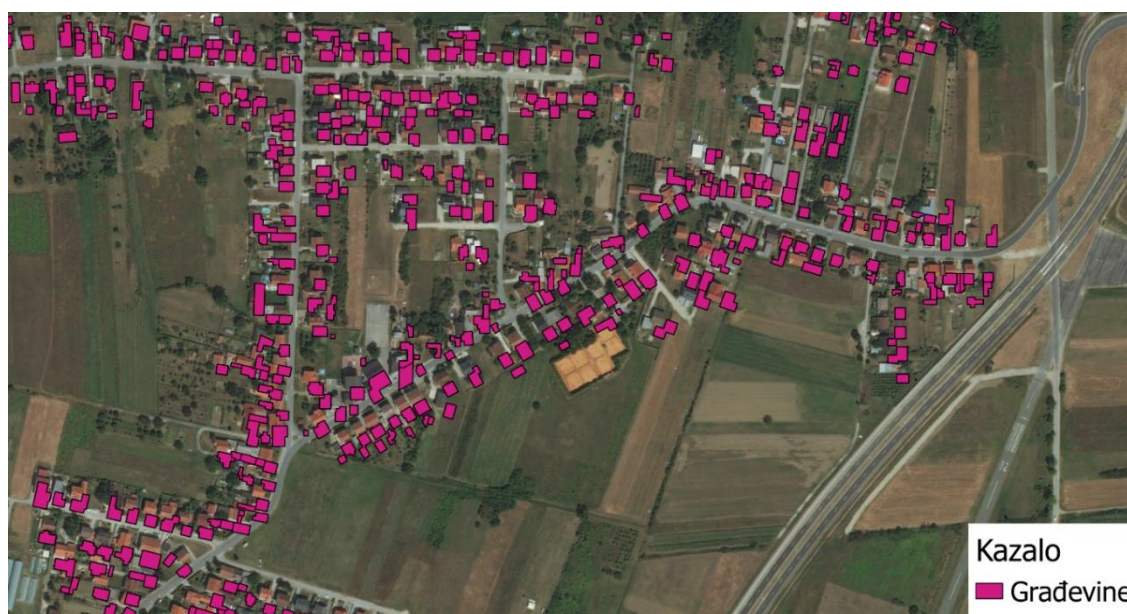
Prilikom pokretanja novog ili postojećeg projekta, QGIS ima mogućnost pozivanja georeferenciranih baza podataka koje služe kao podloga daljnjem formiranju projekta, npr. Bing Maps, [40] Google Maps, [41] OpenStreetMap. [42]

#### 4.2. MAPIRANJE POTRAŽNJE ZA TOPLINSKOM ENERGIJOM

S ciljem određivanja ekonomski isplativih područja za proširenje centraliziranog toplinskog sustava proveden je postupak mapiranja potražnje za toplinskom energijom. Dobiveni rezultati služe za vizualizaciju rezultata u obliku karte gustoće potražnje. Za postupak je primijenjena analiza “od dna prema gore” ( engl. *bottom – up*) koja u ovom kontekstu obuhvaća prikupljanje podataka i njihovu agregaciju s ciljem procijene potencijala proširenja. Mapiranje je izvršeno pomoću agregiranih i georeferenciranih podataka. Prikupljeni su obrisi objekata, definirane njihove visine i namjene te je uz pomoć specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje određena potražnja za toplinskom energijom svakog objekta. Potražnje su agregirane u kvadrate/polja vektorske mreže te je kao konačni rezultat dobivena karta koja prikazuje njihovu gustoću.

Nakon pripremnih radnji koje obuhvaćaju prikupljanje svih potrebnih podloga za pokretanje projekta i odabira željene kartografske podloge stvarnog svijeta (npr. Bing karta) pozvan je vektorski sloj georeferenciranih poligona koji opisuju tlocrtnu površinu građevina. Ovakvom sloju moguće je pristupiti preko baze podataka OpenStreetMap. Svrha ovog koraka je definirati lokacije predmetnih građevina kojima se pridaju podaci o namjeni, broju etaža i specifičnoj godišnjoj toplinskoj energiji za grijanje s ciljem dobivanja njihove godišnje potrebne toplinske energije.

Slika 9 prikazuje Bing kartu na koju je smješten vektorski sloj građevina.



Slika 9 Prikaz građevina



U daljnjem se koraku georeferencirana baza podataka predmetnih građevina nadopunila karakterističnim podacima za svaku građevinu: tlocrtna površina, ( $A_{tlocrt}, m^2$ ), broj etaža, ( $n_{kat}$ ), namjena i specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje ( $Q'_{H,nd}, \frac{kWh}{m^2 a}$ ). Pomoću spomenutih podataka određuje se vrijednost potražnje za toplinskom energijom građevina na godišnjoj razini ( $Q_{uk}, \frac{kWh}{a}$ ) te se zatim daje prikaz rezultata u obliku karte.

#### 4.2.1. Potražnja za toplinskom energijom

Potražnja toplinske energije na godišnjoj razini ( $Q_{uk}, \frac{kWh}{a}$ ), definirana je umnoškom neto površine ( $A_{neto}, m^2$ ) i specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje ( $Q'_{H,nd}, \frac{kWh}{m^2 a}$ ) što pokazuje formula (1):

$$Q_{uk} = A_{neto} \cdot Q'_{H,nd} \left[ \frac{kWh}{a} \right] \quad (1)$$

dok je neto površina ( $A_{neto}$ ) određena formulom (2):

$$A_{neto} = A_{bruto} \cdot 0,75 \quad [m^2] \quad (2)$$

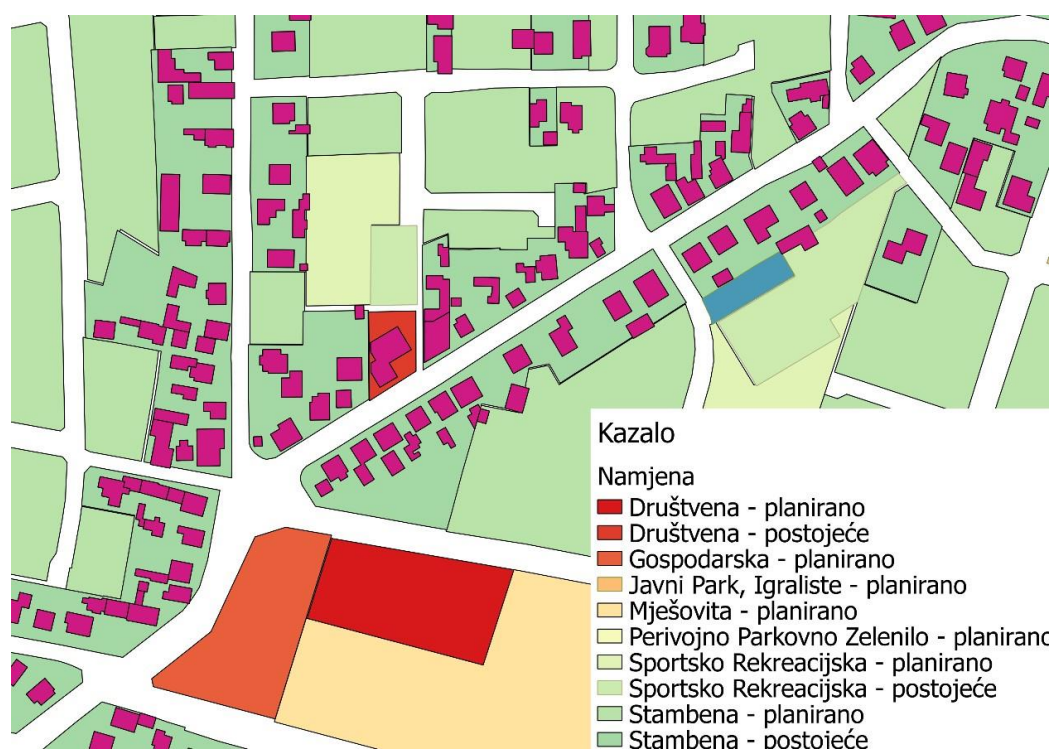
Bruto površinu nekog objekta ( $A_{bruto}$ ) moguće je dobiti množenjem tlocrtne površine objekta ( $A_{tlocrt}$ ) s pripadajućim brojem etaža ( $n_{kat}$ ):

$$A_{bruto} = A_{tlocrt} \cdot n_{kat} \quad [m^2] \quad (3)$$

Kako bi se točno odredila specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje ( $Q'_{H,nd}$ ) potrebno je provesti točan proračun prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN, 153/2013). [43] Ukoliko se radi o urbaniziranom području s velikom gustoćom izgrađenosti, postupak pojedinačnog proračunavanja je dugotrajan i zamoran proces. U tom slučaju pribjegava se pojednostavljenju metode pridavanjem njezine prosječne vrijednosti građevinama.

Pridavanje prosječne vrijednosti, u ovom radu, izvršeno je na način da su građevinama određene njihove namjene i sukladno tome odgovarajuća vrijednost. Namjena građevine određena je postojećom namjenom površine na kojoj se građevina nalazi. Ona je definirana prostornim planom uređenja i urbanističkim planom uređenja (ako postoji) koji su temeljni dokument prostornog uređenja svake jedinice lokalne samouprave. [45] Ukoliko se nalazi u adekvatnom formatu, namjenu površine moguće je koristiti u QGIS programu u obliku vektorskog sloja. Opcijom „Spoji attribute prema lokaciji“, građevinama promatranog područja moguće je pridodati njihovu namjenu.

Slika 10 prikazuje urbano područje unutar kojeg su poligonima definirana područja određene namjene.



**Slika 10** Namjena površine

Za određivanje potražnje za toplinskom energijom koja je definirana formulom (1), osim specifične godišnje potrebne energije potrebno je poznavati i neto površinu građevine. Ona se računa korištenjem formula (2) i (3) uz poznavanje tlocrtna površine objekta i pripadajućeg broja etaža.

Kako informacije o broju etaža objekata često nisu javno dostupne, njihovo određivanje je u sklopu ovog rada provedeno u dva koraka. U prvome je izvršena distribucija broja etaža prema tlocrtnim površinama, s pretpostavkom da veća površina predstavlja veći broj etaža. U drugom

koraku napravljena je korekcija prethodnog koraka pomoću alata Google maps i opcije street view. Vizualnim prebrojavanjem provjerava se je li izvršena distribucija broja etaža odgovarajuća; ukoliko nije, vrši se korekcija.

Slika 11 prikazuje broj etaža građevina jednog urbanog područja.



Slika 11 Broj etaža

#### 4.3. ISPLATIVOST ŠIRENJA CENTRALIZIRANOG TOPLINSKOG SUSTAVA

Za provedbu proračuna razine isplativosti investicije u širenje centraliziranog toplinskog sustava potrebno je provesti kompletnu analizu iz prethodne točke, tj. imati podatke o neto površinama, namjeni građevine i specifičnoj godišnjoj potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje. Isplativost investicije promatrana je kroz analizu prihoda i rashoda. Analiza je provedena uz pomoć QGIS aplikacije koristeći vektorsku mrežu. Za pozitivnu razliku prihoda i rashoda polja vektorske mreže investicija je isplativa, dok je za negativnu razliku neisplativa. Na taj način dobiven je grafički prikaz na temelju kojeg je vidljivo koja područja imaju ekonomski potencijal širenja centraliziranog toplinskog sustava.

Dodatno je provedena analiza uštede emisije CO<sub>2</sub>.

### 4.3.1. Prihod

Prihodom investicije smatra se financijska dobit od prodaje toplinske energije i snage, tj. mjesečne uplate korisnika priključenih na sustav centraliziranog toplinskog sustava. Visina mjesečne uplate regulirana je postojećim cjenikom za kupce toplinske energije. Kupci su podijeljeni u dvije kategorije – kućanstva te industrija i poslovni potrošači. Pod kućanstva se svrstavaju građevine stambene i mješovite namjene, a pod industriju i poslovne potrošače građevine ostalih namjena. Iznosi naknada i tarifnih stavki definirani su u odnosu na tarifne grupe i tarifne modele. U cjeniku se pojavljuju dvije tarifne stavke: jedna koja se odnosi na na priključnu snagu objekta ( $c_1$ , HRK/kW/mj.) i druga koja se odnosi prodanu toplinsku energiju ( $c_2$ , HRK/kWh); te naknade za djelatnost opskrbe ( $c_3$ , HRK/mj.) i djelatnost kupca ( $c_4$ , HRK/m<sup>2</sup>/mj.). Za izračun godišnjeg iznosa računa od priključne snage potrebno je pomnožiti tarifnu stavku  $c_1$  sa specifičnom priključnom snagom ( $P_{\text{priključna}}$ , kW/m<sup>2</sup>) koja ovisi o kategoriji građevine. Prihod se računa prema formuli (4)

$$\text{Prihod} = A_{\text{neto}} \cdot (c_1 \cdot P_{\text{priključna}} + c_4) \cdot 12 + Q_{\text{uk}} \cdot c_2 + c_3 \cdot 12 \quad [\text{HRK}] \quad (4)$$

### 4.3.2. Rashod

Rashodom investicije smatra se trošak proizvodnje toplinske energije i trošak postavljanja vrelovodnih cijevi. Trošak proizvodnje toplinske energije jednak je umnošku niveliranog troška proizvodnje toplinske energije (engl. *Levelized cost of heat – LCOH*), specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje ( $Q'_{H,nd}$ ) i neto grijane površine ( $A_{\text{neto}}$ ). Trošak postavljanja vrelovoda jednak je umnošku duljine vrelovoda po metru kvadratnom tla ( $L_{\text{vrelovod}}$ ), površini kvadrata vektorske mreže ( $A_{\text{grid}}$ ) i trošku postavljanja vrelovoda po metru duljine ( $T_{\text{vrelovod}}$ ). Ukoliko u polju vektorske mreže postoji vrelovod, tada je trošak njegovog postavljanja jednak 0.

Ovaj iznos se, jednako kao i iznos prihoda, računa na godišnjoj razini prema formuli (5).

$$\text{Rashod} = LCOH \cdot Q'_{H,nd} \cdot A_{\text{neto}} + L_{\text{vrelovod}} \cdot A_{\text{grid}} \cdot T_{\text{vrelovod}} \quad [\text{HRK}] \quad (5)$$

#### 4.3.2.1. Nivelirani trošak proizvodnje toplinske energije (engl. Levelized cost of heat - LCOH)

Nivelirani trošak proizvodnje toplinske energije (*LCOH*) jednak je omjeru ukupnih troškova i ukupne proizvedene toplinske energije tijekom životnog vijeka postrojenja i označava prosječnu vrijednost troška proizvodnje toplinske energije svedenu na životni vijek postrojenja.

$$LCOH = \frac{\text{Ukupni troškovi tijekom životnog vijeka postrojenja}}{\text{Ukupna proizvedena toplinska energija tijekom životnog vijeka}}$$

U suštini, *LCOH* predstavlja inačicu popularne metodologije procjene ekonomske kompetitivnosti tehnologija proizvodnje električne energije tijekom dužeg vremenskog perioda, tj. nivelirani trošak proizvodnje električne energije (engl. *Levelized cost of energy - LCOE*). Izvorna metodologija u obzir uzima vrijednost investicije, pogonske troškove i troškove održavanja, cijenu goriva i ukupno proizvedenu električnu energiju, te je kao takva prenamijenjena kako bi se koristila u svrhu izračuna niveliranog troška proizvodnje toplinske energije. Primarna svrha joj je ekonomska usporedba više razmatranih tehnologija, a formula za njen izračun temeljena je na formuli za računanje neto sadašnje vrijednosti (NPV) kako bi u obzir bila uzeta vremenska vrijednost novca. [46]

Računa se pomoću formule (6):

$$LCOH = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{I_i + O\&M_i + G_i}{(1+r)^n} \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_i}{(1+r)^n} \right)} \quad (6)$$

$I_i$  – investicija izgradnje postrojenja [HRK]

$O\&M_i$  – troškovi upravljanja i održavanja u  $i$ -toj godini [HRK]

$G_i$  – trošak goriva u  $i$ -toj godini [HRK]

$r$  – diskontna stopa [%]

$Q_i$  – ukupna proizvedena toplina u  $i$ -toj godini [kWh]

$n$  – životni vijek postrojenja [god]

#### 4.3.2.2. Duljina vrelovoda po metru kvadratnom tla

Svrha računanja duljine vrelovoda po metru kvadratnom tla je dobivanje vrijednosti koja će, primjenom u formuli (5), uzeti u obzir trošak njegovog postavljanja.

Vrijednost je dobivena formulom (7):

$$L_{vrelovod} = \frac{L_{vrelovod, uk}}{A_{neto, vrelovod}} \cdot \frac{A_{neto, uk}}{A_{tlo, uk}} \left[ \frac{m}{m^2} \right] \quad (7)$$

$L_{vrelovoda, uk}$  – ukupna duljina, do sada, postavljenog vrelovoda [m]

$A_{neto, vrelovod}$  – neto površina objekata grijanih vrelovodom [m<sup>2</sup>]

$A_{neto, uk}$  – neto površina građevine promatranog područja [m<sup>2</sup>]

$A_{tlo, uk}$  – površina promatranog područja [m<sup>2</sup>]

U prethodnom izrazu postavljena su dva omjera pomoću kojih se dobiva procijenjena vrijednost duljine vrelovoda postavljena na metar kvadratni tla. Prvi član  $\left( \frac{L_{vrelovod, uk}}{A_{neto, vrelovod}} \right)$  je omjer ukupne duljine postavljenog vrelovoda i neto površine objekata grijanih vrelovodom dok je drugi član  $\left( \frac{A_{neto, uk}}{A_{tlo, uk}} \right)$  omjer neto površine građevina promatranog područja i površine tla promatranog područja.

#### 4.3.3. Ušteda emisije ugljičnog dioksida

Ostvarenje ušteda emisija CO<sub>2</sub> direktan su pokazatelj energetske učinkovitosti poduzete mjere i mogu služiti u usporedbi kompetitivnosti više tehnologija. Ukoliko se uspoređuju uštede različitih tehnologija u odnosu na referentnu vrijednost, moguće je vidjeti koja od tehnologija ima najmanji ekološki utjecaj.

Za slučaj primjene više pojedinačnih sustava grijanja, izračun faktora emisije je proveden prema formuli (8):

$$e_{CO_2, uk} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot e_{CO_2, i} \quad (8)$$

$e_{CO_2, uk}$  -specifični faktor emisije CO<sub>2</sub> [kg<sub>CO<sub>2</sub></sub>/MWh]

$e_{CO_2, i}$  -specifični faktor emisije CO<sub>2</sub> i-te tehnologije [kg<sub>CO<sub>2</sub></sub>/MWh]

$x_i$  – udio i-te tehnologije u sustavu s više pojedinačnih sustava grijanja

U općem slučaju faktor emisije CO<sub>2</sub> definiran je prema energentu koji se koristi. U slučaju kada postoji istovremena proizvodnja električne i toplinske energije, kao kod kogeneracije, on se određuje prema formuli (9): [47]

$$e_{CO_2, kogeneracija} = e_{CO_2, i} \cdot \frac{1}{\eta} - \varepsilon_{el} \cdot e_{CO_2, el} \quad (9)$$

$e_{CO_2, kogeneracija}$  – specifični faktor emisije CO<sub>2</sub> za kogeneraciju [ kg<sub>CO<sub>2</sub></sub>/MWh]

$\eta$  – iskoristivost kogeneracije [%]

$\varepsilon_{el}$  – omjer proizvedene električne i toplinske energije

$e_{CO_2, el}$  – specifični faktor emisije CO<sub>2</sub> za električnu energiju [ kg<sub>CO<sub>2</sub></sub>/MWh]

Uštede emisija CO<sub>2</sub> na godišnjoj razini određuju se prema formuli (10):

$$E_{CO_2, i} = \Delta Q_{uk, i} \cdot (e_{CO_2, uk} - e_{CO_2, i}) \quad (10)$$

$E_{CO_2}$  –Ušteda emisija CO<sub>2</sub> na godišnjoj razini, [ kg<sub>CO<sub>2</sub></sub>]

$\Delta Q_{uk, i}$  – Povećanje potražnje za toplinskom energijom i-te tehnologije [MWh]

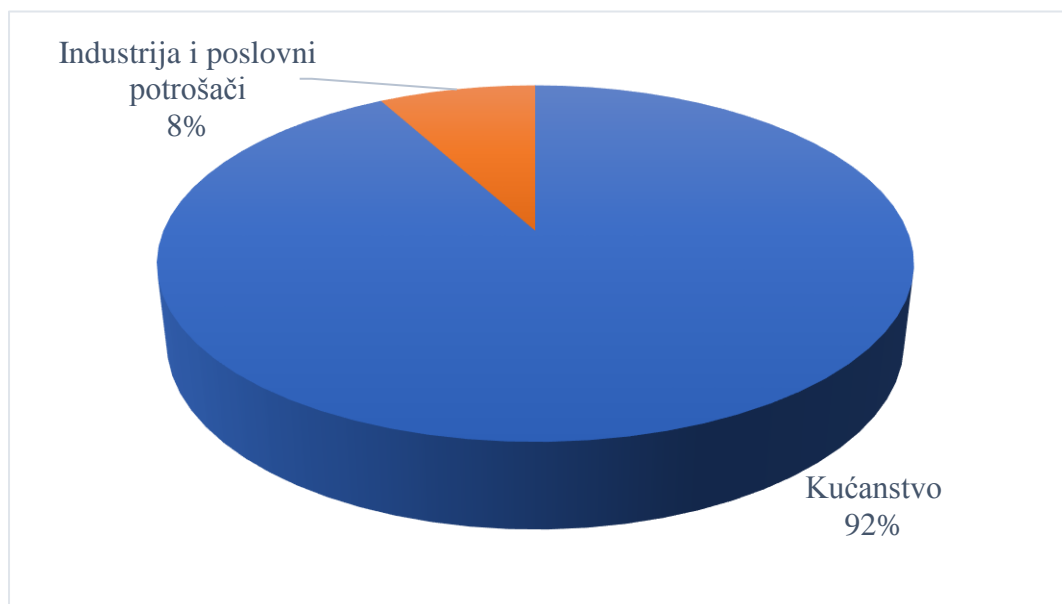
## 5. MAPIRANJE VELIKE GORICE

Područje Grada Velike Gorice zauzima najveću površinu (328,66 km<sup>2</sup>) u Zagrebačkoj županiji, te zahvaća Turopoljsku nizinu, dio Posavine i Vukomeričkih gorica. S brojem od 65000 stanovnika za područje Grada i samim naseljem od preko 30000 stanovnika, Velika Gorica zauzima šesto mjesto po veličini u Republici Hrvatskoj. [48]

### 5.1. Postojeće stanje opskrbe toplinskom energijom

Pokrivanje potreba za toplinskom energijom Velike Gorice vrši se iz 14 kotlovskih postrojenja u pogledu mini toplana, blokovskih i kućnih kotlovnica u vlasništvu HEP Toplinarstva, koje su zajedno sa svojim instaliranim snagama navedene u Tablici 1. Radi se o 4 centralizirana, 6 zatvorenih i 4 samostalna toplinska sustava ukupne instalirane snage 69,612 MW.

Broj kupaca toplinske energije iz kategorije kućanstva iznosi 5652, što pokriva prostor od 282028 m<sup>2</sup> grijane površine s ukupnom zakupljenom snagom od 38,931 MW. Kategorija industrija i poslovni potrošači ima 241 kupca toplinske energije na prostoru od 24578 m<sup>2</sup> s ukupnom zakupljenom snagom od 13,15 MW. Slika 12 prikazuje udjele kategorija kupaca. [23]



Slika 12 Kategorije kupaca toplinske energije [23]



Duljine postojeće toplinske mreže prema nazivnim promjerima prikazuje Tablica 1.

**Tablica 1 Duljina toplinske mreže prema nazivnom promjeru [23]**

Nazivni promjer, mm	Duljina toplinske mreže, m
DN 200	2407
DN 175	377
DN 32 – DN 150	7037

Slika 13 prikazuje postojeći vrelovod u naselju Velika Gorica.



**Slika 13 Postojeći vrelovod naselja Velika Gorica**

U pročišćenom tekstu Prostornog plana uređenja Grada Velike Gorice („Službeni glasnik Grada Velike Gorice“ 3/15) [50] potiče se objedinjavanje i centralizacija individualnih sustava grijanja u naseljima radi očuvanja kakvoće zraka i povećanja energetske učinkovitosti. Člankom 74. Urbanističkog plana uređenja naselja Velika Gorica („Službeni glasnik Grada Velika Gorica“ 4/12) [51] propisano je da se vrelovodi mogu polagati u kolnike, pješačke nogostupe ili zelene pojase u kojima nema niti se planira sadnja niskog ili visokog zelenila. Jednako tako propisana

je i širina pojasa za polaganje vrelovodnih cijevi ovisno o promjeru cijevi i prostornim mogućnostima i iznosi od 1,5 do 1,7 m, dok dubina polaganja po osnovj izmjeri vrelovoda mora biti minimalno 1,6 m. Mjere i preporuke na razini grada nužne su u planiranju i modernizaciji toplinskog sustava Velike Gorice.

U posljednjih desetak godina, u nekoliko navrata, provedene su analize stanja u opskrbi toplinskom energijom u Gradu Velika Gorica. U analizama glavna nit vodilja je bila postizanje sigurne opskrbe toplinske energije i postizanje jedinstvene toplinske opskrbe što je rezultiralo izradom projekata novih proizvodnih objekata.

Za potrebe pronalaska rješenja, u sklopu predstudije izvodljivosti kogeneracijskog postrojenja Velika Gorica, [52] izvršena je analiza isplativosti izgradnje nove male termoelektrane-toplane (mTE-TO). Predložen je koncept baznog kogeneracijskog postrojenja i kotlovskeg postrojenja za pokrivanje vršnih opterećenja. Razmatrana su dva tehnička rješenja kogeneracijskog postrojenja bazirana na plinsko-turbinskom agregatu (plinsko-turbinsko i kombinirano plinsko-turbinsko i parnoturbinsko postrojenje). Na temelju dobivenih rezultata ekonomske analize donesen je zaključak kako je ovaj vid osuvremenjivanja toplinskog sustava Velike Gorice ekonomski neisplativ i neopravdan. Iz male termoelektrane-toplane nije moguće postići konkurentne prodajne cijene električne i toplinske energije, a da se pri tome ne naruši ekonomska opravdanost ulaganja.

Drugo rješenje toplinske opskrbe, izneseno u sklopu izrade koncepcijskog rješenja toplinske opskrbe Velike Gorice iz elektrane-toplane na biomasu s prijedlogom lokacije izgradnje, obuhvaćalo je izgradnju elektrane-toplane na biomasu i vršnog kotlovskeg postrojenja. [53] BE-TO Velika Gorica je bila predviđena kao kogeneracijska elektrana na biomasu električne snage 22,5 MW i toplinskog učina 35 MW, s rezervom od 35 MW iz kotlovskeg postrojenja. Električna energija bi se po povlaštenim cijenama prodavala u elektroenergetskom sustavu, a toplinska energija služila bi za grijanje Velike Gorice. Iako je investicija, kao takva, ekonomski isplativa i opravdana, lokalno stanovništvo izrazilo je snažno negodovanje i zabrinutost oko mogućeg ekološkog utjecaja izgradnje postrojenja.

Kao što je već spomenuto, zahvatima obnove i širenja centraliziranih toplinskih sustava prethode visoki kapitalni troškovi. Kako bi se odredio ekonomski potencijal i istražila područja mogućeg širenja toplinske mreže, prikupljeni su potrebni podaci i na temelju njih je izrađena toplinska karta s jasnim pregledom potrošnje toplinske energije koja daje uvid u područja veće potrošnje i služi kao podloga za daljnje proračune isplativosti širenja.

## 5.2. Prikupljanje i obrada podataka

. Na temelju poslani molbe Uredu geodetskih poslova Upravnog odjela za urbanizam i zaštitu okoliša Grada Velike Gorice, za potrebe ovog diplomskog rada, ustupljen je Urbanistički plan uređenja naselja Velika Gorica („Službeni glasnik Grada Velika Gorica“ 4/12) s kartografskim podlogama u .dwg formatu. Ustupljene podloge moguće je koristiti unutar QGIS programa nakon adekvatne konverzije u .shp format.

Korištene su sljedeće kartografske podloge:

- Prostorna namjena zemljišta
- Postojeća trasa toplovoda
- Objekti toplovoda

Kartografske podloge Urbanističkog plana uređenja moguće je skinuti u .pdf formatu zajedno s tekstualnim podlogama sa stranica Grada Velike Gorice, ali ih kao takve nije moguće koristiti u QGIS-u. [51]

Sukladno poglavlju 4.2, za provedbu mapiranja potražnje za toplinskom energijom potrebno je poznavati tlocrtnu površinu građevina, njihovu namjenu, broj etaža i specifičnu godišnju potrebnu toplinu, kako bi se pomoću formule (1) izračunala ukupna potražnja za toplinskom energijom predmetnih građevina Velike Gorice. Njihovo određivanje opisano je u nastavku.

### 5.2.1. Tlocrtna površina

Osim ustupljenih podloga od strane Grada, korištena je i georeferencirana baza podataka preuzeta s OpenStreetMap servisa. Ona sadrži poligone koji odgovaraju obrisima predmetnih građevina. [53]

OpenStreetMap je projekt čiji je cilj generiranje javno dostupne karte cijelog svijeta koju je moguće uređivati i doradivati. Karti i kartografske podatke kreiraju suradnici iz cijeloga svijeta stvarajući jedinstvenu bazu podataka korisnu za analize različitih namjena. Baza podataka nastaje korištenjem GPS uređaja, putem zračnih fotografija, poznavanjem geografskih lokaliteta ili iz drugih slobodnih izvora. OpenStreetMap sadrži vektorske i rasterske slojeve, tako da je moguće preuzeti vektorski sloj koji će u sebi sadržavati geometrijske podatke, npr. georeferencirane poligone koji tlocrtnom površinom odgovaraju stvarnim katastarskim podacima, a u atributnoj tablici sloja pridružena potrebna obilježja za daljnje analize (tlocrtna površina, namjena i sl.). [42]



Slika 14 prikazuje preuzetu georeferenciranu bazu naselja Velika Gorica s obrisima predmetnih građevina.



**Slika 14** Građevine naselja Velika Gorica

### 5.2.2. Namjena

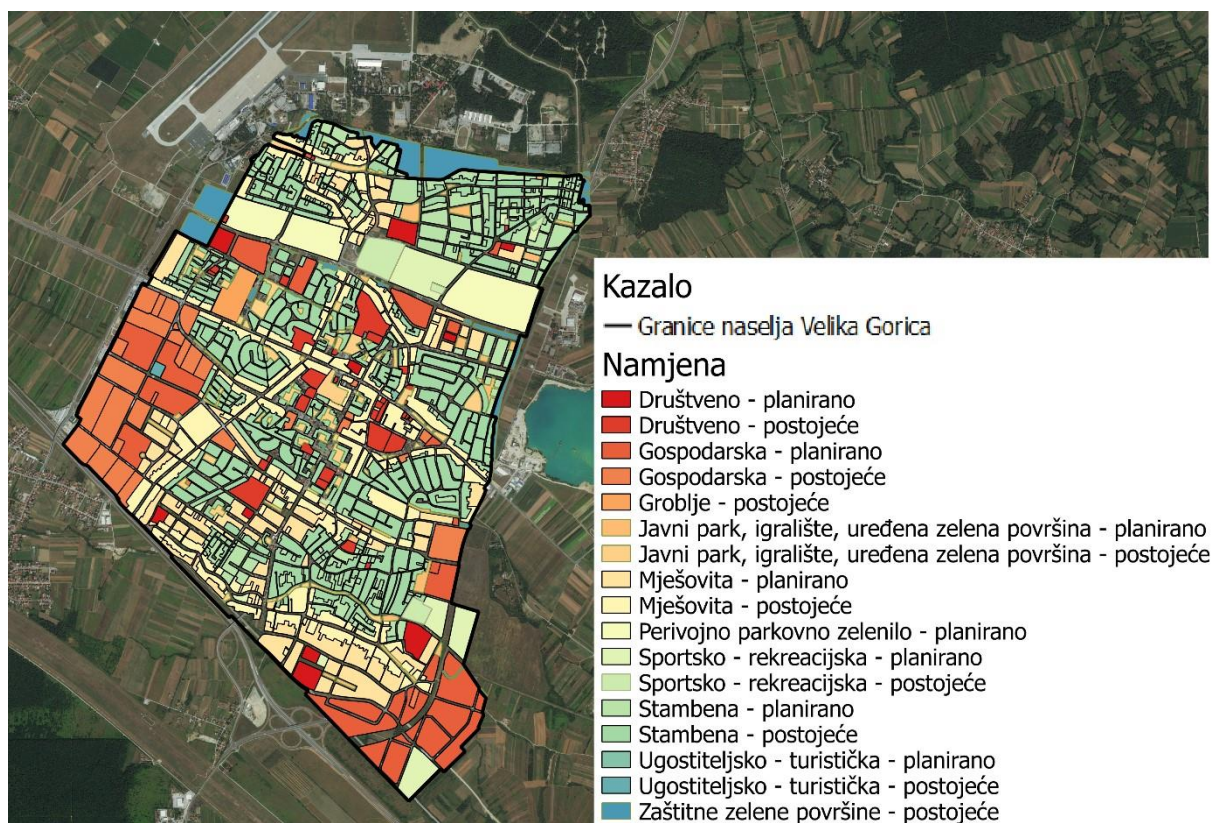
Prostorno uređenje svake jedinice lokalne samouprave prethodno je definirano prostornim planom uređenja i urbanističkim planom uređenja (ako postoji). Za naselje Velika Gorica određivanje namjene površine utvrđeno je ustupljenim urbanističkim planom uređenja u kojemu je ona definirana.

Podjela namjena gradivih i negradivih površina:

- Stambena namjena
- Mješovita namjena
- Javna i društvena namjena
- Gospodarska namjena
- Sportsko – rekreacijska namjena
- Ugostiteljsko – turistička namjena

- Perivojno - parkovno zelenilo
- Javni park, igralište, uređena zelena površina
- Zaštitne zelene površine

Svaka od ovih namjena može biti ili postojećeg ili planiranog karaktera, što prikazuje Slika 15.



**Slika 15** Namjena površina naselja Velika Gorica



### 5.2.3. Broj etaža

Kako ne postoji odgovarajući dokument koji bi sadržavao podatke o broju etaža građevina, određivanje je izvršeno kroz dva koraka. U prvome je izvršeno dodjeljivanje broja etaža ovisno o tlocrtnoj površini građevine. Ove vrijednosti su procijenjene te se u sljedećem koraku korigiraju. U drugome je izvršena korekcija broja etaža uz pomoć vizualnog pregleda kroz alat Google karte, opcija street view. Opcija street view ima dobru pokrivenost u Velikoj Gorici; moguće je „prošetati“ gradom i vizualno izbrojati etaže i korigirati pretpostavljene vrijednosti. Broj etaža građevine u odnosu na njenu tlocrtnu površinu prikazuje Tablica 2.

**Tablica 2 Broj etaža građevine u odnosu na njenu tlocrtnu površinu**

Tlocrtna površina	Broj etaža
0 – 60	1
60 - 200	2
200 – 500	3
500 – 1000	4
> 100	5

Slika 16 prikazuje građevine naselja s pripadajućim brojem etaža nakon korekcije.

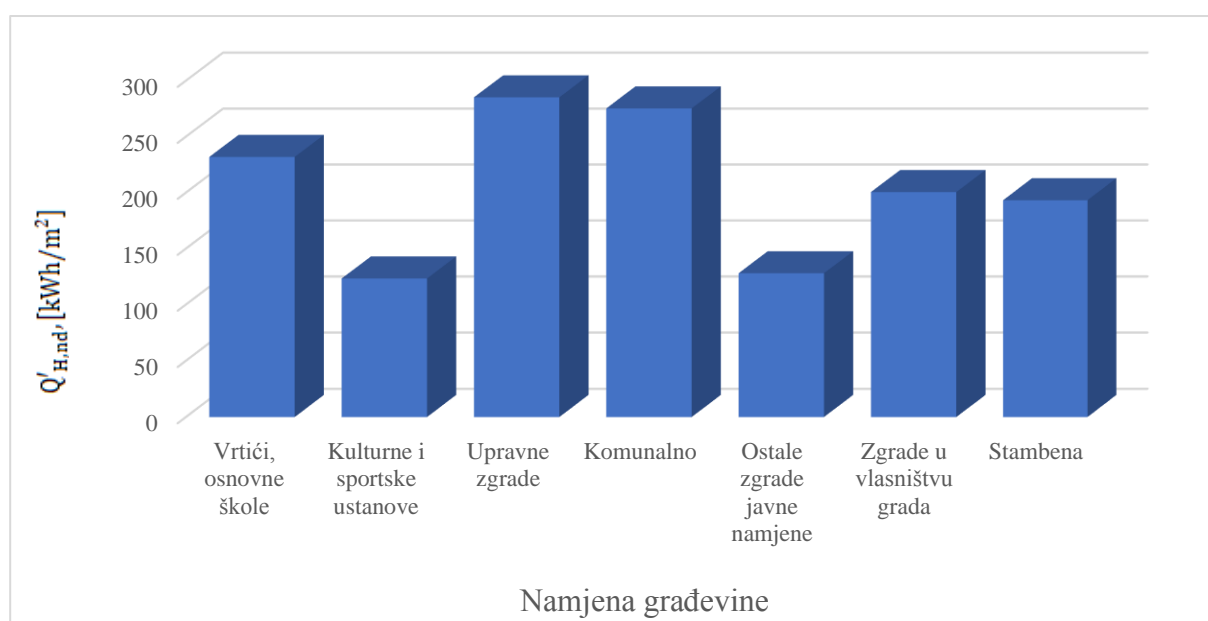


**Slika 16 Broje etaža u naselju Velika Gorica**

#### 5.2.4. Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje

Veza između namjene i specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje ( $Q'_{H,nd}$ ) definirana je u Akcijskom planu energetske održivosti razvitka (SEAP), tj. dokumentu kojeg su se potpisnici Sporazuma gradonačelnika obavezali izraditi. Sporazum gradonačelnika je europska inicijativa pokrenuta 2008. godine kojom se mjesta, gradovi i regije dobrovoljno obvezuju na smanjenje svojih emisija CO<sub>2</sub> za 20%, a potaknut je globalnom borbom protiv klimatskih promjena, odnosno energetske–klimatskim paketom 20-20-20. Velika Gorica je jedan od gradova potpisnika sporazuma te se na taj način Gradska uprava Grada opredijelila za energetske održiv razvitak grada na načelima energetske učinkovitosti, održive gradnje i korištenja obnovljivih izvora energije. [55]

Slika 17 prikazuje vezu između namjene građevine i specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje



**Slika 17** Veza između namjene građevine i specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje [55]

Visoke prosječne vrijednosti posljedica su neadekvatne izolacije građevina. Uzrok tome je nepostojanje zakona koji bi definirao tehničke zahtjeve u pogledu racionalne uporabe energije, toplinske zaštite građevinskog dijela zgrade i nužnih tehničkih sustava u periodu njihove izgradnje.

Vrijednosti iz SEAP-a prilagođene su na, definiranu podjelu građevina prema namjeni što prikazuje Tablica 3.

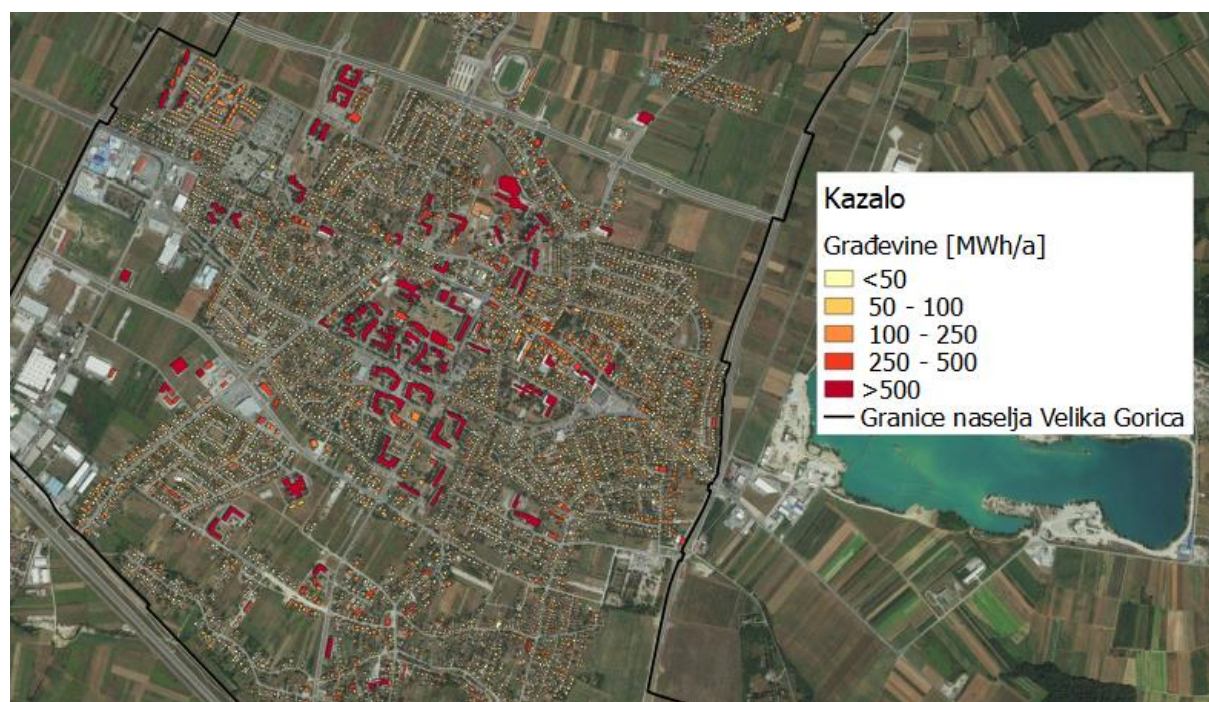
**Tablica 3** Veza između namjene građevine i specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje

NAMJENA GRAĐEVINE	$Q'_{H,nd}$ , [kWh/m <sup>2</sup> a]
Stambena, Mješovita, Turističko – ugostiteljska	193
Sportsko – rekreacijska	130
Društvena	
– obrazovno odgojne ustanove, upravne zgrade, komunalno	230
– kulturne ustanove, vatrogasne postrojbe	130

### 5.3. Potražnja za toplinskom energijom naselja Velika Gorica

Na temelju svih prikupljenih podataka i njihove obrade, izračunata je potražnja za toplinskom energijom predmetnih građevina Velike Gorice pomoću formule (1), odnosno množenjem specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje,  $Q'_{H,nd}$ , [kWh/m<sup>2</sup>a] i neto površine građevine  $A_{neto}$ , [m<sup>2</sup>].

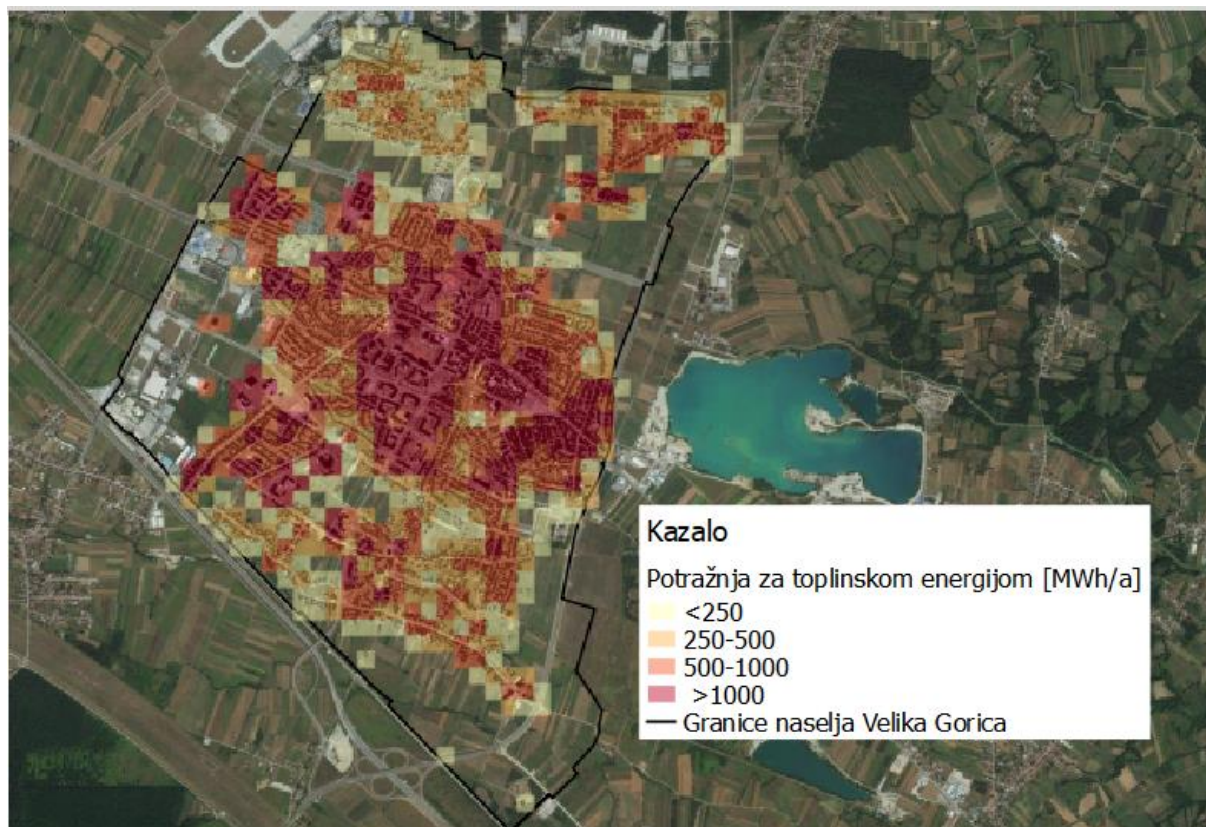
Slika 18 prikazuje ukupne godišnje potražnje građevina za toplinskom energijom.



**Slika 18** Potražnja za toplinskom energijom građevina



Slika 19 prikazuje kartu potražnje za toplinskom energijom. Ona je izrađena pomoću vektorske mreže u rezoluciji  $100 \times 100$  m na način da je svakom polju mreže pridružen podatak o sumi ukupne toplinske potražnje obuhvaćenih građevina.



**Slika 19** Karta potražnje za toplinskom energijom naselja Velike Gorice

## 6. SCENARIJSKA ANALIZA

Metoda opisana u poglavlju 4.3 primijenjena je na analizu isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava u Velikoj Gorici pomoću QGIS alata kroz 4 scenarija: izgradnja novih toplinskih izvora - kotla na biomasu i kotlova na prirodni plin sa starom i novom cijenom goriva, te spajanje mreže centraliziranog toplinskog sustava Velike Gorice i Grada Zagreba izgradnjom spojne veze. Analize utjecaja izgradnje kotlova provedene su i za 3 pod-scenarija energetske obnove: građevine javne namjene neto površine veće od 300 m<sup>2</sup>, sve građevine neto površine veće od 300 m<sup>2</sup> i sve građevine. Tablica 4 prikazuje pregled scenarija.

**Tablica 4 Pregled scenarija**

IME SCENARIJA	IZVOR TOPLINE	ENERGETSKA OBNOVA
1	KOTAO NA BIOMASU	Bez energetske obnove
1a		Građevine javne namjene $A_{neto} > 300 \text{ m}^2$
1b		Sve građevine $A_{neto} > 300 \text{ m}^2$
1c		Sve građevine
2	KOTAO NA PRIRODNI PLIN – nova cijena goriva	Bez energetske obnove
2a		Građevine javne namjene $A_{neto} > 300 \text{ m}^2$
2b		Sve građevine $A_{neto} > 300 \text{ m}^2$
2c		Sve građevine
3	KOTAO NA PRIRODNI PLIN – stara cijena goriva	Bez energetske obnove
3a		Građevine javne namjene $A_{neto} > 300 \text{ m}^2$
3b		Sve građevine $A_{neto} > 300 \text{ m}^2$
3c		Sve građevine
4	SPOJNA VEZA	Bez energetske obnove

Scenariji 1, 2, 3 i 4 odnose se na postojeće stanje građevina, tj bez energetske obnove. Scenariji 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c, 3a, 3b, 3c odnose se na energetska obnova građevina. Njezina svrha je istraživanje potencijala širenja centraliziranog toplinskog sustava u Velikoj Gorici nakon provođenja mjera energetske učinkovitosti koje u konačnici dovode do smanjenja ukupne potražnje za toplinskom energijom.

## 6.1. Izgradnja novih toplinskih izvora

Analiza isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava u Velikoj Gorici izgradnjom novih toplinskih izvora provedena je za tri slučaja: kotao na biomasu i kotao na prirodni plin s novom cijenom goriva i sa starom cijenom goriva, te obuhvaća scenarije: 1, 1a, 1b, 1c, 2, 2a, 2b, 2c, 3, 3a, 3b, 3c.

U daljnjem tekstu izračunat je prihod od prodaje toplinske energije i duljina vrelovoda po metru kvadratnom tla koji ne ovise o tipu korištene tehnologije, te je izračunat nivelirani trošak proizvodnje toplinske energije za svaki scenarij koji služi kao parametar usporedbe kompetitivnosti različitih tehnologija.

### 6.1.1. Prihod od prodaje toplinske energije

Visina mjesečne rate u Velikoj Gorici, koju plaćaju kupci toplinske energije priključeni na centralizirani toplinski sustav, regulirana je cjenikom HEP Toplinarstva kojeg prikazuje Tablica 5.

**Tablica 5 Cjenik HEP Toplinarstva – Velika Gorica [49]**

Naziv djelatnosti	Naziv tarifne stavke i naknade	Iznosi naknada i tarifnih stavki		
		KUĆANSTVA	INDUSTRIJA I POSLOVNI POTROŠAČI	Mjerna jedinica
Proizvodnja toplinske energije	Tarifna stavka Energija	0,276	0,3128	HRK/kWh
Distribucija toplinske		0,024	0,0272	HRK/kWh
Proizvodnja toplinske energije	Tarifna stavka Snaga	7,88	8,97	HRK/kW/mj.
Distribucija toplinske		3,27	3,73	HRK/kW/mj.

Opskrba toplinskom energijom	Naknada za djelatnost opskrbe toplinskom energijom	7,02	7,02	HRK/mj.
Kupac toplinske energije	Naknada za djelatnost kupca	0,5	0,5	HRK/m <sup>2</sup> /mj.

Podjela građevina prema namjeni definirana u ovom radu ne odgovara podjeli unutar cjenika HEP Toplinarstva, stoga se u daljnjim analizama pod kućanstva svrstavaju građevine stambene i mješovite namjene, a pod industriju i poslovne potrošače građevine ostalih namjena.

Specifičnu priključnu snagu za kućanstva te za industriju i poslovne potrošače ( $P_{priključna,spec.}$  [kW/m<sup>2</sup>]) moguće je izračunati prema podacima o ukupnoj priključnoj snazi ( $P_{priključna,ukup.}$  [kW]) i ukupnoj grijanoj površini ( $A_{grijana,ukup.}$  [m<sup>2</sup>]) koji se nalaze u Tablici 6 i pomoću formule (11):

$$P_{priključna,spec.} = \frac{P_{priključna,ukup.}}{A_{grijana,ukup.}} \text{ [kW/m}^2\text{]} \quad (11)$$

**Tablica 6** Specifična priključna snaga [23]

	KUĆANSTVA	INDUSTRIJA I POSLOVNI POTROŠAČI	Mjerna jedinica
Ukupna priključna snaga	38931	13150	kW
Ukupna grijana površina	282028,16	24578,16	m <sup>2</sup>
Specifična priključna snaga	0,138	0,535	kW/m <sup>2</sup>

Specifična priključna snaga u Velikoj Gorici za kategoriju kućanstva iznosi 0,138 kW/m<sup>2</sup>, dok za kategoriju industrije i poslovnih potrošača iznosi 0,535 kW/m<sup>2</sup>.

Temeljem postojećeg cjenika za centralizirani toplinski sustav i podatka o specifičnoj priključnoj snazi izvedene su formule (12) i (13) za izračun iznosa mjesečnog računa za Veliku Goricu koristeći neto površinu građevine i godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje.

$$Prihod_{kućanstva,mj} = A_{neto} \cdot 2,039 + A_{neto} \cdot \frac{Q'_{H,nd}}{12} \cdot 0,3 + 7,02 \quad [\text{HRK}] \quad (12)$$

$$Prihod_{industrija\ i\ poslovni,mj} = A_{neto} \cdot 7,295 + A_{neto} \cdot \frac{Q'_{H,nd}}{12} \cdot 0,34 + 7,02 \quad [\text{HRK}] \quad (13)$$

Sukladno izvedenim formulama, zaključeno je da za istu neto površinu i istu godišnju potrebnu toplinsku energiju industrija i poslovni potrošači Velike Gorice plaćaju viši račun u odnosu na kućanstva. Konačno, prihodi od kućanstva i industrije i poslovnih korisnika množeni su s brojem mjeseci u godini u svrhu dobivanja ukupnih prihoda od prodaje toplinske energije na godišnjoj razini.

### 6.1.2. Duljina vrelovoda po metru kvadratnom tla

Procijenjena vrijednost duljine vrelovoda po metru kvadratnom tla ( $L_{vrelovod}$ , m/m<sup>2</sup>) dobivena je umnoškom omjera ukupne duljine postavljenog vrelovoda i neto površine prostora grijanog vrelovodom ( $\frac{L_{vrelovod, uk}}{A_{neto, vrelovod}}$ , m/m<sup>2</sup>) na temelju podataka za Veliku Goricu i omjera neto površine građevina promatranog područja i površine tla promatranog područja ( $\frac{A_{neto, uk}}{A_{tlo, uk}}$ , m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) korištenjem QGIS aplikacije [Tablica 7].

**Tablica 7 Duljina vrelovoda po metru kvadratnom tla u Velikoj Gorici**

	Iznos	Mjerna jedinica
$L_{vrelovod, uk}$ [23]	9821	m
$A_{neto, vrelovod}$ [23]	306606,32	m <sup>2</sup>

$\frac{L_{vrelvod, uk}}{A_{neto, vrelvod}}$	0,032	m/m <sup>2</sup>
$\frac{A_{neto, uk}}{A_{tlo, uk}}$	0,50	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
$L_{vrelvod}$	0,16	m/m <sup>2</sup>

U Velikoj Gorici postoji 9821 m vrelovoda koji korisnicima isporučuje toplinsku energiju za grijanje 3006606,32 m<sup>2</sup>. Procijenjena duljina vrelovoda postavljena na metar kvadratni tla iznosi 0,16 m/m<sup>2</sup>.

### 6.1.3. Nivelirani trošak proizvodnje toplinske energije (LCOH)

Podatak o niveliranom trošku proizvodnje toplinske energije bitan je parametar pri računanju isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava i idealan je za usporedbu različitih tehnologija. Njegova vrijednost predstavlja prosječnu vrijednost troška proizvodnje toplinske energije svedenu na životni vijek postrojenja, a računa se prema formuli (6). Što je *LCOH* veći, za istu neto površinu i potražnju toplinske energije isplativost širenja je manja i obrnuto. U nastavku je *LCOH* izračunat za postojeće stanje građevina, tj. bez energetske obnove i za pod-scenarije energetske obnove.

#### 6.1.3.1. Bez energetske obnove

Trošak proizvodnje topline iz kotla na biomasu izračunat na temelju sljedećih ulaznih podataka [Tablica 8]:

**Tablica 8 Podaci za izračun *LCOH* kotla na biomasu**

Ulazni podaci	Iznos	Mjerna jedinica
Specifična investicija, $I_{spec}$ [57]	0,3	· 10 <sup>6</sup> €/MW
Specifični troškovi upravljanja i održavanja, $O\&M_{spec}$ [57]	2% investicije	
Specifični trošak goriva, $G_{spec}$ [56]	12,5	€/MWh
Stupanj korisnosti kotla, $\eta$ [29]	85	%
Životni vijek, $n$ [57]	25	god

Radni sati godišnje, iskustveno	3000	h
Diskontna stopa, $r$ [58]	5	%
Tečaj eura [59]	7,5	HRK/€

Za postojeće ulazne podatke iznos  $LCOH$  za kotao na biomasu iznosi 0,1760 HRK/kWh.

Za kotao na prirodni plin provedena su dva proračuna  $LCOH$ : jedan sa starom specifičnom cijenom goriva od 169,7 HRK/MWh, a drugi s novom cijenom od 136,9 HRK/MWh. Unazad godinu dana cijena plina je pala za 20%. Kao takva, ona dugoročno neće biti održiva, te će u nekom trenutku ponovo doći do poskupljenja. Izračun  $LCOH$  sa starom cijenom proveden je kako bi razlike bile vidljive, a rezultati mjerodavniji prilikom usporedbe analiziranih slučajeva. Trošak proizvodnje topline iz kotla na prirodni plin izračunat na temelju sljedećih ulaznih podataka [Tablica 9]:

**Tablica 9 Podaci za izračun  $LCOH$  kotla na prirodni plin**

Ulazni podaci	Iznos	Mjerna jedinica
Specifična investicija, $I_{spec}$ . [57]	0,12	$\cdot 10^6$ €/MW
Specifični troškovi upravljanja i održavanja, $O\&M_{spec}$ . [57]	3% investicije	
Specifični trošak goriva, $G_{spec}$ .		
– nova cijena [60]	136,9	HRK/MWh
– stara cijena [61]	169,7	HRK/MWh
Stupanj korisnosti kotla, $\eta$ [29]	88	%
Životni vijek, $n$ [57]	25	god
Radni sati godišnje, iskustveno	3000	h
Diskontna stopa, $r$ [58]	5	%
Tečaj eura [59]	7,5	HRK/€

Za postojeće ulazne podatke iznos  $LCOH$  kotla na prirodni plin sa starom specifičnom cijenom goriva iznosi 0,2221 HRK/kWh, dok s novom cijenom on iznosi 0,1848 HRK/kWh.

## 6.1.3.2. Energetska obnova

U okviru energetske obnove poduzete su mjere smanjenja godišnje potrebne toplinske energije za grijanje u skladu s Tehničkim pravilnikom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Ovim se propisom posebno utvrđuju vrijednosti  $Q'_{H,nd}$  za rekonstrukciju postojeće zgrade grijane i/ili hladene na temperaturu 18 °C ili više. [43] Uzeta vrijednost za rekonstrukciju građevine stambene ili mješovite namjene iznosi 70 kWh/m<sup>2</sup>, a za građevine ostalih namjena 50 kWh/m<sup>2</sup>.

Smanjenje godišnje potrebne toplinske energije za grijanje dovodi do smanjenja potražnje za toplinskom energijom, stoga prihodi od prodaje toplinske energije, za istu neto površinu građevine, opadaju sukladno razmjeru energetske obnove.

Zbog smanjene potražnje za toplinskom energijom, predviđeni toplinski izvori su predimenzionirani. Radi prilagodbe smanjenoj potrošnji izvršena je korekcija *LCOH* smanjenjem specifične investicije od 50% za scenarije 1b, 1c, 2b, 2c, 3b i 3c.

Tablica 10 prikazuje vrijednosti *LCOH* za izgradnju novih toplinskih izvora.

**Tablica 10 *LCOH* – Energetska obnova – izgradnja toplinskih izvora**

SCENARIJI	IZVOR	<i>LCOH</i> , HRK/kWh
1b, 1c	Kotao na biomasu	0,1431
2b, 2c	Kotao na plin – Nova cijena	0,1702
3b i 3c	Kotao na plin – Stara cijena	0,2074

## 6.2. Spajanje mreže centraliziranog toplinskog sustava Velike Gorice i Grada Zagreba

Kao četvrti scenarij analizira se spajanje mreže centraliziranog toplinskog sustava Velike Gorice i Grada Zagreba spojnou vezom, s ciljem poticanja objedinjavanja i centralizacije individualnih sustava grijanja bez izgradnje novog izvora toplinske energije. Ovo je bitna ekološka prednost, jer se štetne emisije iz izvora odmiču od korisnika. U daljnjem tekstu dan je pregled toplinskih sustava Grada Zagreba te su objašnjeni način odabira toplinskog izvora i prednosti spojne veze.

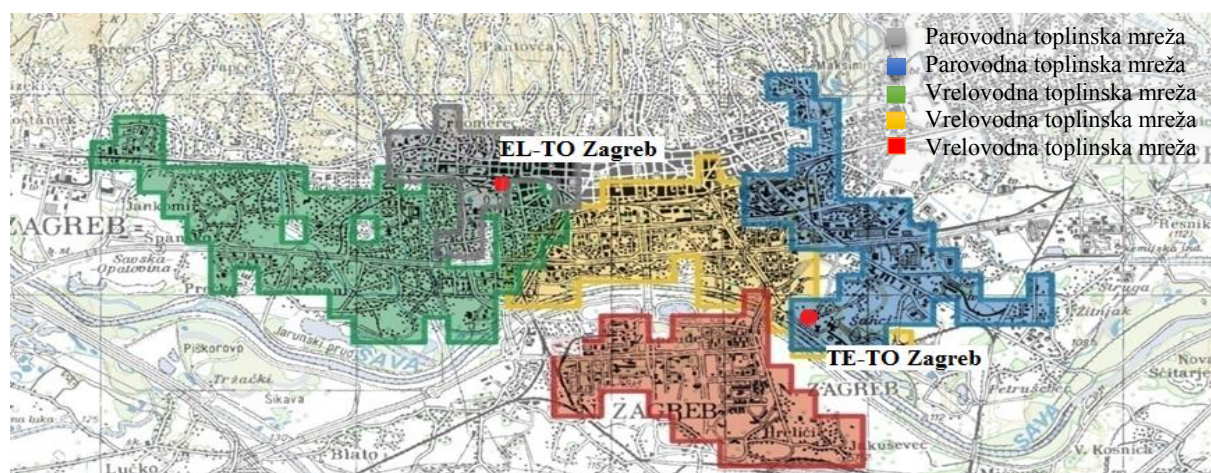


### 6.2.1. Toplinski sustav Grada Zagreba

Teritorij Grada Zagreba opskrbljuje najveći toplinski sustav u Hrvatskoj kojeg čine tri centralizirana toplinska sustava, 14 zatvorenih toplinskih sustava i 14 samostalnih toplinskih sustava. Na području Grada Zagreba, jedina tvrtka koja obavlja djelatnost proizvodnje, distribucije i opskrbe toplinske energije kućanstvima i industrijskim subjektima je HEP-Toplinarstvo.

Dva centralizirana toplinska sustava se toplinskom energijom snabdijevaju iz kogeneracijskih postrojenja: Elektrana – Toplana Zagreb (EL-TO) i Termoelektrana – Toplana Zagreb (TE-TO). Postrojenja služe za proizvodnju električne energije, toplinske energije za grijanje prostora i grijanje sanitarne vode te tehnološke pare za industrijske potrošače. Putem distribucijske vrelovodne/parovodne mreže toplinska energija iz izvora dobavlja se krajnjim kupcima.

Slika 20 prikazuje područje djelovanja kogeneracijskih postrojenja u Gradu Zagrebu. Područja označena plavom bojom i sivom bojom su područja parovodne mreže dok ona označena crvenom, žutom i zelenom bojom su područja vrelovodne mreže. [27]

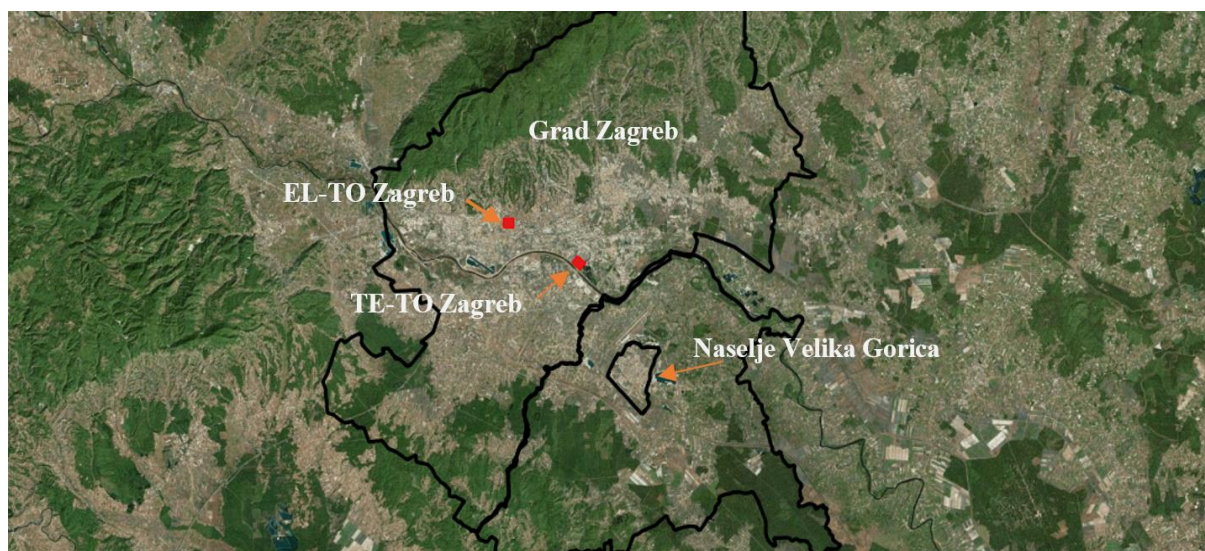


Slika 20 Centralizirani toplinski sustav Grada Zagreba [27]

### 6.2.2. Spojna veza

Kao moguće rješenje povezivanja centraliziranih toplinskih sustava Grada Zagreba i Velike Gorice razmotrena je spojna veza između jednog od izvora toplinske energije unutar Grada Zagreba do naselja Velika Gorica. Geografski, Velika Gorica je smještena jugoistočno od Zagreba, što prikazuje Slika 21. Iz tog razloga, TE-TO Zagreb razmatra se kao potencijalni izvor od kojeg će pretpostavljena spojna veza krenuti prema Velikoj Gorici. Osim geografske lokacije, velika prednost TE-TO Zagreb je u akumulatoru topline učina 150 MW / 750 MW,

koji je izgrađen i pušten u pogon 2016. godine. Uvođenjem njegove primjene, proizvodnja toplinske energije više ne ovisi o potražnji korisnika. Također, akumulatorom se omogućava bolji odnos proizvedene električne i toplinske energije, pri čemu proizvodnja električne energije ne ovisi o proizvodnji toplinske. Višak proizvedene topline moguće je pohraniti u obliku tople vode i iskoristi u periodima veće potražnje, što proizvodne blokove čini učinkovitijima i omogućuje veću fleksibilnost sustava. [62]



**Slika 21 Geografski prikaz Grada Zagreba i Naselja Velika Gorica**

Potencijalna spojna veza geografski i pravno nalazi se unutar dvije županije: Zagrebačka županija i Grad Zagreb. U grafičkim prikazima u postojećim prostornim planovima Prostorni plan uređenja Grada Zagreba („Službeni glasnik Grada Zagreba“, 3/16) i Prostorni plan uređenja Grada Velike Gorice („Službeni glasnik Grada Velike Gorice“ 3/15) nije predviđena izgradnja vrelovoda od pogona TE-TO Zagreb do naselja Velika Gorica. Stoga je potrebno pretpostaviti promjene u prostornim planovima, kako Grada Zagreba tako i Grada Velike Gorice, uzimajući u obzir postojeću namjenu zemljišta i izgrađenu infrastrukturu.

Trase vrelovoda prvenstveno su ograničene mogućnostima prelaska preko Save. U tom pogledu raspoloživi su postojeći mostovi i to Most mladosti, Željeznički most (na pruzi ranžirni kolodvor – Sesvete) te Domovinski most. Pri pronalasku optimalne trase postavljanja spojne veze potrebno je paziti na njenu duljinu, zasićenost postojećom infrastrukturom, osiguran pristup radi održavanja, namjenu zemljišta i sl. Slika 22 prikazuje odabranu trasu.





Slika 22 Spojna veza TE-TO Zagreb – Velika Gorica

Zbog jednostavnosti izvođenja iskopskih radova i s ciljem pronalaska optimalnog rješenja odabrana je ruta spojne veze koja kreće od TE-TO Zagreb na istok uz sjevernu obalu Save do Željezničkog mosta gdje prelazi preko Save i kreće prema jugu paralelno sa željezničkom prugom. Trasa nastavlja do autoputa gdje se lomi i kreće prema istoku slijedeći liniju autoputa. Kod raskršća kreće sjeveroistočno uz prometnicu, nakon čega skreće prema naselju Cibljanića. Duljina spojne veze iznosi 10325 m.

Analiza isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava u Velikoj Gorici u slučaju izgradnje spojne veze računata je samo za postojeće stanje, tj. bez energetske obnove građevina i podliježe nekim promjenama u odnosu na analizu uz izgradnju novih toplinskih izvora, izuzev duljine vrelovoda po metru kvadratnom tla koja je neovisna o tipu zahvata i iznosi  $0,16 \text{ m}^2$ .

### 6.2.3. Prihod od prodaje toplinske energije

Visina mjesečne rate u Velikoj Gorici, u slučaju priključenja na TE-TO Zagreb više nije regulirana cjenikom koju plaćaju kupci toplinske energije priključeni na centralizirani toplinski sustav u Velikoj Gorici, već je regulirana cjenikom HEP Toplinarstva za Grad Zagreb, kojeg prikazuje Tablica 11.

**Tablica 11 Cjenik HEP Toplinarstva – Grad Zagreb [65]**

Naziv djelatnosti	Naziv tarifne stavke i naknade	Iznosi naknada i tarifnih stavki		
		KUĆANSTVA	INDUSTRIJA I POSLOVNI POTROŠAČI	Mjerna jedinica
Proizvodnja toplinske energije	Tarifna stavka Energija	0,1525	0,3050	HRK/kWh
Distribucija toplinske		0,0175	0,0350	HRK/kWh
Proizvodnja toplinske energije	Tarifna stavka Snaga	2,3	5,86	HRK/kW/mj.
Distribucija toplinske		3,45	6,17	HRK/kW/mj.
Opskrba toplinskom energijom	Naknada za djelatnost opskrbe toplinskom energijom	7,02	7,02	HRK/mj.
Kupac toplinske energije	Naknada za djelatnost kupca	0,5	0,5	HRK/m <sup>2</sup> /mj.

Temeljem postojećeg cjenika centraliziranog toplinskog sustava za Grad Zagreb i podatka o specifičnoj priključnoj snazi u Velikoj Gorici (kućanstva  $0,138 \text{ kW/m}^2$ , industrija i poslovni potrošači  $0,535 \text{ kW/m}^2$ ) izvedene su formule (14) i (15). One na temelju korisne neto površine građevine i godišnje potrebne toplinske energije za grijanje računaju iznos mjesečnog računa za Veliku Goricu.

$$Prihod_{kućanstva,mj} = A_{neto} \cdot 1,294 + A_{neto} \cdot \frac{Q'_{H,nd}}{12} \cdot 0,17 + 7,02 \text{ [HRK]} \quad (14)$$

$$Prihod_{industrija i poslovni,mj} = A_{neto} \cdot 6,936 + A_{neto} \cdot \frac{Q'_{H,nd}}{12} \cdot 0,34 + 7,02 \text{ [HRK]} \quad (15)$$

Kao i u slučaju Velike Gorice, sukladno izvedenim formulama, zaključeno je da za istu korisnu neto površinu i istu mjesečnu potrebnu toplinsku energiju industrija i poslovni potrošači plaćaju viši račun u odnosu na kućanstva. Za dobivanje ukupnog prihoda od prodaje toplinske energije na godišnjoj razini, prihodi su pomnoženi s brojem mjeseci u godini.

Ako se usporede formule (12) i (14) te (13) i (15) zaključeno je da je prihod od prodaje toplinske energije manji u slučaju izgradnje spojne veze za iste  $A_{neto}$  i  $Q'_{H,nd}$ .

#### 6.2.4. Nivelirani trošak proizvodnje toplinske energije (LCOH)

Za izračun LCOH slučaja spojne veze primijenjen je iterativni pristup. U prvom koraku iteracije, za proračun isplativosti proširenja centraliziranog toplinskog sustava u Velikoj Gorici, korišten je podatak o specifičnom trošku proizvodnje toplinske energije iz TE-TO Zagreb ( $T_{TE-TO}, \frac{\text{HRK}}{\text{kWh}}$ ). On je jednak omjeru troška proizvodnje i proizvedene toplinske energije ( $Q_{uk,proizvedeno}$ ). Trošak proizvodnje izračunat je kao prihod od prodaje toplinske energije (Prihod) umanjen za 15% što predstavlja maržu HEP Toplinarstva. Prihod je izračunat formulama (1), (14) i (15) koristeći neto grijanu površinu i pripadajuću isporučenu toplinsku energiju korisnika [Tablica 12].

$$T_{TE-TO} = \frac{Prihod \cdot 0,85}{Q_{uk,proizvedeno}} \left[ \frac{\text{HRK}}{\text{kWh}} \right] \quad (15)$$

Tablica 12 Podaci za izračun  $T_{TE-TO}$

	KUĆANSTVO	INDUSTRIJA I POSLOVNI POTROŠAČI
$A_{neto}, \text{m}^2$ [23]	4823048,85	511846,89
$Q_{uk}, \text{kWh}$ [23]	893989660	411653254
Prihod, HRK	226812752,4	182564231
$Q_{uk,proizvedeno}, \text{kWh}$ [23]	1672267314	

Na temelju podatka o  $T_{TE-TO}$  koji iznosi 0,2080 HRK/kWh analizirana je isplativost širenja centraliziranog toplinskog sustava spajanjem mreže Velike Gorice i Grada Zagreba izgradnjom spojne veze pomoću QGIS-a.

U ovome koraku određena je zahvaćenost područja isplativosti, tj. priključna snaga potrošača koja iznosi 71,5 MW. Dijeljenjem ukupne investicije s priključnom snagom potrošača dobivena je specifična investicija izgradnje spojne veze.

Za izračun niveliranog troška proizvodnje toplinske energije  $LCOH$  korištena je formula (6) u kojoj je trošak goriva dobiven množenjem specifičnog troška proizvodnje toplinske energije,  $T_{TE-TO}$  i potražnje za toplinskom energijom,  $Q_i$ , koja u kontekstu formule (6) odgovara ukupnoj proizvedenoj toplini u i-toj godini. Tablica 13 prikazuje podatke za izračun  $LCOH$  spojne veze.

**Tablica 13 Podaci za izračun  $LCOH$  spojne veze**

Ulazni podaci	Iznos	Mjerna jedinica
Specifična investicija, $I_i$	0,1	$10^6 \cdot \text{€}/\text{MW}$
Specifični troškovi upravljanja i održavanja, $O\&M_i$	1% investicije	
Specifični trošak proizvodnje toplinske energije, $T_{TE-TO}$	0,2080	HRK/kWh
Potražnja za toplinskom energijom, $Q_i$	98345,956	MWh
Životni vijek, $n$	25	god
Diskontna stopa, $r$ [58]	5	%
Tečaj eura [59]	7,5	HRK/€

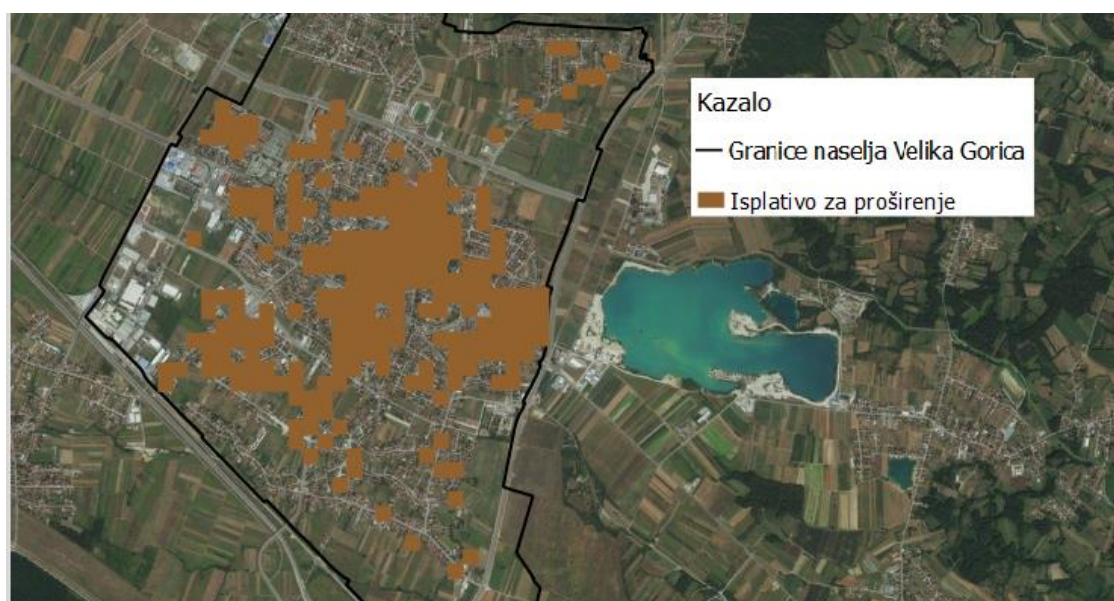
Na temelju navedenih podataka izračunat je  $LCOH$  koji iznosi 0,2483 HRK/kWh. Nakon ponovo provedene analize isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava s novim  $LCOH$ , zahvaćeno je isto područje. Ovime je iterativni postupak okončan i usvojena je vrijednost od 0,2483 HRK/kWh.



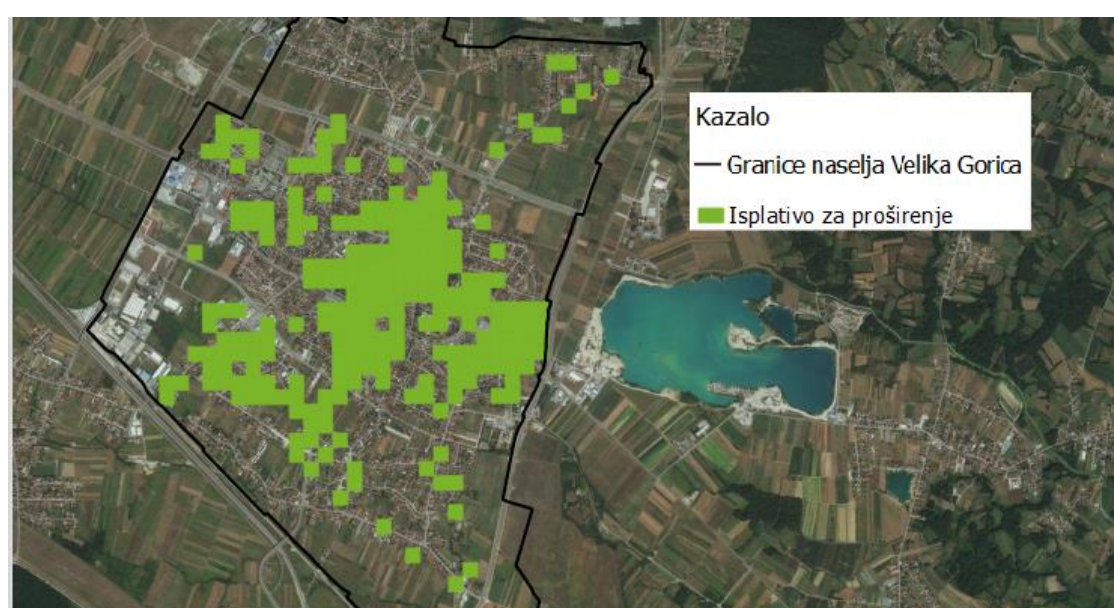
## 7. REZULTATI SCENARIJSKE ANALIZE

Rezultati scenarijske analize izrađeni su primjenom QGIS alata pomoću vektorske mreže u rezoluciji  $100 \times 100$  m.

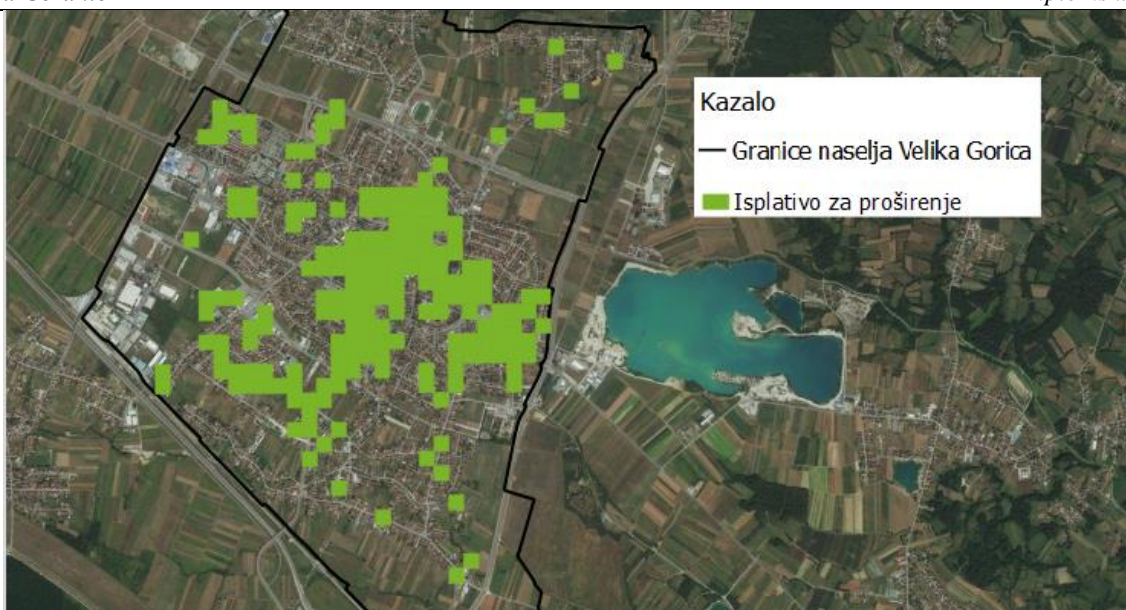
Slika 23, Slika 24, Slika 25 i Slika 26 redom prikazuju rezultate scenarija 1., 2., 3. i 4. Radi se o scenarijima bez energetske obnove: izgradnja kotlova na biomasu i prirodni plin s novom i starom cijenom goriva, te spajanje mreže centraliziranog toplinskog sustava Velike Gorice i Grada Zagreba izgradnjom spojne veze.



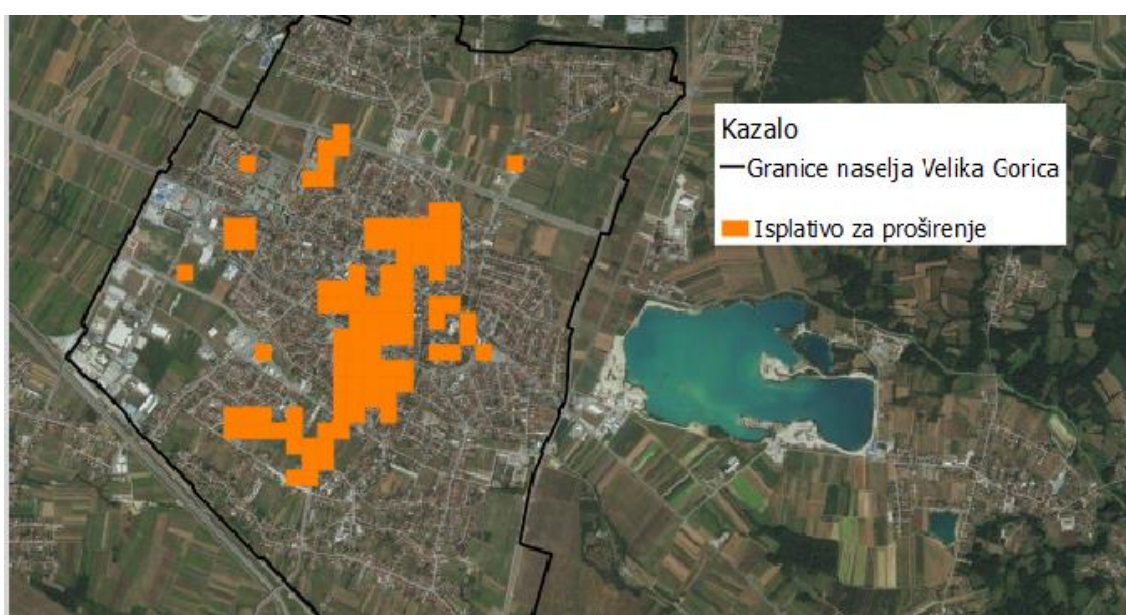
Slika 23 Scenarij 1. – Kotao na biomasu



Slika 24 Scenarij 2. – Kotao na prirodni plin (nova cijena goriva)



Slika 25 Scenarij 3. – Kotao na prirodni plin (stara cijena goriva)

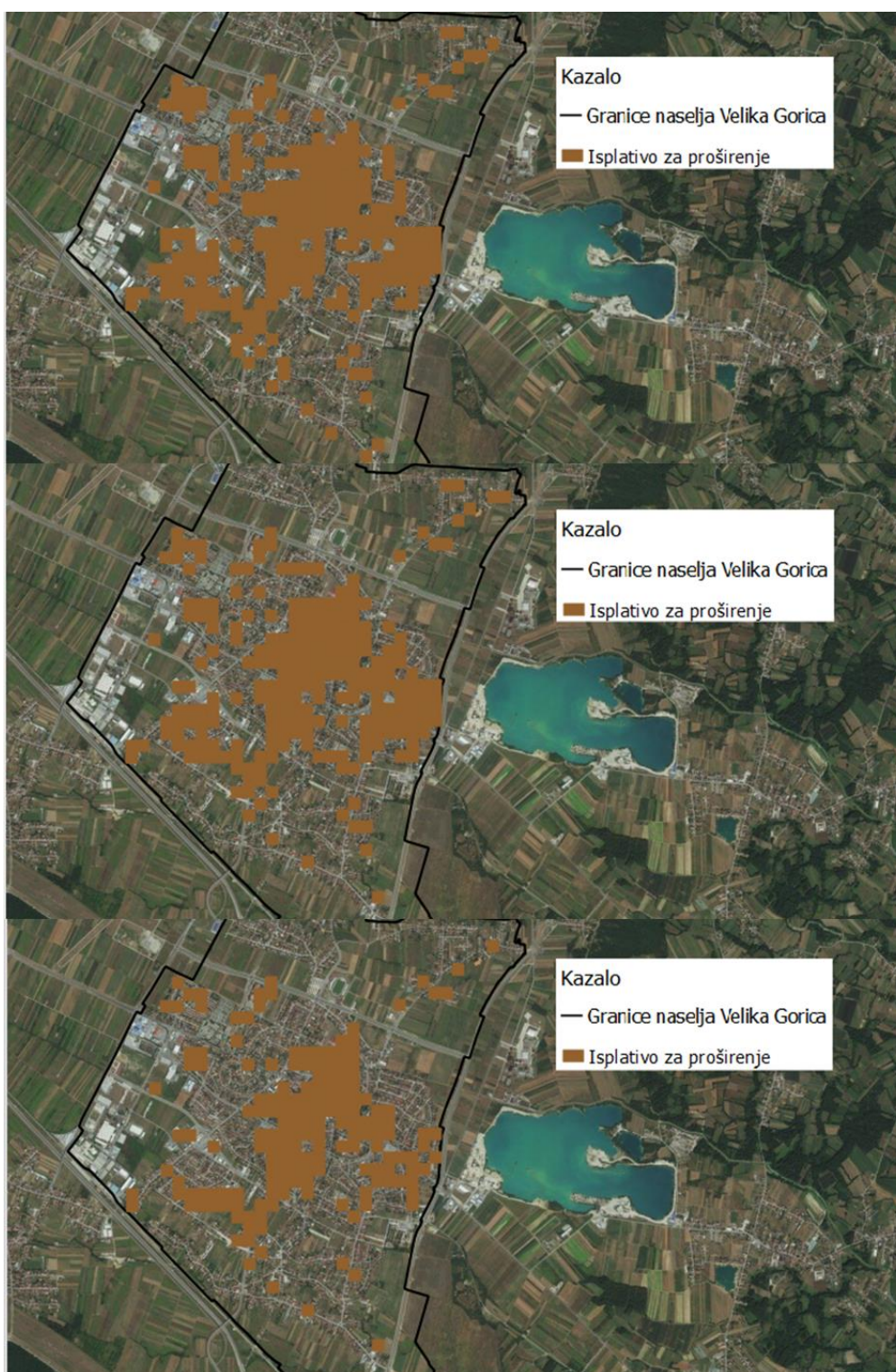


Slika 26 Scenarij 4. – Spojna veza

Najveći porast ekonomski isplativog područja širenja u odnosu na postojeće stanje pokrivenosti vrelovoda pokazao je kotao na biomasu, slijede ga kotlovi na plin s novom i starom cijenom goriva, te izgradnja spojne veze.



Slika 27 prikazuje redom scenarijske analize 1a, 1b i 1c. Radi se o scenariju implementacije kotla na biomasu u tri pod-scenarija energetske obnove.



Slika 27 Scenariji 1a, 1b, 1c - Kotao na biomasu



Slika 28 prikazuje redom scenarijske analize 2a, 2b i 2c. Radi se o scenariju implementacije kotla na prirodni plin s novom cijenom goriva u tri pod-scenarija energetske obnove.



Slika 28 Scenariji 2a, 2b, 2c – Kotao na prirodni plin (nova cijena goriva)



Slika 29 prikazuje redom scenarijske analize 3a, 3b i 3c. Radi se o scenariju implementacije kotla na prirodni plin sa starom cijenom goriva u tri pod-scenarija energetske obnove.



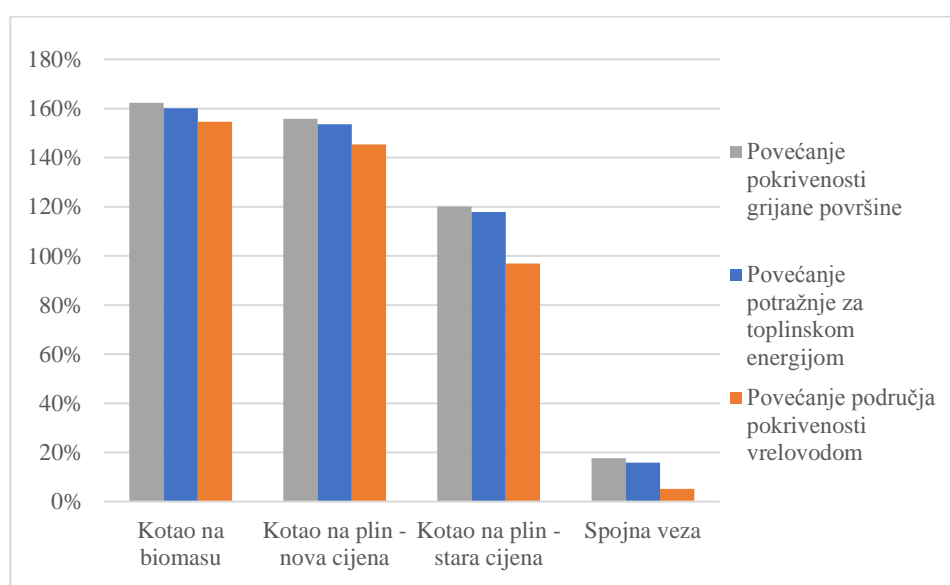
Slika 29 Scenariji 3a, 3b, 3c – Kotao na prirodni plin (stara cijena goriva)

## 7.1. Analiza rezultata

Na temelju dobivenih grafičkih prikaza svih scenarija isplativosti izgradnje novih toplinskih izvora i scenarija spojne veze, analizirano je povećanje pokrivenosti grijane površine, porast potražnje za toplinskom energijom, te porast ekonomski isplativog područja pokrivenosti vrelovodom u odnosu na postojeće stanje pokrivenosti. Također, za tri scenarija izgradnje novih toplinskih izvora bez energetske obnove građevina provedena je analiza osjetljivosti potražnje za toplinskom energijom.

### 7.1.1. Bez energetske obnove

Slika 30 prikazuje ekonomske pokazatelje isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava u Velikoj Gorici za scenarije 1, 2, 3 i 4 - bez energetske obnove (povećanje pokrivenosti grijane površine, potražnje za toplinskom energijom i područja pokrivenosti vrelovodom) u odnosu na područje Velike Gorice spojeno na postojeći vrelovod.



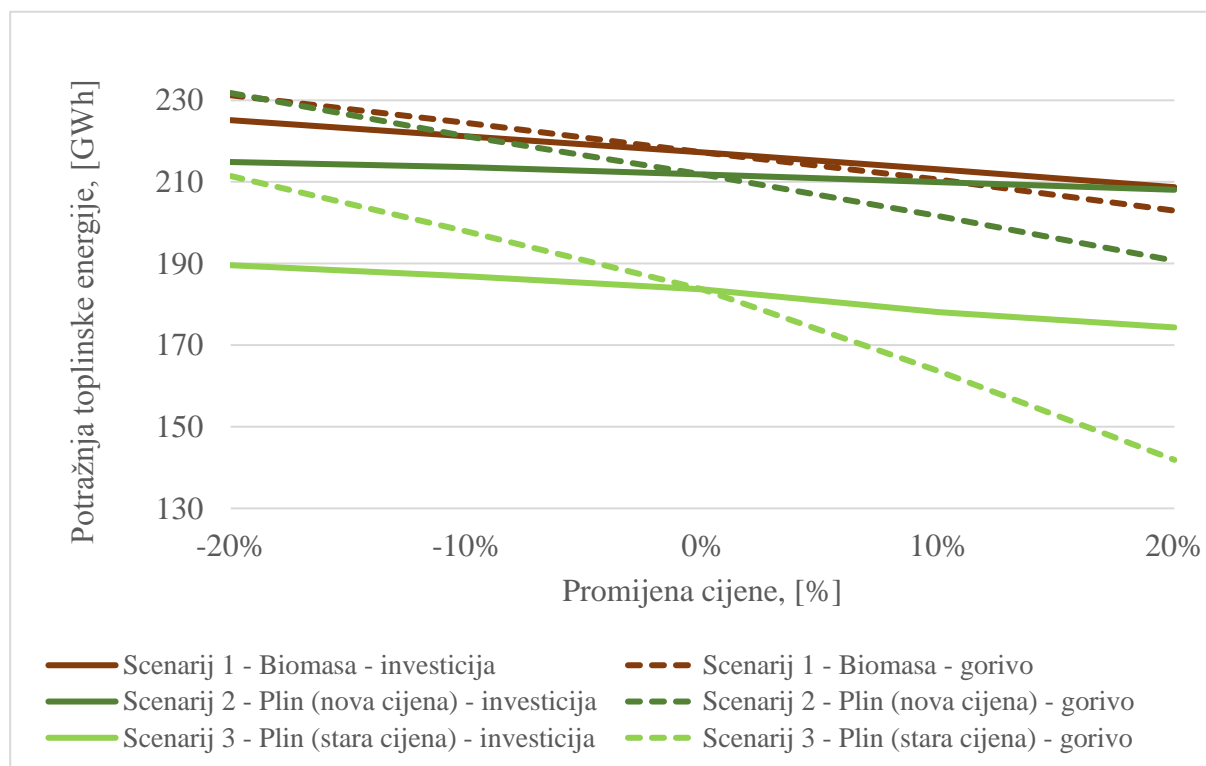
**Slika 30** Ekonomski pokazatelji isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava – postojeće stanje

U sva tri slučaja kotao na biomasu je pokazao najbolje rezultate ostvareno je povećanje grijane površine od 162%, potražnje za toplinskom energijom od 160% i područja pokrivenosti vrelovodom od 155%. u odnosu na trenutačnu pokrivenost vrelovodom. Njega slijede kotao na prirodni plin s novom cijenom goriva i kotao na prirodni plin sa starom cijenom, te izgradnja spojne veze s TE-TO Zagreb.

Poticanje objedinjavanja i centralizacije individualnih sustava grijanja spojnom vezom bez izgradnje novog izvora toplinske energije pokazalo je lošije ekonomske pokazatelje u odnosu na druga 3 scenarija. Jedan od razloga takvog rezultata jesu prihodi od prodaje toplinske energije korisnicima. Onog trenutka kada bi se izgradila spojna veza od TE-TO Zagreb, iznosi mjesečnih računa obračunavali bi se po cijenama za CTS Zagreb, stoga bi prihod od prodane toplinske energije bio niži u odnosu na postojeći cjenik za Veliku Goricu. Također nepovoljnoj poziciji spojne veze pridonosi i fiksna investicija izgradnje 10325 m novog vrelovoda koja je neovisna o broju priključenih korisnika. Za postizanje boljih rezultata spojne veze potrebno je korigirati cijene prodane toplinske energije jer je ona preniska u odnosu na trošak njene proizvodnje.

#### 7.1.1.1. Analiza osjetljivosti

Za scenarije 1, 2 i 3 provedena je analiza osjetljivosti potražnje za toplinskom energijom u Velikoj Gorici. Analiziran je utjecaj parametara investicijskih troškova izgradnje i troškova goriva. Oba parametra su uvećana i umanjena za 20% u intervalu od 10%. Slika 31 prikazuje analizu osjetljivosti.

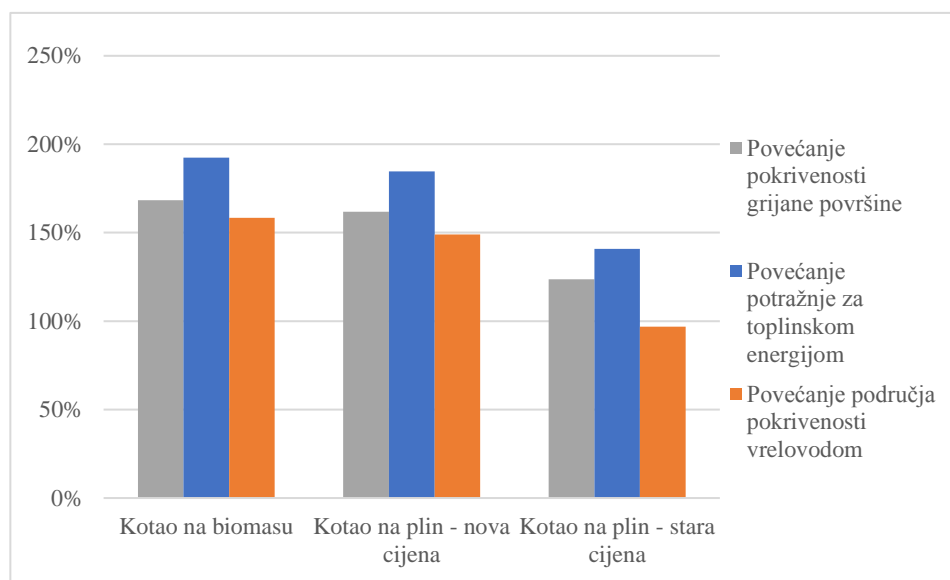


Slika 31 Analiza osjetljivosti za kotlove na prirodni plin i za kotao na biomasu

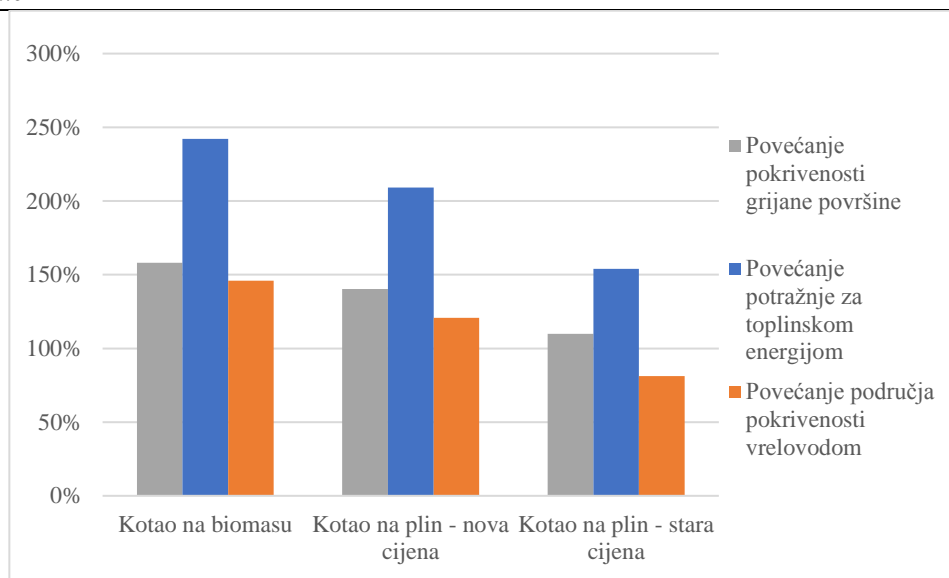
Iz grafičkog prikaza je vidljivo da veći utjecaj u promijeni isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava ima cijena goriva u odnosu na investiciju. Na temelju njega proizlazi i opravdanost provođenja analize za staru i novu cijenu goriva. Uz novu, manju cijenu goriva isplativost širenja je veća.

### 7.1.2. Energetska obnova

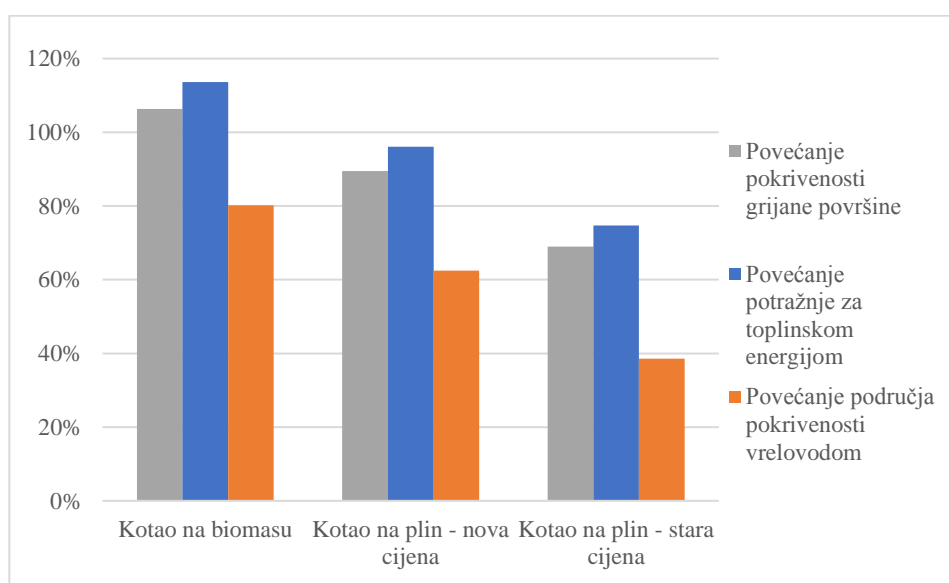
Slika 32, Slika 33 i Slika 34 prikazuju ekonomske pokazatelje isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava u Velikoj Gorici za scenarije 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c, 3a, 3b, 3c. Prikazano je povećanje pokrivenosti grijane površine, potražnje za toplinskom energijom i područja pokrivenosti vrelovodom u odnosu na područje Velike Gorice spojeno na postojeći vrelovod.



**Slika 32** Ekonomski pokazatelji isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava – Scenariji 1a, 2a, 3a



**Slika 33** Ekonomski pokazatelji isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava – Scenariji 1b, 2b, 3b



**Slika 34** Ekonomski pokazatelji isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava – Scenariji 1c, 2c, 3c

Jednaki trend povećanja kao u slučaju postojećeg stanja dobiven je i pri implementaciji scenarija energetske obnove. Kotao na biomasu pokazao je najveće povećanje pokrivenosti grijane površine od 168% i područja pokrivenosti vrelovodom 158% u pod-scenariju *a*, te potražnje za toplinskom energijom u pod-scenariju *b* od 242%. Prate ga kotao na plin s novom cijenom, zatim kotao na plin sa starom cijenom.

## 7.2. Analiza utjecaja širenja centraliziranog toplinskog sustava u Velikoj Gorici

Utjecaj širenja centraliziranog toplinskog sustava je analiziran kroz uštede emisija CO<sub>2</sub>. To je izvršeno na način da se emisije CO<sub>2</sub> scenarijskih analiza usporede s referentnim stanjem u Velikoj Gorici.

Referentno stanje udjela energenata u pojedinačnim sustavima grijanja moguće je saznati iz SEAP-a Velike Gorice. [55] Podatak o udjelu energenta ( $x_i$ ) služi za određivanje ukupnog faktora emisija CO<sub>2</sub> ( $e_{CO_2,uk}$ ). Tablica 14 prikazuje udjele energenata kod sustava pojedinačnog grijanja te pripadajuće faktore primarne energije.

**Tablica 14 Udio energenata korištenih kod sustava pojedinačnog grijanja te pripadni faktori primarne energije [66]**

ENERGENT ZA GRIJANJE	$x_i$ , %	$e_{CO_2,i}$ , kgCO <sub>2</sub> /MWh	$x_i \cdot e_{CO_2,i}$ , kgCO <sub>2</sub> /MWh
Prirodni plin	44,96	220,2	98,99
Lož ulje	20,69	310,31	64,19
Ogrjevno drvo	31,85	29,09	9,26
Električna energija	2,51	234,81	5,88

Ukupni faktor uštede emisija CO<sub>2</sub> za referentno stanje izračunat je pomoću formule (8) i iznosi 178,34 kgCO<sub>2</sub>/MWh. Tablica 15 i Tablica 16 prikazuju faktore emisije CO<sub>2</sub> za kotlove na biomasu i prirodni plin s novom i starom cijenom goriva, te za slučaj spojne veze. Također, uneseni su i podaci o povećanju potražnje toplinske energije za svaki analizirani slučaj. Na temelju razlike faktora emisija i povećanja potražnje za toplinskom energijom, u odnosu na referentno stanje, izračunate su uštede emisija CO<sub>2</sub>.

Za izračun faktora emisije CO<sub>2</sub> za slučaj TE-TO Zagreb, korištena je formula (9), a dodatni potrebni podaci, iskoristivost kogeneracije ( $\eta$ ) i omjer proizvedene električne i toplinske energije ( $\varepsilon_{el}$ ) su uzeti iz dokumenta Program korištenja potencijala za učinkovitost u grijanju i hlađenju za razdoblje 2016. – 2030. [23]



Tablica 15 Uštede emisija CO<sub>2</sub> za slučaj postojećeg stanja, bez energetske obnove

TOPLINSKI IZVOR	$e_{CO_2,i}, \frac{kg_{CO_2}}{MWh}$	$e_{CO_2,uk} - e_{CO_2,i}, \frac{kg_{CO_2}}{MWh}$	POSTOJEĆE STANJE	
			$\Delta Q_{uk,i}, MWh$	$E_{CO_2,i}, kg_{CO_2}$
Kotao na prirodni plin - stara cijena	220,2	-41,86	128286,78	-5369705,03
Kotao na prirodni plin - nova cijena	220,2	-41,86	98150,61	-4108294,06
Kotao na biomasu	42,35	135,99	133741,60	18187915,99
TE-TO Zagreb	289,19	-110,85	13286,65	-1472789,41

Tablica 16 Uštede emisija CO<sub>2</sub> za slučaj energetske obnove

TOPLINSKI IZVOR	ENERGETSKA OBNOVA					
	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3
	$\Delta Q_{uk,i}, MWh$	$\Delta Q_{uk,i}, MWh$	$\Delta Q_{uk,i}, MWh$	$E_{CO_2,i}, kg_{CO_2}$	$E_{CO_2,i}, kg_{CO_2}$	$E_{CO_2,i}, kg_{CO_2}$
Kotao na prirodni plin - stara cijena	124674,01	71359,84	25885,97	-5218485,10	-2986911,73	-1083510,01
Kotao na prirodni plin - nova cijena	93611,18	52366,79	19815,70	-3918286,92	-2191919,01	-829426,42
Kotao na biomasu	130128,83	82679,52	30881,77	17696604,25	11243831,95	4199703,52

Na temelju podataka iz tablice 15 i 16 može se zaključiti da jedini pozitivni učinak u pogledu smanjenja emisija CO<sub>2</sub> u Velikoj Gorici u odnosu na postojeće ima implementacija kotla na biomasu i to za postojeće stanje bez energetske obnove i za 3 pod-scenarija energetske obnove. Razlog ovakvim rezultatima je udio ogrjevnog drveta u pojedinačnim sustavima grijanja koji iznosi 31,85% te značajno utječe na smanjenje ukupnog faktora emisija CO<sub>2</sub> ( $e_{CO_2,uk}$ ). U odnosu na njega, faktor emisija CO<sub>2</sub> ( $e_{CO_2,i}$ ) kotla na prirodni plin i kogeneracije TE-TO Zagreb ostvaruju veće emisije CO<sub>2</sub> ( $E_{CO_2,i}$ ). Također, prema dokumentu s faktorima emisija CO<sub>2</sub> za Hrvatsku [66] ekstra lako loživo ulje s 299,57 kg<sub>CO<sub>2</sub></sub>/MWh i prirodni plin s 220,20 kg<sub>CO<sub>2</sub></sub>/MWh predstavljaju povoljnije rješenje od kogeneracije, čiji je državni prosjek 394,46 kg<sub>CO<sub>2</sub></sub>/MWh. Ovakvi podaci, na državnoj razini, proizvodnju topline u kogeneraciji ne stavljaju u konkurentni položaj po pitanju ušteda emisija CO<sub>2</sub>.

## 8. ZAKLJUČAK

Sigurna i učinkovita opskrba energijom od bitnog je značaja u kreiranju energetske politike. Poticanjem objedinjavanja i centralizacije individualnih sustava grijanja moguće je postići povećanje energetske učinkovitosti i sigurnosti opskrbe, povećanje kakvoće zraka te uštede primarne energije. Trenutno stanje u sektoru toplinarstva Republike Hrvatske zahtjeva intervencije u pogledu tehnološkog osuvremenjivanja i poticanja razvoja u skladu s regulatornim okvirom, postojećim strategijama i preporukama krovnih institucija s pogledom u budućnost. Centralizirani toplinski sustavi, visokoučinkovite kogeneracije i primjena obnovljivih izvora energije uvelike doprinose željenim ciljevima, ali visoki kapitalni troškovi obnove i širenja zahtijevaju identificiranje potencijalnih područja zahvata i provođenje analiza njihove isplativosti.

U okviru ovoga rada izvršeno je mapiranje potreba za grijanjem i analiza isplativosti širenja centraliziranih toplinskih sustava na primjeru naselja Velika Gorica primjenom QGIS alata koji omogućuje obradu i vizualizaciju georeferenciranih podataka. Njihovim prikupljanjem i obradom kreirana je karta potražnje za toplinskom energijom koja je služila kao podloga daljnjim proračunima. Razina isplativosti širenja centraliziranog toplinskog sustava provedena je kroz analizu prihoda od mjesečnih računa i rashoda od troška proizvodnje toplinske energije i postavljanja vrelovodne mreže i to za 4 scenarija: izgradnja kotla na biomasu, kotlova na prirodni plin sa starom i s novom cijenom goriva te spajanje toplinske mreže Velike Gorice spojnim vezom na TE-TO Zagreb. Analize utjecaja izgradnje kotlova na širenje provedene su i za 3 pod-scenarija energetske obnove: građevine javne namjene neto površine veće od 300 m<sup>2</sup>, građevine neto površine veće od 300 m<sup>2</sup> i sve građevine.

Dobiveni rezultati pokazali su da je kotao na biomasu najpovoljnije rješenje za širenje centraliziranog toplinskog sustava u Velikoj Gorici. Za postojeće stanje, bez energetske obnove građevina ostvareno je povećanje grijane površine od 162%, potražnje za toplinskom energijom od 160% i područja pokrivenosti vrelovodom od 155%. u odnosu na trenutačnu pokrivenost vrelovodom. Za slučaj energetske obnove pokazao je povećanje pokrivenosti grijane površine od 168% i područja pokrivenosti vrelovodom od 158% u pod-scenariju *a*, te potražnje za toplinskom energijom u pod-scenariju *b* od 242%. Slijede ga kotao na prirodni plin s novom cijenom goriva, zatim kotao na prirodni plin sa starom cijenom goriva, dok je najlošije rezultate pokazala izgradnja spojne veze s TE-TO Zagreb.

Temeljem dobivenih rezultata provedena je analiza utjecaja širenja centraliziranog toplinskog sustava kroz uštede emisija CO<sub>2</sub>. Jedini pozitivan učinak u pogledu smanjenja emisija ima implementacija kotla na biomasu. Njime bi se postigle uštede od 18187,91 t<sub>CO<sub>2</sub></sub> za postojeće stanje bez energetske obnove i redom 17696,60 t<sub>CO<sub>2</sub></sub>, 11243,83 t<sub>CO<sub>2</sub></sub>, i 4199,70 t<sub>CO<sub>2</sub></sub>, za sva tri pod-scenarija energetske obnove. Razlog ovakvom rezultatu je udio ogrjevnog drveta u pojedinačnim sustavima grijanja u Velikoj Gorici koji iznosi 31,85% te značajno utječe na smanjenje ukupnog faktora emisija CO<sub>2</sub> ( $e_{CO_2,uk}$ ). Također, prema podacima o faktorima emisija CO<sub>2</sub> na državnoj razini, korištenje ekstra lakog loživog ulja, kao i prirodnog plina predstavljaju povoljnije rješenje od kogeneracije. Ovakvi podaci, na državnoj razini, proizvodnju topline u kogeneraciji ne stavljaju u konkurentni položaj po pitanju ušteda emisija CO<sub>2</sub>.

Metoda opisana u ovome radu primjenjiva je na lokalnoj i nacionalnoj razini za identificiranje prioriteta područja, istraživanje potencijala toplinskih sustava i implementaciju učinkovitih rješenja. Zbog osiguranja sigurnosti opskrbe kao i unaprjeđenja konkurentnosti i održivosti, nužno je vršiti sustavno energetske planiranje te poticati ulaganja u tehnološko osuvremenjivanje, stoga ovakva metoda istraživanja potencijala služi kao koristan alat u ostvarenju željenih ciljeva.

---

**ZAHVALA**

Ovaj rad je izrađen uz podršku projekta RESFLEX (PKP-2016-06-3300). Projekt financira Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost uz podršku Hrvatske zaklade za znanost.

**LITERATURA**

- [1] Strategija energetskega razvoja Republike Hrvatske; NN 130/2009, Dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009\\_10\\_130\\_3192.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_10_130_3192.html) [Pristupljeno: 30. studeni 2017.]
- [2] Put prema 20-20-20 i dalje, Dostupno na: <https://www.enu.hr/ee-u-hrvatskoj/20-20-20-i-dalje/>, [Pristupljeno: 3. siječanj 2018.]
- [3] Klimatski i energetske ciljevi za 2030. u pogledu konkurentnog, sigurnog i niskougljičnoga gospodarstva EU-a, Dostupno na: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-14-54\\_hr.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-54_hr.htm), [Pristupljeno: 3. siječanj 2018.]
- [4] Prijedlog Direktive europskog parlamenta i vijeća o izmjeni Direktive 2012/27/EU o energetskej učinkovitosti, Dostupno na: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/ALL/?uri=CELEX:52016PC0761>, [Pristupljeno: 3. siječanj 2018.]
- [5] Što nam donosi Zimski paket Europske komisije, <http://www.regea.org/newsletter-objave/%C5%A1to-nam-donosi-zimski-paket-europske-komisije.html>, [Pristupljeno: 3. siječanj 2018.]
- [6] Pariški sporazum – jučer, danas, sutra, Dostupno na: <http://www.regea.org/newsletter-objave/pari%C5%A1ki-sporazum-ju%C4%8Der,-danas,-sutra.html>, [Pristupljeno: 3. siječanj 2018.]
- [7] Nacrt prijedloga Strategije niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje do 2030. godine s pogledom na 2050., Dostupno na: <https://esavjetovanja.gov.hr/Econ/MainScreen?entityId=5575>, [Pristupljeno: 3. siječanj 2018.]
- [8] Direktiva 2012/27/EU Europskog parlamenta i Vijeća. Od 25. listopada 2012. o energetskej učinkovitosti, Dostupno na: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0027> [Pristupljeno: 1. prosinac 2017.]
- [9] Direktiva 2010/31/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 19. svibnja 2010. o energetskej učinkovitosti zgrada, Dostupno na: [http://www.mgipu.hr/doc/Propisi/Direktiva\\_2010\\_31\\_19052010.pdf](http://www.mgipu.hr/doc/Propisi/Direktiva_2010_31_19052010.pdf), [Pristupljeno: 3. siječanj 2018.]
- [10] Direktiva 2009/28/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. travnja 2009. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora, Dostupno na: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0028>, [Pristupljeno: 3. siječanj 2018.]

- [11] Zakon o tržištu toplinske energije, pročišćeni tekst zakona NN 80/13, 14/14, 102/14, 95/15, Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/606/Zakon-o-tr%C5%BEi%C5%A1tu-toplinske-energije>, [Pristupljeno: 20. studeni 2017.]
- [12] Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 100/2015), Dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015\\_09\\_100\\_1937.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_09_100_1937.html), [Pristupljeno: 3. siječanj 2018.]
- [13] Zakon o energetskej učinkovitosti, Dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014\\_10\\_127\\_2399.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_10_127_2399.html), [Pristupljeno: 3. siječanj 2018.]
- [14] Zakon o tržištu električne energije (NN 22/13., 95/15.), Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/377/Zakon-o-tr%C5%BEi%C5%A1tu-elektri%C4%8Dne-energije>, [Pristupljeno: 3. siječanj 2018.]
- [15] Zakon o tržištu plina (NN 28/13., 14/14), Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/374/Zakon-o-tr%C5%BEi%C5%A1tu-plina>, [Pristupljeno: 3. siječanj 2018.]
- [16] Shema centraliziranog toplinskog sustava, Dostupno na: <https://www.flickr.com/photos/fortum-sverige/7194709008>, [Pristupljeno: 21. studeni 2017.]
- [17] 8 steps – Control of heating systems, Dostupno na: [http://heating.danfoss.com/pcmfiles/1/master/other\\_files/library/heating\\_book/chapter1.pdf](http://heating.danfoss.com/pcmfiles/1/master/other_files/library/heating_book/chapter1.pdf), [Pristupljeno: 3. siječanj 2018.]
- [18] Wiltshire, R.: Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems, Woodhead publishing series in energy, Number 87, Cambridge, UK, 2016.
- [19] Gudmundsson, O.: Distribution of district heating: 1st Generation, Dostupno na: [https://www.linkedin.com/pulse/distribution-district-heating-1st-generation-oddgeir-gudmundsson?trk=pulse\\_spoek-articles](https://www.linkedin.com/pulse/distribution-district-heating-1st-generation-oddgeir-gudmundsson?trk=pulse_spoek-articles), [Pristupljeno: 20. studeni 2017.]
- [20] Gudmundsson, O.: Distribution of district heating: 2nd Generation, Dostupno na: <https://www.linkedin.com/pulse/distribution-district-heating-2nd-generation-oddgeir-gudmundsson?trk=mp-reader-card>, [Pristupljeno: 20. studeni 2017.]
- [21] Gudmundsson, O.: Distribution of district heating: 3rd Generation, Dostupno na: <https://www.linkedin.com/pulse/distribution-district-heating-3rd-generation-oddgeir-gudmundsson?trk=mp-reader-card>, [Pristupljeno: 20. studeni 2017.]
- [22] Gudmundsson, O.: Distribution of district heating: 4th Generation, Dostupno na: <https://www.linkedin.com/pulse/distribution-district-heating-4th-generation-oddgeir-gudmundsson?trk=mp-reader-card>, [Pristupljeno: 20. studeni 2017.]

- [23] Energetski institut Hrvoje Požar, Program korištenja potencijala za učinkovitost u grijanju i hlađenju za razdoblje 2016. – 2030., Konačno izvješće, Zagreb, 2015.
- [24] Energy Distribution: District heating and cooling – DHC, Dostupno na: [https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/04/UP-RES\\_M6\\_District\\_Heating\\_and\\_Cooling.pdf](https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/04/UP-RES_M6_District_Heating_and_Cooling.pdf), [Pristupljeno: 21. studeni 2017.]
- [25] HEP Toplinarstvo, Razvitak toplinarstva u Republici Hrvatskoj od 2000. do 2025. godine (master plan), Časopis EGE 4/2002, Zagreb, 2002.
- [26] Energija u Hrvatskoj 2015, Godišnji energetski pregled, Dostupno na: <http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2016/12/Energija2015.pdf>, [Pristupljeno: 25. prosinac 2017.]
- [27] Majcen, A., Jukić, P.: Pravci razvoja izvora topline centralnog toplinskog sustava (CTS) Grada Zagreba, Ožujak 2011.
- [28] CoolHeating, Dostupno na: <http://www.coolheating.eu/en/>, [Pristupljeno: 25. prosinac 2017.]
- [29] Skupina autora, Priručnik za energetske certifikacije zgrada, 2010.
- [30] Toplana na biomasu u Pokupskom snage 1 MW, Dostupno na: <http://www.kronikevg.com/jedina-komunalna-toplana-na-biomasu-u-hrvatskoj/>, [Pristupljeno: 25. prosinac 2017.]
- [31] Solar district heating, Dostupno na: <http://solar-district-heating.eu/Portals/0/Final%20Reporting/SDHplus%20Brochure%20HR.pdf>, [Pristupljeno: 8. siječanj 2018.]
- [32] Strandby centralizirani toplinski sustav, Dostupno na: <https://stateofgreen.com/en/profiles/ramboll/solutions/large-scale-solar-heating-in-strandby>, [Pristupljeno: 8. siječanj 2018.]
- [33] Mali modularni obnovljivi centralizirani toplinski i rashladni sustavi, priručnik, Dostupno na: [http://www.coolheating.eu/images/downloads/D4.1\\_Handbook\\_HR.pdf](http://www.coolheating.eu/images/downloads/D4.1_Handbook_HR.pdf), [Pristupljeno: 8. siječanj 2018.]
- [34] Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, Energetska učinkovitost u zgradarstvu, Dostupno na: [http://www.fzoeu.hr/hr/energetska\\_ucinkovitost/enu\\_u\\_zgradarstvu/](http://www.fzoeu.hr/hr/energetska_ucinkovitost/enu_u_zgradarstvu/), [Pristupljeno: 25. prosinac 2017.]
- [35] MGIPU: Energetska obnova zgrada, Dostupno na: <http://www.mgipu.hr/default.aspx?id=26532>, [Pristupljeno: 25. prosinac 2017.]



- 
- [36] STRATEGO projekt, Dostupno na: <http://stratego-project.eu/>, [Pristupljeno: 25. prosinac 2017.]
- [37] Toplinska karta Grada Zagreba i okolice, Dostupno na: <http://maps.heatroadmap.eu/berndmoller/maps/30662?preview=true#>, [Pristupljeno 11. prosinac 2017.]
- [38] Matijević, M., Morić Španić, A.: Priručnik za rad u QGIS aplikaciji, Dostupno na: <http://www.hvard.eu/wp-content/uploads/2017/03/Priru%C4%8Dnik-za-rad-u-QGIS-aplikaciji.pdf>, [Pristupljeno 5. prosinac 2017.]
- [39] Razlika između vektorske i rasterske grafike, Dostupno na: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raster\\_vector\\_tikz.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raster_vector_tikz.png), [Pristupljeno: 5. prosinac 2017.]
- [40] Bing maps, Dostupno na: <https://www.bing.com/maps>, [Pristupljeno: 25. prosinac 2017.]
- [41] Google maps, Dostupno na: <https://maps.google.com/>, [Pristupljeno: 25. prosinac 2017.]
- [42] OpenStreetMap, Dostupno na: <http://osm-hr.org/openstreetmap/>, [Pristupljeno 11. prosinac 2017.]
- [43] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Dostupno na: <https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/438515.pdf>, [Pristupljeno: 25. prosinac 2017.]
- [44] Vodič "kako izraditi akcijski plan energetske održivosti (SEAP)", Dostupno na: [http://www.regea.org/assets/files/objavilismo2012/com\\_vodi\\_\\_\\_jrc\\_format-hrv.pdf](http://www.regea.org/assets/files/objavilismo2012/com_vodi___jrc_format-hrv.pdf), [Pristupljeno 11. prosinac 2017.]
- [45] Prostorni planovi uređenja gradova i općina, Dostupno na: <http://www.mgipu.hr/default.aspx?id=3678> [Pristupljeno 11. prosinac 2017.]
- [46] Biomass for power generation, Dostupno na: [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE\\_Technologies\\_Cost\\_Analysis-BIOMASS.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-BIOMASS.pdf), [Pristupljeno 11. prosinac 2017.]
- [47] Anna Życzyńska. "The Primary Energy Factor for the Urban Heating System with the Heat Source Working in Association," *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2013; 15 (4)
- [48] Turistička zajednica Grada Velika Gorica, Dostupno na: <http://www.tzvg.hr/sadržaj/pregled/grad-danas/222?c=47>, [Pristupljeno: 25. prosinac 2017.]

- [49] HEP Toplinarstvo d.o.o., Cjenik – Centralni toplinski sustav (CTS) – Velika Gorica  
[http://toplinarstvo.hep.hr/toplinarstvo/kupci/cijene/CJENIK\\_CTS\\_VELIKA\\_GORICA.PDF](http://toplinarstvo.hep.hr/toplinarstvo/kupci/cijene/CJENIK_CTS_VELIKA_GORICA.PDF), [Pristupljeno: 28. studeni 2017.]
- [50] Pročišćeni tekst i grafika Prostornog plana uređenja Grada Velike Gorice 3/15,  
Dostupno na: <http://www.gorica.hr/prostorni-planovi/>, [Pristupljeno: 2. prosinac 2017.]
- [51] UPU naselja Velika Gorica 4/12, Dostupno na: <http://www.gorica.hr/prostorni-planovi/>,  
[Pristupljeno: 2. prosinac 2017.]
- [52] Predstudija izvodljivosti kogeneracijskog postrojenja Velika Gorica, EKONERG,  
Zagreb, 2008.
- [53] Konceptijsko rješenje toplinske opskrbe Velike Gorice iz elektrane-toplane na biomasu  
s prijedlogom lokacije izgradnje, EKONERG & Elektroprojekt & Institut IGH, 2011.
- [54] OpenStreetMap data, Europe, Dostupno na: <http://download.geofabrik.de/europe.html>,  
[Pristupljeno: 28. prosinac 2017.]
- [55] Akcijski plan održivog energetskeg razvitka Velike Gorice (SEAP), Dostupno na:  
[http://www.crocom.hr/assets/files/seap/Velika-Gorica\\_SEAP.pdf](http://www.crocom.hr/assets/files/seap/Velika-Gorica_SEAP.pdf), [Pristupljeno: 28.  
prosinac 2017.]
- [56] Market information Croatia, Dostupno na: [http://bioresproject.eu/wp-  
content/uploads/2016/11/2016-Market-information-Croatia-in-Croatian.pdf](http://bioresproject.eu/wp-content/uploads/2016/11/2016-Market-information-Croatia-in-Croatian.pdf),  
[Pristupljeno: 4. siječanj 2018.]
- [57] Cost analysis of district heating compared to its competing technologies, Dostupno na:  
<https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/ESUS13/ESUS13009FU1.pdf>,  
[Pristupljeno: 4. siječanj 2018.]
- [58] Guide to cost-benefit analysis of investment projects, Dostupno na:  
[http://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgener/guides/cost/guide2008\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/guides/cost/guide2008_en.pdf),  
[Pristupljeno: 4. siječanj 2018.]
- [59] Tečajna lista, Dostupno na: [http://www.hnb.hr/temeljne-funkcije/monetarna-  
politika/tečajna-lista/tečajna-lista](http://www.hnb.hr/temeljne-funkcije/monetarna-politika/tečajna-lista/tečajna-lista), [Pristupljeno: 4. siječanj 2018.]
- [60] HEP – Godišnje izvješće 2016., Dostupno na:  
[http://www.hep.hr/UserDocsImages//dokumenti/Godisnje\\_izvjesce//2016godisnje.pdf](http://www.hep.hr/UserDocsImages//dokumenti/Godisnje_izvjesce//2016godisnje.pdf),  
[Pristupljeno: 4. siječanj 2018.]
- [61] HEP – Godišnje izvješće 2015., Dostupno na:  
[http://www.hep.hr/UserDocsImages//dokumenti/Godisnje\\_izvjesce//2015godisnje.pdf](http://www.hep.hr/UserDocsImages//dokumenti/Godisnje_izvjesce//2015godisnje.pdf),  
[Pristupljeno: 4. siječanj 2018.]

- [62] Velika investicija u proizvodnju toplinske energije u Zagrebu, Dostupno na: <http://www.hep.hr/velika-investicija-u-proizvodnju-toplinske-energije-u-zagrebu/1280>, [Pristupljeno: 4. siječanj 2018.]
- [63] Prostorni plan uređenja Grada Zagreba (3/16), Dostupno na: <http://www1.zagreb.hr/slglasnik/index.html#/akt?godina=2016&broj=030&akt=E5BBD F5D8B8A158CC1257F61004EEEEA0>, [Pristupljeno: 4. siječanj 2018.]
- [64] Prostorni plan uređenja Grada Velike Gorice („Službeni glasnik Grada Velike Gorice“ 3/15), Dostupno na: <http://www.gorica.hr/dokumenti/sluzbeni-glasnik/SGGVG-2015-3.pdf>, [Pristupljeno: 4. siječanj 2018.]
- [65] HEP Toplinarstvo d.o.o., Cjenik – Centralni toplinski sustav (CTS) – Zagreb, Dostupno na: [http://www.hep.hr/toplinarstvo/UserDocsImages/dokumenti/krajnji-kupci/cijene/Prilog\\_2\\_CJENIK\\_CTS\\_ZAGREB.PDF](http://www.hep.hr/toplinarstvo/UserDocsImages/dokumenti/krajnji-kupci/cijene/Prilog_2_CJENIK_CTS_ZAGREB.PDF), [Pristupljeno: 4. siječanj 2018.]
- [66] Faktor emisija CO<sub>2</sub>, Dostupno na: [http://www.mgipu.hr/doc/EnergetskaUcinkovitost/FAKTORI\\_primarne\\_energije.pdf](http://www.mgipu.hr/doc/EnergetskaUcinkovitost/FAKTORI_primarne_energije.pdf), [Pristupljeno: 4. siječanj 2018.]

---

**PRILOG**

I. CD-R disc