

Mapiranje potreba za grijanjem i energetska planiranje s fokusom na centralizirane toplinske sustave-analiza slučaja za grad Zagreb

Lovrak, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:235:843454>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-03**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Ana Lovrak

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Neven Duić

Studentica:

Ana Lovrak

Zagreb, 2017.

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

Zahvaljujem se svom mentoru, profesoru Nevenu Duiću na pruženoj prilici za izradu ovog diplomskog rada. Veliko hvala i asistentu Tomislavu Novoselu na strpljenju, iskustvenim savjetima i svom trudu koji je uložio.

Dodatne zahvale idu svim prijateljima i kolegama koji su oplemenili ovo studentsko vrijeme. Posebno bih se zahvalila meni dvoje bliskih prijatelja- Viktoriji i Borni.

Također bih se zahvalila svom dragom Bruni na pruženoj ljubavi, razumijevanju i potpori tijekom svih ovih godina.

Za kraj, najviše bih se zahvalila svojoj braći Tomislavu i Goranu, sestri Mariji i roditeljima na bezuvjetnoj potporu i ljubavi koju su mi pružali tijekom cijelog studiranja. Posebno bih se zahvalila svome ocu Željku bez čijeg razumijevanja i potpore ne bih mogla ostvariti sve svoje ciljeve.



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: **Ana Lovrak** Mat. br.:0035188057

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Mapiranje potreba za grijanjem i energetska planiranje s fokusom na centralizirane toplinske sustave – analiza slučaja za grad Zagreb**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Heat demand mapping and energy planning with a focus on district heating – case study for the city of Zagreb**

Opis zadatka:

Visokoučinkovita kogeneracija i centralizirani toplinski sustavi imaju znatan potencijal za uštedu primarne energije koji je u velikoj mjeri neiskorišten u EU. Centralizirani toplinski sustavi imaju veliku važnost u kontekstu planiranja budućih energetskih sustava obzirom da omogućavaju fleksibilnije vođenje te veću implementaciju obnovljivih izvora energije te izvora otpadne topline. Realna tehnička i ekonomska ograničenja širenja takvih sustava te iskorištavanja otpadne i obnovljive energije u velikoj mjeri ovise o geografskoj distribuciji potreba, potencijalnih izvora te postojeće infrastrukture. GIS (Geografski informacijski sustav) mapiranje predstavlja iznimno koristan alat upravo za takvu analizu.

U radu je potrebno:

1. Napraviti opsežan pregled literature na temu integracije otpadne topline i obnovljivih izvora energije u sustave centraliziranog grijanja i hlađenja te integraciju sektora toplinarstva sa sektorom elektroenergetike,
2. Izraditi GIS kartu grada Zagreba koja će uključivati prikaz potražnje za grijanjem, postojeću infrastrukturu te potencijalne izvore obnovljive energije i otpadne topline,
3. Proračunati razinu isplativosti investicije u širenje centraliziranih toplinskih sustava u gradu Zagrebu,
4. Analizirati utjecaj širenja centraliziranih toplinskih sustava do ekonomske granice na cjelokupni energetski sustav.

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

Zadatak zadan:
11. svibnja 2017.

Rok predaje rada:
13. srpnja 2017.

Predviđeni datum obrane:
19., 20. i 21. srpnja 2017.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Neven Duić

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Pariški sporazum o klimatskim promjenama	2
1.2. Čista energija za sve Europljane	2
2. CENTRALIZIRANI TOPLINSKI SUSTAVI	4
2.1. Razvoj CTS-a	5
2.2. Solarni centralizirani toplinski sustavi	7
2.3. Kotlovi i kogeneracije na biomasu	8
2.4. Dizalice topline	8
2.5. Geotermalna energija	9
2.6. Otpadna toplina	9
3. METODA	10
3.1. Geografski informacijski sustav	10
3.2. QGIS	11
3.3. Mapiranje toplinskih potreba	12
3.4. Uređivanje prostorne baze podataka	18
3.5. Ekonomska analiza	20
3.6. Uštede primarne energije	23
3.7. Ušteda emisije ugljičnog dioksida	24
4. MAPIRANJE GRADA ZAGREBA	26
4.1. Grad Zagreb	26
4.2. Prikupljanje podataka	27
4.3. Uređivanje prostorne baze podataka	32
4.4. GIS karta toplinske potražnje u gradu Zagrebu	33
4.5. GIS karta izvora otpadne topline	34
4.6. Rezultati	35
5. ANALIZA UTJECAJA ŠIRENJA CTS-a	46
5.1. Ušteda primarne energije	46
5.2. Uštede ugljičnog dioksida	47
6. ZAKLJUČAK	49

POPIS SLIKA

Slika 1 Centralizirani toplinski sustav [13]	4
Slika 2 Razvoj generacija CTS-a [14]	6
Slika 3 Solarni centralizirani toplinski sustav u Vojensu (Danska) [15]	7
Slika 4 Sezonski spremnik topline [15]	8
Slika 5 Prikaz slojeva u GIS-u [21]	10
Slika 6 Razlika vektorskog i rasterskog sloja	11
Slika 7 Karta toplinskih potreba Milana [25]	12
Slika 8 Geokodiranje [26]	14
Slika 9 OpenStreetMap [27]	15
Slika 10 F4mapDemo [28]	15
Slika 11 CORINE Land Cover [33]	17
Slika 12 Objekti preuzeti s OSM	18
Slika 13 Objekti dobiveni obradom WMS sloj	19
Slika 14 Zagrebački geoportal [42]	27
Slika 15 3D prikaz Zagreba u alatu F4 map Demo [28]	28
Slika 16 Potrošnje toplinske energije kategorije školstva [45]	30
Slika 17 Potrošnje toplinske energije kategorije zdravstva [45]	30
Slika 18 Planirana namjena zemljišta [42]	31
Slika 19 Donji grad	32
Slika 20 Vizualizacija broja etaža pojedinih objekata	33
Slika 21 Potražnja toplinske energije za pojedine objekte	33
Slika 22 Karta potražnje za toplinskom energijom u Zagrebu 100x100 m	34
Slika 23 Karta potražnje za toplinskom energijom u gradu Zagrebu 1000x1000 m	34
Slika 24 Izvori otpadne topline	35
Slika 25 Referentno stanje pokrivenosti vrelovoda	36
Slika 26 Ekonomska granica širenja CTS-a, rezultati za kotao na prirodan plin	39
Slika 27 Ekonomska granica širenja CTS-a, rezultati za plinsku kogeneraciju	41
Slika 28 Ekonomska isplativost granica širenja CTS-a, rezultati za kotao na biomasu	42
Slika 29 Ekonomska granica širenja CTS-a, rezultati za kogeneraciju na biomasu	44
Slika 30 Ekonomski isplativo širenje CTS-a u gradu Zagrebu	45
Slika 31 Porast isporučene toplinske energije uslijed širenja CTS-a	45

POPIS TABLICA

Tablica 1 Popis gradskih četvrti [40]	26
Tablica 2 Cjenik –CTS Zagreb [50]	36
Tablica 3 Specifična priključna snaga kućanstva i industrije [51]	37
Tablica 4 Omjer isporučene i priključne snage	37
Tablica 5 Prosječna cijena toplinske energije	37
Tablica 6 Izračun omjera duljine vrelovoda i grijane površine,	38
Tablica 7 Ulazni podaci za proračun LCOH plinskog kotla	38
Tablica 8 Ulazni podaci za izračun LCOH plinske kogeneracije	40
Tablica 9 Ulazni podaci za proračun LCOH kotla na biomasu	41
Tablica 10 Ulazni podaci za proračun LCOH kogeneracije na biomasu	43
Tablica 11 Udio energenata korištenih kod sustava pojedinačnog grijanja te pripadni faktori primarne energije	46
Tablica 12 Uštede primarne energije proširenjem CTS-a	47
Tablica 13 Udio energenata korištenih kod sustava pojedinačnog grijanja te pripadni emisije CO ₂ /MWh [59], [45]	47
Tablica 14 Uštede emisija CO ₂ proširenjem CTS-a	48

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
ΔE_{gr}	MWh	Ekonomsko isplativo povećanja isporučene energije iz CTS-a
ΔE_{prim}	MWh	Ušteda primarne energije
ε_{el}	kWh/kWh	Omjer proizvedene električne i toplinske energije
η	-	Toplinska iskoristivost kogeneracijskog postrojenja
η_t	-	Iskoristivost kotla
A_{bruto}	m ²	Bruto korisna površina objekta
A_{neto}	m ²	Korisna (neto) površina
A_t	m ²	Tlocrtna površina objekta
A_{tla}	m ²	Površina područja pokrivenog vrelovodom
C_{el}	HRK/kWh	Otkupna cijena električne energije
c_{en}	HRK/kWh	Iznos tarifne stavke energija
c_{sn}	HRK/kW	Iznos tarfine stavke priključne snaga
C_{vrel}	HRK	Trošak postavljanja vrelovoda
CRF	-	Vrijednost povrata kapitala
D	%	Diskontna stopa
D_{PV}	-	Sadašnja vrijednost amortizacije
E_{gr}	kWh	Godišnje potrebna energija za grijanje
e_{gr}	kWh/m ²	Specifična godišnja potrošnja toplinske energije
$f_{pe,i}$	-	Faktor primarne energije i-tog energenta
$f_{pe,kog}$	-	Faktor primarne energije kogeneracijskog postrojenja
$f_{pe,uk}$	-	Faktor primarne energije pojedinačnih sustava grijanja
f_{pov}	-	Omjer građevinske i neto površine
f_{sn}	kW/m ²	Specifična priključna snaga
I_{uk}	HRK	Ukupan prihod ostvaren od prodaje toplinske energije
L cij	m	Duljina cjevovoda
L cij,m ²	m	Prosječna duljina cjevovoda po m ² površine
LCOH	HRK/kWh	Nivelirani trošak proizvodnje toplinske energije
$m_{CO_2,i}$	kg CO ₂ /MWh	Emisija CO ₂ i-tog energenta
$m_{CO_2,kog}$	kg CO ₂ /MWh	Emisija CO ₂ iz kogeneracijskog postrojenja
$m_{CO_2,uk}$	kg CO ₂ /MWh	Ukupna emisija CO ₂
N	god	Životni vijek postrojenja
$N_{etaža}$	-	Broj etaža
$P_{objekata}$	m ²	Korisna površina objekta
P_{tla}	m ²	Površina tla
T	%	Porezna stopa
u_i	%	Udio i-tog energenta

SAŽETAK

Visokoučinkovite kogeneracije i centralizirani toplinski sustavi imaju znatan potencijal uštede primarne energije, ukupnih emisija ugljičnog dioksida i smanjenja ovisnosti o uvozu fosilnih goriva. Europska unija je prepoznala prednosti održivog grijanja iz centraliziranih toplinskih sustava te je u Direktivu 2012/27/EU uvrstila njihovo proširenje kao jedan od načina poboljšanja energetske učinkovitosti. Kako bi se odredilo koja područja su pogodna za proširenje centraliziranih toplinskih sustava, potrebno je procijeniti postojeće stanje. Budući da realna tehnička i ekonomska ograničenja takvih sustava uvelike ovise o geografskoj distribuciji potreba, izvora energije te postojećoj infrastrukturi, za ovakve analize potrebno je provesti prostorno mapiranje.

U ovom rada predstavljena je metoda mapiranja toplinskih potreba koristeći alat geografskog informacijskog sustava QGIS. Rezultat ovog postupka jest vrlo precizna karta toplinskih potreba, uz pomoć koje je moguće odrediti područja pogodna za proširenje distribucijske mreže. Prikazana metoda korištena je na slučaju mapiranja toplinskih potreba grada Zagreba. Sukladno dobivenim rezultatima, određena su ekonomski pogodna područja za opskrbu toplinom iz centraliziranih toplinskih sustava. Pri tome su uzeta u obzir četiri načina pokrivanja dodatnih toplinskih potreba: plinskim kotlom, plinskom kogeneracijom, kotlom na biomasu i kogeneracijom na biomasu.

Dobiveni rezultati su pokazali kako bi se najveće proširenje centraliziranog toplinskog sustava postiglo instalacijom kogeneracije na biomasu. Točnije, u slučaju implementacije ovog rješenja, isplativo bi bilo proširiti centralni toplinski sustav za 66 % u usporedbi s trenutnim stanjem što bi imalo za rezultat povećanje opskrbe toplinskom energijom za 57 %. Na temelju dobivenih rezultata izrađeni su scenariji koji prikazuju uštede primarne energije i ugljičnog dioksida u slučaju implementacije tih mjera. Kogeneracija na biomasu se pokazala najpovoljnijom sa strane ušteda ugljičnog dioksida te je izračunato kako bi ona doprinijela godišnjoj uštedi od gotovo 300 000 tona CO₂. S druge pak strane, najveće uštede primarne energije postigle bi se korištenjem plinske kogeneracije koja bi doprinijela uštedi od oko 360 000 MWh godišnje.

Ključne riječi: centralizirani toplinski sustavi, geografski informacijski sustav, mapiranje, kogeneracija, primarna energija

SUMMARY

Highly efficient cogeneration and district heating systems have a significant potential of saving in primary energy consumption, carbon dioxide emissions and fossil fuel import dependence. The European Union has recognized the benefits of sustainable heating from district heating systems and has set its improvement as one of the objectives for energy efficient solutions in European Union Directive 2012/27/EU. In order to determine the areas where it would be beneficial to extend the existing distribution network, it is necessary to assess the current situation. Since the real technical and economic constraints of such systems highly depend on the geographic distribution of heat demand, energy sources and existing infrastructure, spatial mapping is performed for such analyses.

This thesis presents the method for heat demand using the geographic information system tool QGIS. The result of this procedure is a precise heat demand map which allows determining the areas suitable for the expansion of the distribution network. Presented method was used for mapping the heat demand of the City of Zagreb. According to the obtained heat demand map, economically feasible areas for the supply of heat from district heating system have been determined. Four solutions of supplying additional heat demand were considered: natural gas boiler, natural gas cogeneration, biomass boiler and biomass cogeneration.

Cogenerations (biomass and natural gas) proved to be the most effective solution. Installation of biomass cogeneration would result in the largest expansion of the district heating network. More specifically, in a case of implementation of this solution, it would be profitable to extend the central heating system network by 66 % compared to the current situation, which would result in an 57 % increase of heat energy supply. Based on the obtained results, scenarios showing primary energy and carbon dioxide savings were made. Biomass cogeneration proved to be the most efficient solution in terms of carbon dioxide emission reduction, with annual savings of almost 300,000 tons. On the other hand, the greatest savings of primary energy would be achieved in case of gas cogeneration, with annual savings of around 360,000 MWh.

Key words: district heating systems, geographic information system, mapping, cogeneration, primary energy

1. UVOD

Javna svijest o štetnom utjecaju klimatskih promjena, za koje se vjeruje kako su rezultat povećanja emisija stakleničkih plinova, postaje sve veća u posljednjim desetljećima. Iz tog razloga Europska unija (EU) je odlučila poduzeti značajne mjere u borbi protiv globalnog zatopljenja te je za svoje strateške ciljeve do 2020. godine odredila povećanje energetske učinkovitosti za 20 % u usporedbi s projekcijama, smanjenje emisija stakleničkih plinova za 20% u usporedbi s razinom iz 1990. godine te povećanje udjela energije dobivene iz obnovljivih izvora na 20 % [1]. Osim ekoloških prednosti, implementiranje ovih mjera ima za posljedicu gospodarski rast, razvoj inovacija te povećanje broja radnih mjesta.

Povećanje energetske učinkovitosti i udjela obnovljivih izvora energije ima za posljedicu smanjenje ovisnosti o uvozu energenata. EU trenutno proizvodi dovoljno primarne energije za pokrivanje tek 47% energetske potrebe. Dodatno k tome, uzimajući u obzir kako šest država članica ovisi samo o jednom vanjskom dobavljaču za svoj cjelokupni uvoz plina, zaključuje se kako je EU previše ranjiva na šokove u sustavu opskrbe [2].

Grijanje i hlađenje čini polovicu ukupne energetske potražnje u EU. Visokoučinkovite kogeneracije i centralizirani toplinski sustavi (CTS) imaju znatan potencijal za uštedu primarne energije u EU, koji je u velikoj mjeri neiskorišten. Kako bi se to promijenilo, Direktivom o energetske učinkovitosti je određeno da zemlje članice moraju uspostaviti nacionalne planove grijanja i hlađenja s ciljem razvoja potencijala visokoučinkovitih kogeneracijskih postrojenja i učinkovitih CTS-a.

U ovom radu je istraživana mogućnost širenja CTS-a na konkretnom slučaju grada Zagreba. Budući da realna tehnička i ekonomska ograničenja takvih sustava uvelike ovisi o geografskoj distribuciji potreba, izvora energije te postojećoj infrastrukturi, provedeno je prostorno mapiranje. Pri tome je korišten Geografski informacijski sustav (GIS), odnosno alati QGIS i Grass GIS. Kao konačan rezultat dobivena je karta koja prikazuje godišnje toplinske potrebe svakog objekta grada Zagreba i postojeću mrežu vrelovoda. Tako dobivena karta korištena je prilikom daljnjeg proračuna ekonomske isplativosti CTS-a. Proračun je proveden za četiri tehnologije kojima bi se mogle pokrivati dodatne toplinske potrebe: kotlom na biomasu, kogeneracijom na biomasu, plinskim kotlom i plinskom kogeneracijom. Na temelju dobivenih rezultata izračunate su moguće uštede CO₂ i primarne energije za svaku od navedenih tehnologija.

1.1. Pariški sporazum o klimatskim promjenama

Pariški sporazum je donesen na Konferenciji o klimatskim promjenama (COP 21) koja je održana u prosincu 2015. u Parizu, a na njoj su se okupili predstavnici 195 država [3]. Po prvi puta u povijesti, sve države svijeta postigle su sporazum o borbi protiv klimatskih promjena te prepoznale potrebu za brzom i učinkovitom reakcijom u njihovoj prevenciji. Time je poslan dosad najglasniji signal o važnosti obnovljivih izvora energije, a poseban naglasak je stavljen na važnost korištenja najboljih dostupnih znanstvenih spoznaja. Za razliku od prethodnih, ovim sporazumom se i razvijene i zemlje u razvoju podjednako obvezuju ograničiti svoje emisije na relativno sigurnu razinu. Gornja vrijednost dozvoljenih emisija je definirana kao ona kojom će se značajno smanjiti utjecaj klimatskih promjena [4]. Točnije, radi se o količini kojom bi se zadržao porast prosječne svjetske temperature u 2100. na razini znatno manjoj od 2 °C u usporedbi s predindustrijskim razinama te će se nastojati taj porast ograničiti na 1,5 °C [5]. Već prije pariške konferencije, kao i za vrijeme njezina trajanja, zemlje su podnosile sveobuhvatne nacionalne planove klimatskog djelovanja za smanjenje emisija. Vlade su se složile da će svakih pet godina obavještavati javnost o svojim doprinosima u napretku u provedbi ciljeva te postavljenim novim ciljevima, čime će se osigurati transparentnost i nadzor [6]. Razvijene zemlje obvezne su platiti svoj „klimatski dug“ u visini 100 milijardi dolara godišnje do 2020., a nakon 2020. i više od tog iznosa, za financiranje klimatskih projekata zemalja u razvoju [7]. Sporazum je do sada (1. srpnja 2017.) ratificiralo 151 od 197 država, među kojima je i Hrvatska [8].

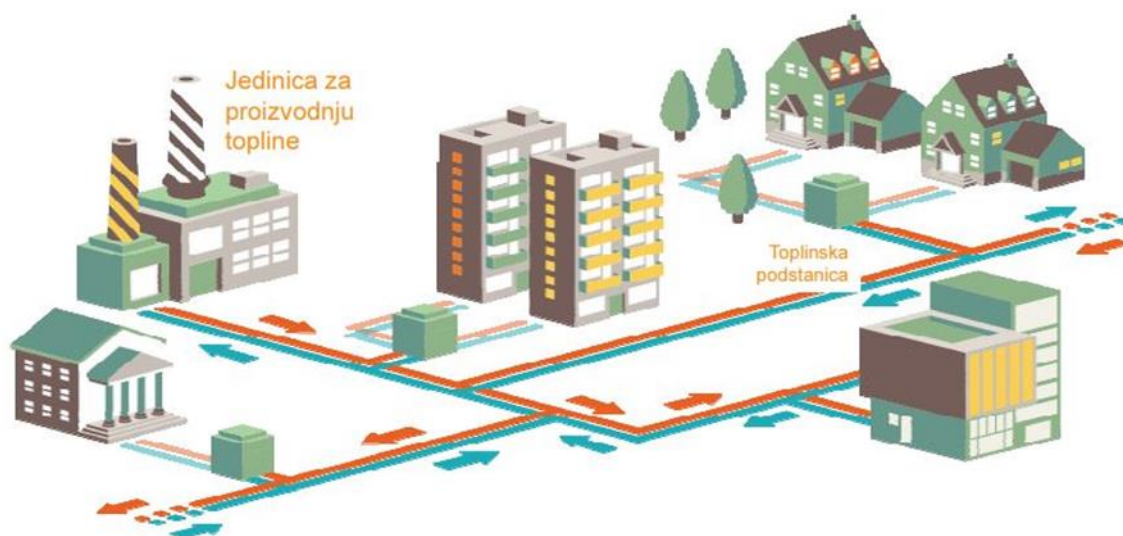
1.2. Čista energija za sve Europljane

Europska Komisija je 30.11.2016. predstavila paket mjera pod nazivom Čista energija za sve Europljane (eng. *Clean Energy for all Europeans*), poznatiji pod nazivom Zimski paket (eng. *Winter Package*) [9]. Ovim mjerama želi se održati konkurentnost Europske unije uslijed promjena na svjetskim energetske tržištima koje su se javile kao posljedica sve većeg korištenja obnovljivih izvora energije. Iz tog razloga, EU se obvezala na smanjenje emisija CO₂ za najmanje 40 % do 2030. Kao glavni ciljevi paketa mogu se izdvojiti: energetska učinkovitost na prvome mjestu, preuzimanje globalnog vodstva u korištenju energije iz obnovljivih izvora te pravedan odnos prema potrošačima. Upravo su oni središnji element nove energetske politike, kojom se nastoji omogućiti veće pravo na korištenje energetske usluga, pristup pouzdanim alatima za usporedbu cijena energije te mogućnost proizvodnje i prodaje vlastite električne energije [10]. Na taj način doprinosi se aktivnijem sudjelovanju društva na

energetskom tržištu, a posebna pozornost pridana je problemu energetskog siromaštva [11]. Dodatno k tome, Zimski paket pokriva strukturu tržišta električne energije, sigurnost opskrbe električnom energijom i pravila upravljanja za Energetsku uniju. Unutar ovog paketa je prepoznata uloga grijanja i hlađenja, na razini sustava i zgrada, u prijelazu na čistu energiju pri čemu je naglašena prednost korištenja otpadne topline [12].

2. CENTRALIZIRANI TOPLINSKI SUSTAVI

CTS-om se vrši distribucija toplinske energije u obliku pare ili vruće vode iz jednog ili više centraliziranih postrojenja, u veći broj zgrada u svrhu korištenja topline za grijanje prostora, procesa ili potrošne tople vode. Distribucija se vrši mrežom cjevovoda, od kojih jedan isporučuje (tzv. polaz) medij za prijenos toplinske energije, a drugi taj isti medij vraća (povrat) u centralnu jedinicu za proizvodnju topline. Pri tome se, također, koriste toplinske podstanice unutar kojih toplina s ogrjevnog medija CTS-a prelazi na medij prijenosnik topline unutar objekta [13]. Grafički prikaz rada CTS-a prikazan je na Slici 1.



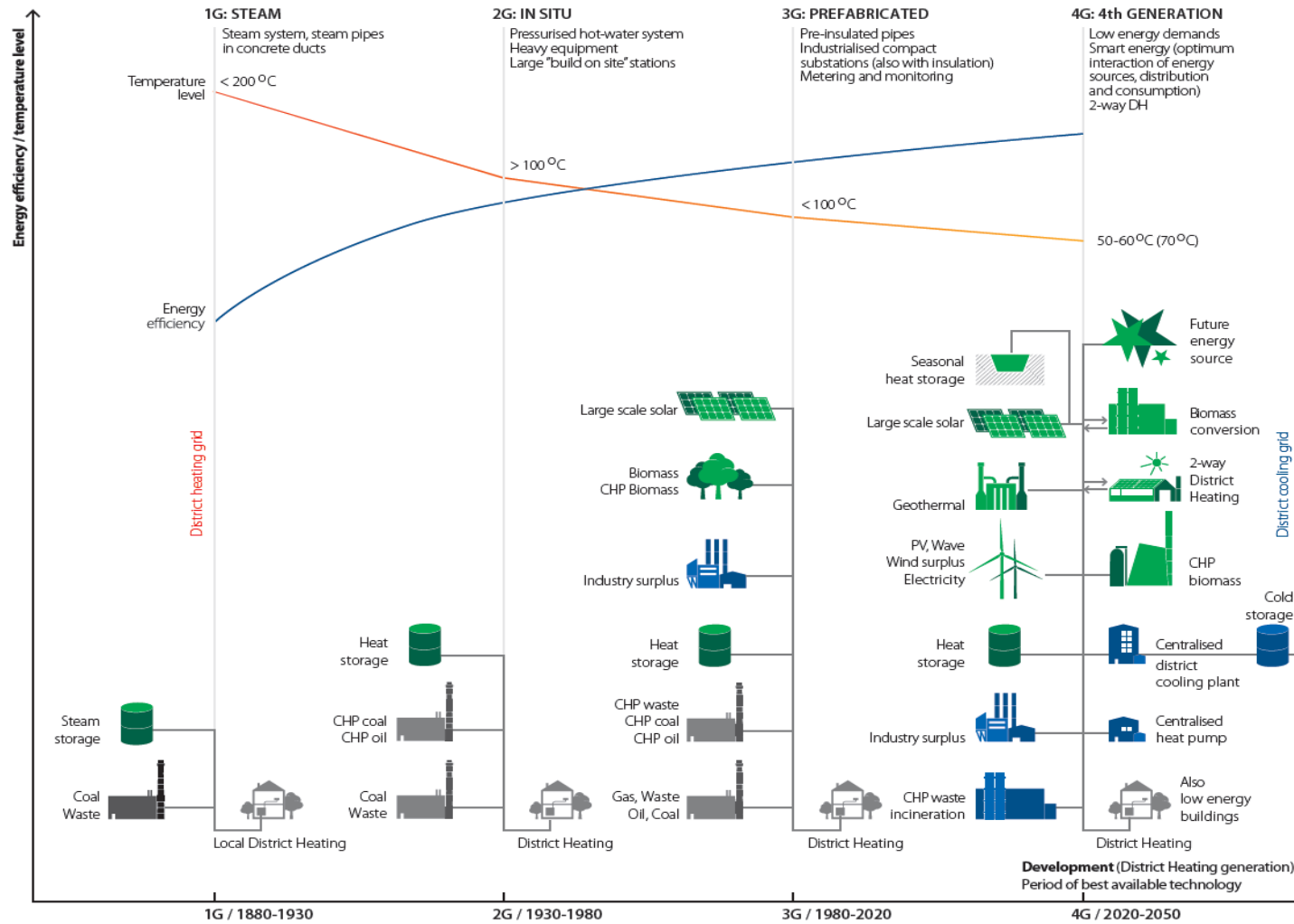
Slika 1 Centralizirani toplinski sustav [13]

CTS odlikuje bolja energetska iskoristivost, niža vrijednost emisija stakleničkih plinova po jedinici proizvedene topline, pouzdan rad, sigurnost opskrbe te jednostavnost i prilagođenost potrošačima. Životni vijek proizvodnih jedinica CTS-a se procjenjuje na 25-30 godina, dok je trajnost distribucijske mreže 50-ak godina uz redovito održavanje. Osim spomenutih, CTS ima i prednosti vezane uz utjecaj na okoliš. Cjelokupna se proizvodnja toplinske energije seli na jedno mjesto čime se olakšava mjerenje emisija te se veća pažnja posvećuje kvaliteti izgaranja. Takvi sustavi lakše se reguliraju jer spadaju u veća postrojenja za koje se mogu propisati strože granice utjecaja na okoliš, kvalitetu goriva i učestalosti kontrole i ispitivanja kvalitete rada postrojenja [8]. Smanjenje emisija CO₂ pomoću centraliziranih sustava grijanja i hlađenja moguće je korištenjem niskougljičnih goriva i provođenjem kvalitetnijeg izgaranja. Osim kvalitetnijim izgaranjem, sustavima daljinskog grijanja moguće je poboljšati energetska učinkovitost i paralelnom proizvodnjom toplinske i električne energije te korištenjem

obnovljivih izvora topline. Zbog toga je CTS prepoznat kao važno područje za ostvarivanje energetske efikasnosti i uštede primarne energije.

2.1. Razvoj CTS-a

Razvoj CTS-a kroz povijest moguće je podijeliti u četiri generacije, pri čemu zadnja još uvijek nije u potpunosti zaživjela. Međusobnom usporedbom generacija, vidljivo je kako su sve težile smanjenju polazne temperature medija kako bi se sukladno tome smanjili toplinski gubici u distribuciji. Dok se u prvoj generaciji koristila para temperature više od 200 °C, četvrta generacije predviđa niskotemperaturno grijanje temperature polaza između 50-60 °C. Važno je napomenuti kako je za implementaciju ovog režima grijanja nužno prilagoditi objekte. To znači da zgrade moraju imati adekvatnu toplinsku izolaciju kojom je moguće ostvariti toplinsku ugodnost niskotemperaturnim grijanjem. Također, dok su u prošlosti kao gorivo prevladavali ugljen, lož ulje i prirodni plin, četvrta generacija se temelji na uporabi topline iz industrije i termoelektrana koja bi inače bila izgubljena te visokom udjelu obnovljivih izvora energije [14]. Razvoj CTS-a kreće se u smjeru integracije s elektroenergetskim sustavom. Neujednačenost potražnje i proizvodnje električne energije uzrokovanu visokim udjelom OIE intermitentne prirode moguće je smanjiti korištenjem tehnologija koje omogućuju da se višak iz mreže pohrani u toplinskim spremnicima, nakon čega se ta energija može iskoristiti u CTS-u. Osim toga, upotreba toplinskih spremnika omogućuje vođenje kogeneracija na nazivnom opterećenju i smanjuje potrebu za vršnim kotlovima. Iako je neke dijelove četvrte generacije moguće pronaći u postojećim CTS-ima, očekuje se kako će opća provedba započeti 2020. Grafički prikaz razvoja CTS-a prikazan je na Slici 2.



Slika 2 Razvoj generacija CTS-a [14]

2.2. Solarni centralizirani toplinski sustavi

Solarni centralizirani toplinski sustavi (eng. *Solar district heating- SDH*) predstavljaju koncept iskorištavanja Sunčeve energije u velikim razmjerima s ciljem pokrivanja toplinskih potreba. Ovom tehnologijom omogućuje se iskorištavanja sunčeve energije u velikim razmjerima, gdje se toplinska energija iz velikih kolektorskih polja (Slika 3) putem toplinskih mreža distribuira korisnicima [15]. Kako bi se toplinska energija proizvedena ljeti iskoristila u sezoni grijanja, osmišljeni su razni načini skladištenja topline u spremnicima. Radi se o podzemnim i nadzemnim spremnicima sezonskog karaktera velikog raspona kapaciteta (od 200 m³ do iznad 10 000 m³). U praksi se razlikuju spremnici s vrućom vodom, natkriveni jamski spremnici, polje bušotina s cijevima-izmjenjivačima putem kojih vruća voda predaje/uzima toplinu okolnom tlu (pogodnije za šljunkovita tla) te iskorištavanje podzemnih voda kao spremnika topline [15]. Investicija u ovakve spremnike predstavlja značajan udio u ukupnoj investiciji, no ona je svrhovita u slučaju dovoljno velikog broja potrošača toplinske energije. Ovakav tip grijanja je još uvijek u ranoj fazi razvoja na tržištu, no u brojnim postrojenjima u Švedskoj, Danskoj, Njemačkoj i Austriji su tijekom 20 godina pogonskog iskustva, stečena stručna tehnička znanja. Primjer ovakvog sustava u praksi prikazan je na Slici 3. Radi se o instalaciji u danskom gradiću Vojensu, a instalacija se sastoji od 5 440 kolektora ukupne efektivne površine 70 000 m² [15].



Slika 3 Solarni centralizirani toplinski sustav u Vojensu (Danska) [15]

Kako bi se toplinska energija dobivena ljeti iskoristila u sezoni grijanja (zimi) izrađen je sezonski spremnik topline, kapaciteta 200 000 m³ prikazan na Slici 4.



Slika 4 Sezonski spremnik topline [15]

2.3. Kotlovi i kogeneracije na biomasu

Iako se kao produkt izgaranja biomase javlja CO₂, ona se smatra obnovljivim izvorom energije. Naime, apsorpiranje CO₂ iz okoliša prilikom njenog rasta i ispuštanje istog u okoliš (bilo izgaranjem, bilo njenom razgradnjom) međusobno je jednako, što znači da je bilanca emisije za relativno kratko vremensko razdoblje od par godina približno jednaka 0.

Danas se 12 % proizvedene energije u svijetu dobiva izgaranjem biomase [16]. Najčešće se spaljuje u kotlovima manjih snaga u pojedinačnim sustavim grijanja, a sve veću primjenu doživljava u sustavima većih snaga kao što su CTS-i. Najveća kogeneracija u Europi, koja kao gorivo koristi biomasu, je ona u gradu Pečuhu. Unutar nje se nalaze dvije jedinice, jedna snage 35 MW koja kao gorivo koristi slamu, ostatke obrade kukuruza i suncokreta prikupljene s obližnjih farmi, a druga snage 50 MW pogonjena drvnom sječkom. Toplinska energija proizvedena u njoj dostavlja se više od 31 000 kućanstva te 450 javnih zgrada [17], čime se pokriva preko 60% potražnje grada [18]. Još jedan od primjera korištenja kogeneracije na biomasu većih snaga u svrhu daljinskog grijanja je u Francuskoj u Parizu, gdje je 2016. godine otvorena kogeneracija na biomasu snage 50 MW. Toplinska energija proizvedena u kogeneraciji koristi se u CTS-u za grijanje stanovnika Pariza [19].

2.4. Dizalice topline

Dizalice topline (engl. *heat pumps*) su uređaji koji služe za podizanje temperaturne razine toplinske energije, za što je prema II. glavnom stavku termodinamike potrebno trošiti rad. Rast tržišta dizalica topline i povećanje njihove učinkovitosti, odnosno faktora grijanja čine ovu tehnologiju sve primjenjivijom [20]. Kako se ovdje radi o korištenju obnovljivog izvora energije, proizvodnja topline na ovaj način doprinosi smanjenju emisija i uštedi primarne energije. Prednost dizalica topline, u odnosu na druge obnovljive izvore je stalna dostupnost i

velik, gotovo neiscrpan kapacitet. U većini primjera, dizalice topline u CTS-u rade u tzv. bivalentnom režimu rada [20]. To znači da se voda zagrijava još i dodatnim izvorom topline, kao što je npr. plinski kotao. Ovaj režim rada se koristi kod starijih toplinskih mreža koje su obično projektirane za visokotemperaturno grijanje, te je u njima temperatura polaza između od 90 °C do 95 °C. U slučaju modernije infrastrukture, dodatan izvor topline se koristi samo prilikom niskih vanjskih temperatura. Primjer integracije otpadne topline uz pomoć ove tehnologije nalazi se u blizini grada Osla. Tamo dizalica topline s amonijakom kao radnom tvari koristi otpadnu toplinu rashladnih i klimatizacijskih sustava, industrijskih procesa i otpadne vode. Proizvedena toplinska energija se koristi za grijanje. Polazna temperatura tople vode je 90 °C, a učinak grijanja 15 MW [21].

2.5. Geotermalna energija

Geotermalna energija je rezidualna (preostala) toplinska energija u Zemlji koja nastaje polaganim raspadanjem radioaktivnih izotopa koji se nalaze u Zemljinoj unutrašnjosti. [22] Ona može biti skladištena unutar stijena, vode ili pare. Geotermalna izvori se dijele na niskotemperature, srednjetemperaturne i visokotemperaturne a pogodni su za opskrbu neovisno o godišnjem dobu. Koristi se direktno u svrhu grijanja objekata, staklenika, bazena, industrijskih procesa, proizvodnje električne energije. Trošak korištenja geotermalne energije ovisi o izvoru, potrebnoj dubini bušenja, udaljenosti izvora od potrošača. Ukupno instalirani kapacitet za direktno korištenje geotermalne energije za grijanje zgrada je oko 28 GW [23] Korištenje geotermalne energije ima značajan rast u posljednjem desetljeću.

2.6. Otpadna toplina

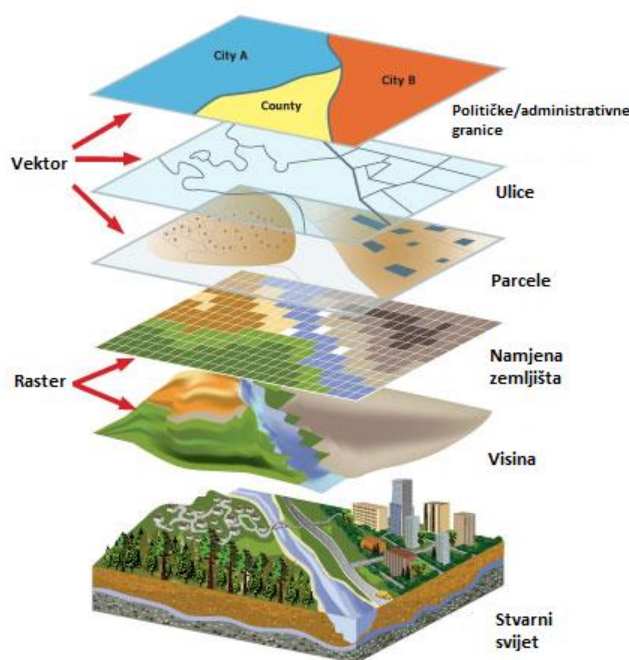
Jedan od važnih potencijala daljinskog grijanja jest uporaba otpadne topline. Postoji više definicija iste, a jedna od njih je da je se otpadnom toplinom naziva sva toplina koja u termoenergetskim postrojenjima i industriji nije korisno iskorištena [24]. U Europi postoji veliki potencijal za iskorištavanje otpadne topline u CTS-ima budući da se većina otpadne topline nalazi u / ili u blizini urbanih područja. Jedna od država koja prednjači u uporabi otpadne topline jest Švedska u kojoj ona pokriva oko 72 % dostavljene topline u CTS-ima.

3. METODA

Iako CTS ima već dugu tradiciju, zadnjih godina mu se ponovno posvećuje posebna pažnja zbog potencijala koji ima u smanjenju emisija i povećanju energetske učinkovitosti. Budući da proširenje distribucijske mreže zahtjeva velike investicijske troškove, potrebno je identificirati koja područja su ekonomski isplativa za njegovo proširenje. Geografski informacijski sustav predstavlja iznimno koristan alat upravo za ovakvu vrstu analize.

3.1. Geografski informacijski sustav

Geografski informacijski sustav (GIS) je računalni sustav koji omogućuje prikupljanje, spremanje, upravljanje, analizu, vizualizaciju i distribuciju prostornih podataka [25]. Prostornim podacima se prikazuju: građevinski objekti, ceste, namjene zemljišta, granice gradskih četvrti, cjevovodi itd. Takvi podaci se u GIS alatima prikazuju i zapisuju u obliku slojeva (eng. *layers*) koje je prema potrebi moguće kombinirati.



Slika 5 Prikaz slojeva u GIS-u [26]

Kao što prikazuje Slika 5, podaci u GIS-u se prikazuju pomoću dva temeljno različita modela. Pri tome se razlikuju [27]:

1. Model kontinuiranih polja

Ovaj model se koristi za pohranjivanje podataka koji se kontinuirano mijenjaju, kao što su satelitske slike, zračne fotografije, kemijske koncentracije i sl. Model se u GIS-u predstavlja rasterskom strukturom podataka (rasterskim slojem). Sloj *Namjena zemljišta* prikazan na Slici

5 primjer je rasterskog sloja te je na njemu vidljivo kako je isti formiran od polja raspoređenih u redove i stupce, koja se također nazivaju i ćelije ili pikseli. Svako od ovih ćelija pridružena je vrijednost obilježja koje se prikazuje. Kvaliteta ovakvih slojeva ovisi o broju i veličini ćelija.

2. Model diskretnih polja

Modelom diskretnih polja prikazuju se objekti precizno definiranih granica. Ovaj model se u GIS-u predstavlja vektorskom strukturom podataka (vektorskim slojem) koji su prikazani u obliku točaka, linija i poligona. Pri tome je važno napomenuti kako vektorski sloj može obuhvaćati samo jedan od prethodno navedenih tipova geometrijskih podataka. Primjeri vektorskih slojeva prikazani su na Slici 5 [26].



Slika 6 Razlika vektorskog i rasterskog sloja

Objekti ili pojave koji se prikazuju u GIS-u nazivaju se entiteti [27]. Višim stupnjem zumiranja uočava se razlika između rasterskih i vektorskih entiteta. Na Slici 6 je vidljivo kako se rezolucija vektorskog sloja zumiranjem ne mijenja, dok je kvaliteta rasterskog sloja time niža što su veće ćelije od kojih je mreža sačinjena.

Svaki sloj se sastoji od dva osnovna dijela [27]:

1. **Geometrijskih podataka**- pojednostavljeni prikaz dijela prostora pomoću entiteta, s označenim položajem na kartografskom prikazu.
2. **Atributnih ili opisnih podataka**- kvalitativni i kvantitativni podaci vezani uz geometrijske podatke. Vidljivi su u Atributnoj tablici, a predstavljaju opisne informacije svakog entiteta koji je prikazan u sloju.

3.2. QGIS

QGIS [28], ranije poznat i kao Quantum GIS, je besplatan GIS alat otvorenog koda koji omogućuje vizualizaciju, upravljanje i analizu prostornih podataka te izradu karata. Osim navedenog, QGIS je također i geoprostorno programsko okruženje, sa stalno rastućim brojem mogućnosti. Naime, iako je QGIS pisan u C++ programskom jeziku, unutar njega je uključena

opsežna podrška programskom jeziku Python. Dva su osnovna načina korištenja Pythona prilikom rada u QGIS [29]:

1. Python konzola (eng. *Python Console*)

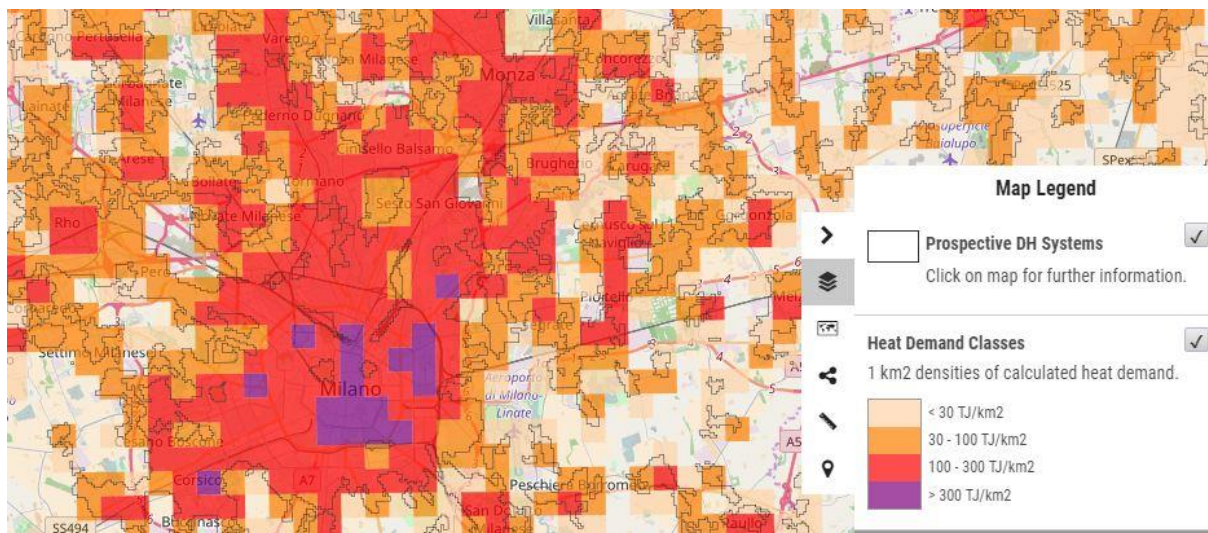
QGIS omogućuje upis naredba u Python konzolu te trenutni prikaz rezultata.

2. Python dodaci (eng. *Python plugin*)

QGIS je programiran tako da omogućuje uključivanje brojnih Python dodataka. Na taj način se programu dodaju nove funkcije te se proširuje njegova osnovna funkcionalnost.

3.3. Mapiranje toplinskih potreba

Mapiranje toplinskih potreba provodi se kako bi se odredila gustoća istih za promatrano područje, a rezultati se prikazuju u obliku karte toplinskih potreba (Slika 7).



Slika 7 Karta toplinskih potreba Milana [30]

Jedna od svrha izrade ovakvih karata jest identifikacija područja na kojima je ekonomski najisplativije proširenje postojeće ili postavljanje nove mreže CTS-a. Budući da ovakvi projekti za sobom povlače visoke investicijske troškove, investitorima je potreban alat koji će im omogućiti prikaz ekonomski najisplativijih rješenja. U tu svrhu se u današnje vrijeme koriste GIS alati, koji omogućuju prikaz i izračun parametara kao što su: toplinska potražnja svakog pojedinog objekata, gustoća toplinskih potreba, udaljenost potencijalnih potrošača od izvora toplinske energije ili postojeće distribucijske mreže. Također, GIS može uzeti u obzir tip i vlasništvo zemljišta prilikom planiranja rute vrelovoda.

Postupak izrade mape toplinskih potreba može se podijeliti na četiri djela. Prvi korak se sastoji od prikupljanja kartografskih i kvantitativnih podataka. U drugom koraku se podaci unose u GIS, a način unosa ovisi o obliku u kojem su preuzeti s izvora. Njih je potrebno pretvoriti u

oblik pogodan za daljnju obradu i korištenje. U trećem koraku se nadograđuje prostorna baza podataka unosom kvantitativnim podataka. Rezultat ovih koraka je karta s informacijama o svakom građevinskom objektu: ukupnoj (neto i bruto) površini, namjeni i godišnjoj potrošnji toplinske energije. Kako bi se identificirale potencijalne lokacije proširenja CTS-a, u zadnjem se koraku izrađuje karta toplinskih potreba tražene rezolucije.

Prikupljanje podataka

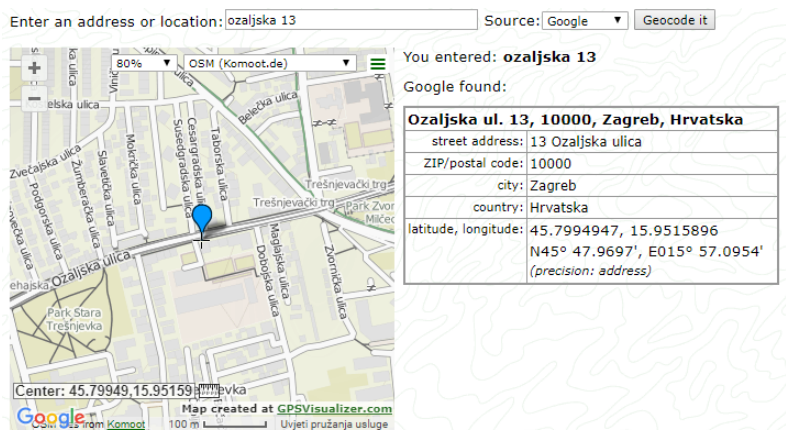
U GIS se unose unaprijed pripremljeni ili od strane korisnika kreirani georeferencirani podaci. Za izradu mape toplinskih potreba nužno je prikupiti podatke o lokaciji i ukupnoj površini objekata te o njihovoj namjeni, pri čemu se uzima pretpostavka da objekti iste namjene dijele jednaku specifičnu toplinsku potražnju.

Lokacija i tlocrtna površina objekata

Za izradu georeferencirane mape potrebno je prikupiti podatke o lokaciji (koordinate) i površini svakog objekta koji je predmet interesa. Takve podatke je moguće prikupiti:

- Kreiranjem novih georeferenciranih podataka i georeferenciranjem karata;
- Preuzimanjem gotovih georeferenciranih podataka.

Jedan od načina kreiranja novih geometrijskih podataka jest izlazak na teren i prikupljanje podatka o lokaciji svakog pojedinačnog objekta. U tu svrhu se koriste uređaji s Globalnim navigacijskim satelitskim sustavom. Mnogo jednostavniji način, koja ne zahtjeva izlazak na teren, jest ručno dodavanje vektorskih entiteta (točke, linije ili poligona) na lokaciju željenog objekta u GIS alatu. Pri tome se kao podloge koriste karte koje su već ugrađene u QGIS kao što su primjerice Google karte. Georeferencirani podaci se također mogu prikupiti na osnovu kućne adrese objekta. Na Internetu su dostupni besplatni alati kao što je GPS Visualizer [31], koji omogućuje preuzimanje koordinata na temelju kućne adrese. Primjer korisničkog sučelja takvog alata je prikazan na Slici 8. Neki od ovih alata omogućuju istovremeni upis većeg broja adresa, čime ovaj postupak postaje manje vremenski intenzivan. Prikupljene podatke je potrebno upisati u Microsoft Excel tablicu ili tekstovnu datoteku kako bi se kasnije mogli unijeti u QGIS. Ovako prikupljeni podaci sadrže samo informaciju o lokaciji (koordinatama) objekta te im je stoga potrebno dodijeliti i iznos tlocrtna ili ukupne površine. Tlocrtnu površinu je moguće preuzeti na pregledniku katastarskih podataka koji je u velikom broju država besplatan i javno dostupan.



Slika 8 Geokodiranje [31]

GIS alati omogućuju georeferenciranje podataka unesenih u rasterskom (jpg, tiff, png) ili vektorskom obliku. Pojam georeferenciranje odnosi se na dodavanje geografskih koordinata pojedinim točkama u kartografskoj projekciji. Ovim postupkom skenirane papirnate karte, nacrti i slično postaju pogodni za operacije u GIS-u.

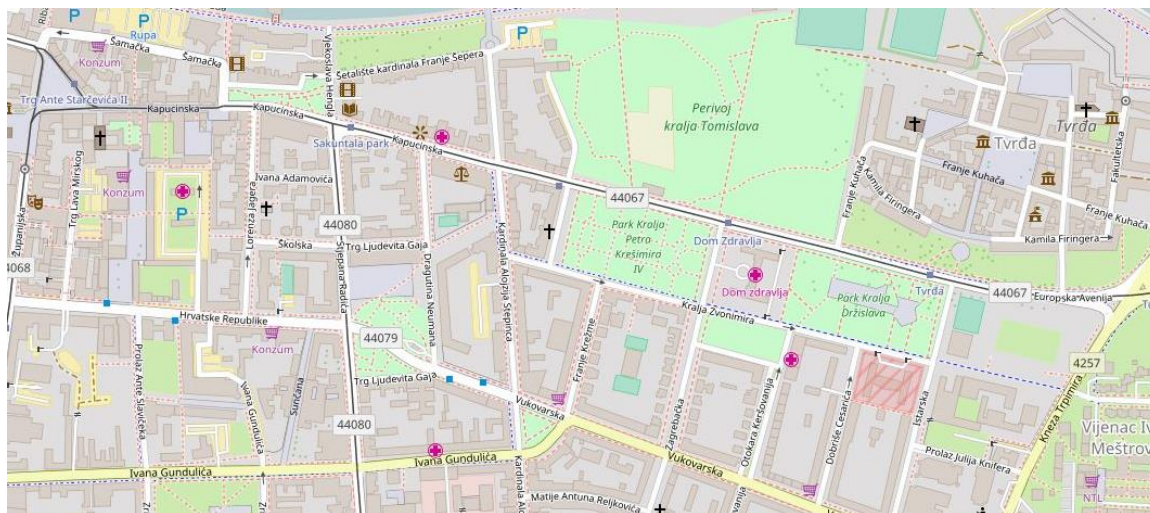
U usporedbi s navedenim metodama prikupljanja podataka, preuzimanje gotovih georeferenciranih podataka iziskuje najmanje vremena, stoga se koristi kada god je to moguće. Neki od izvora s kojih je moguće prikupiti gotove georeferencirane podatke su:

- **Geoportali**

Geoportal je vrsta internet portala koji omogućuje pristup prostornim informacijama te sadrži razne podatke kao što su: registar prostornih jedinica, katastarski plan, registar geografskih imena, statistički podaci o stanovništvu, naseljenost, infrastruktura, namjena zemljišta i sl. Geoportali mogu obuhvaćati cijelu državu, no pojedini gradovi također imaju svoje zasebne geoportale. Za rad u GIS-u relevantni su slojevi koje je moguće preuzeti putem tzv. WMS ili WEB servisa. Putem spomenutih servisa moguće je preuzeti (kopirati) Web adresu WMS sloja (skraćenica za eng. *Web Map Service layer*“).

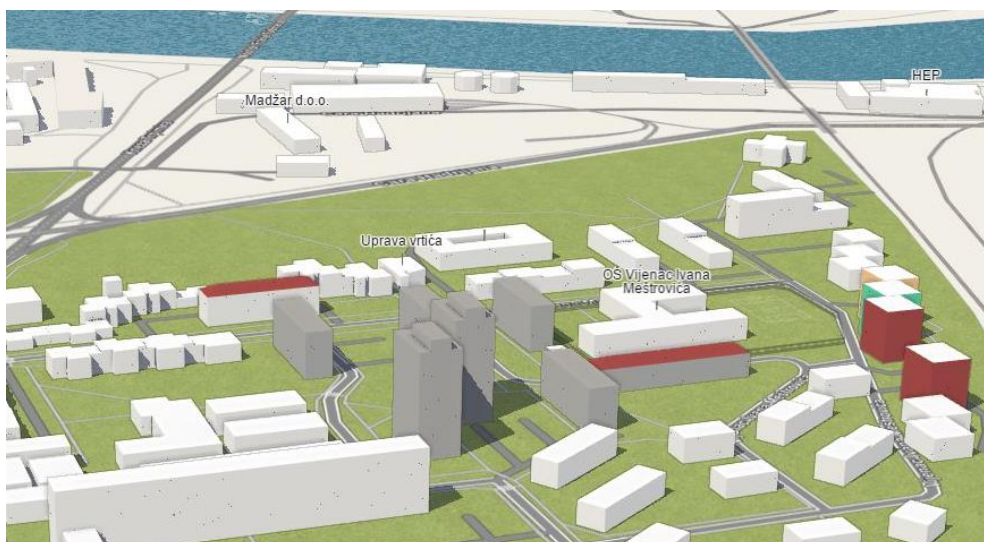
- **OpenStreetMap [32],F4mapDemo [33]**

OpenStreetMap (OSM) je besplatan, svima dostupan web GIS preglednik. Kartografski podaci sadržani u njemu su doprinos korisnika, koji nadopunjuju karte svojim GPS snimkama i uređuju kartografske podatke pomoću alata na web stranici ili samostalnih GIS alata [34]. OSM prikazuje građevinske objekte, ulice, zelene površine, parkirališta, pješačke prolaze i mnogo toga drugog (Slika 9).



Slika 9 OpenStreetMap [32]

OpenStreetMap prikazuje ulice i ostale ucrtane objekte u 2D prikazu, dok u F4mapDemo [33] postoji mogućnost prikaza tih objekata u 3D projekciji, što je vidljivo na Slici 10.



Slika 10 F4mapDemo [33]

Podaci sadržani u OpenStreetMap-u mogu biti preuzeti uz pomoć alata Overpass-turbo [35]. Podaci preuzeti s ovog portala se nalaze u vektorskom obliku zbog čega nema potrebe za njihovom daljnjom obradom u GIS-alatu, kao što je slučaj s rasterskim i WMS slojevima.

Broj etaža

Informacije o broju etaža često nisu javno dostupne stoga se kombiniraju sljedeći izvori :

- **Open street map**

Neki od ucrtanih objekata u OSM-u sadrže informacije o visini. Za njih, broj etaža moguće je izračunati dijeljenjem ukupne visine s prosječnim visinom jedne etaže.

- **Urbanistički plan**

Urbanističkim planom se propisuje maksimalan broj etaža objekta u zavisnosti prema namjeni i lokaciji (ulici) objekta.

- **Google karte**

Za neke gradove Google karte [36] sadrže 3D prikaz objekata čime se omogućuje vizualizacija stvarnog stanja na terenu te ručno prikupljanje broja etaži. Problem prikupljanja podataka na ovaj način je taj što postupak zahtijeva mnogo vremena, posebno ukoliko se radi s većem broju objekata.

Specifična godišnja potražnja toplinske energije

Specifična godišnja potražnja toplinske energije predstavlja ukupnu godišnju potražnju toplinske energije svedenu na metar kvadratni grijane površine [kWh/m²a]. Ovu vrijednost je moguće dobiti proračunom potražnje svakog pojedinog objekta, no kako se prilikom mapiranja cijelog grada radi o velikom broju objekata, potrebno je odabrati jednostavniji pristup. Jedan od njih je izračun temeljen na podacima o godišnjoj isporučenoj toplinskoj energiji i grijanoj površini potrošača (fizičkih i pravnih osoba). Takve podatke posjeduju tvrtke zadužene za distribuciju toplinske energije, a moguće ih je pronaći u sklopu godišnjih izvješća tvrtke ili na njihovim Internet stranicama. Problem prilikom korištenja takvih podataka je što daju jednaku specifičnu potrošnju neovisno o namjeni objekta, što nije slučaj u stvarnosti. Detaljniji podaci o potrošnji u zgradarstvu javno su dostupni za gradove (i općine) potpisnike Sporazuma gradonačelnika. Naime, jedan od uvjeta definiran sporazumom jest izrada Akcijskog plana energetske održivosti razvitka (eng. *Sustainable Energy Action Plans*). Unutar njega se, između ostalog, nalazi analiza potrošnje građevinskih objekata raznih namjena. Trenutno su dostupni akcijski planovi za 6603 gradova i općina [37] širom svijeta. Kako bi se mogli iskoristiti podaci sadržani u Akcijskom planu potrebno je identificirati namjenu objekta, koja je vezana uz namjenu zemljišta i tip objekta.

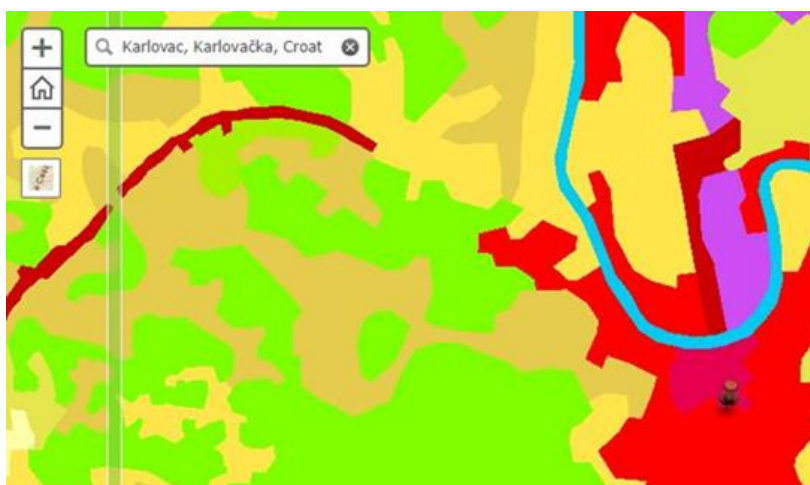
Namjena zemljišta

Namjena zemljišta propisana je urbanističkim planom, a govori o tome kakvi se objekti mogu nalaziti ili graditi na određenom području [38]. Tipična podjela namjene zemljišta:

- Stambena namjena (obiteljske kuće, višestambene zgrade...);
- Mješovita namjena (pretežno stambena, pretežno poslovna, povremeno stanovanje, pretežno poljoprivredna gospodarstva...);
- Javna i društvena namjena (upravna, socijalna, zdravstvena, predškolska, školska, visoko učilište, kultura, vjerska...);
- Gospodarska namjena (industrijska, poslovna, ugostiteljsko turistička);
- Športsko-rekreacijska namjena (igrališta, sportske dvorane);
- Posebna namjena;
- Javne zelene površine (javni parkovi, šume, igrališta, odmorišta, vrtovi...);
- Vodene površine (rijeke, mora, kanali, potoci);
- Promet;
- Infrastruktura;
- Groblja.

- **CORINE Land Cover [39]**

CORINE Land Cover predstavlja digitalnu bazu podataka o stanju i promjenama zemljišnog pokrova i namjeni korištenja zemljišta. Ova digitalna mapa se ažurira i nadopunjuje svakih 6 godina, a rezultati su dostupni na CORINE Land Cover Internet stranici [39]. Baza podataka trenutno sadržava prikaz pokrova i namjene korištenja zemljišta 39 zemalja Europe [40], a prikaz korisničkog sučelja nalazi se na Slici 11.



Slika 11 CORINE Land Cover [39]

Vrsta objekta

Kao što je vidljivo u prethodnom poglavlju, unutar iste namjene zemljišta svrstavaju se razne vrste objekata. Primjer na kojem je vidljiva potreba za detaljnijom kategorizacijom je slučaj objekata javne i društvene namjene. Naime, unutar iste kategorije se svrstavaju religijski (crkve), obrazovni (škole, fakulteti) i zdravstveni objekti (bolnice, domovi zdravlja), iako se toplinska potrošnja uvelike razlikuje za navedene. Detaljnija podjela rezultira većom točnošću toplinske mape. Naravno, to vrijedi samo u slučaju kada su dostupni podaci o specifičnoj potražnji za tu vrstu objekata.

3.4. Uređivanje prostorne baze podataka

Prikupljene podatke je potrebno unijeti u GIS te ih prikazati u pogodnom obliku. Konačni izgled toplinske mape jest datoteka koja sadrži sve objekte koji su predmet interesa (zgrade, ulice, gradske četvrti i sl.) u vektorskom obliku. OSM odnosno Overpass-turbo omogućuje izravno preuzimanje objekata u vektorskom obliku, dok se podaci sa ostalih izvora moraju dodatno obraditi. Primjer vektora preuzetih s OSM-a nalazi se na Slici 12.



Slika 12 Objekti preuzeti s OSM

Portali, kao što su geoportali i Corine Land COVER, omogućuju preuzimanje slojeva u WMS obliku koji zahtjeva dodatnu obradu. Ova obrada ima za rezultat smanjenje kvalitete granica objekata kao što je vidljivo na Slici 13.



Slika 13 Objekti dobiveni obradom WMS sloj

Informacija o namjeni objekta dodaje se ovim slojevima koristeći vektorski sloj o namjeni zemljišta. Postupak prostornog spajanja informacija, odnosno spajanja atributa dvaju slojeva, je jedan od klasičnih GIS problema. U QGIS-u, on se rješava korištenjem naredbe Spoji attribute prema lokaciji (eng. *Join attributes by location*). Informacija o namjeni može biti dodatno proširena sa specifikacijom o kakvom se objektu radi. Ti podaci formiraju kriterij prema kojem se dodjeljuje specifična toplinska potražnja tog objekta (e_{gr}).

Tlocrtna površina (A_t) svakog poligona u vektorskom obliku u QGIS-u jednostavno se izračunava uz pomoć Kalkulatora polja (eng. *Field Calculator*), odabirom funkcije Površina (eng. *Area*). Ukupna građevinska površina objekata dobivena je množenjem broja etaži i tlocrtnih površina, kao što prikazuje izraz:

$$A_{bruto} = A_t * N_{etaža} \quad (1)$$

Gdje je:

A_{bruto} - građevinska površina objekta [m^2];

A_t - tlocrtna površina objekta [m^2];

$N_{etaža}$ -broj etaža [-].

Budući da se specifične toplinske potrebe svode na metar kvadratni korisne (neto) površine, ona je temelj za proračun godišnjih toplinskih potreba. Neto površinu je moguće izračunati prema bruto površini, uzimajući pri tome iskustveni faktor:

$$A_{neto} = A_{bruto} * f_{pov} = A_{bruto} * 0,85 \quad (2)$$

Gdje je:

A_{neto} - korisno (neto) površina

f_{pov} - omjer neto i bruto površine, iskustvena vrijednost od 0,85 [41]

Godišnje toplinske potrebe svakog objekta dobivaju se jednostavnim množenjem neto površine i specifične godišnje potražnje toplinske energije

$$E_{gr} = A_{neto} * e_{gr} \quad (3)$$

Gdje je:

E_{gr} – godišnje potrebna energija za grijanje [kWh];

e_{gr} – specifična godišnja potrošnja toplinske energije [kWh/m²].

3.5. Ekonomska analiza

Prilikom proračuna isplativosti proširenja CTS.-a potrebno je izračunati prihode i rashode do kojih će doći uslijed njegova proširenja. Prihodi se generiraju povećanjem količine prodane toplinske energije i većome angažiranom snagom potrošača, dok rashode uzrokuju instalacija vrelovoda te povećanje kapaciteta toplane i potrošnje goriva. Isporučena toplinska energija računa se prema izrazu (3), dok je zakupljenu snagu moguće približno odrediti koristeći podatke opskrbljivača o ukupnoj priključnoj snazi i površini grijanih objekata. Omjer ovih podataka daje prosječnu zakupljenu snagu svedenu na metar kvadratni korisne površine. Poznajući ulazne podatke, prihod se za svaki objekt računa prema jednadžbi:

$$I_{uk} = A_{neto} * f_{sn} * c_{sn} + E_{gr} * c_{en} \quad (4)$$

I_{uk} - ukupan prihod od prodaje toplinske energije [HRK];

A_{neto} - neto površina objekta [m²];

f_{sn} - specifična priključna snaga [kW/m²];

c_{sn} - iznos tarifne stavke priključna snaga [HRK/kW];

E_{gr} - godišnja potreba energije za grijanje [kWh];

c_{en} - iznos tarifne stavke energije [HRK/kWh].

Rashod uzrokovan povećanim potrebama za toplinskom energijom računa se prema metodi naziva Nivelirani trošak proizvodnje toplinske energije (eng. *Levelized cost of heat-LCOH*). Ovom metodom se računa prosjek troškova proizvodnje jedinice energije izražene u neto sadašnjoj vrijednosti kroz životni vijek postrojenja. Formula kojom je definiran LCOH [42]:

$$\begin{aligned}
 LCOH = & \frac{\text{Trošak investicije} * CRF * (1 - T * D_{PV})}{8760 * \text{Faktor opterećenja} * (1 - T)} \\
 & + \frac{\text{Fiksni O\&M trošak}}{8760 * \text{Faktor opterećenja}} + \frac{\text{Varijabilni O\&M trošak}}{1000 \frac{kWh}{MWh}} \\
 & + \frac{\text{Trošak goriva}}{\eta_t * 1000}
 \end{aligned} \quad (5)$$

Gdje je:

CRF -vrijednost povrata kapitala (eng. *Capital recovery factor*), računa se prema :

$$CRF = \frac{D * (1 + D)^N}{(1 + D)^N - 1} \quad (6)$$

D- diskontna stopa [%]

N - životni vijek postrojenja [god]

T - porezna stopa [%]

Trošak investicije-trošak investicije sveden na kW instalirane snage [HRK/kW];

Fiksni O&M trošak- fiksni godišnji trošak održavanja postrojenja [HRK/kW];

Varijabilni O&M trošak- varijabilni godišnji trošak održavanja postrojenja [HRK/kW];

Ukupan O&M trošak - zbroj fiksnog i varijabilnog troška godišnjeg održavanja postrojenja [HRK/kW];

Faktor opterećenja- postotak vremena u kojem postrojenje radi pri punoj snazi [-];

Trošak goriva-cijena goriva korištenog za proizvodnju energije, svedena na 1 MWh [HRK/MWh];

D_{PV} - Sadašnja vrijednost amortizacije,[-].

Ukoliko se toplinska energija proizvodi u kogeneracijskom postrojenju, prihod dobiven prodajom električne energije smanjuje trošak proizvodnje toplinske energije te se sukladno tome mijenja i jednadžba za izračun LCOH:

$$\begin{aligned}
 LCOH = & \frac{\text{Trošak investicije} * CRF * (1 - T * D_{PV})}{8760 * \text{Faktor opterećenja} * (1 - T)} \\
 & + \frac{\text{Fiksni O\&M trošak}}{8760 * \text{Faktor opterećenja}} + \frac{\text{Varijabilni O\&M trošak}}{1000 \frac{kWh}{MWh}} \\
 & + \frac{\text{Trošak goriva}}{\eta_t * 1000} - C_{el} * \varepsilon_{el}
 \end{aligned} \quad (7)$$

U usporedbi s jednadžbom (5), u jednadžbi (7) se pojavljuju :

C_{el} -otkupna cijena električne energije [HRK/kWh];

ε_{el} -omjer proizvedene električne energije i toplinske energije [kWh_e/kWh_t].

Prilikom izračuna rashoda do kojih dolazi zbog troška postavljanja vrelovoda, potrebno je odrediti koliku duljinu vrelovoda treba postaviti na metar kvadratni tla. Ta se vrijednost dobiva prema izrazu:

$$L_{cij}, m^2 = \frac{L_{cij}}{P_{objekata}} * \frac{P_{objekata}}{P_{tla}} \quad (8)$$

Gdje je:

L_{cij}, m^2 - prosječna duljina cijevovoda postavljena na 1 m² tla [m/m²];

L_{cij} -duljina cijevovoda [m];

$P_{objekata}$ - korisna površina objekta [m²];

P_{tla} - površina tla [m²].

Član $\frac{P_{objekata}}{P_{tla}}$ može se odrediti korištenjem QGIS-a, sumiranjem korisne površine objekata i dijeljenjem tog iznosa ukupnom površinom tla na kojem se predmetni objekti nalaze. Vrijednost $\frac{L_{cij}}{P_{objekata}}$ moguće je odrediti prema postojećim podacima o ukupnoj duljini vrelovoda i površini objekata spojenih na CTS. Godišnji trošak postavljanja vrelovoda, sveden na 1 m² tla dobiva se prema jednadžbi:

$$C_{vrel} = L_{cij}, m^2 * c_{vrel} / N_{god} \quad (9)$$

Gdje je:

C_{vrel} -godišnji trošak postavljanja vrelovoda [HRK/ m²];

c_{vrel} -cijena vrelovoda [HRK/m];

N_{god} - broj godina otplata vrelovoda.

Kako bi se odredilo koja su područja ekonomski isplativa, izrađuje se vektorska mreža željenih dimenzija. Ukoliko na promatranom području (polju) već postoji infrastruktura vrelovoda, trošak postavljanja vrelovoda je zanemaren. Unutar svakog od polja računa se profitabilnost proširenja vrelovoda. Polje je definirano profitabilnim za proširenje CTS-a ukoliko je izraz (10) pozitivan:

$$\sum I_{uk} - A_{polje} * C_{vrel} - \sum E_{gr} * LCOH \quad (10)$$

Gdje je:

$\sum I_{uk}$ -suma ukupnih prihoda od prodaje toplinske energije [MWh];

A_{polje} -površina promatranog polja [m²]

C_{vrel} - godišnji trošak postavljanja vrelovoda [HRK/ m²];

$\sum E_{gr}$ - suma godišnje potražnje energije za grijanje [kWh];

$LCOH$ -nivevirani trošak energije [kn/kWh]

Ukupna godišnja potražnja toplinske energije u slučaju proširenja CTS-a do ekonomski profitabilne granice dobivena je zbrajanjem toplinske potražnje profitabilnih polja. Prema dobivenim podacima moguće je izračunati, za slučaj proširenja CTS-a, uštede ugljičnog dioksida i primarne energije u odnosu na referentno stanje.

3.6. Uštede primarne energije

Primarna energija se definira kao ona koja nije podvrgnuta nijednom postupku pretvorbe. Njen iznos se određuje uz pomoć faktora primarne energije koji uzima u obzir svu potrebnu dodatnu energiju onoj isporučenoj pri dobivanju, pretvorbi i raspodjeli korištenih energenata kroz procesne lance izvan granice sustava zgrade [43]. Prilikom određivanja uštede primarne energije odnosno usporedbe potrebne količine u slučaju pojedinačnih i centraliziranih sustava potrebno je odrediti faktor primarne energije svakog od njih. Ova vrijednost je temeljena na prosjeku svake države, a u nekim slučajevima je preuzeta iz Europskih standarda [44]. Pri tome se za faktor primarne energije koji predstavlja cijeloukupan pojedinačni sustave grijanja uzima se u udio svakog energenta u ukupnoj potrošnji i njemu pripadajući faktor, prema izrazu:

$$f_{pe,uk} = \sum_1^n f_{pe,i} * u_i \quad (11)$$

Gdje je:

$f_{pe,uk}$ - faktor primarne energije pojedinačnih sustava grijanja [-]

$f_{pe,i}$ - faktor primarne energije i-tog energenta

u_i - udio i-tog energenta [%]

Faktora primarne energije CTS-a računa se u općem slučaju definiran prema korištenom energentu. S druge pak strane, ukoliko se paralelno s toplinskom proizvodi i električna energija on se računa prema izrazu [45]:

$$f_{pe,CTS_kog} = f_{pe,i} * \frac{1}{\eta} - \varepsilon_{el} * f_{pe,el} \quad (12)$$

Gdje je:

f_{pe,CTS_kog} -faktor primarne energije kogeneracije [-];

$f_{pe,i}$ -faktor primarne energije korištenog energenta [-];

η - toplinska iskoristivost kogeneracijskog postrojenja [%];

ε_{el} - Omjer proizvedene električne i toplinske energije [-];

$f_{pe,el}$ -faktor primarne energije za električnu energiju [-].

Ušteda primarne energije zbog proširenja CTS-a računa se prema izrazu

$$\Delta E_{prim} = \Delta E_{gr} * (f_{pe,uk} - f_{pe,kon}) \quad (13)$$

Gdje je:

ΔE_{prim} -ušteda primarne energije [MWh]

$f_{pe,uk}$ - faktor primarne energije pojedinačnih sustava grijanja [-]

f_{pe,CTS_kog} -faktor primarne energije kogeneracije [-];

ΔE_{gr} – ekonomsko isplativo povećanja isporučene energije iz CTS-a [MWh]

3.7. Ušteda emisije ugljičnog dioksida

Na isti način kao što je računata ušteda primarne energije, računa se i ušteda emisija ugljičnog dioksida koja se javlja kao rezultat proširenja CTS-a. Pri tome se umjesto faktora primarne energije u proračun ulazi s emisijama ugljičnog dioksida koje se javljaju prilikom proizvodnje jedinice toplinske energije. Tako se specifične emisije ugljičnog dioksida pojedinačnih sustava dobivaju prema jednadžbi:

$$m_{CO2,uk} = \sum_1^4 m_{CO2,i} * u_i \quad (14)$$

Gdje je:

$m_{CO2,i}$ - specifične emisije CO₂ i-tog energenta [kg/MWh]

u_i -udio i-tog energenta

U općem slučaju, emisije CTS-a su definirane prema korištenom energentu dok se u slučaju kogeneracije one određuju prema izrazu:

$$m_{CO2_kog} = m_{CO2,i} * \frac{1}{\eta} - \varepsilon_{el} * m_{CO2,el} \quad (15)$$

Gdje je:

m_{CO2_kog} -specifične emisije ugljičnog dioksida za kogeneraciju

η - toplinska iskoristivost kogeneracijskog postrojenja [%];

ε_{el} - Omjer proizvedene električne i toplinske energije [-];

$m_{CO_2,el}$ - specifične emisije ugljičnog dioksida za električnu energiju

Kako bi se odredile godišnje uštede CO₂ koristi se izraz:

$$M_{CO_2} = (m_{CO_2,kog} - m_{CO_2,uk}) * \Delta E_{gr}$$

Gdje je

M_{CO_2} -ukupne godišnje uštede CO₂ [kg]

(15)

ΔE_{gr} –ekonomsko isplativo povećanja isporučene energije iz CTS-a [MWh]

4. MAPIRANJE GRADA ZAGREBA

Sukladno direktivi EU, izgradnja i razvoj CTS-a te proizvodnja toplinske energije u visokoučinkovitim kogeneracijama, Zakonom je proglašena interesom Republike Hrvatske. Toplinski sustavi se smatraju bitnim elementom energetske učinkovitosti i važni su za ispunjavanje ciljeva u području energetske učinkovitosti. Iz tog razloga, postavljene su posebne zadaće jedinicama lokalne samouprave prema kojima su one dužne poticati, planirati i odobravati izgradnju toplinskih sustava u skladu s mjerama energetske učinkovitosti.

4.1. Grad Zagreb

Zagreb je glavni i najveći grad Republike Hrvatske. Prostire se na 641 km², a prema popisu stanovništva provedenom 2011. godine u njemu živi 790 017 stanovnika [46]. Teritorijalno je podijeljen na 17 gradskih četvrti i 218 mjesnih odbora. Tablica 1 prikazuje popis gradskih četvrti, njihovu površinu i broj stanovnika.

Tablica 1 Popis gradskih četvrti [46]

	Gradska četvrt	Površina (km ²)	Stanovništvo (2011.)
1.	Donji grad	3	37 024
2.	Gornji grad - Medveščak	10	30 962
3.	Trnje	7	42 282
4.	Maksimir	14	48 902
5.	Peščenica - Žitnjak	35	56 487
6.	Novi Zagreb - istok	17	59 055
7.	Novi Zagreb - zapad	63	58 103
8.	Trešnjevka - sjever	6	55 425
9.	Trešnjevka - jug	10	66 674
10.	Črnomerec	24	38 546
11.	Gornja Dubrava	40	61 841
12.	Donja Dubrava	11	36 363
13.	Stenjevec	12	51 390
14.	Podsused - Vrapče	36	45 759
15.	Podsljeme	60	19 165
16.	Sesvete	165	70 009
17.	Brezovica	127	12 030

4.2. Prikupljanje podataka

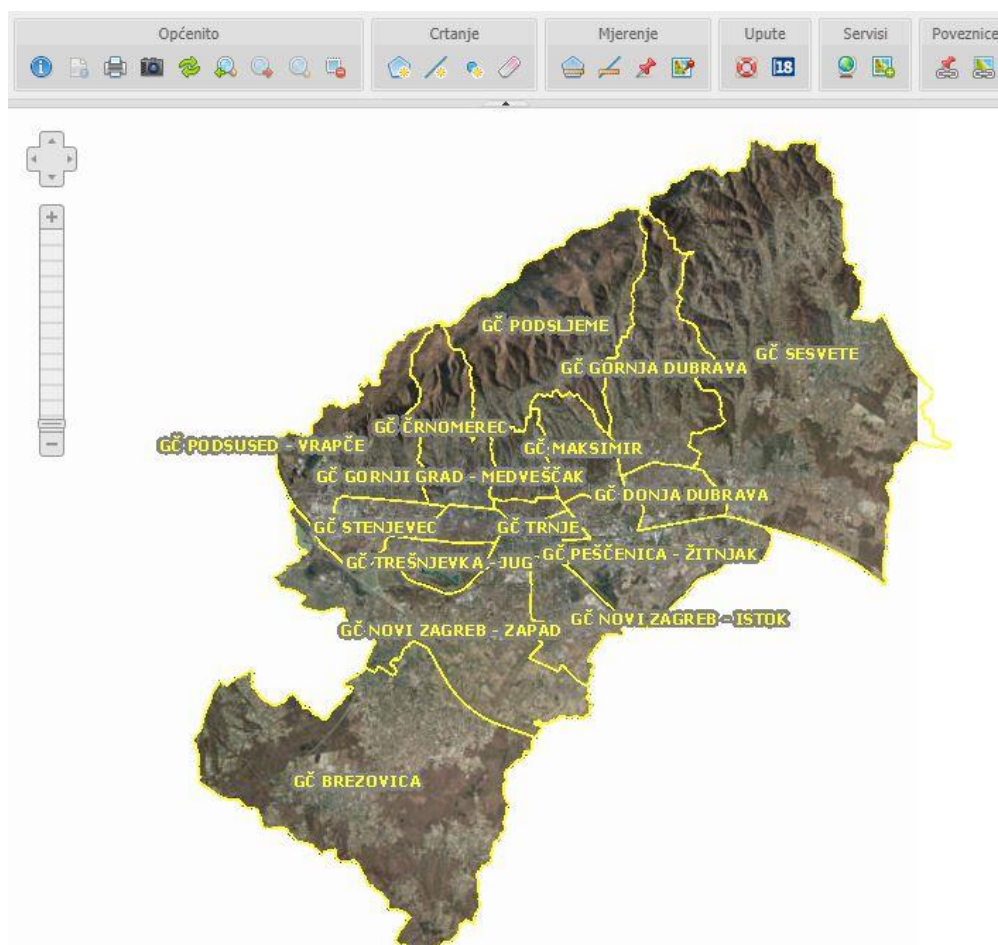
Za potrebe mapiranja toplinske potražnje prikupljeni su georeferencirani podaci. Službeni položajni referentni koordinatni sustav Republike Hrvatske je Hrvatski terestrički referentni sustav (HTRS96) [47], te je korišten prilikom mapiranja Zagreba. Potrebni podaci su prikupljeni iz javno dostupnih izvora, koji su navedeni u nastavku.

Lokacija i tlocrtna površina objekata

Za izradu georeferencirane mape preuzeti su gotovi georeferencirani podaci iz sljedećih izvora:

- **Geoportal grada Zagreba**

Geoportal grada Zagreba [48] jest interaktivno sučelje koje omogućuje korisnicima vizualizaciju prostornih podataka. Unutar njega, moguće je prikazati slojeve kao što su: digitalni katastarski plan, prostorne jedinice, upravljanje prostorom, katastar zelenila, topografske osnove, prikazi korištenja zemljišta, lokacije sportskih, zdravstvenih i kulturnih objekata, statistički podaci o stanovništvu i slično.



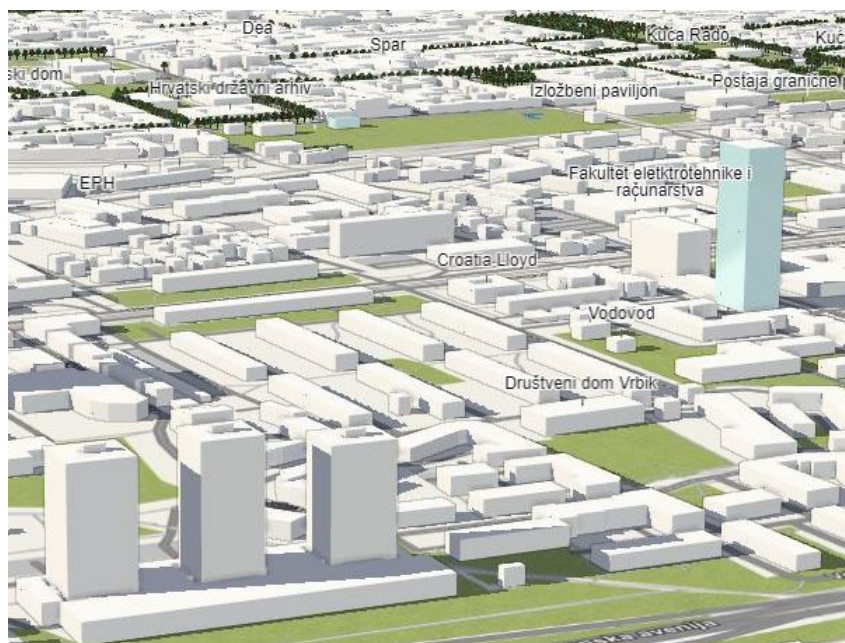
Slika 14 Zagrebački geoportal [48]

Na Slici 14 nalazi se sučelje Zagrebačkog geoportala s prikazom digitalnog modela reljefa i slojeva gradskih četvrti. Jedan dio slojeva Zagrebačkog geoportala može se učitati u QGIS putem WMS servera. Za potrebe izrade toplinske mape su preuzeti sljedeći WMS slojevi:

- Objekti grada Zagreba (prikaz tlocrtnih površina)
- Planirana namjena 2013
- Granice gradskih četvrti grada Zagreba
- Prosječna stambena površina po stanovniku [m^2 /osobi]
- Mreža vrelovoda i parovoda

- **Open Street map**

Dio besplatnih i javno dostupnih georeferenciranih podataka moguće je dobiti putem GIS preglednika Open Street map [32]. Podaci s OSM-a su preuzeti putem alata Overpass-turbo. Budući da se oni preuzimaju u vektorskom obliku nema potrebe za dodatnom obradom. Na taj način izbjegava se gubitak kvalitete, kao što je slušaj s pretvaranjem WMS slojeva. Uz tlocrtnu površinu, neki od upisanih objekata sadrže i informacije o visini, namjeni, imenu objekata, adresi itd. Alat F4 map Demo [33] omogućuje vizualizaciju tih podataka kao što je prikazano na Slici 15. Pritom se zgrade za koje postoji ucrtana samo tlocrtna površina prikazuju kao da imaju jednu etažu.



Slika 15 3D prikaz Zagreba u alatu F4 map Demo [33]

Broj etaža

Za grad Zagreb nije javno dostupan dokument unutar kojeg bi bilo moguće identificirati broj etaža objekata. Stoga su kombinirani sljedeći izvori:

- **Open street map**

Kao što je prikazano na Slici 15, za jedan (manji) dio ucrtanih objekata postoji informacija o visini. Za njih je broj etaža dobiven dijeljenjem visine s prosječnim visinom etaže objekata, odnosno s 3,5 metra [49].

- **Urbanistički plan grada Zagreba**

Generalnim urbanističkim planom [49] propisan je maksimalan broj etaža prema namjeni i lokaciji (ulici) objekta. Problem koji se javlja prilikom korištenja ovih podataka je često nepodudaranje stanja na terenu s onim kakvo je propisano pravilnikom.

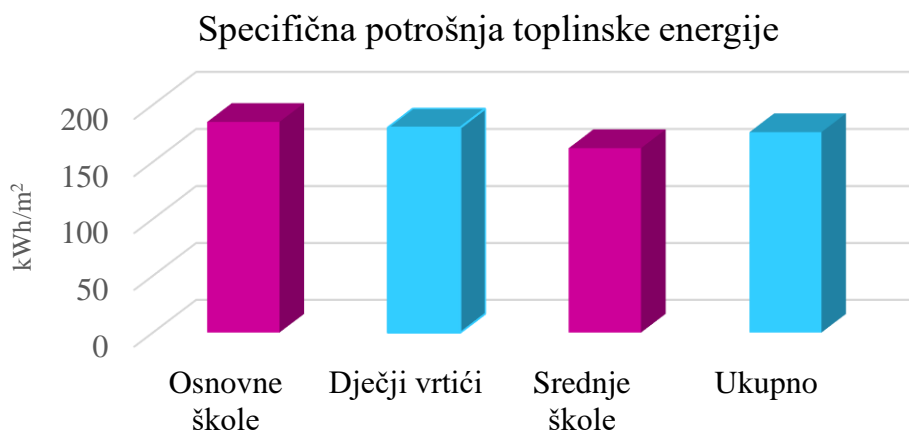
- **Google karte**

Zagreb je jedan od gradova za koji je u sklopu Google karti [50] dostupan 3D prikaz grada. Time se omogućuje vizualizacija stvarnog stanja na terenu te ručno prikupljanje broja etaži. Problem prikupljanja podataka na ovaj način je što iziskuje mnogo vremena, naročito ukoliko se radi s većem broju objekata, kao što je slučaj u ovome radu.

Specifična godišnja potrošnja

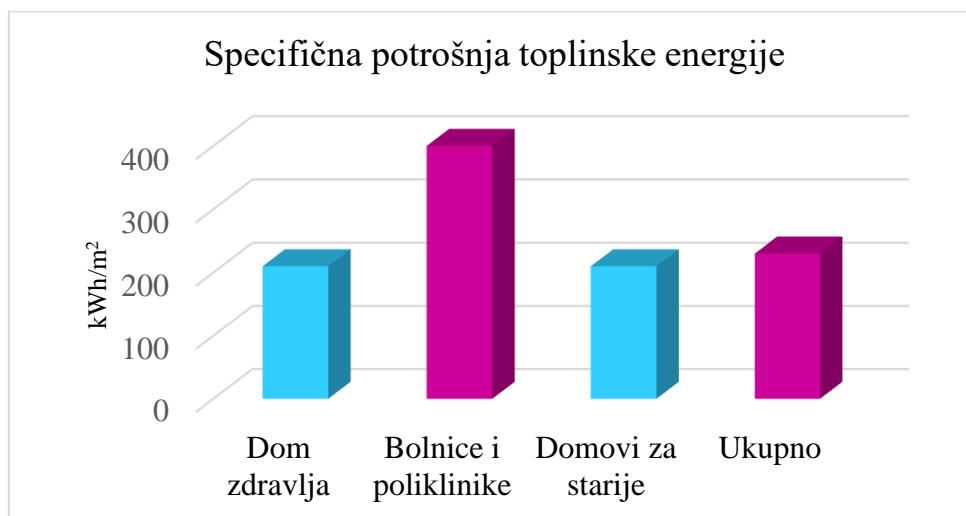
Grad Zagreb je jedan od prvih gradova koji je pristupio Sporazumu gradonačelnika. Prihvaćanjem ovog Sporazuma dogovoreno je dostaviti Akcijski plan održivog energetskog razvitka unutar razdoblja od jedne godine od dana potpisivanja. Ovaj dokument, među ostalim, sadrži energetske analize sektora zgradarstva. Za izradu energetske analize korišteni su podaci prikupljeni od potrošača električne i toplinske energije kao i od distributera iste.

U sklopu Akcijskog plana dani su podaci o specifičnoj potražnji toplinske energije za objekte: školstva, zdravstva, stambenog podsektora, komercijalnih i uslužnih djelatnosti, kulturnih ustanova, zgrada gradske i mjesne uprave te sportskih objekata. Specifična potrošnja toplinske energije u kategoriju školstva spadaju osnovne škole, dječji vrtići i srednje škole. Grafički prikaz potrošnja za svakog od njih prikazan je na Slici 16. Među ovim objektima nije primijećena značajna razlika u potrošnji koja u prosjeku iznosi 175 kWh/m².



Slika 16 Potrošnje toplinske energije kategorije školstva [51]

Za razliku od školstva, u kategoriji zdravstva se javljaju značajne razlike u potrošnji toplinske energije. Kao što je za očekivati, najveću potrošnju imaju bolnice, čija potrošnja u prosjeku iznosi čak 400 kWh/m², dok je kod domova zdravlja te domova za starije potrošnja upola manja i iznosi 200 kWh/m². Grafički prikaz toplinske potrošnje u kategoriji zdravstva prikazan je na Slici 17.



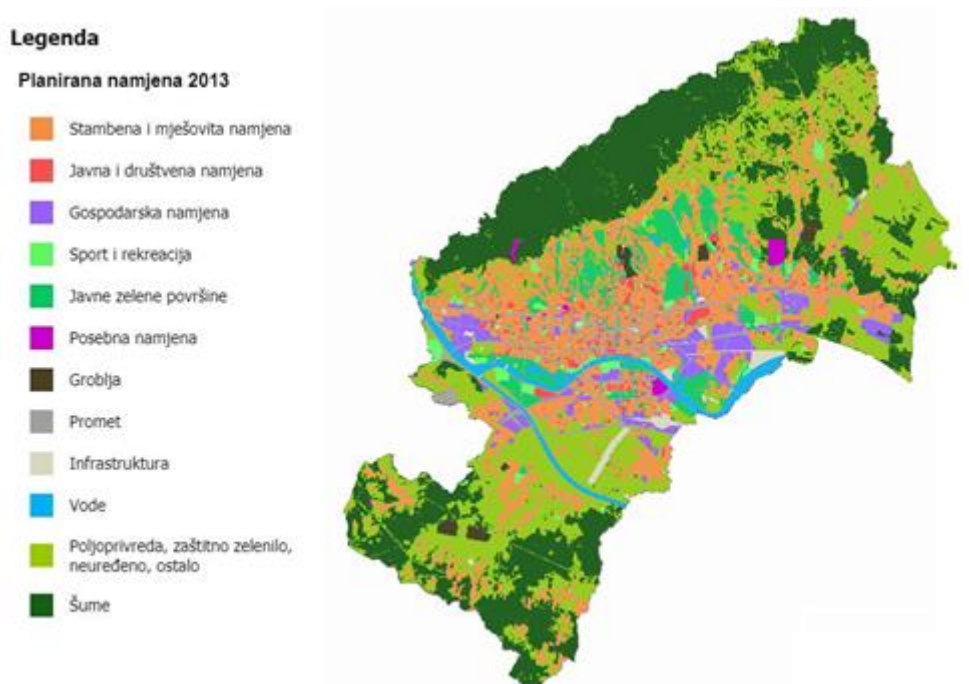
Slika 17 Potrošnje toplinske energije kategorije zdravstva [51]

Potrošnja u stambenom sektoru za grad Zagreb iznosi 180 kWh/m². Ovako visoka potrošnja je karakteristična za Hrvatsku jer većina objekata nije adekvatno toplinski izolirana, budući da je izgrađena u vrijeme kada zahtjevi za izolacijom nisu postojali, ili su bili vrlo niski. Za podsektor komercijalnih i uslužnih djelatnosti nisu bili dostupni podaci prilikom izrade Akcijskog plana stoga je uzeta prosječna vrijednost takvog a objekata koja iznosi 170 kWh/m². Istu potrošnju imaju i objekti gradske i mjesne uprave te kulturne ustanove Grada Zagreba. Kategorijom kulturnih ustanova u Gradu Zagrebu obuhvaćena su kazališta, muzeji, knjižnice i druge kulturne

institucije. Prilikom izračuna potrošnje sportskih objekata korištena je prosječna vrijednost podružnice Zagrebačkog holdinga zadužene za upravljanje sportskim objektima. Ova podružnica je sastavljena od osam poslovnih jedinica: Hipodrom Zagreb, Maksimir, Mladost, Šalata, Sljeme-Medvednica, Jarun, Sportske dvorane Zagreb i Dom sportova [51]. Prosječna potrošnja toplinske energije ovih objekata iznosi 254,4 kWh/m².

Namjena

Prema namjeni zemljišta preuzetoj s Zagrebačkog portala moguće je preslikati namjenu i tip vlasništva objekta koji se nalazi na toj lokaciji. Planirana namjena grada Zagreba prikazana je na Slici 18.



Slika 18 Planirana namjena zemljišta [48]

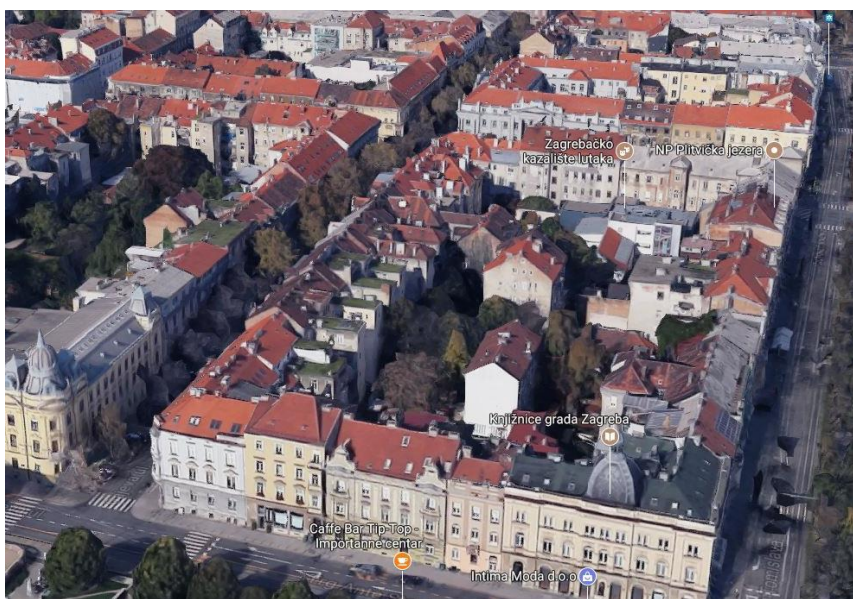
Prema Slici 18 vidljivo je kako su nastanjena područja kategorizirana kao: stambena i mješovite namjene, javna i društvene namjene, gospodarske namjene te područja za sport i rekreaciju. Kao što je raspravljeno u poglavlju Metoda, objekti jednake namjene mogu imati širok raspon toplinske potrošnje. S ciljem smanjenja ovih razlika, identificirani su neki od objekata za koje postoje podaci o specifičnoj potrošnji. Unutar atributne tablice objekata preuzetih s OSM-a, za neke od njih već je definirano o kojoj se vrsti objekta radi. U svrhu određivanja kategorije objekta, osim OSM-a korišteni su i popisi osnovnih [52] i srednjih škola [53], dječjih vrtića [54], poliklinika i bolnica [55]. Ovi popisi ne sadrže koordinate objekata već njihove adrese te su one alatom za geokodiranje GPS Visualizer pretvorene u koordinate.

4.3. Uređivanje prostorne baze podataka

WMS slojevi preuzeti s Geoportala su pretvoreni u vektorski oblik kako bi bili pogodni za obradu. Pri tome je korišten alat Poligonizacija. Kako je prije pretvorbe WMS sloja u vektorski međukorak pretvorba u rasterski, došlo je do određenog gubitka kvalitete. S druge pak strane, vektorski slojevi preuzeti s OSM-a [34] ne zahtijevaju obradu, već ih je samo potrebno spremirati u HTRS96 koordinatni sustav.

Prije spajanja objekata preuzetih s Zagrebačkog geoportala i OSM-a, potrebno je izbrisati objekte koji se preklapaju, kako ne bi došlo do dupliranja geometrije. Uz pomoć naredbe Odaberi po lokaciji (eng. *Select by location*) odabiru se duplirani poligoni, nakon čega se isti brišu. Spajanje ova dva sloja vrši se pomoću Python dodatka MMQGIS, korištenjem naredbe Spajanje slojeva (eng. *Merge layers*). Tlocrtne površine svakog objekta su jednostavno izračunata uz pomoć Kalkulatora polja (eng. *Field Calculator*), odabirom funkcije Površina (eng. *Area*).

S ciljem bržeg upisa broja etaža, prethodno su definirane granice gradskih četvrti. Kao što je vidljivo na Slici 19, kod nekih od gradskih četvrti postoji ujednačena visina objekata, stoga se tim objektima može jednostavno dodijeliti broj etaža.

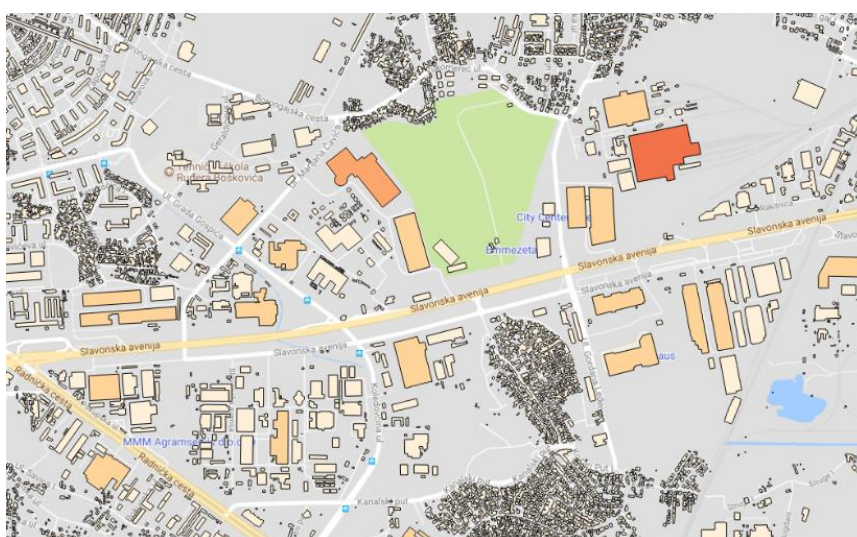


Slika 19 Donji grad

Vizualizacija broja etaži objekata prikazana je na Slici 20, dok Slika 21 prikazuje toplinsku potražnju.



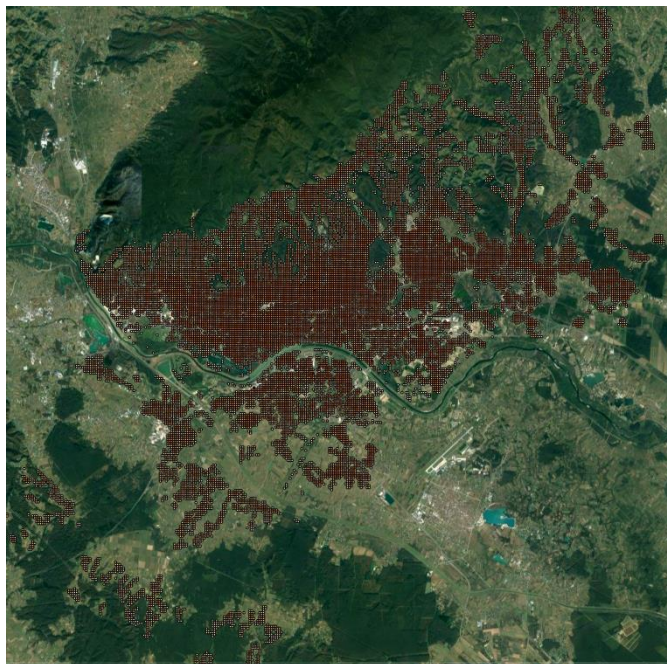
Slika 20 Vizualizacija broja etaža pojedinih objekata



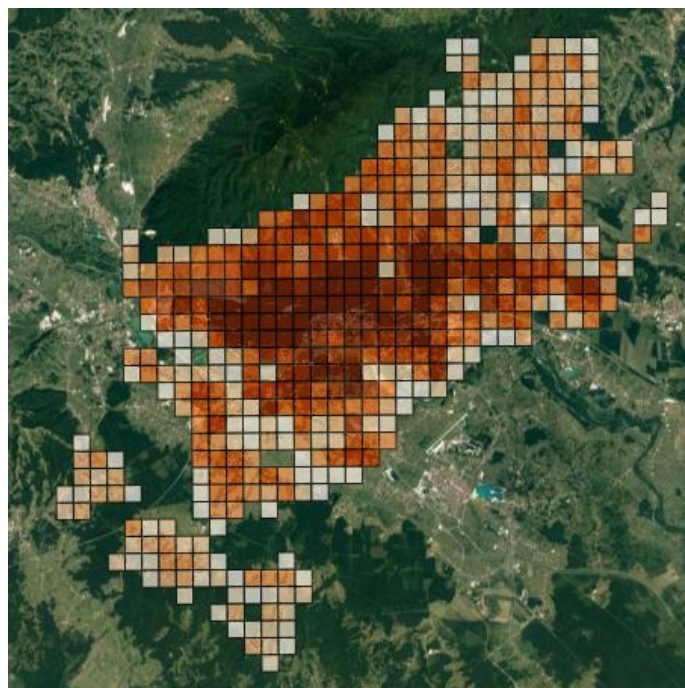
Slika 21 Potražnja toplinske energije za pojedine objekte

4.4. GIS karta toplinske potražnje u gradu Zagrebu

Karta potražnje za toplinskom energijom na temelju koje je rađena analiza isplativosti CTS-a, izrađena je u rezoluciji 100x100 m i prikazana je na Slici 22. Budući da je za prikaz cijelog Zagreba ova rezolucija nepregledna, izrađena ja je dodatna karta rezolucije 1000x1000 m, a ista je prikazana na Slici 23.



Slika 22 Karta potražnje za toplinskom energijom u Zagrebu 100x100 m

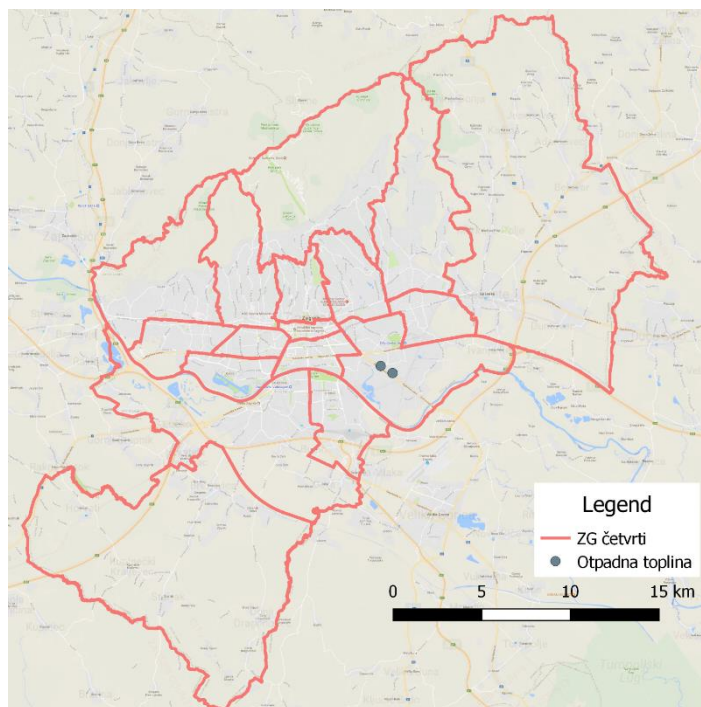


Slika 23 Karta potražnje za toplinskom energijom u gradu Zagrebu 1000x1000 m

4.5. GIS karta izvora otpadne topline

Potencijalni izvori otpadne topline identificirani su korištenjem interaktivnog toplinskog atlasa Pan-European Thermal Atlas [30]. Unutar istog su identificirane dvije lokacije (Slika 24) otpadne topline na području grada Zagreba, koja na konkretnim slučajevima nastaje kao

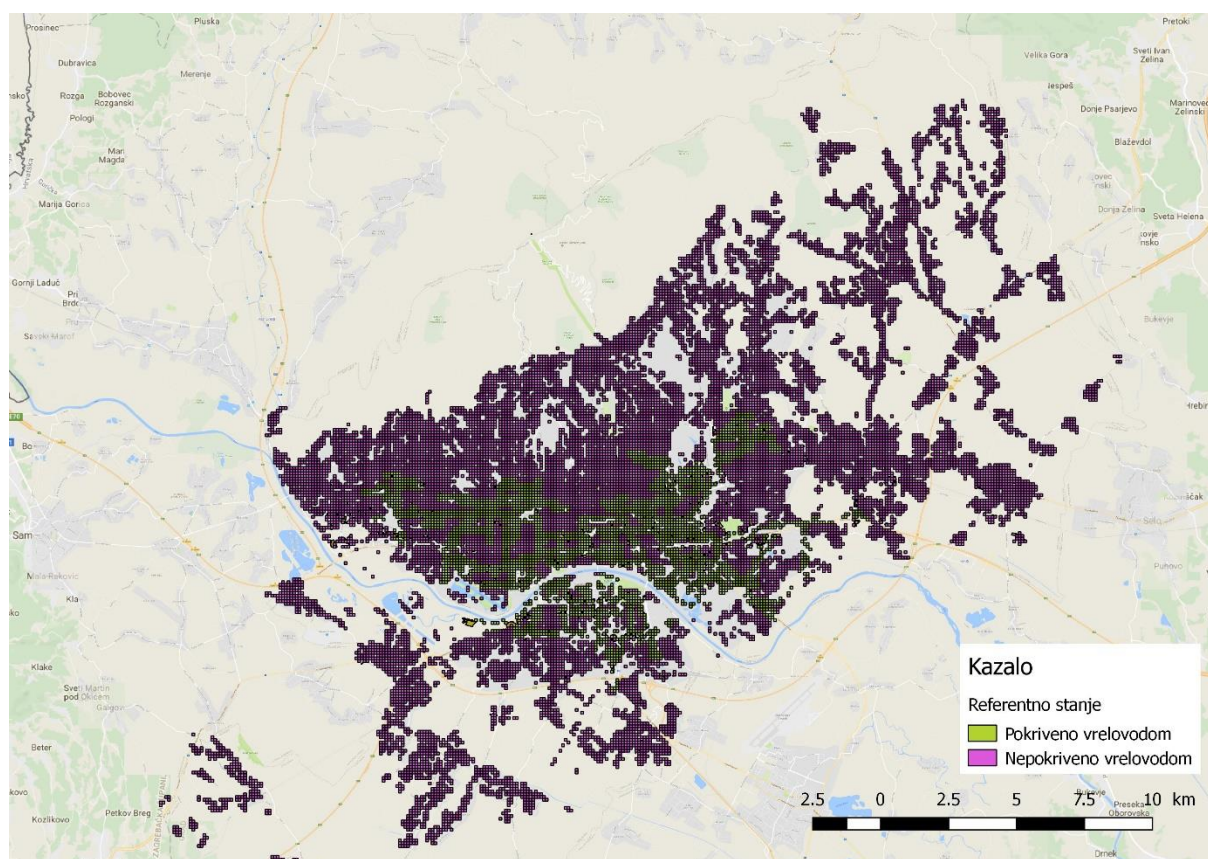
nusprodukt industrijskih procesa. Iznos godišnje otpadne topline za ova dva postrojenja iznosi 0,0162 PJ.



Slika 24 Izvori otpadne topline

4.6. Rezultati

Prije nego što se pristupi procjeni isplativosti proširenja potrebno je identificirati područje koje je inicijalno pokriveno vrelovodom. U slučaju Zagreba radi se o području prikazanom na Slici 23.



Slika 25 Referentno stanje pokrivenosti vrelovoda

Prilikom izračuna prihoda ostvarenih od prodaje toplinske energije, kao ulazni podatak korišten je cjenik distributera toplinske energije, HEP Toplinarstva. Struktura cijene toplinske energije ovisi o kategoriji potrošača, pri čemu se jedna tarifa odnosi na kućanstva, a druga na industriju i poslovne potrošače. Tablica 2 prikazuje sumiran iznos naknade za djelatnost proizvodnje i distribuciju toplinske energije.

Tablica 2 Cjenik –CTS Zagreb [56]

Naziv tarifne stavke i naknade	Iznos tarifnih stavki			
	KUĆANSTVA		INDUSTRIJA I POSLOVNI POTROŠAČI	
Tarifna stavka- energija	0,17	HRK/kWh	0,34	HRK/kWh
Tarifna stavka- snaga	5,75	HRK/kWmj	12,03	HRK/kW/mj

Kao što je vidljivo iz cjenika CTS-a u Zagrebu, cijene su definirane za kućanstva i poslovne potrošače. Objekti stambene i mješovite namjene definirani su kao kategorija kućanstvo, dok

se objekti gospodarske, javne i društvene namjene smatraju industrijskim ili poslovnim potrošačima. Identifikacija objekata provedena je pomoću alata Odabir prema izrazu (eng. *Select by expression*)

Iznos zakupljene snage, sveden na metar kvadratni površine izračunat je prema podacima o trenutnom kapacitetu priključne snage kućanstva i industrije te ukupnoj grijanoj površini. Vrijednosti angažirane snage svedene na metar kvadratni navedene su u Tablici 3.

Tablica 3 Specifična priključna snaga kućanstva i industrije [57]

	Kućanstvo	Industrija, poslovni potrošači
Priključna snaga [kW]	840 860	650 917
Površina [m ²]	6 472 188	1 114 156
Spec. priključna snaga [kW/m ²]	0,1299	0,5842

Kako bi se izračunala prosječna cijena jedinice toplinske energije (1 kWh) za privatne i poslovne korisnike, izračunat je omjer isporučene toplinske energije i zakupljene snage.

Tablica 4 Omjer isporučene i priključne snage

	Kućanstvo	Industrija, poslovni potrošači
Isporučena energija [kWh]	1 097 462 845	395 337 835
Priključna snaga [kW]	840 860	650 917
Omjer isporučene i priključne snage	1305,17	607,35

Sukladno podacima dobivenim iz Tablice 2,3 i 4 izračunata je prosječna cijena jedinice toplinske energije svedene na jedinicu toplinske energije, a ista je prikazana u Tablici 5.

Tablica 5 Prosječna cijena toplinske energije

	Kućanstvo	Industrija, poslovni potrošači
Prosječna cijena toplinske energije [HRK/kWh]	0,207	0,573

Trošak vrelovoda

Prilikom izračuna troškova vrelovoda korištena je jednačba (8), a ulazni parametri prikazani su u Tablici 6. Omjer $\frac{L_{cij}}{P_{objekata}}$ dobiven je iz podataka o trenutnoj duljini vrelovoda i ukupnoj površini grijanih objekata [57], dok je omjer $\frac{P_{objekata}}{P_{tla}}$ dobiven korištenjem QGIS-a.

Tablica 6 Izračun omjera duljine vrelovoda i grijane površine

Duljina vrelovoda [m]	368 760
Ukupna površina grijanih objekata [m ²]	7 586 344
$\frac{L_{cij}}{P_{objekata}} \left[\frac{m}{m^2} \right]$	0,0486
$\frac{P_{objekata}}{P_{tla}}$	0,9

Uvrštavanjem $\frac{L_{cij}}{P_{objekata}}$ i $\frac{P_{objekata}}{P_{tla}}$ u jednačbu (8) dobiveno je kako se u prosjeku na 1 m² tla postavlja 0,04375 m vrelovoda.

Trošak proizvodnje topline iz plinskog kotla

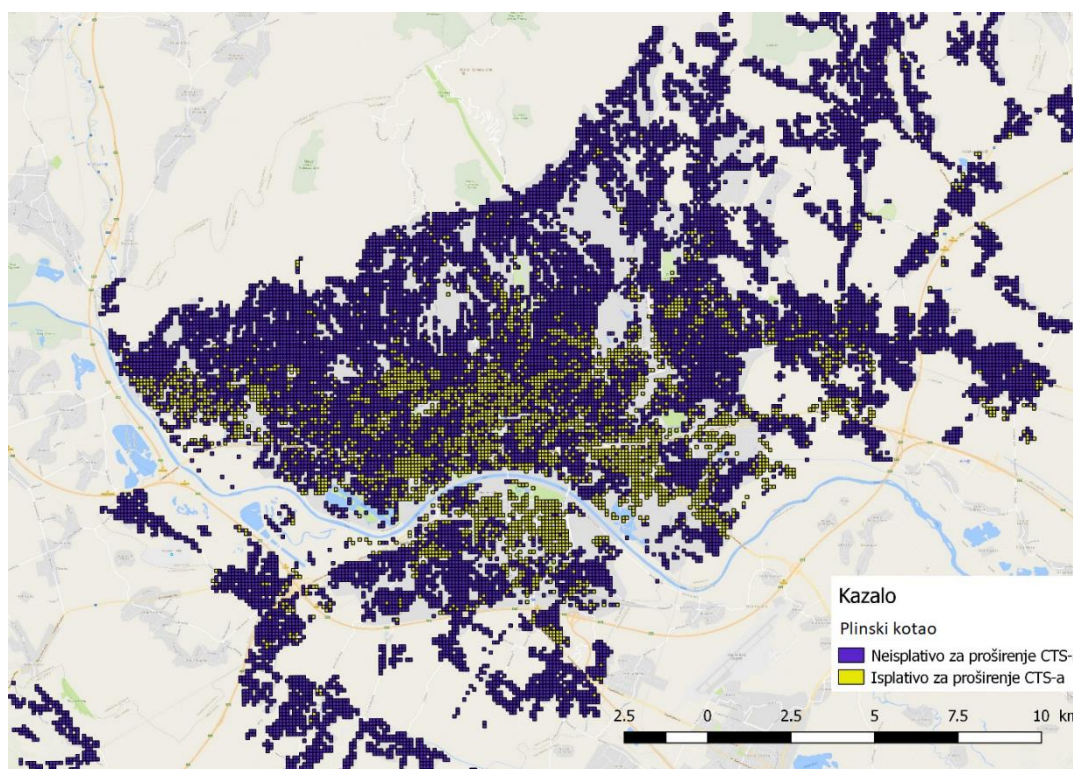
Prvi scenarij uzima u obzir proširenje CTS-a do ekonomski isplative granice s time da se za pokrivanje dodatnih toplinskih potreba koristi plinski kotao. Trošak proizvodnje topline izračunat je prema formuli za određivanje LCOH prema jednačbi (5). Ulazni podaci su navedeni u Tablici 7.

Tablica 7 Ulazni podaci za proračun LCOH plinskog kotla

	Brojčana vrijednost	Mjerna jedinica	Izvor
Diskontna stopa	4	%	Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects [58]
Porezna stopa	25	%	Porezna uprava [59]
Sadašnja vrijednost amortizacije	0,54407	-	Levelized Cost Calculations [42]
Faktor opterećenja	35	%	Izračunato

Životni vijek postrojenja	30	godina	Technology data for energy plants [60]
Trošak investicije	742	HRK/kW	
Ukupan godišnji O&M trošak	22,26	HRK/kW	
Učinkovitost postrojenja	97	%	Godišnje izvješće HEP-a [61]
Trošak goriva	169,67	HRK/MWh	

Uvrštavanjem ulaznih podataka u jednadžba (5) dobivena je vrijednost LCOH u iznosu od 0,1987 HRK/kWh. Sukladno metodi procjene isplativosti opisanoj u prethodnom poglavlju, korištenje prirodnog plina dovelo bi do proširenja CTS-a u mjeri prikazanoj na Slici 26.



Slika 26 Ekonomska granica širenja CTS-a, rezultati za kotao na prirodan plin

Trošak proizvodnje topline iz plinske kogeneracije

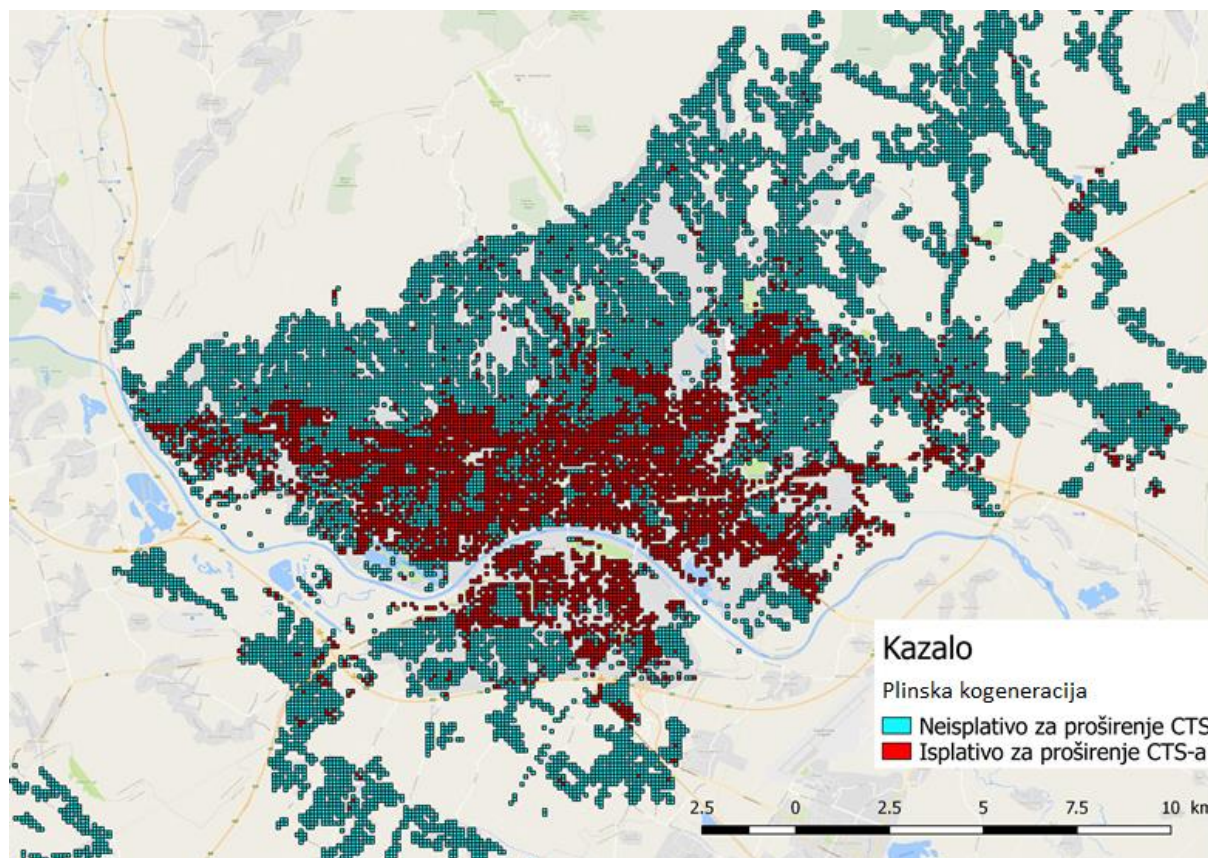
Kao što je spomenuto u poglavlju ranije, jednadžba za izračun LCOH kod kogeneracije se razlikuje od jednadžbe za izračun u slučaju kotla budući da se u kogeneracijama od ukupnog troška oduzima prihod od prodane električne energije. Zbog svoje visoke učinkovitosti, ovakve kogeneracije mogu dobiti status povlaštenog proizvođača te time ostvariti pravo na prodaju po poticajnoj cijeni. Prilikom odabira ulaznih podataka, parametri kao što su investicijski trošak,

toplinska učinkovitost postrojenja te omjer proizvedene električne i toplinske energije su preuzeti prema primjeru posljednjeg instaliranog bloka koji se trenutno koristi za proizvodnju toplinske energije zagrebačkog CTS-a. Svi ulazni podaci su prikazanu u Tablici 8.

Tablica 8 Ulazni podaci za izračun LCOH plinske kogeneracije

	Brojčana vrijednost	Mjerna jedinica	Izvor
Diskontna stopa	4	%	Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects [58]
Porezna stopa	25	%	Porezna uprava [59]
Sadašnja vrijednost amortizacije	0,54407	-	Levelized Cost Calculations [42]
Životni vijek postrojenja	25	godina	
Trošak investicije	3462	HRK/kW	Izračunato za slično postrojenje [57]
Ukupan godišnji O&M trošak	138,48	HRK/kW	
Faktor opterećenja	35	%	
Trošak goriva	169,67	HRK/MWh	Godišnje izvješće HEP-a [61]
Toplinska učinkovitost postrojenja	37	%	Izračunato za slično postrojenje [57]
Otkupna cijena el. eng	0,42	HRK/kWh	GODIŠNJI IZVJEŠTAJ HROTE [62]
Omjer proizvedene električne i toplinske energije	1,375	kW_e/kW_t	Izračunato za slično postrojenje [57]

Prema navedenim ulaznim parametrima dobiva se trošak LCOH u iznosu od 0,1391 HRK/kWh. Kao što se vidi iz Slike 27, niži trošak toplinske energije rezultirao je većim područjem isplativosti širenja CTS-a.



Slika 27 Ekonomska granica širenja CTS-a, rezultati za plinsku kogeneraciju

Trošak proizvodnje topline iz kotla na biomasu

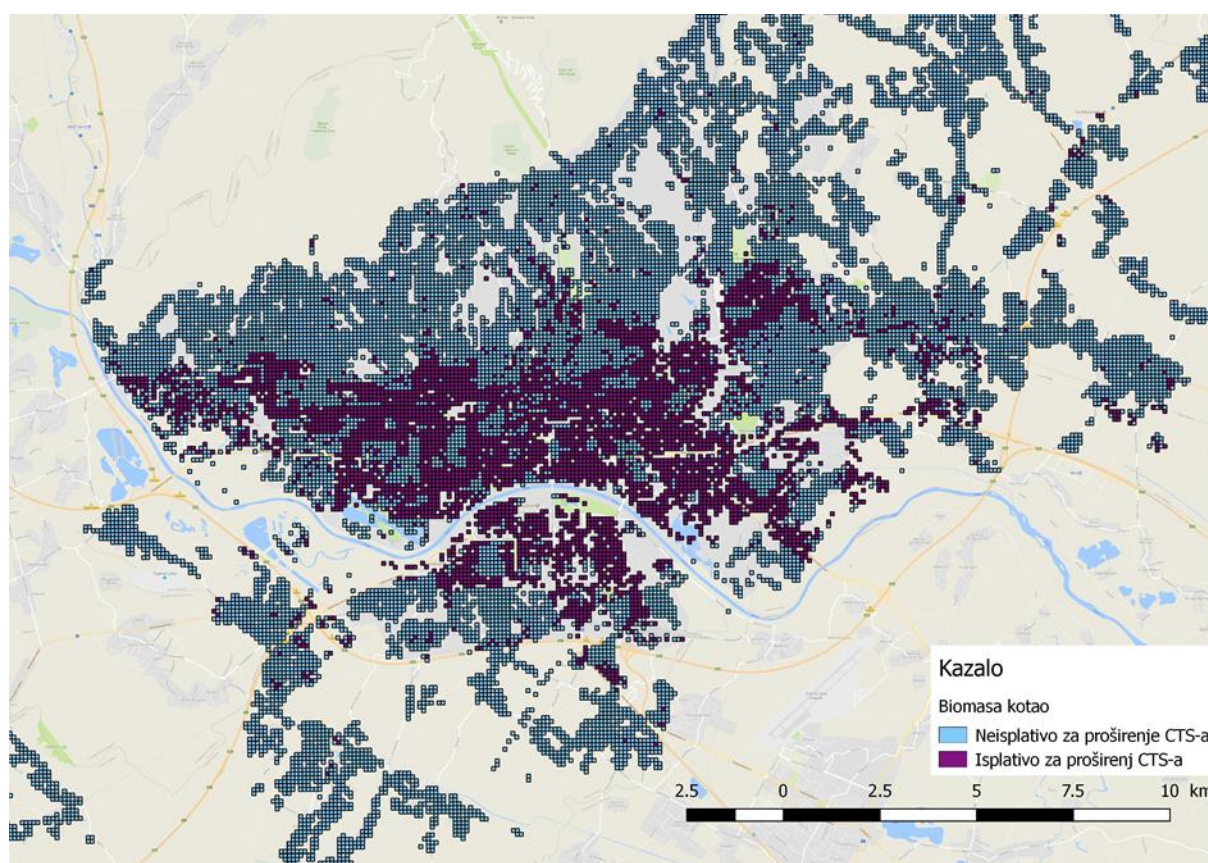
Jedan od obnovljivih izvora energije koji bi bio pogodan za integraciju u sustav CTS-a jest biomasa. Kotao na biomasu iziskuje nešto veća početna ulaganja u usporedbi s kotlom koji koristi prirodan plin, no on za prednost ima jeftiniji trošak goriva i manje emisije CO₂. Ulazni podaci za proračun LCOH kotla na biomasu prikazani su u Tablici 9.

Tablica 9 Ulazni podaci za proračun LCOH kotla na biomasu

	Brojčana vrijednost	Mjerna jedinica	Izvor
Diskontna stopa	4	%	Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects [58]
Porezna stopa	25	%	Porezna uprava [59]
Sadašnja vrijednost amortizacije	0,54407	-	Levelized Cost Calculations [42]

Životni vijek postrojenja	25	godina	Technology data for energy plants [60]
Trošak investicije	1558	HRK/kW	Technology data for energy plants [45]
Ukupan godišnji O&M trošak	46,746	HRK/kW	Izračunato, 3% od ukupne investicije
Faktor opterećenja	35	%	Izračunato
Trošak goriva	119,23	HRK/MWh	Šumarski list [63]
Toplinska učinkovitost postrojenja	95	%	Technology data for energy plants [45]

Vrijednost LCOH kod ovakvog postrojenja iznosi 0,178 HRK. Slika 28 prikazuje područje isplativo za proširenje CTS-a ukoliko se koristi kotao na biomasu.



Slika 28 Ekonomska isplativost granica širenja CTS-a, rezultati za kotao na biomasu

Trošak proizvodnje topline iz kogeneracije na biomasu

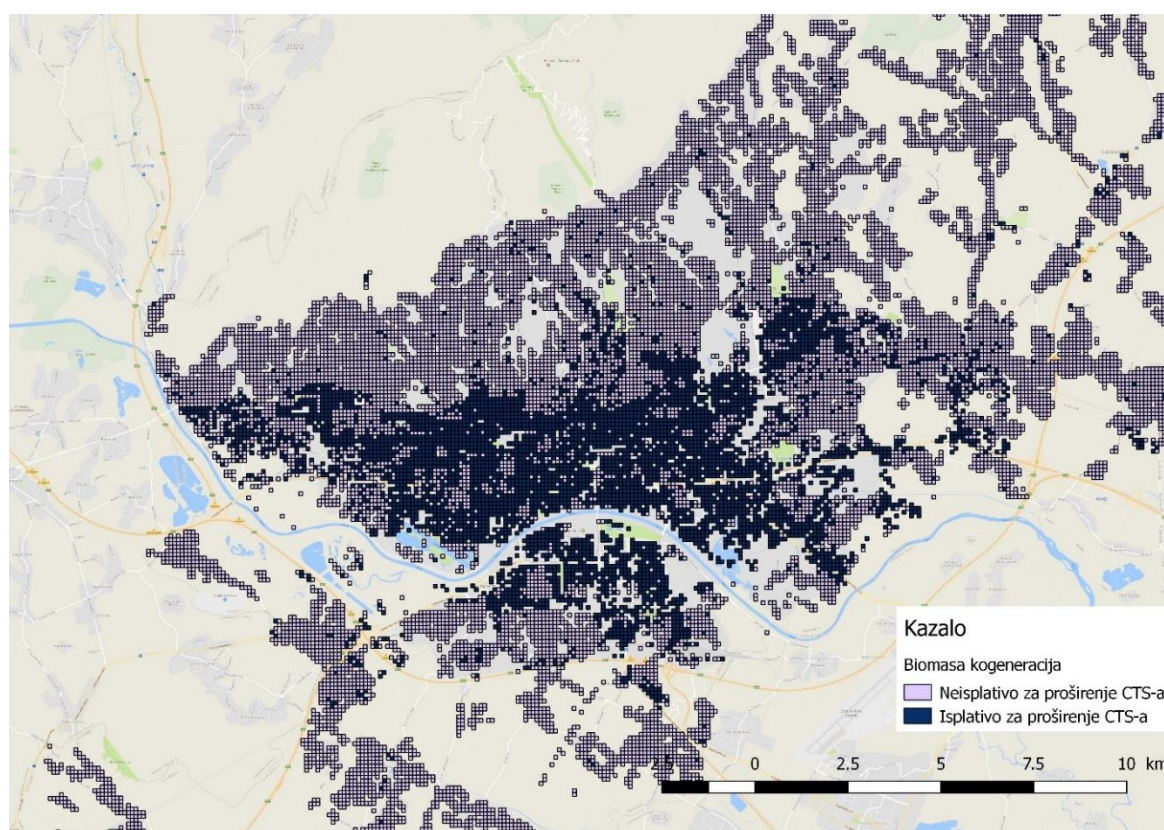
Prilikom izračuna vrijednosti LCOH za slučaj korištenja kogeneracije na biomasu javlja se specifičan problem. Naime, još uvijek nije donesen zakon koji bi propisao visinu poticajne cijene koju je moguće ostvariti prodajom električne energije iz ovakve kogeneracije. Stoga je prilikom ove analize korišten prijedlog iz Pravilnika o korištenju obnovljivih izvora energije i visokoučinkovite kogeneracije. U njemu je propisano kako će za proizvođače iz obnovljivih izvora energije vrijediti premijski sustav. Osnovna zamisao tog sustava je da se na svaku jedinicu prodane energije uz referentnu cijenu dobiva dopunski iznos premije. Njen iznos ovisi o većem broju faktora. Prema prezentaciji Hrvatskog operatora tržišne energije (HROTE) premije za kogeneracijska postrojenja na biomasu iznosi 80 lipa. Sukladno prethodnoj praksi poticajnih sustava, prema kojoj su proizvođači električne energije iz kogeneracije većih snaga primali nižu poticajnu cijenu, iznos očekivane premije je smanjen i za ovu analizu je pretpostavljeno kako će ista iznositi 40 lipa.

Tablica 10 Ulazni podaci za proračun LCOH kogeneracije na biomasu

	Brojčana vrijednost	Mjerna jedinica	Izvor
Diskontna stopa	4	%	Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects [58]
Porezna stopa	25	%	Porezna uprava [59]
Sadašnja vrijednost amortizacije	0,54407	-	Levelized Cost Calculations [42]
Životni vijek postrojenja	25	godina	Aalborg Energie Technik Biomass Fired Plants [60]
Trošak investicije	5936	HRK/kW	Primjeri najbolje prakse za kogeneraciju na drvenu biomasu [64]
Ukupan godišnji O&M trošak	237,44	HRK/kW	Izračunato, 4% od ukupne investicije
Faktor opterećenja	35	%	Izračunato
Trošak goriva	119,23	HRK/MWh	Šumarski list [63]

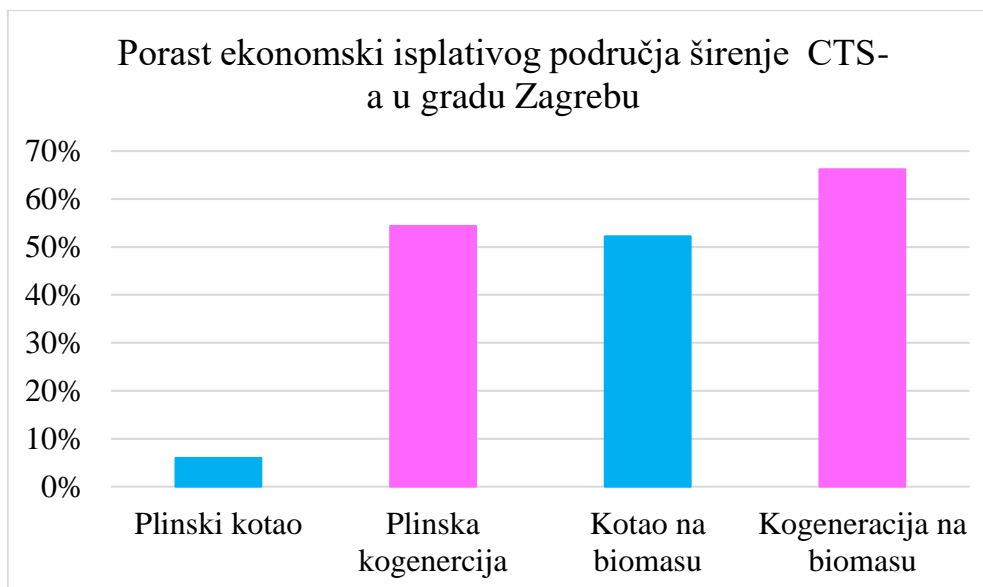
Toplinska učinkovitost postrojenja	63	%	Aalborg Energie Technik Biomass Fired Plants [65]
Otkupna cijena el. eng	0,4	HRK/kWh	HROTE: Uloga operatora tržišta sukladno prijedlogu Zakona OIE i VUK, Prezentacija [62]
Omjer proizvedene električne i toplinske energije	0,41	kW _e /kW _t	Aalborg Energie Technik Biomass Fired Plants [65]

Vrijednost LCOH kogeneracije na biomasu iznosi 0,122 HRK.



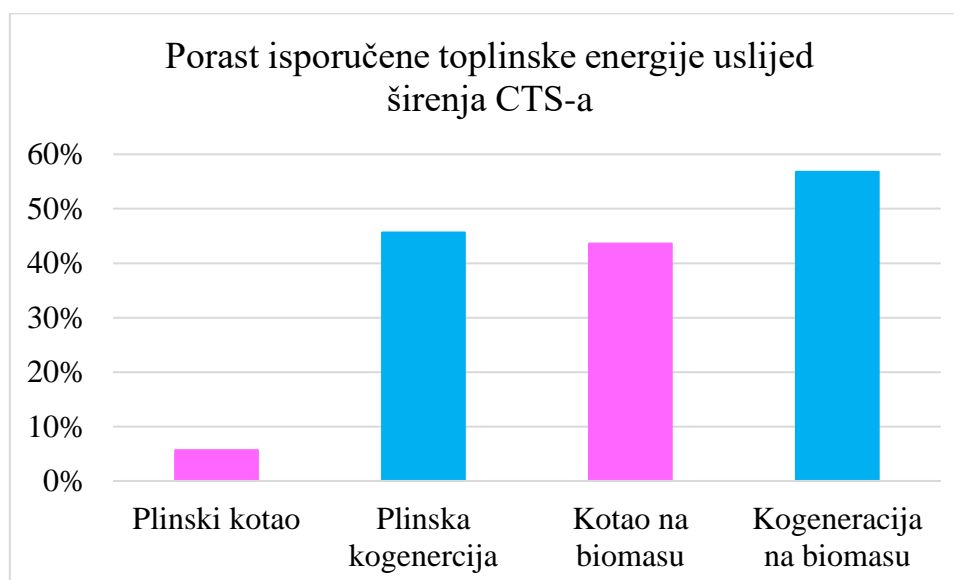
Slika 29 Ekonomska granica širenja CTS-a, rezultati za kogeneraciju na biomasu

Usporedba ekonomski isplativog područja širenja CTS-a za svaku od razmatranih tehnologija prikazana je na Slici 30.



Slika 30 Ekonomski isplativo širenje CTS-a u gradu Zagrebu

Prema Slici 30, vidljivo je kako instalacije kogeneracije na biomasu rezultira najvećim ekonomskim isplativim širenjem CTS-a. Ovaj rezultat ne čudi, budući da se pokazalo kako je LCOH kogeneracije na biomasu najniži, u usporedbi s ostalim tehnologijama. Usporedba porasta isporučene toplinske energije uslijed širenja CTS-a za svaku od razmatranih tehnologija, prikazana je na Slici 31.



Slika 31 Porast isporučene toplinske energije uslijed širenja CTS-a

Kao što je vidljivo iz Slike 31, porast isporučene energije nije toliko značajan koliko je za slučaj porasta pokrivenosti tla. Uzrok koji stoji iza toga je činjenica kako u slučaju cjenovno povoljnije tehnologije, kao što je slučaj s kogeneracijom na biomasu, ekonomski isplativa postaju i područja s relativno nižom potražnjom toplinske energije.

5. ANALIZA UTJECAJA ŠIRENJA CTS-a

Utjecaj proširenja CTS-a analiziran je promatrajući ostvarene uštede primarne energije te smanjenje emisije ugljičnog dioksida. Pri tome je uspoređeno referentno stanje sa slučajem proširenog CTS-a, razmatranog za svaki energent.

5.1. Ušteta primarne energije

Promatrajući referentno stanje, prema Akcijskom planu grada Zagreba [51], od energenata korištenih kod pojedinačnih sustava grijanja, najveći udio ima prirodni plin, a zatim lož ulje, ogrjevno drvo i električna energija. Udio svakog od energenata i pripadajući faktor primarne energije nalazi se u Tablici 11.

Tablica 11 Udio energenata korištenih kod sustava pojedinačnog grijanja te pripadni faktori primarne energije

Energent	Oznaka	Udio, u_i [%]	Faktor primarne energije- $f_{pe,i}$ [-]
Prirodni plin	1	68,68%	1,097
Lož ulje	2	13,75%	1,132
Ogrjevno drvo	3	12,14%	1,111
Električna energija	4	5,42%	1,614

Faktor primarne energije sustava pojedinačnog sustava grijanja $f_{pe,uk}$ izračunat je prema jednadžbi (11) u koju su unešeni ulazni podaci iz Tablice 11 te je dobivena vrijednost od 1,13154. Tablica 12 prikazuje faktore primarne energije za plinski kotao i plinsku kogeneraciju te kotao na biomasu i kogeneraciju na biomasu. Unutar nje je navedeno i koje je potencijalno ekonomsko isplativo proširenje CTS-a za implementacije svake od navedenih tehnologija. Na temelju razlike faktora primarne energije i razlike potražnje za energijom, izračunate su potencijalne uštede primarne energije.

Tablica 12 Uštede primarne energije proširenjem CTS-a

	f_{pe}	$f_{pe,uk} - f_{pe,uk}$	ΔE_{gr} [MWh]	ΔE_{prim} [MWh]
Plinski kotao	1,097	0,034543024	60210,7	2079,9
Plinska kogeneracija	0,7456	0,38592816	956224	369033,4
Kotao na biomasu	1,111	0,020543024	920763,1	18915,3
Kogeneracija na biomasu	1,101	0,029790961	1151009,6	34289,7

Kao što prikazuje Tablica 12, najveće uštede primarne energije se ostvaruju u slučaju primjene plinske kogeneracije. Uzrok tome jest taj što plinske kogeneracije imaju visok omjer električne i toplinske snage.

5.2. Uštede ugljičnog dioksida

Uštede ugljičnog dioksida računate su istom metodom kao i uštede primarne energije. Tablica 13 prikazuje specifične emisije CO₂ koje emitiraju energenti koji se koriste pri pojedinačnom grijanju.

Tablica 13 Udio energenata korištenih kod sustava pojedinačnog grijanja te pripadni emisije CO₂/MWh [51], [66]

Energent	Oznaka	Udio, u_i [%]	Emisija CO ₂ , $m_{CO_2,i}$ [kgCO ₂ /MWh]
Prirodni plin	1	68,68%	220,2
Lož ulje	2	13,75%	310,3
Ogrjevno drvo	3	12,14%	29,09
Električna energija	4	5,42%	234,81

Specifične emisije pojedinačnih sustava grijanja iznose 210,17 kg CO₂/ MWh. Usporedba emisija referentnog slučaja i onoga s proširenjem CTS-a, prikazana je u Tablici 14.

Tablica 14 Uštede emisija CO₂ proširenjem CTS-a

	m_{CO_2} [kg/MWh]	$m_{CO_2,uk} - m_{CO_2}$ [kg/MWh]	ΔE_{gr} [MWh]	ΔM_{CO_2} [kg _{CO2}]
Plinski kotao	220,2	-10,2	60210,7	-614149
Plinska kogeneracija	272,27	-62,1	956224	-59381510
Kotao na biomasu	29,09	181,09	920763,1	166740972
Kogeneracija na biomasu	-50	260,273	1151009,6	299576566

Iako je proračunom dobiveno kako će proširenje CTS-a uzrokovati velike uštede primarne energije, posebice u slučaju kogeneracija, rezultati uštede CO₂ nisu bili očekivani. Razlog tome je taj što u Hrvatskoj proizvodnja električne energije ima relativno niske emisije, budući da se veliki dio električne energije proizvodi u hidroelektranama. U slučaju kada bi se električna energija proizvodila iz termoelektrana, plinska kogeneracija bi postigla značajne uštede ugljičnog dioksida.

6. ZAKLJUČAK

Iako CTS ima već dugu tradiciju, kako u svijetu tako i u Hrvatskoj, zadnjih godina mu se ponovno posvećuje posebna pažnja zbog potencijala koji ima u smanjenju emisija i povećanju energetske učinkovitosti. Budući da proširenje distribucijske mreže zahtjeva velike investicijske troškove, potrebno je identificirati ekonomski isplativa područja. GIS mapiranje predstavlja iznimno koristan alat upravo za ovakvu vrstu analize.

U ovome radu je prikazana metoda mapiranja toplinskih potreba. Prema navedenoj metodi je izrađena karta toplinskih potreba grada Zagreba, na osnovu koje je proveden proračune ekonomski isplativog proširenja CTS-a. Područja identificirana kao ekonomski isplativa su ona na kojima je razlika prihoda ostvarenih od prodaje toplinske energije i rashoda zbog instalacije vrelovoda i troška proizvodnje energije pozitivna.

Ekonomski isplativo proširenje CTS-a određeno je za četiri načina zadovoljavanja dodatnih toplinskih potreba: kotlom i kogeneracijom na plin te kotlom i kogeneracijom na biomasu. Dobiveni rezultati su pokazali kako bi se najveće proširenje centraliziranog toplinskog sustava postiglo instalacijom kogeneracije na biomasu. Implementacijom ovog rješenja ekonomski bi bilo proširiti CTS za 66% u usporedbi s trenutnom pokrivenosti. Ovo proširenje bi imalo za rezultat porast isporučene toplinske energije iz CTS-a od 1 151 009 MWh na godišnjoj bazi. S druge pak strane, instalacija plinskog kotla se pokazala kao najmanje isplativo rješenje koje bi doprinijelo povećanju od samo 6 % pokrivenosti, a gledajući sa strane povećanja isporučene energije, ono bi iznosilo 60 210 MWh.

Na temelju dobivenih rezultata izrađeni su scenariji koji prikazuju uštede primarne energije i ugljičnog dioksida u slučaju implementacije tih mjera. Kogeneracija na biomasu se pokazalo najpovoljnijima i s strane ušteda ugljičnog dioksida, gdje je izračunato kako bi ona doprinijela godišnjoj uštedi od gotovo 300 000 tona. S druge pak strane, najveće uštede primarne energije postigle bi se za slučaj korištenja plinske kogeneracija kojom bi se postigla ušteda više od 360 000 MWh.

LITERATURA

- [1] Europska komisija, "Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on an EU Strategy for Heating and Cooling," 2016. Dostupno na: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/1-2016-51-EN-F1-1.PDF> [Pristupljeno: 27. lipanj 2017]
- [2] Europska komisija, "Paket mjera za Europsku uniju. Okvirna strategija za otpornu energetska uniju s naprednom klimatskom politikom," 2015. Dostupno na: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:1bd46c90-bdd4-11e4-bbe1-01aa75ed71a1.0005.02/DOC_1&format=PDF [Pristupljeno: 27. lipanj 2017]
- [3] The Guardian, "Paris climate change agreement: the world's greatest diplomatic success," 2015. Dostupno na: <https://www.theguardian.com/environment/2015/dec/13/paris-climate-deal-cop-diplomacy-developing-united-nations>. [Pristupljeno: 27. lipanj 2017]
- [4] United Nations, "Paris Agreement," 2015. Dostupno na: https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf [Pristupljeno: 27. lipanj 2017]
- [5] Yann Robiou du Pont, "The Paris Agreement global goals: What does a fair share for G20 countries look like?," 2017. Dostupno na: <http://climate-energy-college.org/paris-agreement-global-goals-what-does-fair-share-g20-countries-look> [Pristupljeno: 27. lipanj 2017]
- [6] Hrastović Inženjering, "Pariška konferencija COP21." Dostupno na: <https://www.hrastovic-inzenjering.hr/primjena-energije/energetski-clanci/energijske-politike/item/655-pariska-konferencija-cop21.html>. [Pristupljeno: 01. srpanj 2017].
- [7] Hrvatska udruga za smanjenje ugljičnog otiska, "Konferencija o klimatskim promjenama (COP 21) i globalni sporazum o klimi, " 2015. Dostupno na: <http://www.huco2.eu/hr/aktualno/cop-21.aspx>. [Pristupljeno: 01. srpanj 2017].
- [8] United Nations, "The Paris Agreement- službena stranica." Dostupno na: http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php. [Pristupljeno: 01. srpanj 2017].
- [9] L. V. D. Ruth Losch, "European Commission presents Energy Winter Package 2016," 2016.
- [10] Europska komisija, "Priopćenje za javnost: Čista energija za sve Europljane – realizacija europskog potencijala za rast." Dostupno na: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-4009_hr.htm. [Pristupljeno: 01. srpanj 2017].
- [11] REGEA, "Što nam donosi Zimski paket Europske komisije? " Dostupno na: <http://www.regea.hr/newsletter-objave/što-nam-donosi-zimski-paket-europske-komisije.html>. [Pristupljeno: 30. lipanj 2017].
- [12] O. Gudmundsson, J. E. Thorsen, L. Zhang, "Cost analysis of district heating compared to its competing technologies," 2013. Dostupno na: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/ESUS13/ESUS13009FU1.pdf> [Pristupljeno: 30. lipanj 2017]
- [13] Solar district heating, "Solarno daljinsko grijanje i urbanističko planiranje." Dostupno na: http://solar-district-heating.eu/Portals/0/Final%20Reporting/HR_SDHInUrbanPlanning.pdf. [Pristupljeno: 01. srpanj 2017]
- [14] LinkedIn, "Distribution of district heating: 4th Generation." Dostupno na:

- <https://www.linkedin.com/pulse/distribution-district-heating-4th-generation-oddgeir-gudmundsson>. [Pristupljeno: 02. srpanj 2017].
- [15] Arcon-Sunmark, "Large-scale showcase projects." Dostupno na: http://arcon-sunmark.com/uploads/ARCON_References.pdf [Pristupljeno: 02. srpanj 2017].
- [16] W. Van Swaaij, S. Kersten, W. Palz, "Transformations to Effective Use-Biomass power for the World," 2015
- [17] Veolia, "100% biomass cogeneration heating network." Dostupno na: <https://www.veolia.com/en/heating-network-cogeneration-biomass>. [Pristupljeno: 02. srpanj 2017].
- [18] Pannonpower, "New biomass power plant officially launched in Pécs." Dostupno na: <http://www.pannonpower.hu/en/member-companies/pannon-ho-kft/news/hir:211/new-biomass-power-plant-officially-launched-in-pecs>. [Pristupljeno: 02. srpanj 2017].
- [19] Decentralized Energy, "Statement of intent by Paris as \$84m biomass district heating plant readied," 2016. Dostupno na: <http://www.decentralized-energy.com/articles/2016/03/statement-of-intent-by-paris-as-84m-biomass-district-heating-plant-readied.html>. [Pristupljeno: 02. srpanj 2017].
- [20] R. Sekret and A. Nitkiewicz. "Exergy analysis of the performance of low-temperature district heating system with geothermal heat pump," 2014.
- [21] EHPA, "The World's Largest 'Natural' District Heat Pump," 2015. Dostupno na: <http://www.ehpa.org/about/news/article/the-worlds-largest-natural-district-heat-pump/>. [Pristupljeno: 2. srpanj 2017].
- [22] Zvonimir Guzović, "Geotermalna energija i dizalice topine."
- [23] Oregon TECH, "Geothermal Information and Technology Transfer ." Dostupno na: <http://www.oit.edu/orec/geo-heat-center>. [Pristupljeno: 28. lipanj 2017].
- [24] A. Elson, R. Tidball, A. Hampson, "Waste Heat to Power Market Assessment Oak Ridge National Laboratory," 2015. Dostupno na: <http://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub52953.pdf> [Pristupljeno: 28. lipanj 2017].
- [25] Prirodoslovno - matematički fakultet, "Interna skripta: Uvod u GIS." Dostupno na: https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/RPUG_P1_Uvod_u_GIS_2016_17.pdf [Pristupljeno: 28. lipanj 2017]
- [26] R. Laws, "LibGuides: How-to Use Geographic Information Systems (GIS): Home."
- [27] I. Šulc, "Digitalna kartografija," 2016.
- [28] "QGIS." Dostupno na: <http://www.qgis.org/en/site/>. [Pristupljeno: 7. lipanj 2017].
- [29] E. Westra. "Building mapping applications with QGIS," 2014.
- [30] Peta, "The Pan-European Thermal Atlas for Croatia . Interactive Web Map." Dostupno na: <http://maps.heatroadmap.eu/berndmoller/maps/30662?preview=true#>. [Pristupljeno: 27. lipanj 2017].
- [31] "GPS Visualizer." Dostupno na: <http://www.gpsvisualizer.com/geocode>. [Pristupljeno: 27. lipanj 2017].
- [32] "OpenStreetMap." Dostupno na: <https://www.openstreetmap.org/#map=16/45.5578/18.6910>. [Pristupljeno: 27. lipanj 2017].
- [33] "F4map Demo." Dostupno na: <http://demo.f4map.com/#camera.theta=0.9>. [Pristupljeno: 27. lipanj 2017].
- [34] "OpenStreetMap Hrvatska." Dostupno na: <http://osm-hr.org/>. [Pristupljeno: 27. lipanj 2017].

- 2017].
- [35] "Overpass turbo." Dostupno na: <https://overpass-turbo.eu/>. [Pristupljeno: 27. lipanj 2017].
- [36] "Google karte." Dostupno na: <https://www.google.hr/maps/@45.7952678,15.9414235,15z>. [Pristupljeno: 05. srpanj 2017].
- [37] "Covenant of Mayors for Climate & Energy. Action Plans". Dostupno na: http://www.covenantofmayors.eu/actions/sustainable-energy-action-plans_en.html. [Pristupljeno: 27. lipanj 2017].
- [38] Crozilla, "Namjena zemljišta." Dostupno na: <https://www.crozilla-nekretnine.com/nekretnine/gradevinska-zemljista>. [Pristupljeno: 27. lipanj 2017].
- [39] "CLC 2012. Copernicus Land Monitoring Service." Dostupno na: <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012/view>. [Pristupljeno: 27. lipanj 2017].
- [40] CORINE Land Cover Hrvatska, "CORINE pokrov zemljišta Hrvatska," 2015. Dostupno na: <http://www.azo.hr/CORINELandCover>. [Pristupljeno: 27. lipanj 2017]
- [41] Ranko Keindl, "Energetsko certificiranje i toplinska sanacija postojećih zgrada," 2010. Dostupno na: <http://seminar.tvz.hr/materijali/materijali9/A05.pdf>. [Pristupljeno: 05. srpanj 2017]
- [42] "Open EI. Levelized Cost Calculations." Dostupno na: http://en.openei.org/apps/TCDB/levelized_cost_calculations.html. [Pristupljeno: 06. srpanj 2017].
- [43] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, "Studija primjenjivosti alternativnih sustava," 2014. Dostupno na: http://www.mgipu.hr/doc/EnergetskaUcinkovitost/STUDIJA_primjenjivosti_AS.pdf [Pristupljeno: 27. lipanj 2017].
- [44] E. Latošov, A. Volkova, A. Siirde, J. Kurnitski, and M. Thalfeldt, "Primary energy factor for district heating networks in European Union member states," 2017.
- [45] Anna Życzyńska. "The Primary Energy Factor for the Urban Heating System with the Heat Source Working in Association," 2013.
- [46] Državni zavod za statistiku- Republika Hrvatska, "Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011." Dostupno na: <http://www.dzs.hr/Hrv/censuses/census2011/censuslogo.htm> [Pristupljeno: 28. lipanj 2017]
- [47] Državna geodetska uprava, "Podjela na listove karata i katastarskih planova Republike Hrvatske u HTRS96/TM projekcijskom koordinatnom referentnom sustavu." Dostupno na: <http://listovi.dgu.hr/>. [Pristupljeno: 29. lipanj 2017]
- [48] "ZG geoportal." Dostupno na: <https://geoportal.zagreb.hr/Karta>. [Pristupljeno: 29. lipanj 2017]
- [49] Grad Zagreb službene stranice, "Odluka o donošenju Generalnoga urbanističkog plana grada Zagreba," 2016. Dostupno na: <http://www.zagreb.hr/generalni-urbanisticki-plan-grada-zagreba-gup/89066>. [Pristupljeno: 28. lipanj 2017].
- [50] "Google karte." Dostupno na: <https://www.google.hr/maps/@45.791726,15.939908,13z>. [Pristupljeno: 28. lipanj 2017].
- [51] Grad Zagreb, "Akcijski plan energetski održivog razvitka grada Zagreba, 2010."

- Dostupno na: http://www.eko.zagreb.hr/UserDocsImages/akcijski_plan_2013.pdf
[Pristupljeno: 29. lipanj 2017.]
- [52] Grad Zagreb službene stranice, "Redovne Osnovne Skole grada Zagreba." Dostupno na: <http://www.zagreb.hr/osnovne-skole-grada-zagreba/5790>. [Pristupljeno: 30. lipanj 2017.]
- [53] Grad Zagreb službene stranice, "Srednje škole Grada Zagreba." Dostupno na: <http://www.zagreb.hr/srednje-skole-grada-zagreba/22067>. [Pristupljeno: 30. lipanj 2017.]
- [54] Grad Zagreb službene stranice, "Gradski dječji vrtići." Dostupno na: <http://www.zagreb.hr/gradski-djecji-vrtici/64688> [Pristupljeno: 30. lipanj 2017].
- [55] Grad Zagreb službene stranice, "Poliklinika u Zagrebu." Dostupno na: <http://www.zagreb.hr/poliklinike/467>. [Pristupljeno: 30. lipanj 2017].
- [56] HEP Toplinarstvo d.o.o, "Cijene/tarife/naknade za krajnje kupce toplinske energije u centralnim toplinskim sustavima (CTS):" Dostupno na: http://www.hep.hr/toplinarstvo/UserDocsImages/dokumenti/krajnji-kupci/cijene/Prilog_2_CJENIK_CTS_ZAGREB.PDF. [Pristupljeno: 28. lipanj 2017]
- [57] Energetski institut Hrvoje Požar, "Program korištenja potencijala za učinkovitost u grijanju i hlađenju za razdoblje 2016.–2030.," 2015. Dostupno na: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/DOC_88244.pdf [Pristupljeno: 28. lipanj 2017]
- [58] Europska komisija, "Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects," 2014. Dostupno na http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf [Pristupljeno: 04. srpanj 2017].
- [59] Porezna uprava, "Porez na dodanu vrijednost (PDV)." Dostupno na: <https://www.porezna-uprava.hr/obrtnici/Stranice/PDV.aspx>. [Pristupljeno: 4. srpanj 2017].
- [60] Energistyrelsen, "Technology data for energy plants," 2012. Dostupno na: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/c_teknologikatalog_for_individuelle_varmeanlaeg_og_energitransport_2012.pdf [Pristupljeno: 28. lipanj 2017]
- [61] HEP grupa, "Godišnje izvješće 2015." Dostupno na: http://www.hep.hr/UserDocsImages//dokumenti/Godisnje_izvjesce//2015godisnje.pdf [Pristupljeno: 28. lipanj 2017]
- [62] HROTE, "Godišnji izvještaj o uspostavi EKO bilanične grupe u 2016. godini," 2017. Dostupno na: http://files.hrote.hr/files/EKO_BG/DOKUMENTI/EKO_bilan%C4%8Dna_grupa_godisnji_izvjestaj_za_2016.pdf [Pristupljeno: 28. lipanj 2017]
- [63] R. Pašičko, D. Kajba, J. Domac, "Konkurentnost šumske biomase u Hrvatskoj u uvjetima tržišta CO₂ emisija," 2009. Dostupno na : http://www.academia.edu/19138284/KONKURENTNOST_%C5%A0UMSKE_BIOMASE_U_HRVATSKOJ_U_UVJETIMA_TR%C5%BDI%C5%A0TA_CO2_EMISIJA. [Pristupljeno: 29. lipanj 2017]
- [64] Dražen Lončar, Goran Krajačić, Milan Vujanović, Ivan Juraga, "Podrška developerima-primjeri najbolje prakse za kogeneraciju na drvenu biomasu," 2009. Dostupno na: http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/BIOCHP_HR.pdf. [Pristupljeno: 09. srpanj 2017]
- [65] Aalborg Energie Teknik, "Biomass fired Plants-References." Dostupno na:

- <http://www.aet-biomass.com/en-GB/Home/References/Biomass-Fired-Plants.aspx>.
[Pristupljeno: 07. srpanj 2017].
- [66] Energetski institut Hrvoje Požar, "Faktori primarne energije i emisija CO₂," 2014
Dostupno na:http://www.encert-eihp.org/wp-content/uploads/2014/11/0-FAKTORI_primarne_energije.pdf. [Pristupljeno: 30. lipanj 2017]

PRILOZI

- I. CD-R disc