



STUDIJSKA ANALIZA

Energetska obnova, tranzicija i dekarbonizacija u okviru rada na Programu cjelovite obnove povijesne jezgre Grada Zagreba – Faza I (Pilot projekt BLOK-19) i Faza II (Gornji grad i Kaptol; Donji grad)

Izrađivač studije:

Fakultet strojarstva i brodogradnje
Sveučilište u Zagrebu
Ivana Lučića 5
10 002 Zagreb
<https://www.fsb.unizg.hr/>

Naručitelj:

Grad Zagreb
Zavod za prostorno uređenje Grada Zagreba
Republike Austrije 18
10 000 Zagreb

Voditelj studije:

prof. dr. sc. Neven Duić
Katedra za energetska postrojenja i energetiku
Zavod za energetska postrojenja, energetiku i okoliš

Autori

prof. dr. sc. Neven Duić
izv. prof. Goran Krajačić
doc. dr. sc. Tomislav Pukšec
prof. dr. sc. Vladimir Soldo
Hrvoje Dorotić, mag. ing. mech.
dr. sc. Luka Boban
Tomislav Novosel, mag. ing. mech.
Miljenko Sedlar, dipl. ing.
dr. sc. Julije Domac
izv. prof. Zoran Veršić

SADRŽAJ

1.	Uvod.....	4
2.	Ulazni podaci i pretpostavke.....	5
3.	Procjena trenutnih energetske potreba, potrošnje i emisija Bloka-19	7
3.1.	Referentne energetske potrebe i energetska potrošnja	7
3.2.	Referentne emisije CO ₂	9
3.3.	Procjena vršnog energetskeg opterećenja za referentno stanje.....	9
4.	Prijedlog tehničkih rješenja.....	10
4.1.	Scenarij 1 – Spajanje na centralizirani toplinski sustav Grada Zagreba	10
4.2.	Scenarij 2 – Integracija fotonaponskih panela	11
4.3.	Scenarij 3 – Integracija solarnih toplovodnih kolektora	12
4.4.	Scenarij 4 – Integracija dizalice topline	14
4.5.	Scenarij 5 – Energetska obnova zgrada	18
5.	Analiza tehničkih rješenja	19
5.1.	Rezultati Scenarija 1 - Spajanje na centralizirani toplinski sustav Grada Zagreba	19
5.2.	Rezultati Scenarija 2 - Integracija fotonaponskih panela.....	20
5.3.	Rezultati Scenarija 3 - Integracija solarnih toplovodnih kolektora.....	22
5.4.	Rezultati Scenarija 4 - Integracija dizalice topline	23
5.5.	Rezultati Scenarija 5 – Energetska obnova zgrada	28
6.	SWOT analiza tehničkih rješenja.....	30
7.	Konačni prijedlog tehničkog rješenja za Blok-19.....	34
8.	Analiza toplinskih potreba ostatka povijesne jezgre Grada Zagreba.....	35
9.	Potencijal repliciranja predloženog tehničkog rješenja na ostatak povijesne jezgre Grada Zagreba.....	36
10.	Zaključak.....	38
	Korištena literatura.....	39

POPIS SLIKA

Slika 1 Meteorološki podaci za Grad Zagreb.....	5
Slika 2 Prikaz objekata u Bloku-19.....	5
Slika 3 Prikaz različitih krovova objekata Bloka-19 prema orijentaciji: zeleno – istok-zapad, smeđe – sjever-jug, ružičasta – ravni krov	6
Slika 4 Energetske potrebe prema vrsti potrošnje za referentno stanje	8
Slika 5 Potrošnja finalne energije za referentno stanje	8
Slika 6 Potrošnja primarne energije za referentno stanje.....	8
Slika 7 CO ₂ emisije po vrsti potrošnje za referentno stanje.....	9
Slika 8 Prijedlog širenja toplinske mreže (crveno) i lokacija krajnje točke postojećeg parovoda (narančasto).....	11
Slika 9 Specifična proizvodnja električne energije fotonaponskih – različiti krovovi	12
Slika 10 Primjer fotonaponskog panela instaliranog na krovu	12
Slika 11 Specifična proizvodnja solarnih kolektora – ravni i južni krov	13
Slika 12 Primjer pločastog toplovodnog solarnog kolektora	13
Slika 13 Shematski prikaz dizalice topline s podzemnom vodom (lijevo) i dizalice topline s BIT-om (desno) (preuzeto iz VDI 4640 Thermal use of the underground: Ground source heat pump systems).....	14
Slika 14 Usporedba temperature zraka te temperature tla po mjesecima za različite dubine.....	15
Slika 15 Geološka karta Zagreba i okolice s prikazom vodonosnika i lokacije Bloka-19 (preuzeto iz Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A.: Osnovna geološka krata SFRJ, Hrvatski geološki institut)..	15
Slika 16 Energetski razred zgrada Bloka-19 prije i nakon obnove.....	18
Slika 17 Lokacija potencijalnog spajanja na postojeći parovod (narančasto), prijedlog širenja toplinske mreže (crveno) i lokacija dodatnih blokova (zeleno) za potencijalno spajanje	19
Slika 18 Opcija 1 – spajanje na toplinsku mrežu CTS-a putem parovoda.....	20
Slika 19 Opcija 2 – spajanje na toplinsku mrežu CTS-a putem toplovoda (moguće uspostavljanje daljinskog hlađenja)	20
Slika 20 Utjecaj integracije PV panela na potrošnju energije i CO ₂ emisije – sektor potrošnje električne energije	22
Slika 21 Utjecaj integracije solarnih toplovodnih kolektora na potrošnju energije i CO ₂ emisije – sektor PTV	23
Slika 22 Slika s prikazom mogućih mjesta za primjenu BIT-ova (označeno crvenom bojom) i prikaz objekata čije je potrebe moguće namiriti sustavima dizalica topline (žuta boja – dizalice topline tlo-voda s bušotinama na Polju 2 i Polju 3a i 3b, plava boja – dizalica topline voda-voda)	24
Slika 23 Utjecaj integracije energetske obnove zgrada na potrošnju energije i CO ₂ emisije – sektor grijanja prostora	29
Slika 24 Toplinske potrebe za grijanjem povijesne jezgre Grada Zagreba.....	35
Slika 25 Početne točke širenja toplinske mreže Grada Zagreba (plavo).....	37

POPIS TABLICA

Tablica 1 Podaci o ukupnoj površini.....	6
Tablica 2 Specifične godišnje energetske potrebe	6
Tablica 3 Ukupna tlocrtna površina krovova prema orijentaciji.....	6
Tablica 4 Faktori primarne energije i specifične emisije prema energentima	7
Tablica 5 Energetske potrebe i potrošnja	7
Tablica 6 Ukupne emisije CO ₂ za referentno stanje	9
Tablica 7 Vršno opterećenje	9
Tablica 8 Parametri postojećeg parovoda (krajnja točka Klaićeva-Kačićeva)	10
Tablica 9 Toplinski kapacitet postojećeg parovoda (krajnja točka Klaićeva-Kačićeva)	10
Tablica 10 Ulazni podaci za modeliranje fotonaponskih panela	11
Tablica 11 Podaci o troškovima – fotonaponski paneli	12
Tablica 12 Ulazni podaci za modeliranje toplovodnih kolektora	13
Tablica 13 Podaci o troškovima – pločasti toplovodni kolektori.....	13
Tablica 14 Pretpostavke vezane za izdašnost izvora podzemne vode	16
Tablica 15 Ulazni podaci za modeliranje tla.....	16
Tablica 16 Ulazni podaci za modeliranje dizalice topline	16
Tablica 17 Podaci o troškovima – dizalica topline voda-voda	17
Tablica 18 Prikaz specifičnih toplinskih potreba prije i poslije energetske obnove.....	18
Tablica 19 Pregled ključnih rezultata integracije fotonaponskih panela – južni krovovi.....	21
Tablica 20 Pregled ključnih rezultata integracije fotonaponskih panela – ravni krovovi.....	21
Tablica 21 Pregled ključnih rezultata integracije solarnih toplovodnih kolektora – južni krovovi.....	22
Tablica 22 Pregled ključnih rezultata integracije solarnih toplovodnih kolektora – ravni krovovi.....	23
Tablica 23 Opis razmatranih površina za ugradnju	24
Tablica 24 Energetske potrebe objekta za primjenu dizalice topline voda-voda.....	24
Tablica 25 Potrošnja energije za pogon dizalice topline voda-voda u režimu rada s krivuljom grijanja za objekt od 3,488 m ²	25
Tablica 26 Pregled ključnih rezultata integracije dizalice topline voda-voda pri radu s krivuljom grijanja	25
Tablica 27 Energetske potrebe objekta za primjenu dizalice topline tlo-voda na Polju 2.....	26
Tablica 28 Potrošnja energije za pogon dizalice topline tlo-voda u režimu rada s krivuljom grijanja za objekt od 1154 m ²	26
Tablica 29 Pregled ključnih rezultata integracije dizalice topline tlo-voda u načinu rada s krivuljom grijanja za Polje 2.....	27
Tablica 30 Potencijal iskorištavanja obnovljive energije tla uz razmak bušotina od 7 metara i dubinu bušenja od 100 metara.....	27
Tablica 31 SWOT analiza Scenarija 1 - Spajanje na centralizirani toplinski sustav Grada Zagreba ..30	
Tablica 32 SWOT analiza Scenarija 2 i 3 - Integracija fotonaponskih panela i solarnih toplovodnih kolektora.....	31
Tablica 33 SWOT analiza Scenarija 4 - Integracija Temeljna prijetnja dizalice topline.....	32
Tablica 34 SWOT analiza Scenarija 5 – Energetska obnova zgrada	33

1. Uvod

Potres jačine 5,5 po Richteru koji je 22.03.2020. pogodio Grad Zagreb nanio je veliku materijalnu štetu, posebice zgradama povijesnog urbanog dijela Grada. Proces obnove predstavlja jedinstvenu priliku za međusektorsku suradnju kako bi se Grad Zagreb postavio na put energetske tranzicije koja se temelji na dekarbonizaciji, integraciji obnovljivih izvora energije, povećanju energetske učinkovitosti i održivosti. Na ovaj način, Grad Zagreb bi se dokazao kao metropola članice Europske Unije koja si je postavila za cilj postati prvi klimatski neutralni kontinent do 2050. godine. Uspješno provođenje energetske obnove, tranzicije i dekarbonizacije povijesne jezgre Grada Zagreba bi predstavljalo veliki korak u energetskej tranziciji Republike Hrvatske, čime bi Grad Zagreb postao pokazni primjer dobre prakse u Hrvatskoj i EU. Kako bi se taj projekt i ostvario, potrebno je odraditi istraživanje te izraditi studiju koja će ponuditi najprikladnija tehnička rješenja.

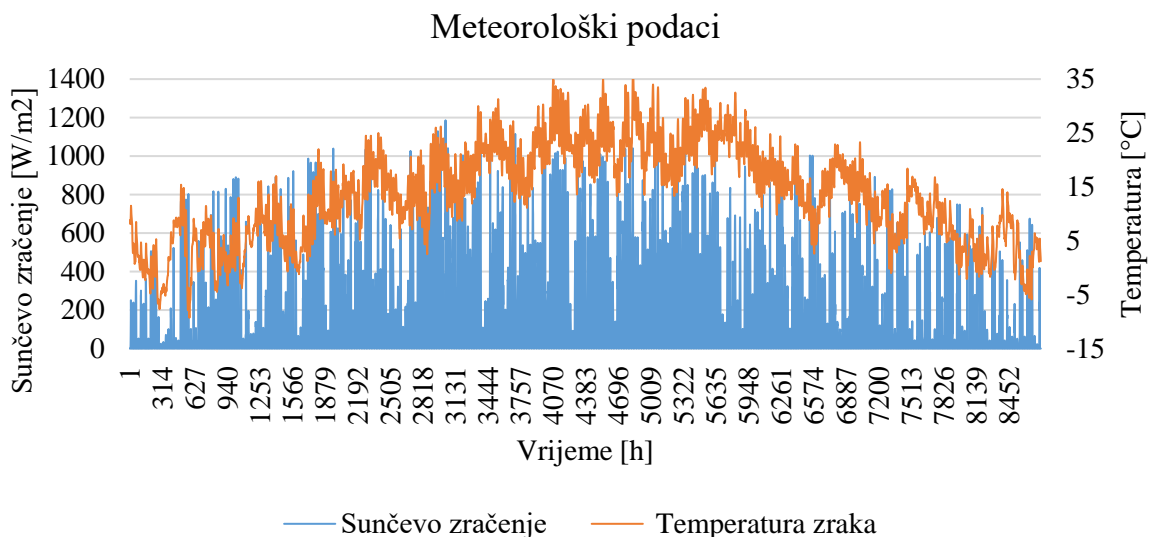
Ovaj elaborat predstavlja prvu fazu koja uključuje pilot projekt Blok-19. U sklopu ove faze procijenjeno je trenutno energetske stanje bloka, uključujući potrošnju energije, infrastruktura zgrada te mogućnost energetske obnove. Osim ocjene energetskeg stanja, izrađena je i procjena potencijala tla i podzemnih voda te analiza spajanja na postojeću energetskej infrastrukturu u blizini. Na temelju sakupljenih podataka predloženo je nekoliko tehničkih rješenja, koja su uspoređena na temelju različitih ključnih parametara.

Glavni rezultat elaborata je prijedlog konačnog tehničkog rješenja koje se tehnički može uklopiti u Blok-19 te omogućiti energetskej tranziciju prema čistoj energiji i dekarbonizaciji. Nadalje, konačno tehničko rješenje mora se moći integrirati i u ostale blokove povijesne jezgre Grada Zagreba. U ovome elaboratu su prikazane potencijalne prepreke za implementaciju tehničkog rješenja u ostatak povijesne jezgre Grada Zagreba.

Elaborat je podijeljen u deset poglavlja. Poglavlje 2 predstavlja ulazne podatke i pretpostavke potrebne za procjenu trenutne potrošnje energije. U Poglavlju 3 prikazana je struktura trenutne energetske potrošnje i CO₂ emisija po sektorima potrošnje i vrsti energenta. Prijedlog tehničkih rješenja, odnosno scenarija, prikazan je u Poglavlju 4. U Poglavlju 5 provedena je detaljna analiza svih tehničkih rješenja te su predložene tehničke karakteristike svakog scenarija. Dodatno je provedena i SWOT analiza svih tehničkih rješenja koja je prikazana u Poglavlju 6. Poglavlje 7 predlaže konačno tehničko rješenje. Poglavlje 8 prikazuje analizu toplinskih potreba za grijanjem ostatka povijesne jezgre Grada Zagreba, dok Poglavlje 9 prikazuje analizu potencijala replikacije odabranog tehničkog rješenja na povijesnu jezgru Grada Zagreba. Konačno, Poglavlje 10 prikazuje zaključke elaborata.

2. Ulazni podaci i pretpostavke

Analiza energetske potrebe i potencijala za proizvodnju energije započinje definiranjem lokacije objekta. Blok-19 nalazi se u povijesnoj jezgri Grada Zagreba i okružen je ulicama Ilica- Frankopanska – Dalmatinska – Medulićeva. Na navedenoj lokaciji pretpostavljeni su meteorološki podaci koji su referenti za Grad Zagreb. Slika 1 prikazuje satnu distribuciju meteoroloških podataka.



Slika 1 Meteorološki podaci za Grad Zagreb

Detaljni pregled lokacije, zajedno s pripadajućim objektima Bloka-19, prikazuje Slika 2. Na temelju ulaznih podataka o tlocrtnoj površini i visini zgrada izračunata je ukupna bruto i neto površina svih objekata. Osim navedenog, poznate su i namjene korištenja prostora objekata unutar Bloka-19.



Slika 2 Prikaz objekata u Bloku-19

Tablica 1 prikazuje podatke o ukupnoj površini. Na temelju ulaznih podataka, izračunata je ukupna neto površina zgrada koja iznosi 52,450 m².

Tablica 1 Podaci o ukupnoj površini

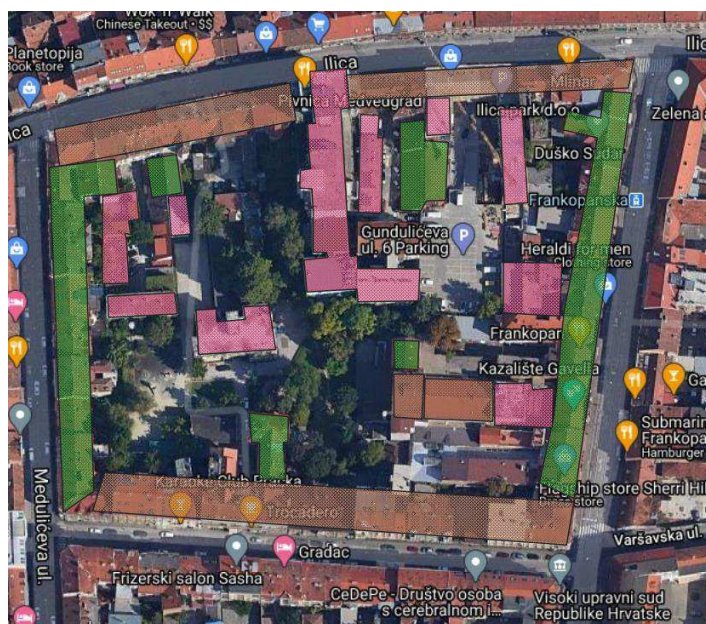
Ukupna bruto površina zgrada [m ²]	74,929
Ukupna neto površina zgrada [m ²]	52,450

Podaci o neto površini i vrsti objekata su ključni za modeliranje energetske potrebe jer se temelje na poznavanju specifičnih godišnjih energetske potrebe. Tablica 2 prikazuje specifične godišnje energetske potrebe. Pretpostavljene specifične energetske potrebe temeljene su na saznanjima o susjednim blokovima povijesne jezgre Grada Zagreba. Važno je primijetiti kako su specifične energetske potrebe za grijanje prostora relativno visoke. Razlog tome je pretpostavljena niska razina toplinske izolacije objekata.

Tablica 2 Specifične godišnje energetske potrebe

Vrsta energetske potrebe	Grijanje prostora	Priprema potrošne tople vode	Hlađenje	Ostali kućanski aparati
Specifične energetske potrebe [kWh/m ²]	233	44	45	48

Konačno, potrebno je poznavati i ukupne površine krovova. Na temelju prostorne orijentacije bloka, moguće je primijetiti dva ključna smjera: istok-zapad i sjever-jug. Osim navedenog, primijećeni su i objekti s ravnim krovovima. Prostornu raspodjelu krovova prikazuje Slika 3.



Slika 3 Prikaz različitih krovova objekata Bloka-19 prema orijentaciji: zeleno – istok-zapad, smeđe – sjever-jug, ružičasta – ravni krov

Ukupna tlocrtna površina krovova iznosi oko 13,600 m², a Tablica 3 prikazuje detaljnu raspodjelu tlocrtna površine prema orijentaciji.

Tablica 3 Ukupna tlocrtna površina krovova prema orijentaciji

Orijentacija krova	Sjever-jug	Istok-zapad	Ravni krov
Ukupna površina [m ²]	5,368	4,418	3,812

3. Procjena trenutnih energetske potreba, potrošnje i emisija Bloka-19

Na temelju ulaznih podataka prikazanih u Poglavlju 2, izračunate su ukupne energetske potrebe Bloka-19. Pomoću pretpostavljenih tehnologija i korištenih energenata za pokrivanje energetske potreba izračunata je ukupna finalna potrošnja energije. Poznavanjem faktora primarne energije, za pojedini energent, izračunata je ukupna potrošnja primarne energije. Navedena saznanja detaljno su prikazana u nastavku u Poglavlju 3.1, dok su ukupne emisije CO₂ prikazane u Poglavlju 3.2. Konačno, Poglavlje 3.3 prikazuje procjenu vršnog opterećenja za pojedine sektore potrošnje energije.

3.1. Referentne energetske potrebe i energetska potrošnja

Ukupna energetska potrošnja Bloka-19 može se podijeliti u nekoliko sektora: grijanje prostora, priprema potrošne tople vode, hlađenje i ostali kućanski aparati. Pretpostavljeno je kako se energetske potrebe sektora grijanja prostora i priprema potrošne tople vode pokrivaju korištenjem prirodnog plina u individualnim kotlovima određene energetske učinkovitosti. Za hlađenje prostora koriste se dizalice topline zrak-zrak („split-sustavi“) pogonjene električnom energijom. Potrošnja ostalih kućanskih aparata se također pokriva električnom energijom. Tablica 4 prikazuje faktore primarne energije i specifične emisije prema korištenim energentima.

Tablica 4 Faktori primarne energije i specifične emisije prema energentima

Energent	Prirodni plin	Električna energija
Faktor primarne energije [-]	1.09	1.61
Specifične emisije CO ₂ [kg CO ₂ /MWh]	220.2	234.81

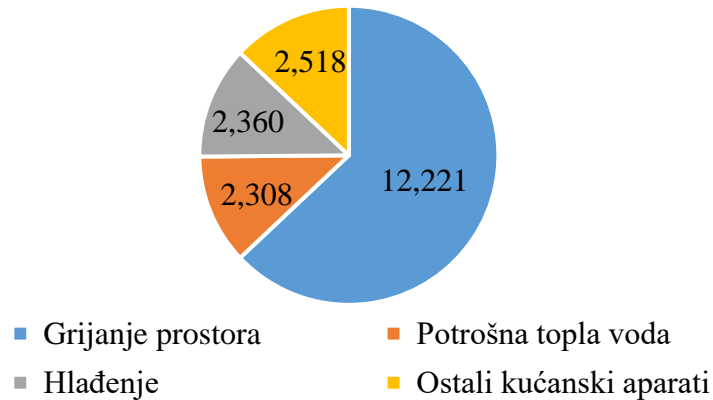
Tablica 5 prikazuje ukupne energetske potrebe i potrošnju Bloka-19. Ukupne energetske potrebe su jednake 19,407 MWh. Ukupna finalna energetska potrošnja je jednaka 20,397 MWh, dok je ukupna potrošnja primarne energije jednaka 27,023 MWh. Važno je naglasiti kako navedeni podaci predstavljaju teorijsku potrošnju energiju koja se može razlikovati od stvarne potrošnje koja ovisi o navikama stanara, financijskom stanju te ostalim parametrima koje nisu uzete u obzir za potrebe ove studije. Navedene energetske potrebe prikazuju referentno stanje koje će biti korišteno za usporedbu s tehničkim rješenjima.

Tablica 5 Energetske potrebe i potrošnja

Energetske potrebe - korisna energija [MWh]	19,407
Finalna energija [MWh]	20,397
Primarna energija [MWh]	27,023

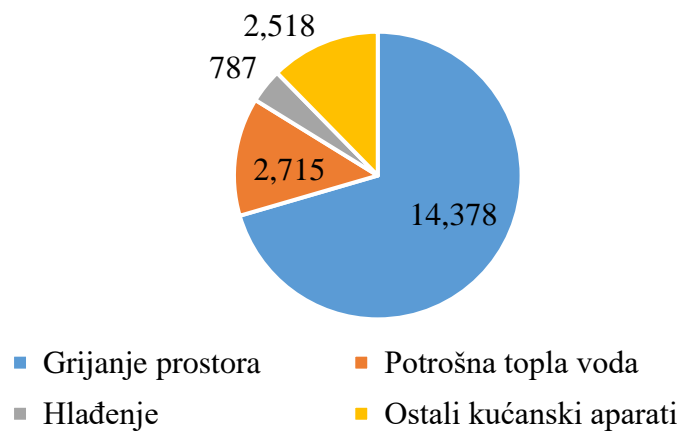
Slika 4 prikazuje raspodjelu energetske potreba prema vrsti potrošnje. Može se primijetiti kako najveći dio zauzima sektor grijanja prostora, oko 60%, dok su ostali sektori jednoliko raspodijeljeni. Slična raspodjela udjela je očita kada se proučava potrošnja finalne energije, koju prikazuje Slika 5. Važno je napomenuti kako je glavni uzrok potrošnje fosilne energije unutar Bloka-19 upravo sektor grijanja prostora. Ovu činjenicu dokazuje Slika 6 koja prikazuje prikaz potrošnje primarne energije unutar Bloka-19. Potrošnja prirodnog plina zauzima oko 60% ukupne potrošnje primarne energije, što se otprilike poklapa s udjelom potrošnje finalne energije za grijanje prostora.

Energetske potrebe [MWh]



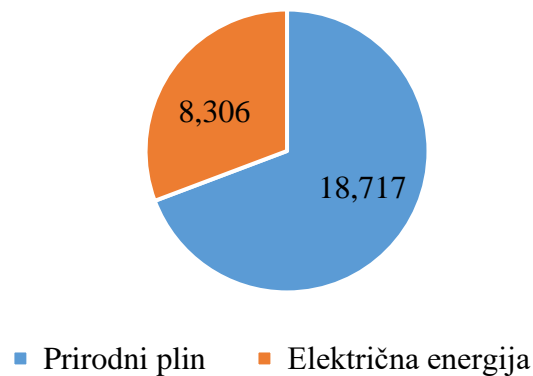
Slika 4 Energetske potrebe *prema vrsti potrošnje* za referentno stanje

Potrošnja finalne energije [MWh]



Slika 5 *Potrošnja finalne energije* za referentno stanje

Potrošnja primarne energije [MWh]



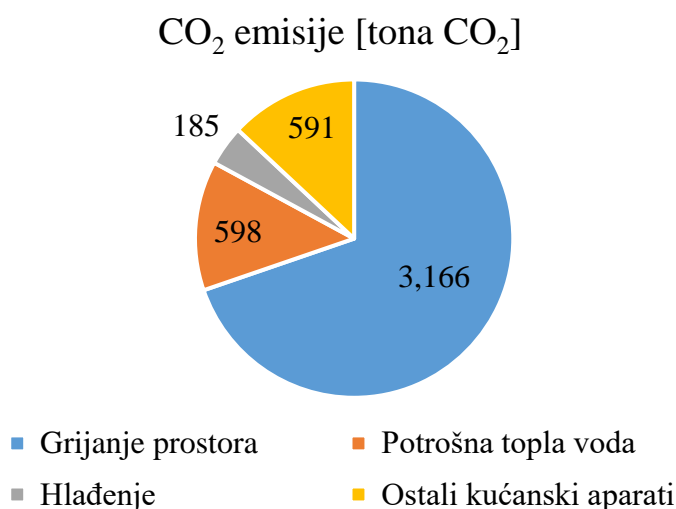
Slika 6 *Potrošnja primarne energije* za referentno stanje

3.2. Referentne emisije CO₂

Koristeći podatke o finalnoj potrošnji energije i korištenim tehnologijama, odnosno energentima, mogu se izračunati ukupne emisije CO₂, koje prikazuje Tablica 6. Ukupne emisije CO₂ Bloka-19 za referentno stanje iznose 4,540 tona CO₂. Raspodjela emisija prema sektorima potrošnje prikazuje Slika 7. Važno je primijetiti kako je glavni uzrok emisija CO₂ sektor grijanja prostora. Može se zaključiti kako se energetska tranzicija Bloka-19 temelji na dekarbonizaciji upravo tog sektora potrošnje.

Tablica 6 Ukupne emisije CO₂ za referentno stanje

Ukupne emisije CO₂ [tona CO₂]	4,540
--	-------



Slika 7 CO₂ emisije po vrsti potrošnje za referentno stanje

3.3. Procjena vršnog energetskog opterećenja za referentno stanje

Koristeći podatke o ukupnim energetski potrebama izračunato je vršno opterećenje prema sektorima potrošnje, kako prikazuje Tablica 7. Važno je naglasiti kako ovo predstavlja teorijske vrijednosti koje su vjerojatno precijenjene. Primjerice, prema prikazanim rezultatima vršno opterećenje za grijanje prostora je oko 7.2 MW, što rezultira s 1,700 sati nominalnog rada. Moguće je očekivati više sati nominalnog rada, oko 2,000, što rezultira manjim vršnim opterećenjem od 6.1 MW.

Tablica 7 Vršno opterećenje

Vrsta energetskih potreba	Grijanje prostora	Priprema potrošne tople vode	Hlađenje	Ostali kućanski aparati
Vršno opterećenje [MW]	7.19	0.56	<i>U ovoj fazi teško procijeniti</i>	0.43
Nominalni broj sati [h]	1,700	4,100	<i>U ovoj fazi teško procijeniti</i>	5,800

4. Prijedlog tehničkih rješenja

Ključan rezultat ove analize je prijedlog tehničkog rješenja koje će biti u skladu s tehničkim i pravnim polazišnim točkama i koje će omogućiti dekarbonizaciju Bloka-19. Nadalje, predloženo tehničko rješenje mora se moći uklopiti i u ostale blokove povijesne jezgre Grada Zagreba.

Elaborat predlaže pet scenarija. U ovome poglavlju predstavljeni su ključni ulazni podaci za svako tehničko rješenje. Scenarij 1, predstavljen u Poglavlju 4.1, razmatra spajanje na centralizirani toplinski sustav (CTS) Grada Zagreba. Scenarij 2 i 3, predstavljeni u Poglavlju 4.2 i Poglavlju 4.3, uključuju iskorištavanje krovova zgrada za integraciju solarnih fotonaponskih panela i toplovodnih kolektora. Nadalje, Scenarij 4, predstavljen u Poglavlju 4.4, razmatra instalaciju dizalice topline i iskorištavanje potencijala tla i podzemnih voda. Konačno, Scenarij 5 analizira energetske obnovu zgrada unutar Bloka-19, kao što je prikazano u Poglavlju 4.5.

4.1. Scenarij 1 – Spajanje na centralizirani toplinski sustav Grada Zagreba

Scenarij 1 predlaže spajanje na centralizirani toplinski sustav Grada Zagreba. Ovo tehničko rješenje može poslužiti za pokrivanje toplinskih potreba za grijanje prostora i pripremu potrošne tople vode. Važno je navesti kako je moguće s određenom konfiguracijom tehničkog rješenja pokriti i hlađenje. Najbliža točka za spajanje je ujedno i krajnja točka postojećeg parovoda koja se nalazi na križanju Klaićeve i Kačićeve ulice. Ovaj parovod pripada velikoj toplinskoj mreži HEP Toplinarstva, a izvor topline predstavlja kogeneracijsko postrojenje EL-TO koje koristi prirodni plin. Tijekom komunikacije s predstavnicima HEP Toplinarstva, zaprimljeni su parametri parovoda na spomenutoj lokaciji. Tablica 8 prikazuje promjer parovoda te tlak i temperaturu pare. Uz pretpostavljenu brzinu strujanja pare od 40 m/s, moguće je izračunati ukupni toplinski kapacitet parovoda na spomenutoj lokaciji.

Tablica 8 *Parametri postojećeg parovoda (krajnja točka Klaićeve-Kačićeva)*

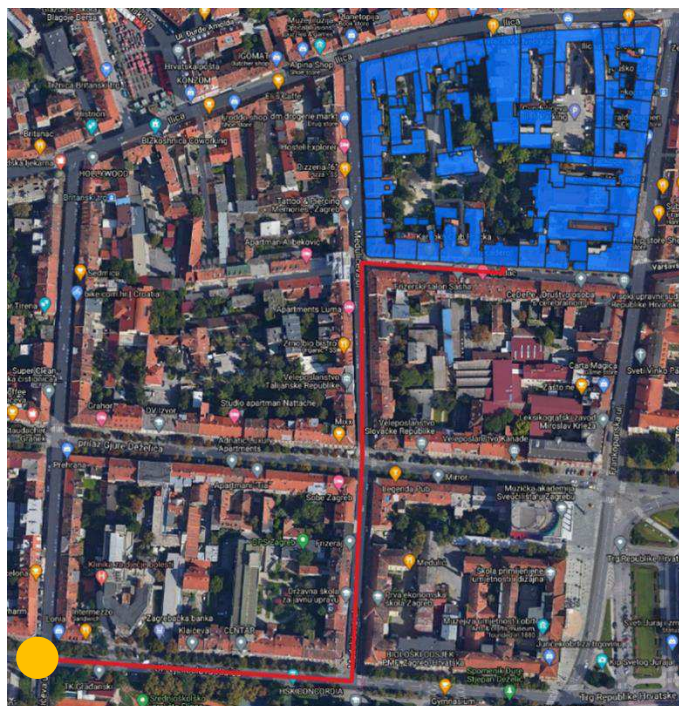
Brzina strujanja (m/s)	Promjer parovoda, DN [mm]	Tlak pare [bar]	Temperatura pare [°C]
40	250	16	220

Ukupni toplinski kapacitet parovoda iznosi oko 30 MW, kao što prikazuje Tablica 9. U ovoj fazi studije nije poznat dostupan kapacitet parovoda koji bi poslužio za pokrivanje toplinskih potreba dodatnih potrošača. Međutim, važno je naglasiti kako je parovod trenutno prekapacitiran pošto mnogi krajnji industrijski potrošači (kupci toplinske energije) više nisu na lokaciji. Uzimajući u obzir ovaj podatak, pretpostavljeno je kako je dostupno 50% maksimalnog kapaciteta, odnosno oko 15 MW.

Tablica 9 *Toplinski kapacitet postojećeg parovoda (krajnja točka Klaićeve-Kačićeva)*

Ukupni kapacitet [MW]	Dostupni kapacitet [%]	Dostupni kapacitet [MW]
30	50	15

Slika 8 prikazuje lokaciju Bloka-19 i krajnju točku parovoda. Ukupna duljina nove toplinske mreže, je 626 m. Važno je primijetiti kako predložena trasa nove toplinske mreže prolazi pokraj susjednih blokova koji se također potencijalno mogu spojiti.



Slika 8 Prijedlog širenja toplinske mreže (crveno) i lokacija krajnje točke postojećeg parovoda (narančasto)

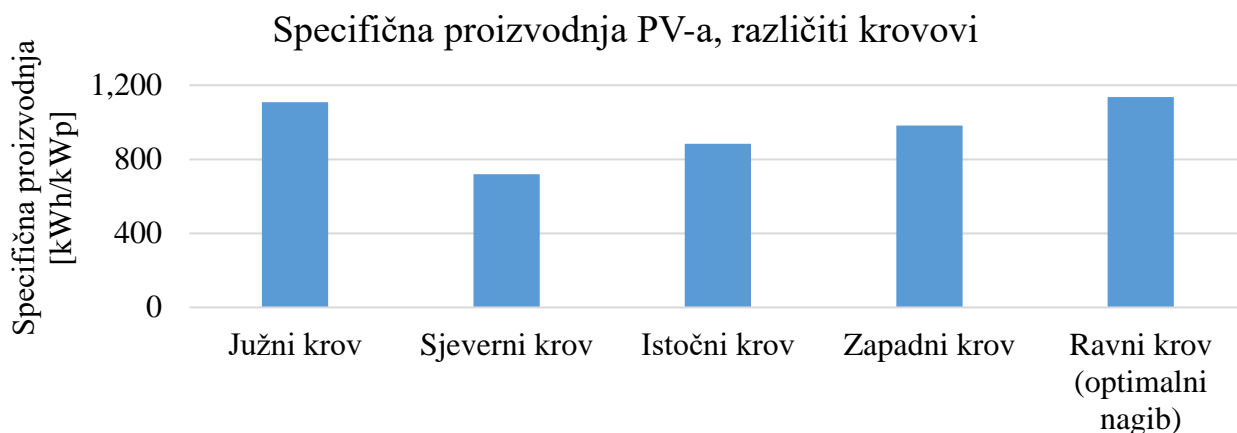
4.2. Scenarij 2 – Integracija fotonaponskih panela

Scenarij 2 predlaže iskorištavanje sunčeve energije pomoću fotonaponskih (PV) panela integriranih na krovove objekata Bloka-19. Ovo tehničko rješenje može pokriti djelomičnu lokalnu potrošnju električne energije. Modeliranje specifične proizvodnje fotonaponskih panela je urađeno pomoću postojećeg PV-GIS alata razvijenom od strane JRC-a (Joint Research Centre Europske Komisije). Tablica 10 prikazuje ulazne podatke potrebne za modeliranje. Ključan parametar je specifična snaga PV panela, koja prikazuje koju je maksimalnu snagu moguće dobiti iz jednog kvadratnog metra aktivne površine. Pretpostavljen je fiksni nagib krova od 25°, što je relativno blizu optimalnome nagibu od 37°. Optimalni nagib PV panela je dobiven pomoću PV-GIS alata i pretpostavljeno je kako su fotonaponski paneli na ravnom krovu instalirani upravo pod optimalnim nagibom.

Tablica 10 Ulazni podaci za modeliranje fotonaponskih panela

Vrsta panela	Specifična snaga PV panela [kWp/m ²]	Gubici sustava [%]	Fiksni nagib krova [°]	Optimalni nagib krova [°]	Korišten model
c-Si	0.18	14	25	37	PV-GIS

Slika 9 prikazuje specifičnu proizvodnju fotonaponskih panela za različite krovove. Kao što je i očekivano, najveću specifičnu proizvodnju imaju južno orijentirani krovovi ili ravni krovovi gdje su paneli instalirani s optimalnim nagibom. Analiza tehničkog rješenja je napravljena samo s južnim i ravnim krovovima. Tablica 11 prikazuje troškovne podatke za fotonaponski panel potrebne za tehnno-ekonomsku analizu.



Slika 9 Specifična proizvodnja električne energije fotonaponskih – različiti krovovi

Tablica 11 Podaci o troškovima – fotonaponski paneli

Specifična investicija	7,500	HRK/kW
Varijabilni troškovi	-	HRK/kWh
Fiksni troškovi	15.75	HRK/kW
Životni vijek	20	godina
Diskontna stopa	7%	-

Konačno, Slika 10 prikazuje izgled fotonaponskog panela integriranog na krov sa crvenim crijepom.



Slika 10 Primjer fotonaponskog panela instaliranog na krovu

4.3. Scenarij 3 – Integracija solarnih toplovodnih kolektora

Scenarij 3 također predlaže iskorištavanje sunčeve energije, ali koristeći drugu tržišno dostupnu tehnologiju. Ovo tehničko rješenje uključuje instalaciju pločastih toplovodnih kolektora na krovove objekata Bloka-19 kako bi se djelomično pokrile potrebe za potrošnom toplom vodom. Tablica 12 prikazuje pretpostavljene ulazne podatke potrebne za modeliranje toplovodnog kolektora.

Tablica 12 Ulazni podaci za modeliranje toplovodnih kolektora

Vrsta kolektora	Optička učinkovitost [-]	Toplinski gubitak prvog reda [W/Km ²]	Toplinski gubitak drugog reda [W/K ² m ²]	Srednja temperatura kolektora [°C]
Pločasti	0.72	4	0.01	43

Važno je naglasiti kako su samo južno orijentirani i ravni krovovi odabrani za analizu ovoga tehničkog rješenja. Slika 11 prikazuje specifičnu proizvodnju koja iznosi oko 0.7 kWh/m² aktivne površine za južni i ravni krov. Važno je naglasiti kako je nagib kolektora na ravnom krovu pod optimalnim kutom odnosno 37°. Tablica 13 prikazuje troškovne podatke za pločaste toplovodne kolektore.

Specifična proizvodnja solarnih toplovodnih kolektora, različiti krovovi



Slika 11 Specifična proizvodnja solarnih kolektora – ravni i južni krov

Tablica 13 Podaci o troškovima – pločasti toplovodni kolektori

Specifična investicija	1,350	HRK/m ²
Varijabilni troškovi	-	HRK/kWh
Fiksni troškovi	90	HRK/m ²
Životni vijek	20	godina
Diskontna stopa	7%	-

Slika 12 prikazuje primjer pločastog toplovodnog solarnog kolektora integriranog na krov sa crvenim crijepom



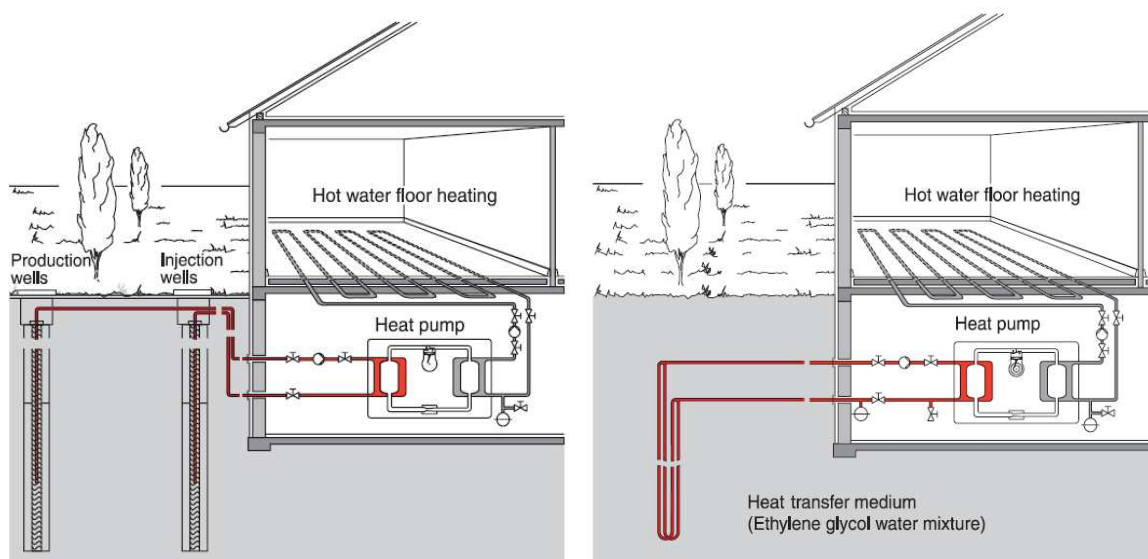
Slika 12 Primjer pločastog toplovodnog solarnog kolektora

4.4. Scenarij 4 – Integracija dizalice topline

Za potrebe grijanja i hlađenja zgrada u sklopu Bloka-19 primjenom plitke geotermalne energije razmatraju se dva tipa sustava: dizalice topline s podzemnom vodom i dizalice topline s bušotinskim izmjenjivačima topline (BIT).

Neovisno o odabranom toplinskom izvoru (podzemna voda ili toplina tla) dizalica topline je neophodan dio sustava jer temperaturna razina obnovljive topline sadržane u plitkim geotermalnim izvorima nije dovoljna za izravnu primjenu u sustavima grijanja, hlađenja ili pripreme potrošne tople vode (PTV).

Sustav dizalice topline s podzemnom vode predstavlja otvoreni sustav u kojem se izvedbom proizvodnog i utisnog zdenca u podzemnom vodonosniku zahvaća podzemna voda te se ona samo toplinski tretira i vraća nizvodno u vodonosnik. Uvjeti zahvata i dopušteno pothlađenje (odnosno zagrijavanje u režimu hlađenja) regulirani su zakonskom regulativom o zahvatu podzemne vode. Podzemna voda ne ide izravno u dizalicu topline već na međuzmjenjivaču topline izmjenjuje toplinu s posrednim prijenosnikom energije koji potom obnovljivu toplinu predaje radnoj tvari dizalice topline u isparivaču. Svrha međuzmjenjivača topline je zaštita komponenti instalacije dizalice topline od utjecaja podzemne vode čiji kemijski sastav može biti nepovoljan za materijale koji se uobičajeno koriste kod izvedbi termotehničkih instalacija. Dubina bušenja ovisi o dubini i izdašnosti vodonosnih slojeva.

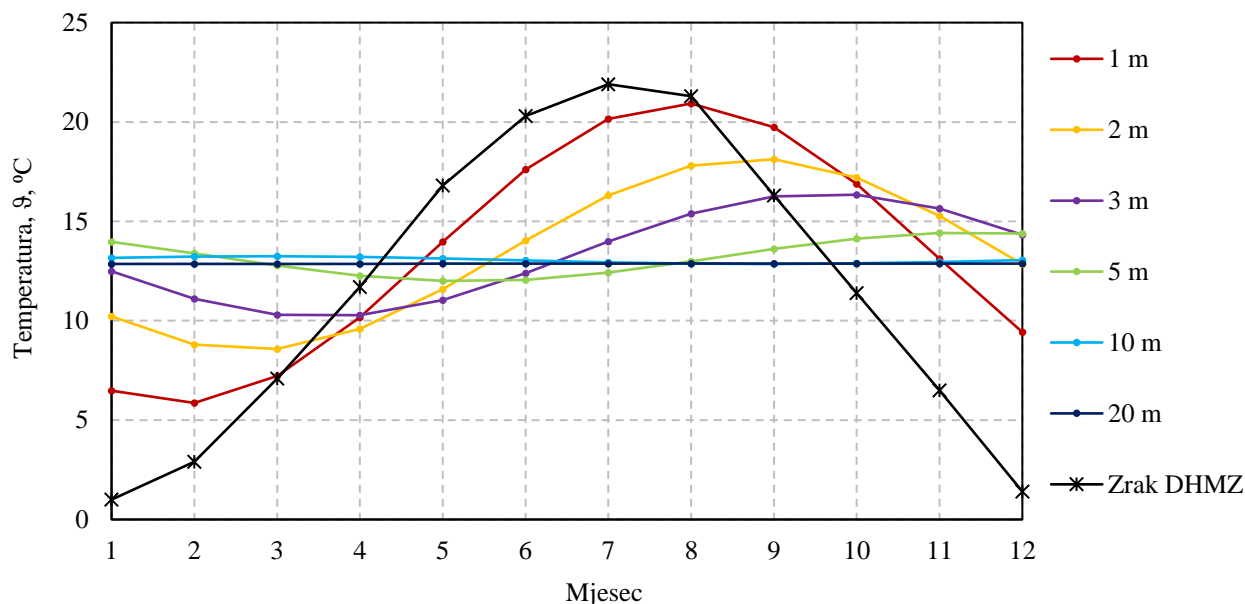


Slika 13 Shematski prikaz dizalice topline s podzemnom vodom (lijevo) i dizalice topline s BIT-om (desno) (preuzeto iz VDI 4640 Thermal use of the underground: Ground source heat pump systems)

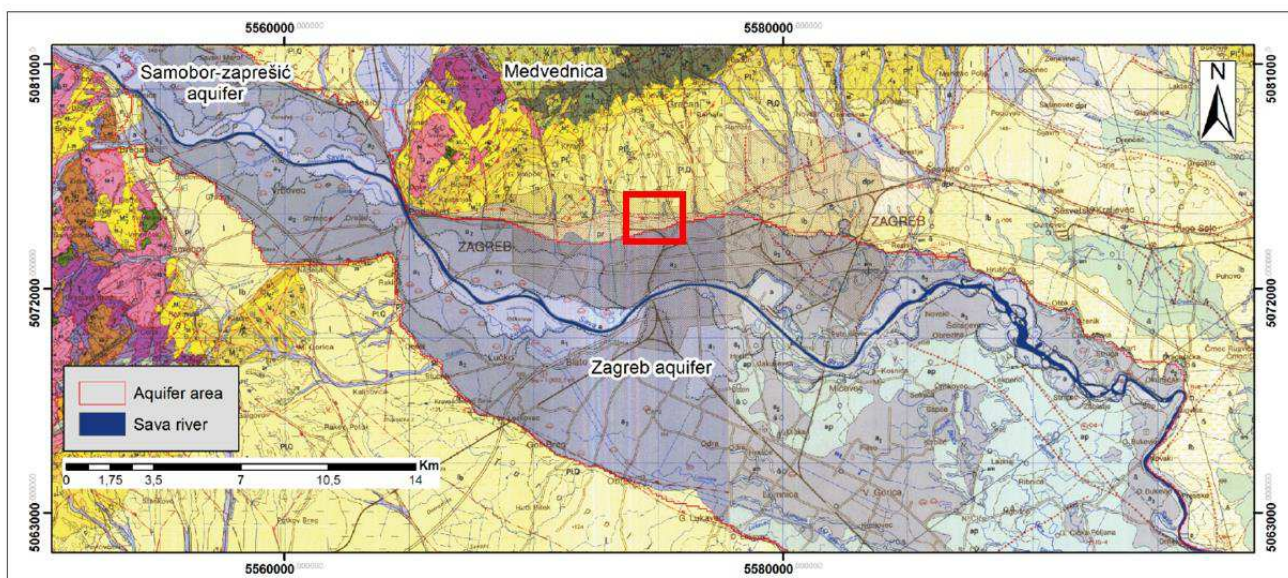
Sustav dizalice topline s bušotinskim izmjenjivačem topline predstavlja indirektni, tj. zatvoreni sustav u kojem se izvede bušotine u koje se umeću PE cijevi te se potom iste popunjavaju ispunom koja osigurava toplinski kontakt cijevi s okolnim tlom. Kroz PE cijevi struji posredni prijenosnik energije (mješavina vode i sredstva za snižavanje temperature ledišta) te on izmjenjuje toplinu s okolnim tlom. Odnosno, u režimu grijanja preuzima obnovljivu toplinu tla te je predaje radnoj tvari dizalice topline u isparivaču. Tipične dubine polaganje izmjenjivača topline su oko 100 m (mogući su rasponi od 50 do 200 m).

Osnovna prednost korištenja dizalica topline s podzemnom vodom je stalnost temperature podzemne vode u odnosu na temperaturu vanjskog zraka čime se postiže visoki stupanj djelovanja uređaja. Nedostatak primjene podzemne vode je složena pravna procedure te potreba za istražnim radovima kojima se tek treba utvrditi sastav i izdašnost na lokaciji ugradnje.

Dizalice topline s bušotinskim izmjenjivačima topline mogu se primijeniti tamo gdje je dopušteno izvoditi bušačke radove dovoljne dubine. Njihova šira primjena ograničena je visokom cijenom bušačkih radova te potencijalnom potrebom za izvedbom ispitne bušotine za sustave većeg kapaciteta. Povećanjem dubine izmjenjivača u tlu smanjuje se utjecaj temperature zraka na prosječnu temperaturu tla te je temperatura toplinski neporemećenog tla na dubinama većim od cca. 15 metara nepromjenjiva kroz godinu.



Slika 14 Usporedba temperature zraka te temperature tla po mjesecima za različite dubine



Slika 15 Geološka karta Zagreba i okolice s prikazom vodonosnika i lokacije Bloka-19 (preuzeto iz Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A.,: Osnovna geološka krata SFRJ, Hrvatski geološki institut)

Podaci u dostupnoj literaturi ukazuju na to da se Blok-19 nalazi na granici vodonosnika. Analiza temperatura podzemne vode na izvedenim bušotinama ukazuje na stabilnu temperaturu podzemne vode kroz godinu te razliku između izoterma u ljetnom i zimskom razdoblju za rubni dio vodonosnika iznosi oko 2 °C. Stvarne hidrogeološke uvjete na lokaciji nije moguće direktno preslikati s drugih lokacija te je stoga nužna provedba istražnih radova kako bi se utvrdio točan potencijal, tj. izdašnost

zdenaca. Za potrebe analize potencijala pretpostavit će se izdašnost proizvodnog zdenca od 20 l/s te temperatura podzemne vode od 14 °C. Podzemna voda toplinski tok predaje posrednom prijenosniku energije pri čemu polazna temperatura prema isparivaču dizalice topline iznosi 11 °C. Navedeni ulazni podaci temelje se na dostupnim geološkim kartama te konzultacijama sa stručnjacima iz područja hidrogeologije (izvođači istražno-bušačkih radova, Hrvatske vode, Hrvatski geološki institut).

Tablica 14 Pretpostavke vezane za izdašnost izvora podzemne vode

Temperatura podzemne vode [°C]	Izdašnost zdenaca [l/s]
14	20

Modeliranje tla i bušotinskog izmjenjivača topline temelji se na iskustvima i rezultatima prikupljenima tijekom izvedbe više ispitnih sustava s detaljnim mjerenjima u Zagrebu. Sustav s bušotinskim izmjenjivačima topline modeliran je u komercijalnom programskom paketu Earth Energy Designer 3.0 (programski paket koristi tzv. odzivne g-funkcije koje ovise o geometrijskim karakteristikama polja BIT-ova). Pretpostavljena je standardna izvedba BIT-a s dvostrukom U cijevi od PEHD materijala, dimenzije cijevi DN32x2,6, zapunjena s tvorničkom ispunom. Minimalna udaljenost BIT-a od postojećih građevina je 3 metra, a minimalni razmak između dva susjedna BIT-a je 6 metara kako bi se umanjila međusobna toplinska interakcija (prema preporuci norme VDI 4640 Thermal use of the underground: Ground source heat pump systems). Za posredni prijenosnik energije (PPE) predviđeno je sredstvo za snižavanje točke smrzavanja na bazi propilen-glikola.

Tablica 15 Ulazni podaci za modeliranje tla

Efektivna toplinska provodnost tla [W/(m K)]	Toplinski otpor bušotine [m K/W]	Gustoća tla [kg/m ³]	Toplinski kapacitet tla [kJ/(kg K)]	Temperatura toplinski neporemećenog tla [°C]
1.75	0.075	1950	1.42	15.3

Učinkovitost dizalice topline voda-voda i tlo voda ovisi o temperaturnim režimima na isparivaču i kondenzatoru. S obzirom na energetske potrebe te energetske karakteristike postojećih objekata predviđen je srednje-temperaturni režim grijanja s temperaturom polaza 55 °C. Navedeni režim polaza koristi se i za pripremu PTVa-a. Režim hlađenja je 7/12 °C. U režimu grijanja za izvedbu dizalice topline voda-voda ulazna temperatura u isparivač je konstantna kroz godinu i iznosi 11 °C. Za izvedbu dizalice topline tlo-voda ulazna temperatura u isparivač mijenja se kroz godinu, a prema VDI 4640 normi minimalna temperatura ne smije se razlikovati od temperature toplinski neporemećenog tla za ± 11 °C pri baznom i ± 17 °C pri vršnom opterećenju. Pasivno hlađenje, pri čemu se za hlađenje koristi samo cirkulacijska pumpa, a zaobilazi dizalica topline, u ovoj studiji nije analizirano zbog nepovoljnih energetske karakteristika postojećih objekata.

Tablica 16 Ulazni podaci za modeliranje dizalice topline

DT voda-voda Faktor grijanja [-]	DT voda-voda Faktor hlađenja [-]	DT tlo-voda Faktor grijanja [-]	DT tlo-voda Faktor hlađenja [-]	Temperaturni režim grijanja [°C]	Temperaturni režim hlađenja [°C]
3.6	4.6	3.3	4.3	55/45	7/12

Trošak specifične investicije odnosi se na dizalicu topline (1300 HRK/kW), pomoćnu opremu (300 HRK/kW) i trošak ugradnje (260 HRK/kW) te je jednak za izvedbu dizalice topline voda-voda i tlo-voda.

Za sustav dizalice topline voda-voda nužni troškovi uključuju provedbu vodoistražnih radova i ishođenje vodopravnih uvjeta (procijenjeno 95,000 HRK), bušenje zdenaca (procijenjeno 360,000 HRK) te izvedbu horizontalnog razvoda sa šahtovima (55,000 HRK). Prilikom zahvata podzemne vode nužno je plaćanje koncesijske naknade u iznosu 0.1 HRK/m³ zahvaćene vode za potrebe grijanja i hlađenja poslovnih objekata (Uredba o visini naknade za korištenje voda, NN 82/2010).

Tablica 17 *Podaci o troškovima* – dizalica topline voda-voda

Specifična investicija	1,860	HRK/kW
Varijabilni troškovi – zahvat vode	0.10	HRK/m ³
Fiksni troškovi	510,000	HRK
Životni vijek	30	godina
Diskontna stopa	7%	-

Za sustav dizalice topline tlo-voda nužni troškovi uključuju radove bušenja i ugradnje BIT-a (300 HRK po metru bušotine), izvođenje horizontalnog razvoda (220 HRK po metru duljine) te trošak propilen glikola za snižavanje temperature smrzavanja (40 HRK po litri).

Specifična investicija	1,860	HRK/kW
Troškovi izvedbe BIT-a	300	HRK/m
Trošak horizontalnog razvoda	220	HRK/m
Propilen glikol	40	HRK/l
Životni vijek	30	godina

U slučaju primjene dizalice topline voda-voda nužno je osigurati preduvjete za zahvat podzemne vode: izvedba zdenaca dovoljne izdašnosti, utvrđivanje kemijskog sastava vode te osiguranje vodopravne dozvole. Postupak je podijeljen u tri faze: ishođenje vodopravnih uvjeta, provođenje vodoistražnih radova te ishođenje vodopravne dozvole. Nakon što se ishode vodopravni uvjeti i provedu vodoistražni radovi (pijezo test kojim se utvrđuje debljina vodonosnog sloja te izdašnost zdenca) na jednoj bušotini potrebno je izraditi elaborat o izradi zdenaca. Elaborat mora sadržavati sve tehničke pojedinosti o bušenju, litološkoj građi i tehničkim konstrukcijama zdenaca te sve bitne hidrogeološke podatke i parametre. Izdavanje vodopravnih dozvola i ugovora o koncesiji za korištenje podzemnih voda u Republici Hrvatskoj je pod nadležnosti institucije Hrvatskih voda. Korištenje podzemne vode za potrebe grijanja i hlađenja uređeno je sljedećim zakonskim aktima i pravilnicima: Zakon o vodama (NN 153/2009 i 130/2011), Uredba o visini naknade za korištenje voda (NN 82/2010 i 83/2012), Pravilnik o obračunu i naplati naknade za korištenje voda (NN 84/2010 i 146/2012), Pravilnik o očevidniku zahvaćenih i korištenih količina voda (NN 81/2010) te Pravilnik o izdavanju vodopravnih akata (NN 78/2010).

U slučaju primjene dizalica topline tlo-voda nije potrebno osigurati nikakve preduvjete za izradu te primjena takvih sustava nije definirana unutar specifičnih zakonskih akata, izuzev zabrane radova u sanitarnim zonama sa zaštitom izvorišta ili drugih ležišta vode koje se koristi ili je rezervirano za javnu vodoopskrbu. Takva područja moraju biti zaštićena od namjernog ili slučajnog onečišćenja i od drugih utjecaja koji mogu nepovoljno djelovati na zdravstvenu ispravnost voda ili na njezinu izdašnost (Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta, NN 66/2011).

4.5. Scenarij 5 – Energetska obnova zgrada

Scenarij 5 uključuje energetska obnovu zgrada Bloka-19 čime se smanjuju specifične godišnje toplinske energetske potrebe za grijanje. Trenutne specifične toplinske potrebe iznose 233 kWh/m², što odgovara energetskom razredu F. Pretpostavljeno je kako se energetskom obnovom može postići energetski razred C što odgovara specifičnim toplinskim potrebama od 100 kWh/m², kako prikazuje Tablica 18. Važno je naglasiti kako je ovdje pretpostavljena energetska obnova ovojnice zgrade koja značajno doprinosi smanjenju potrebne energije, ali potrebno je spomenuti kako je moguće obnoviti i ostale komponente i tehničke sustave koji doprinose energetskej učinkovitosti kao što su: sustav pripreme PTV, ventilacija i rasvjeta.

Kod svih uporabnih prostora predviđena je određena izmjena zraka (min 0,5m-1) zbog osiguravanja kvalitete zraka i zdravstvenih razloga boravka u prostoru. Ventilacijski gubici predstavljaju značajni udio u ukupnim gubicima zgrade, naročito kod prostora kod kojih je potrebno postići veći broj izmjena zraka.

Važno je naglasiti kako je ovo pretpostavljeni obuhvat energetske obnove, a konačno stanje je potrebno utvrditi u sljedećim fazama u suradnji sa stručnjacima za obnovu povijesne jezgre Grada Zagreba.

Tablica 18 *Prikaz specifičnih toplinskih potreba prije i poslije energetske obnove*

Specifične toplinske potrebe – prije obnove [kWh/m ²]	Specifične toplinske potrebe – prije obnove [kWh/m ²]
233	100



Slika 16 Energetski razred zgrada Bloka-19 prije i nakon obnove

5. Analiza tehničkih rješenja

Na temelju ulaznih pretpostavki i razmatranja predstavljenih u Poglavlju 4, izrađena je analiza tehničkih rješenja. U ovome poglavlju prikazani su ključni rezultati te su predstavljeni zaključci za svako tehničko rješenje.

5.1. Rezultati Scenarija 1 - Spajanje na centralizirani toplinski sustav Grada Zagreba

Pretpostavljeni dostupni toplinski kapacitet mreže je 15 MW, što je više nego dovoljno za pokrivanje čitavog toplinskog opterećenja bloka. Zbog toga je potrebno razmotriti i spajanje dodatnih blokova. Prema prvim proračunima moguće je spojiti dodatna dva bloka. Važno je naglasiti kako se vršno toplinsko opterećenje bloka smanjuje s energetsom obnovom zgrada. Što znači da je moguće planirati spajanje dodatnih potrošača na isti planirani kapacitet toplinske mreže. Ova činjenica pozitivno djeluje na financijsku isplativost scenarija. Slika 17 prikazuje lokaciju dodatnih blokova za potencijalno spajanje. Osim navedenog, Slika 17 prikazuje i lokaciju krajnje točke parovoda te početak širenja nove toplinske mreže. U sklopu ove analize, predložene su dvije opcije za širenje mreže.

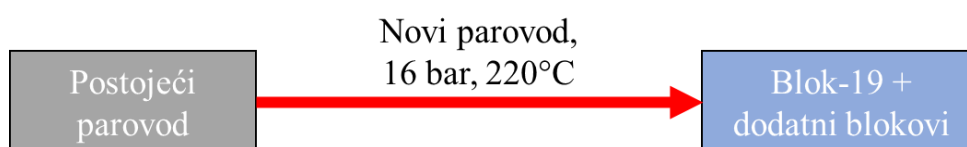


Slika 17 Lokacija *potencijalnog spajanja na postojeći parovod (narančasto)*, prijedlog širenja *toplinske mreže (crveno)* i lokacija dodatnih blokova (zeleno) za potencijalno spajanje

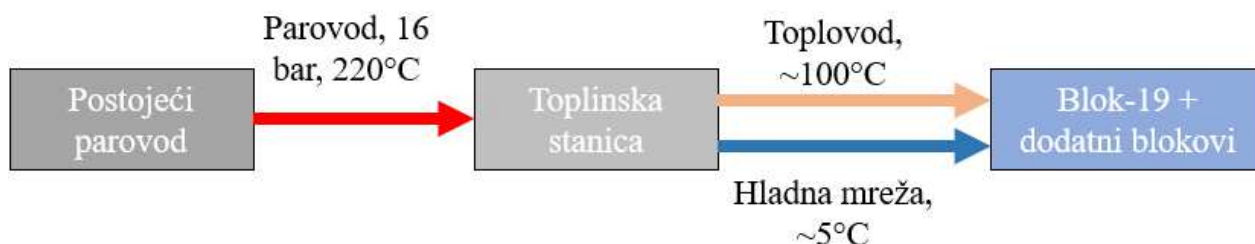
Opcija 1 predlaže spajanje na postojeću toplinsku mrežu proširenjem postojećeg parovoda, kako prikazuje Slika 18. Ovo rješenje ne zahtjeva izgradnju toplinske stanice na lokaciji Kačićeva-Klaićeva, ali zahtjeva toplinsku podstanicu u bloku. Parametri novog parovoda su slični kao i za postojeći, tlak 16 bar i temperatura oko 220°C. Premda ova opcija ne zahtjeva izgradnju toplinske stanice, ovako visoke temperature i tlak mreže podrazumijevaju visoke toplinske gubitke i polaganje debelih robusnih cijevi u tlo. Nadalje, dovodi se u pitanje izgradnja nove parovodne mreže u 21. stoljeću, posebice ako se uzme u obzir očekivana energetska obnova zgrada i smanjenje temperaturnih režima grijanja. Iz tog razloga preporuča se **Opcija 2** koja predlaže spajanje na postojeći parovod i prelazak na toplovod u budućoj toplinskoj stanici na lokaciji Kačićeva-Klaićeva. Slika 19 prikazuje pojednostavljenu tehničku shemu za Opciju 2. Kao i za Opciju 1, ovo rješenje također zahtjeva izgradnju toplinske podstanice na lokaciji bloka. Toplinska stanica treba se nalaziti u blizini krajnje točke trenutnog parovoda. U njoj bi se nalazio izmjenjivač topline određenog kapaciteta koji omogućava prijelaz topline s pare na toplu

vodu. Na taj način je moguće izvesti širenje mreže koristeći toplovod na nižim temperaturama (oko 100°C) i tlakovima. Navedeni parametri mreže omogućavaju manje toplinske gubitke, lakše polaganje cijevi u tlo, ali i lakše održavanje mreže. U budućnosti se temperatura toplovoda može spuštati sukladno temperaturnim režimima zgrada nakon energetske obnove. Ovo toplovod čini puno fleksibilnijim rješenjem u usporedbi s Opcijom 1. Nadalje, Opcija 2 omogućava i proizvodnju energije za hlađenje te uspostavu centralizirane rashladne mreže. U tome slučaju potrebno je u toplinsku stanicu instalirati i apsorpcijsku dizalicu topline koja omogućava proizvodnju rashladne vode te provođenje dodatnih cijevi za uspostavljanje rashladne mreže.

Ovaj scenarij predstavlja relativno veliki infrastrukturni projekt i zahtjeva suradnju s drugim dionicima, kao što je HEP-Toplinarstvo. Izrada detaljne tehno-ekonomske analize u ovoj fazi nije moguća zbog nepoznavanja mnogih parametara koji utječu na financijsku shemu projekta, kao što je nadogradnja infrastrukture unutar samih zgrada blokova kako bi se priključile na CTS.



Slika 18 Opcija 1 – spajanje na toplinsku mrežu CTS-a putem parovoda



Slika 19 Opcija 2 – spajanje na toplinsku mrežu CTS-a putem toplovoda (moguće uspostavljanje daljinskog hlađenja)

5.2. Rezultati Scenarija 2 - Integracija fotonaponskih panela

Premda je ukupna površina krova južno orijentiranog i ravnog krova oko 5,500 m², nije moguće realno očekivati pretvaranje čitavog krova u aktivnu površinu fotonaponskog panela. Za potrebe prikaza rezultata pretpostavljeno je kako se 10% ukupne površine krova pretvara u aktivnu površinu fotonaponskog panela. Analiza je napravljena za južno orijentirani i ravni krov. Tablica 19 i Tablica 20 prikazuju ključne rezultate tehno-ekonomske analize. Bitno je primijetiti kako je instalirana snaga relativno niska u odnosu na vršno električno opterećenje Bloka-19. Južni i ravni krov, kao što je i očekivano, postižu relativno slične karakteristične rezultate. Specifično smanjenje emisija iznosi 0.047 tona CO₂/m², specifično smanjenje primarne energije oko 0.322 MWh/m², dok specifična proizvodnja električne energije iznosi oko 0.2 MWh/m². Uz pretpostavljenu instaliranu aktivnu površinu fotonaponskih panela, ukupna ušteda primarne energije iznosi oko 95 MWh za južni, odnosno 126 MWh za ravni krov. Ukupno smanjenje CO₂ emisija iznosi oko 14 tona CO₂ za južni i oko 18 tona CO₂ za ravni krov. Važno je primijetiti kako su navedene uštede energije i smanjenje CO₂ emisija relativno niske u odnosu na referentno stanje, kao što prikazuje Slika 20.

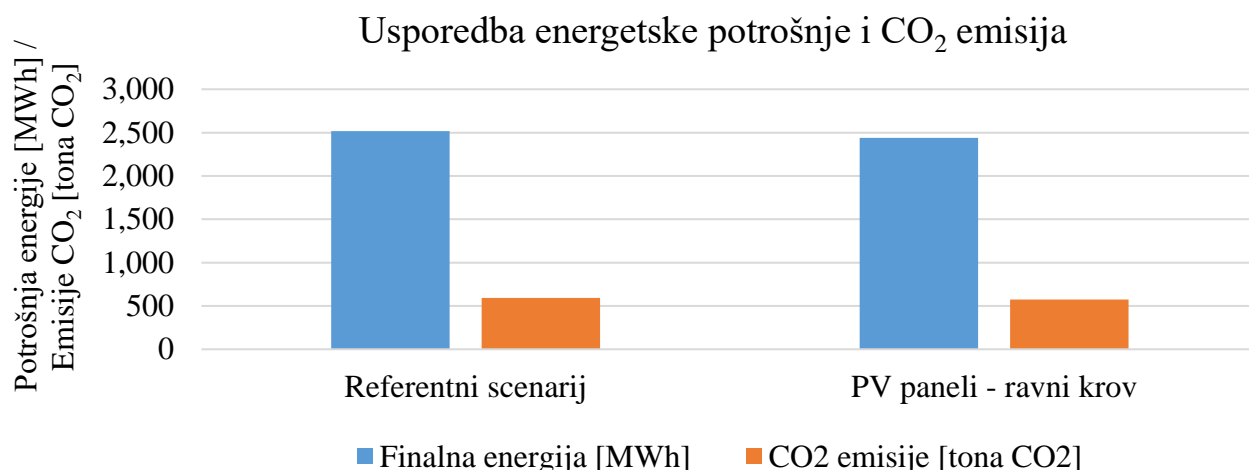
Iz prezentiranih rezultata se može zaključiti kako implementacija ovoga tehničkoga rješenja ne može značajno pridonijeti ukupnoj dekarbonizaciji Bloka-19, ali može pružiti financijske uštede za stanovnike bloka. Nadalje, integracija fotonaponskih panela u Bloku-19 može poslužiti u promociji obnovljivih izvora energije i poslužiti kao odličan pokazni primjer za ostatak centra Grada Zagreba.

Tablica 19 *Pregled ključnih rezultata integracije fotonaponskih panela – južni krovovi*

Ukupna dostupna površina krova	2,961	m ²
Udio površine PV na krovu	10%	-
Ukupna površina PV	296.15	m ²
Ukupna instalirana snaga PV	53.31	kW
Ukupna proizvodnja PV	59,073	kWh
Ukupna proizvodnja PV	59.07	MWh
LCOE	653	HRK/MWh
LCOE	87.07	EUR/MWh
Smanjenje emisija	13.87	tona CO ₂
Specifično smanjenje emisija	0.047	tona CO₂/m² PV
Smanjenje primarne energije	95.34	MWh
Specifično smanjenje primarne energije	0.322	MWh/m² PV
Specifična proizvodnja	0.20	MWh/m²

 Tablica 20 *Pregled ključnih rezultata integracije fotonaponskih panela – ravni krovovi*

Ukupna dostupna površina krova	3,812	m ²
Udio površine PV na krovu	10%	-
Ukupna površina PV	381.20	m ²
Ukupna instalirana snaga PV	68.62	kW
Ukupna proizvodnja PV	77,917	kWh
Ukupna proizvodnja PV	77.92	MWh
LCOE	637.30	HRK/MWh
LCOE	84.97	EUR/MWh
Smanjenje emisija	18.30	tona CO ₂
Specifično smanjenje emisija	0.048	tona CO₂/m² PV
Smanjenje primarne energije	125.76	MWh
Specifično smanjenje primarne energije	0.330	MWh/m² PV
Specifična proizvodnja	0.20	MWh/m²



Slika 20 Utjecaj integracije PV panela na potrošnju energije i CO₂ emisije – sektor potrošnje električne energije

5.3. Rezultati Scenarija 3 - Integracija solarnih toplovodnih kolektora

Ulazne pretpostavke o dostupnoj površini krova za Scenarij 3 su identične onima prikazanima u Poglavlju 5.2. Rezultati tehnno-ekonomske analize za južno orijentirani i ravni krov prikazuje Tablica 21, odnosno Tablica 22. Specifično smanjenje emisija iznosi 0.17 tona CO₂/m², specifično smanjenje primarne energije je 0.8 MWh/m², a specifična proizvodnja topline energije je jednaka 0.7 MWh/m² kolektora. Ključno je primijetiti kako je specifični prinos energije po kvadratnom metru aktivne površine pločastog kolektora veći od fotonaponskog panela.

Ukupna ušteda primarne energije je jednaka 222 MWh za južni, odnosno 297 MWh za ravni krov. Smanjenje emisija je 48 tona CO₂ za južni, odnosno 64 tona CO₂ za ravni krov. Slično kao i za Scenarij 2, ukupne uštede energije i CO₂ emisije su relativno niske ako se usporede s referentnim stanjem, kao što prikazuje Slika 21.

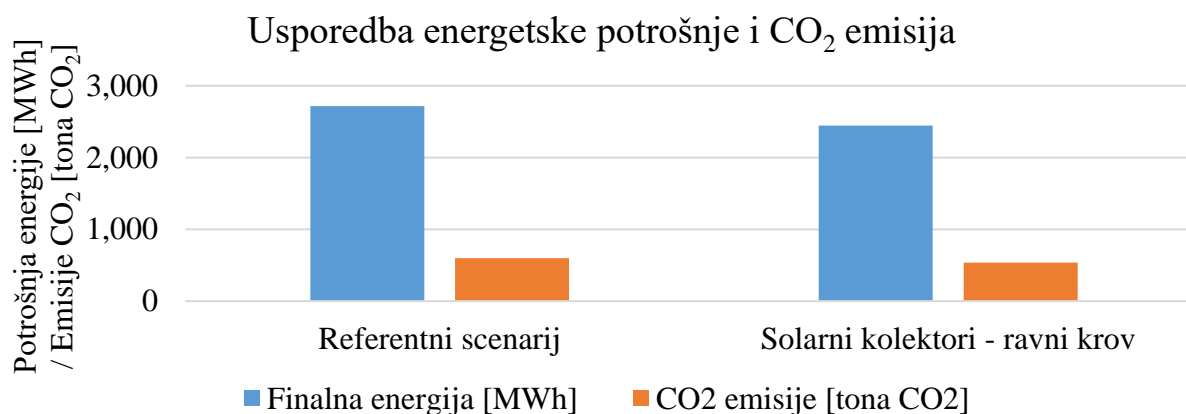
I za ovaj se scenarij može zaključiti kako implementacija predloženog tehničkog rješenja ne može omogućiti potpunu dekarbonizaciju Bloka-19, ali može pružiti uštede za krajnje korisnika bloka i omogućiti promociju korištenja obnovljivih izvora energije u centru Grada Zagreba.

Tablica 21 Pregled ključnih rezultata integracije solarnih toplovodnih kolektora – južni krovovi

Ukupna dostupna površina krova	2,961	m ²
Udio površine kolektora na krovu	10%	-
Ukupna površina kolektora	296.15	m ²
Vršna snaga kolektora	209.76	kW
Ukupna proizvodnja kolektora	202,688	kWh
Ukupna proizvodnja kolektora	202.69	MWh
LCOE	318	HRK/MWh
LCOE	42.36	EUR/MWh
Smanjenje emisija	47.59	tona CO ₂
Specifično smanjenje emisija	0.161	tona CO₂/m² kolektora
Smanjenje primarne energije	221.94	MWh
Specifično smanjenje primarne energije	0.749	MWh/m² kolektora
Specifična proizvodnja	0.68	MWh/m²

Tablica 22 Pregled ključnih rezultata integracije solarnih toplovodnih kolektora – ravni krovovi

Ukupna dostupna površina krova	3,812	m ²
Udio površine kolektora na krovu	10%	-
Ukupna površina kolektora	381.20	m ²
Vršna snaga kolektora	269.08	kW
Ukupna proizvodnja kolektora	271,480	kWh
Ukupna proizvodnja kolektora	271.48	MWh
LCOE	305	HRK/MWh
LCOE	40.71	EUR/MWh
Smanjenje emisija	63.75	tona CO ₂
Specifično smanjenje emisija	0.167	tona CO₂/m² kolektora
Smanjenje primarne energije	297.27	MWh
Specifično smanjenje primarne energije	0.780	MWh/m² kolektora
Specifična proizvodnja	0.71	MWh/m²


 Slika 21 Utjecaj integracije solarnih toplovodnih kolektora na potrošnju energije i CO₂ emisije – sektor PTV

5.4. Rezultati Scenarija 4 - Integracija dizalice topline

Procjena raspoloživog geotermalnog potencijala izvršena je usporedbom energetske potrebe za grijanjem i hlađenjem te mogućnosti iskorištenja plitke geotermalne energije s obzirom na prostorna i tehnička ograničenja promatrane lokacije.

Analiza pokazuje da primjenom plitke geotermalne energije nije moguće namiriti ukupne potrebe Bloka-19. Tehnička i prostorna ograničenja (prilaz za opremu, vlasnički odnosi unutrašnjeg dvorišta, postojeće instalacije i infrastruktura) dodatno umanjuju mogućnosti za primjenu dostupnog geotermalnog potencijala (potencijal je ograničen izdašnosti podzemnih vodonosnika te dostupnom površinom za ugradnju bušotinskih izmjenjivača topline).



Slika 22 Slika s prikazom mogućih mjesta za primjenu BIT-ova (označeno crvenom bojom) i prikaz objekata čije je potrebe moguće namiriti sustavima dizalica topline (žuta boja – dizalice topline tlo-voda s bušotinama na Polju 2 i Polju 3a i 3b, plava boja – dizalica topline voda-voda)

Tablica 23 Opis razmatranih površina za ugradnju

Polje 1	Polje 2	Polje 3a	Polje 3b
Javni park/igralište	Zelena površina/prolaz/parking	Zelena površina	Zelena površina/parking/prolaz
30 x 39 m	21 x 61 m	7 x 37 m	14 x 22 m

Za primjenu sustava dizalica topline voda-voda, ograničavajući faktor je procijenjena izdašnosti zdenaca (koju tek treba utvrditi). Za definirane ulazne podatke (izdašnost 20 l/s, promjena temperature podzemne vode 4 °C) vršni učin preuzet iz tla iznosi 334 kW. Snaga pumpi za zahvat podzemne vode procijenjena je na 3.5 kW. Za temperaturu polaza 55 °C i faktor grijanja 3,6 učin dizalice topline, odnosno ogrjevni učin, koji se predaje sustavu grijanja iznosi 463 kW. To je iznos koji pokriva oko 6.65% vršnog opterećenja Bloka 19. Proporcionalno navedenom omjeru proveden je proračun potrebne energije za pogon dizalice topline voda-voda.

Tablica 24 Energetske potrebe objekta za primjenu dizalice topline voda-voda

Vršno opterećenje objekta [kW]	Površina objekta [m ²]	Potrebna energija za grijanje [MWh]	Potrebna energija za PTV [MWh]	Potrebna energija za hlađenje [MWh]
463	3488 m ²	812.7	153.5	156.9

Pri proračun je predviđeno da dizalica toplina radi u režimu grijanja i pripreme PTV-a za sve mjeseci osim dijela svibnja te lipnja, srpnja i kolovoza, kada radi u režimu hlađenja i pripreme PTV-a. Uz primjenu krivulje grijanja, pri čemu se temperatura polaza linearno smanjuje u funkciji vanjske temperature s 55 °C na 35 °C, na godišnjoj razini je za pogon dizalice potrebno privesti 277.1 MWh

električne energije (243.0 MWh za grijanje i PTV te 34.1 MWh za hlađenje) i 9,6 kWh električne energije (7.6 MWh za grijanje i PTV te 2.0 MWh za hlađenje) za pogon pumpi za zahvat podzemne vode. Prilikom rada sustava u ovom načinu rada ukupno je zahvaćeno 197,974 m³ vode.

U slučaju vođenja rada sustava bez krivulje grijanja, na godišnjoj razini je za pogon dizalice topline potrebno privesti 301.4 MWh električne energije (267.3 MWh za grijanje i PTV te 34.1 MWh za hlađenje) i 9.3 kWh električne energije (7.3 MWh za grijanje i PTV te 2 MWh za hlađenje) za pogon pumpi za zahvat podzemne vode. Prilikom rada sustava, ukupno je zahvaćeno 190,846 m³ vode.

Tablica 25 *Potrošnja energije za pogon dizalice topline voda-voda u režimu rada s krivuljom grijanja za objekt od 3,488 m²*

Energija za pogon dizalice topline u režimu grijanja i pripreme PTV-a [MWh]	Energija za pogon dizalice topline u režimu hlađenja [MWh]	Energija za pogon cirk. pumpe u režimu grijanja [MWh]	Energija za pogon cirk. pumpe u režimu hlađenja [MWh]	Zahvat vode [m ³]
243.0	34.1	7.6	2.0	197,974

Tablica 26 *Pregled ključnih rezultata integracije dizalice topline voda-voda pri radu s krivuljom grijanja*

Vršna snaga dizalice topline	463	kW
Ukupna proizvodnja dizalice topline	1,123,118	kWh
Ukupna proizvodnja dizalice topline	1,123.1	MWh
Ukupna potrošnja el. energije za pogon dizalice topline	243.0	MWh
Ukupna potrošnja el. energije za pumpu za zahvat podzemne vode	9.6	MWh
Trošak zahvata podzemne vode	19,797	HRK
Trošak investicije u sustav	1,324,639	HRK
Smanjenje CO ₂ emisija	190	tona CO ₂
Specifično smanjenje CO ₂ emisija	0.41	tona CO ₂ /kW učinka grijanja
Smanjenje primarne energije	835	MWh
Specifično smanjenje primarne energije	1.8	MWh/kW učinka grijanja

Za primjenu sustava dizalice topline tlo-voda, ograničavajući faktor je dostupna površina za ugradnju bušotinskih izmjenjivača topline. Za definirane ulazne podatke (modeliranje tla i procijenjene površine dostupne za radove) provedeno je nekoliko različitih simulacija višegodišnjeg rada sustava u programskom paketu Earth Energy Designer 3.0. Programski paket je strukturiran tako da za definirane potrebe i učinkovitost dizalice topline određuje potrebnu dubinu i/ili broj bušotinskih izmjenjivača topline. S obzirom na to da je u ovoj analizi ulazni podatak dostupna površina, detaljni proračun je proveden iterativno za najveće identificirano polje potencijalno slobodno za izvedbu polja BIT-a dubine 100 metara (Polje 2). Za ostala polja prikazane su površine objekata za koje je moguće osigurati potrebe za grijanjem, hlađenjem i pripremu PTV-a.

Neovisno o veličini objekta, zbog velike razlike u potrebama toplinske energije za grijanje, u odnosu na hlađenje, dugoročno dolazi do lokalnog pothlađenja tla te je veći razmak između bušotina povoljniji. Veći razmak smanjuje toplinsku interakciju između susjednih bušotina te je odabran razmak bušotina od 7 metara. Snaga pumpi za cirkulaciju posrednog prijenosnika energije u bušotinskim izmjenjivačima topline procijenjena je na 3.5 kW.

Na polju 2 moguće je smjestiti 40 bušotina razmaka 7 metara u pravokutnom rasporedu 4 x 10. Za temperaturu polaza 55 °C i faktor grijanja 3.3 te faktor hlađenja 4.3, takav sustav održivo kroz 30 godina rada može podmiriti oko 2,2% energetske potrebe Bloka 19. Odnosno, navedeno polje može potrebe za grijanje, hlađenje i pripremu PTV-a objekta površine 1153 m² prema trenutnim energetskim značajkama. Vršno opterećenje u grijanju koje sustav može održivo podnijeti iznosi 153 kW (u prvim godinama rada može i veće).

Tablica 27 Energetske potrebe objekta za primjenu dizalice topline tlo-voda na Polju 2

Vršno opterećenje objekta [kW]	Površina objekta [m ²]	Potrebna energija za grijanje [MWh]	Potrebna energija za PTV [MWh]	Potrebna energija za hlađenje [MWh]
153	1153 m ²	268.9	50.8	51.9

U slučaju da bi se isti sustav koristio samo za grijanje i pripremu PTV-a, bez hlađenja, bilo bi potrebno povećati dubinu svakog BIT-a na 120 metara zbog smanjene regeneracije tla tijekom ljetnih mjeseci.

Pri proračun je predviđeno da dizalica toplina radi u režimu grijanja i pripreme PTV-a za sve mjeseci osim dijela svibnja te lipnja, srpnja i kolovoza, kada radi u režimu hlađenja i pripreme PTV-a. Uz primjenu krivulje grijanja pri čemu se temperatura polaza linearno smanjuje u funkciji vanjske temperature s 55 °C na 35 °C na godišnjoj razini je za pogon dizalice potrebno privesti 100.2 MWh (88.1 MWh za grijanje i PTV te 12.1 MWh za hlađenje) električne energije i 8.6 kWh električne energije (7.7 MWh za grijanje i PTV te 0.9 MWh za hlađenje) za pogon pumpi za zahvat podzemne vode.

U slučaju vođenja rada sustava bez krivulje grijanja, na godišnjoj razini je za pogon dizalice potrebno privesti 108.6 MWh električne energije (96.5 MWh za grijanje i PTV te 12.1 MWh za hlađenje) te 8.2 kWh električne energije (7.3 MWh za grijanje i PTV te 0.9 MWh za hlađenje) za pogon pumpi za zahvat podzemne vode.

Tablica 28 *Potrošnja energije za pogon dizalice topline tlo-voda u režimu rada s krivuljom grijanja za objekt od 1154 m²*

Energija za pogon dizalice topline u režimu grijanja i pripreme PTV-a [MWh]	Energija za pogon dizalice topline u režimu hlađenja [MWh]	Energija za pogon cirk. pumpi u režimu grijanja [MWh]	Energija za pogon cirk. pumpi u režimu hlađenja [MWh]
88.1	12.1	7.7	0.9

Troškovi izvedbe dizalice topline tlo-voda za Polje 2 iznose: 269,280 HRK za dizalicu toplinu, pomoćnu opremu i ugradnju, 1,200,000 HRK za bušenje i izvedbu 40 bušotina dubine 100 m, 60,000 HRK za horizontalni razvod te 96,000 kn za propilen glikol (predviđene 4 zamjene tijekom radnog vijeka rada sustava). Ukupno za sustav za Polje 2 trošak investicije iznosi 1,625,280 HRK.

Tablica 29 Pregled ključnih rezultata integracije dizalice topline tlo-voda u načinu rada s krivuljom grijanja za Polje 2

Vršna snaga dizalice topline	153	kW
Ukupna proizvodnja dizalice topline	371 000	kWh
Ukupna proizvodnja dizalice topline	371	MWh
Ukupna potrošnja el. Energije za pogon dizalice topline	100.2	MWh
Ukupna potrošnja el. energije za pumpu kruga BIT-ova	8.6	MWh
Trošak investicije u sustav	1,625,280	HRK
Smanjenje CO ₂ emisija	60	tona CO ₂
Specifično smanjenje CO ₂ emisija	0.39	tona CO ₂ /kW učinka grijanja
Smanjenje primarne energije	256	MWh
Specifično smanjenje primarne energije	1.67	MWh/kW učinka grijanja

Tablica 30 Potencijal iskorištavanja obnovljive energije tla uz razmak bušotina od 7 metara i dubinu bušenja od 100 metara

Polje 1	Polje 2	Polje 3a	Polje 3b
232 MWh za grijanje	269 MWh za grijanje	110 MWh za grijanje	104 MWh za grijanje
44 MWh za PTV	51 MWh za PTV	20 MWh za PTV	20 MWh za PTV
45 MWh za hlađenje	52 MWh za hlađenje	21 MWh za hlađenje	20 MWh za hlađenje
1.9%	2.2%	0.9%	0.85%

Tehničko iskoristivi geotermalni potencijal na nekoj lokaciji ovisan je o više čimbenika među kojima se ističu nulti uvjeti: izdašnost podzemne vode za sustave voda-voda koja se određuje piezo-testom i slobodna raspoloživa površina za sustave tlo-voda. Geološki podaci pokazuju da je izdašnost podzemnih vodotokova veća u blokovima južnije od Bloka 19 (primjer primjene dizalice topline voda-voda i zahvata vode je sustav izveden u hotelu Palace). Također važna premisa za učinkovitu primjenu tehnologije dizalica topline je energetska obnova zgrada čime bi se omogućio niži temperaturni režim rada dizalica topline, istovremeno povećala učinkovitost sustava, te osigurao veći udio pokrivanja potreba za toplinskom energijom iz obnovljivih izvora dostupnih na mjestu potrošnje.

5.5. Rezultati Scenarija 5 – Energetska obnova zgrada

Scenarij 5 predlaže energetska obnovu zgrada s kojom se smanjuju specifične godišnje toplinske potrebe s 233 kWh/m² (energetski razred F) na 100 kWh/m² (energetski razred C). Ova pretpostavka je donesena na temelju primjera obnove ostalih zgrada sličnih karakteristika u centru Grada Zagreba. Važno je naglasiti kako se u ovome scenariju podrazumijeva obnova svih objekata, odnosno obnova sveukupne neto površine. Stoga, ovaj scenarij predstavlja najbolje moguće rješenje energetske obnove. Realno je za očekivati kako se predloženi energetski razred neće moći postići na svim objektima i kako se energetska obnova neće moći provesti na sveukupnoj neto površini. Slika 23 prikazuje smanjenje energetske potrebe, odnosno potrošnje energije, i smanjenje emisija CO₂. Energetskom obnovom moguće je smanjiti finalnu potrošnju s 14,400 na 6,200 MWh. Nadalje, moguće je postići smanjenje emisija s 3,200 na 1,400 tona CO₂. Potrebno je naglasiti kako se obnovom postiže smanjenje ukupne potrošnje energije, redukcija vršnog toplinskog opterećenja, ali i smanjenje temperaturnog režima grijanja. Važno je napomenuti kako ovo ima pozitivan utjecaj na implementaciju Scenarija 1 (Spajanje na CTS Grada Zagreba) i Scenarija 4 (Integracija dizalice topline).

Pozitivni utjecaj na Scenarij 1:

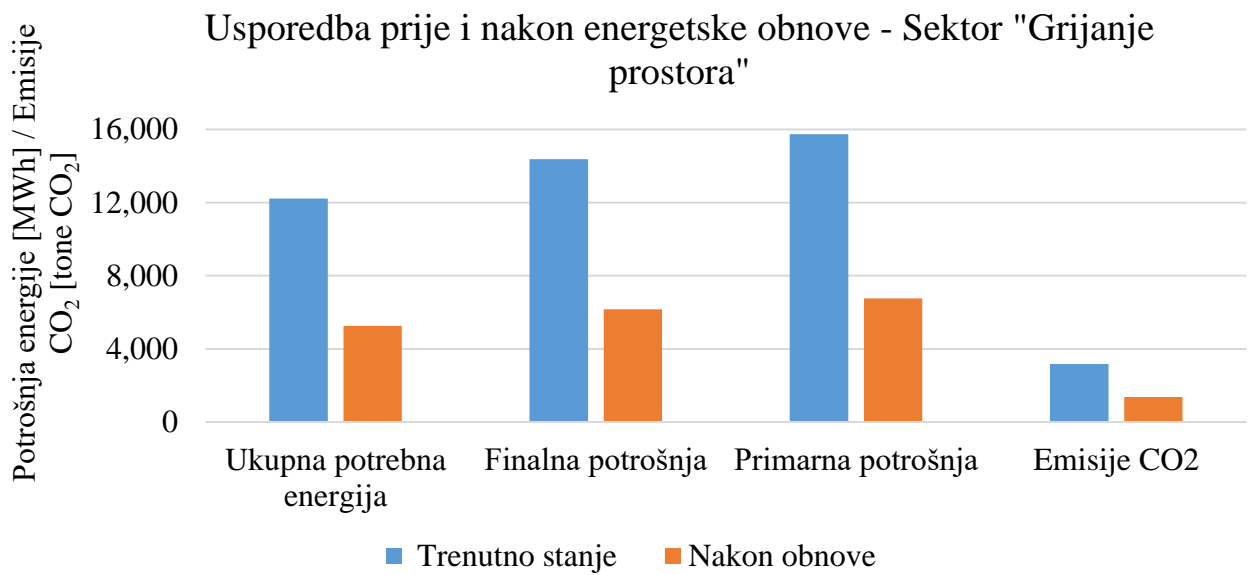
- Smanjenje vršnog toplinskog opterećenja omogućava spajanje novih korisnika na isti toplinski kapacitet mreže čime se povećava financijska isplativost projekta
- Smanjenje temperaturnog režima grijanja prostora smanjuje potrebnu temperaturu polaza u toplovodu čime se smanjuju toplinski gubici u distribuciji i pogonski troškovi

Pozitivni utjecaj na Scenarij 4:

- Smanjenje vršnog toplinskog opterećenja znači potencijalno spajanje dodatnih objekata na dizalicu topline unutar Bloka-19
- Smanjenje temperaturnog režima pozitivno utječe na učinkovitost dizalice topline te smanjuje troškove pogona, odnosno potrošnju električne energije

Implementacija Scenarija 5 je tehničko rješenje koje ima vrlo pozitivan utjecaj na ključne parametre vezane za dekarbonizaciju Bloka-19 zbog čega se svakako predlaže njegova implementacija u kombinaciji s ostalim scenarijima.

Predviđanje umjetne ventilacije s energetski učinkovitim sustavima za povrat topline otpadnog zraka (rekuperatori) pridonosi energetske učinkovitosti i posebno je interesantno kod poslovnih i javnih prostora gdje postoje zahtjevi za većom izmjenom zraka. Nadalje, moguće je ugraditi i sustave za automatizaciju i upravljanje zgradom koji doprinose energetski učinkovitim, ekonomičnom i sigurnom funkcioniranju tehničkih sustava zgrade.



Slika 23 Utjecaj integracije energetske obnove zgrada na potrošnju energije i CO₂ emisije – sektor grijanja prostora

6. SWOT analiza tehničkih rješenja

Koristeći rezultate modeliranja različitih scenarija, izrađena je SWOT analiza za svako tehničko rješenje. SWOT analiza koristi se s ciljem definiranja prednosti (engl. strengths), slabosti (engl. weaknesses), prilika (engl. opportunities) i prijetnji (engl. threats) za svaki scenarij.

Tablica 31 prikazuje SWOT analizu Scenarija 1 (Spajanje na centralizirani toplinski sustav Grada Zagreba). Ključna prednost ovoga rješenja što može u potpunosti smanjiti ovisnost o prirodnome plinu te pokriti energetske potrebe za grijanje, pripremu potrošne tople vode i hlađenje. Važno je naglasiti kako ovo rješenje predstavlja veliki infrastrukturni projekt, što predstavlja i ključnu slabost. Potencijalne prilike koje proizlaze iz ovoga tehničkog rješenja su mnoge, pri čemu je važno napomenuti kako se na toplovodnu mrežu mogu spojiti i dodatni susjedni blokovi. Najvažnija prijetnja ovoga scenarija je faktor primarne energije i specifične emisije CO₂ CTS-a Grada Zagreba, odnosno metoda njihovoga izračuna. CTS u Gradu Zagrebu je baziran na plinskoj kogeneraciji, odnosno na istovremenoj proizvodnji električne i toplinske energije. Nužno je naglasiti kako toplina proizvedena na ovaj način predstavlja „otpadnu“ toplinu uslijed proizvodnje električne energije. U slučaju da CTS-a nema, ta toplina bi trebala biti „bačena“ u atmosferu. Ključan problem je u tome što ova činjenica nije potpuno očita iz faktora primarne energije za CTS Grada Zagreba. Faktor primarne energije za CTS Grada Zagreba iznosi 1,462, a za prirodni plin 1,095. Slična situacija je i sa specifičnim emisijama CO₂ koje iznose 220 kg/MWh za prirodni plin i 346 kg/MWh za CTS Grada Zagreba, kao da se grijemo na ugljen. Razlog tome je metoda proračuna faktora primarne energije za CTS koja ne uzima u obzir činjenicu da je toplina proizvedena u kogeneraciji nusprodukt proizvodnje električne energije. Drugim riječima, faktor primarne energije CTS-a bi trebao biti značajno manji pošto se gorivo u kogeneraciji koristi primarno za proizvodnju električne energije, a ne toplinske energije. U mnogim zemljama EU, faktor primarne energije CTS-a je često manji od 1. U Austriji je jednak 0,19, u Danskoj od 0,6 do 1 dok je u Mađarskoj jednak 0,83. Također, CTS je moguće dekarbonizirati korištenjem geotermalne energije, na kojoj Zagreb leži.

Tablica 31 SWOT analiza Scenarija 1 - Spajanje na centralizirani toplinski sustav Grada Zagreba

Scenarij 1 - Spajanje na centralizirani toplinski sustav Grada Zagreba	
Strengths (prednosti)	Weaknesses (slabosti)
<ul style="list-style-type: none"> • Jedini scenarij kojim je moguće potpuno smanjiti ovisnost bloka o prirodnome plinu • Moguće je ostvariti 100% smanjenje direktnih emisija CO₂ na lokaciji Bloka-19 u sektoru grijanja • Moguće u potpunosti pokriti sektore grijanja prostora, potrošne tople vode i hlađenja (ako se koristi Opcija 2) • CTS Grada Zagreba temeljen je na kogeneraciji, koristi „otpadnu“ toplinu iz procesa proizvodnje električne energije, te na taj način predstavlja učinkoviti proces korištenja goriva • HEP-Toplinarstvo ima tendenciju širiti toplinsku mrežu 	<ul style="list-style-type: none"> • Širenje toplinske mreže u Povijesnu jezgru Grada Zagreba predstavlja veliki infrastrukturni projekt • Financijska isplativost projekta nije ostvariva ako se samo Blok-19 spoji na novo proširenje toplinske mreže, ali je moguće koristiti ostala financijska sredstva dostupna na razini EU • Potrebno je osloboditi prostor unutar bloka (vjerojatno u dvorištu) za instalaciju toplinske podstanice • Potrebno je ugraditi potrebnu energetska infrastrukturu unutar zgrada kako bi se omogućio prijenos topline od toplinske podstanice do samih stanova • U slučaju Opcije 2, potrebno je instalirati toplinsku stanicu na završetku trenutnog parovoda

Opportunities (prilike)	Threats (prijetnje)
<ul style="list-style-type: none"> • Moguće spojiti dodatne susjedne blokove i povećati financijsku isplativost projekta te omogućiti širenje tehničkog rješenja na ostatak povijesne jezgre Grada Zagreba • Opcija 2 je u koraku s vremenom i omogućuje nadogradnju sustava smanjivanjem polaznih temperatura grijanja u slučaju energetske obnove zgrada te integrirati nova tehnološka rješenja i dodatne izvore energije • Energetska obnova je dugotrajan proces – moguće koristiti dostupne kapacitete (uslijed smanjenja toplinskog opterećenja zgrada) i osigurati širenje postojeće toplinske mreže • U tijeku je izgradnja novog kombi-kogeneracijskog postrojenja na lokaciji EL-TO Zagreb s još višom energetskom učinkovitošću • Ovo tehničko rješenje je u skladu s EU strategijom grijanja i hlađenja koja promiče korištenje CTS-a • Dekarbonizacija jednog toplinskog izvora (CTS Grada Zagreba) je jednostavnija nego dekarbonizacija više individualnih korisnika 	<ul style="list-style-type: none"> • Metoda proračuna faktora primarne energije i specifičnih CO₂ emisija za CTS Grada Zagreba daje vrlo nepovoljne iznose te ispada kako je CTS baziran na kogeneraciji nepovoljnije rješenje od individualnih kotlova na prirodni plin. Važno je naglasiti kako bi faktor primarne energije i specifične emisije CO₂ za CTS koji je baziran na kogeneraciji trebale biti mnogo manje od individualnih kotlova na plin • Postoji mogućnost da građani neće biti voljni prijeći na drugu tehnologiju grijanja čime se smanjuje potencijal za implementaciju ovoga tehničkog rješenja • Opcija 1, koja uključuje širenje pomoću parovodne mreže, vjerojatno nije najpogodnije rješenje za 21. stoljeće zbog čega se predlaže Opcija 2 koja obuhvaća širenje postojeće mreže korištenjem toplovoda

Tablica 32 prikazuje SWOT analizu implementacije Scenarija 2 (Integracija fotonaponskih panela) i Scenarija 3 (Integracija solarnih toplovodnih kolektora). Ključna prednost ovih tehničkih rješenja je korištenje lokalno dostupnih obnovljivih izvora energije čime se ostvaruju uštede finalne i primarne energije te smanjenje CO₂ emisija. Međutim, specifični potencijal proizvodnje energije je relativno nizak u usporedbi s trenutnim energetskim potrebama. Upravo ovo je najvažnija slabost ovih scenarija jer ne omogućuju širu dekarbonizaciju bloka. Navedeni scenariji su odlična promocija OIE u centru Grada Zagreba te omogućuju uključivanje građana u proces energetske tranzicije. S druge strane mogućnost neprihvatanja tehnologije od strane stanovnika predstavlja bitnu prijetnju za predložene scenarije.

Tablica 32 SWOT analiza Scenarija 2 i 3 - Integracija fotonaponskih panela i solarnih toplovodnih kolektora

Scenarij 2 i 3 - Integracija fotonaponskih panela i solarnih toplovodnih kolektora	
Strengths (prednosti)	Weaknesses (slabosti)
<ul style="list-style-type: none"> • Dostupne i tehnološki dokazane tehnologije • Korištenje lokalno dostupnih obnovljivih izvora energije za proizvodnju električne i toplinske energije na mjestu potrošnje • Smanjenje finalne potrošnje za sektor potrošnje ostalih kućanskih aparata (Scenarij 2) i potrošne tople vode (Scenarij 3) • Moguće ostvariti financijske uštede za stanovnike Bloka-19 	<ul style="list-style-type: none"> • Male uštede energije i CO₂ u odnosu na referentno stanje Bloka-19 – nemoguće ostvariti širu dekarbonizaciju bloka • Problem katastarskih čestica, odnosno korištenje krovova za pokrivanje energetske potrošnje drugih zgrada • Integracijom tamnih fotonaponskih panela i toplovodnih kolektora narušava se vizualni identitet krova koji se temelji na crvenom crijepu

<ul style="list-style-type: none"> • Niska nivelirana cijene energije za predložene tehnologije 	
<p style="text-align: center;">Opportunities (prilike)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Osnivanje energetske zajednice i uključenje građana u proces energetske tranzicije • Financijske uštede za građane • Promocija OIE u povijesnoj jezgri Grada Zagreba • Korištenje navedenih tehnologija je u skladu sa strategijama o korištenju obnovljivih izvora energije EU-a • Relativno jednostavno preslikavanje na ostale blokove povijesne jezgre Grada Zagreba 	<p style="text-align: center;">Threats (prijetnje)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uključenje građana i neprihvatanje korištenja nove tehnologije • Relativno niske cijene trenutno korištenih energenata • Relativno visoka cijena investicija, u slučaju da građani sami moraju financirati dio troškova

Tablica 33 prikazuje SWOT analizu Scenarija 4 (Integracija dizalice topline). Kao i za prethodne scenarije, prednost ovog tehničkog rješenja je korištenje lokalno dostupnih izvora energije i smanjenje korištenja fosilnih goriva. Ključni nedostatak su relativno niske uštede energije te provedba istražnih radova kako bi se utvrdio točan potencijal vodonosnika. Ovo rješenje je u skladu s EU strategijama te je moguće osigurati sufinanciranje investicije iz različitih fondova. Važno je napomenuti kako ovo rješenje zauzima dio slobodnog prostora dvorišta što predstavlja glavnu prijetnju za ovo tehničko rješenje.

Tablica 33 SWOT analiza Scenarija 4 - Integracija Temeljna prijetnja dizalice topline

Scenarij 4 - Integracija dizalice topline	
<p style="text-align: center;">Strengths (prednosti)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Korištenje OIE (tlo i/ili vode) • Visoka učinkovitost proizvodnje toplinske energije zbog sezonske ustaljenosti temperature podzemne vode i tla • Izvođenje bušotinskih izmjenjivača topline ne zahtjeva posebne dozvole od nadležnih tijela • Korištenje perioda niže tarife za skladištenje toplinske energije za grijanje i hlađenje • Tehnologija u skladu s ciljevima EU do 2050. godine • Jedan sustav isporučuje toplinsku energiju za grijanje, hlađenje i PTV • Smanjenje potrošnje fosilnih goriva u gradskom središtu 	<p style="text-align: center;">Weaknesses (slabosti)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Niski potencijal u odnosu na ukupne potrebe Bloka 19 • Male uštede energije i CO₂ emisija • Problem katastarskih čestica i vlasništva na prostoru potrebnom za bušačke radove • Nužna provedba vodoistražnih radova i ishodenje vodopravne dozvole za zahvat podzemne vode (dizalice topline voda-voda) • Postojeća fizika zgrada i energetske karakteristike su nepovoljne za primjenu nisko-temperaturnih sustava grijanja • Potrebno je osloboditi prostor unutar bloka ili građevina za instalaciju opreme
<p style="text-align: center;">Opportunities (prilike)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Promocija OIE • Iskorištavanje lokalno dostupnih obnovljivih izvora energije • Pogonsku energiju za rad sustava moguće je dobiti iz OIE (fotonaponski kolektori) • Stav EU-a prema predloženim tehnologijama 	<p style="text-align: center;">Threats (prijetnje)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ograničeno korištenje unutarnjeg dvorišta te mogući gubitak prihoda gospodarskih subjekata na lokaciji za vrijeme bušačkih radova • Postojeće instalacije u tlu i objekti na površini ograničavaju dostupan prostor za radove • Potrebno uključenje građana

<ul style="list-style-type: none"> • Mogućnost sufinansiranja investicije kroz dostupne financijske alate za EE i OIE • Povećanje potencijala primjene nakon energetske obnove objekata 	<ul style="list-style-type: none"> • Ograničen pristup za bušačku opremu i strojeve
---	--

Tablica 34 prikazuje SWOT analizu za Scenarij 5 (Energetska obnova zgrada). Ovo tehničko rješenje ima najveći utjecaj na smanjenje potrošnje finalne i primarne energije jer direktno utječe na smanjenje toplinskih potreba. Samim time ima i veliki utjecaj na smanjenje emisija CO₂. Ovo je upravo i najveća prednost ovoga tehničkog rješenja. Energetskoj obnovi zgrada, koje predstavljaju kulturno dobro, se treba pristupiti vrlo pažljivo jer je potrebno sačuvati i njihov vizualni identitet. Ovakva obnova ima i veći specifični investicijski trošak od normalne energetske obnove, što ujedno predstavlja i ključnu slabost ovog tehničkog rješenja. Blok-19 je također zahvaćen potresom te je njegova obnova nužna. Ova činjenica je važna prednost ovoga tehničkog rješenja jer se energetski relativno jednostavno može uklopiti u planirane građevinske radove. Velika prijetnja ovome scenariju je njegova financijska isplativost jer su referente cijene energenata relativno niske.

Tablica 34 SWOT analiza Scenarija 5 – Energetska obnova zgrada

Scenarij 5 - Energetska obnova zgrada	
<p style="text-align: center;">Strengths (prednosti)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Najveći utjecaj na uštede finalne i primarne energije te emisija CO₂ • Povećanje ugodnosti boravka i stvaranja zdravijih uvjeta boravka u prostorima • Smanjenje troškova grijanja prostora i hlađenja za stanovnike bloka 	<p style="text-align: center;">Weaknesses (slabosti)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Relativno visoki investicijski troškovi jer se radi o zgradama koje se nalaze u povijesnoj jezgri Grada Zagreba • Obnova vanjske ovojnice vjerojatno nije moguća jer se radi o kulturnom dobru povijesne jezgre Grada Zagreba
<p style="text-align: center;">Opportunities (prilike)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obnova zgrada je nužna nakon potresa • Energetska obnova zgrada pozitivno utječe na ostala tehnička rješenja jer omogućava smanjenje vršnog toplinskog opterećenja i temperaturnih režima grijanja prostora • Energetsku obnovu vanjske ovojnice zgrade (koje su orijentirane prema dvorištu) je moguće vjerojatno u potpunosti izvesti kao i obnova dijelova ovojnice prema negrijanim prostorima • Prenamjena negrijanih tavanskih prostora u grijane korisne prostore koje dovodi do novih korisnih prostora, povećanja volumena grijanog dijela zgrade, ali doprinosi i povoljnijem faktoru oblik zgrade 	<p style="text-align: center;">Threats (prijetnje)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obuhvat obnove ovisi o detaljnoj analizi jer se radi o zgradama koje predstavljaju kulturno dobro Grada Zagreba • Period povrata investicije izrazito visok zbog niskih cijena energenata za referentno stanje

7. Konačni prijedlog tehničkog rješenja za Blok-19

Ukupna potrošnja finalne energije Bloka-19 iznosi 20,000 MWh, od čega većina otpada na sektor grijanja prostora koje se trenutno pokriva s individualnim kotlovima na prirodni plin. Ukupne trenutne emisije bloka iznose 4,500 tona CO₂. Važno je naglasiti kako većina emisija pripada sektoru grijanja prostora. Iz navedenog se može zaključiti kako se energetska tranzicija Bloka-19 svodi na dekarbonizaciju sustava grijanja prostora.

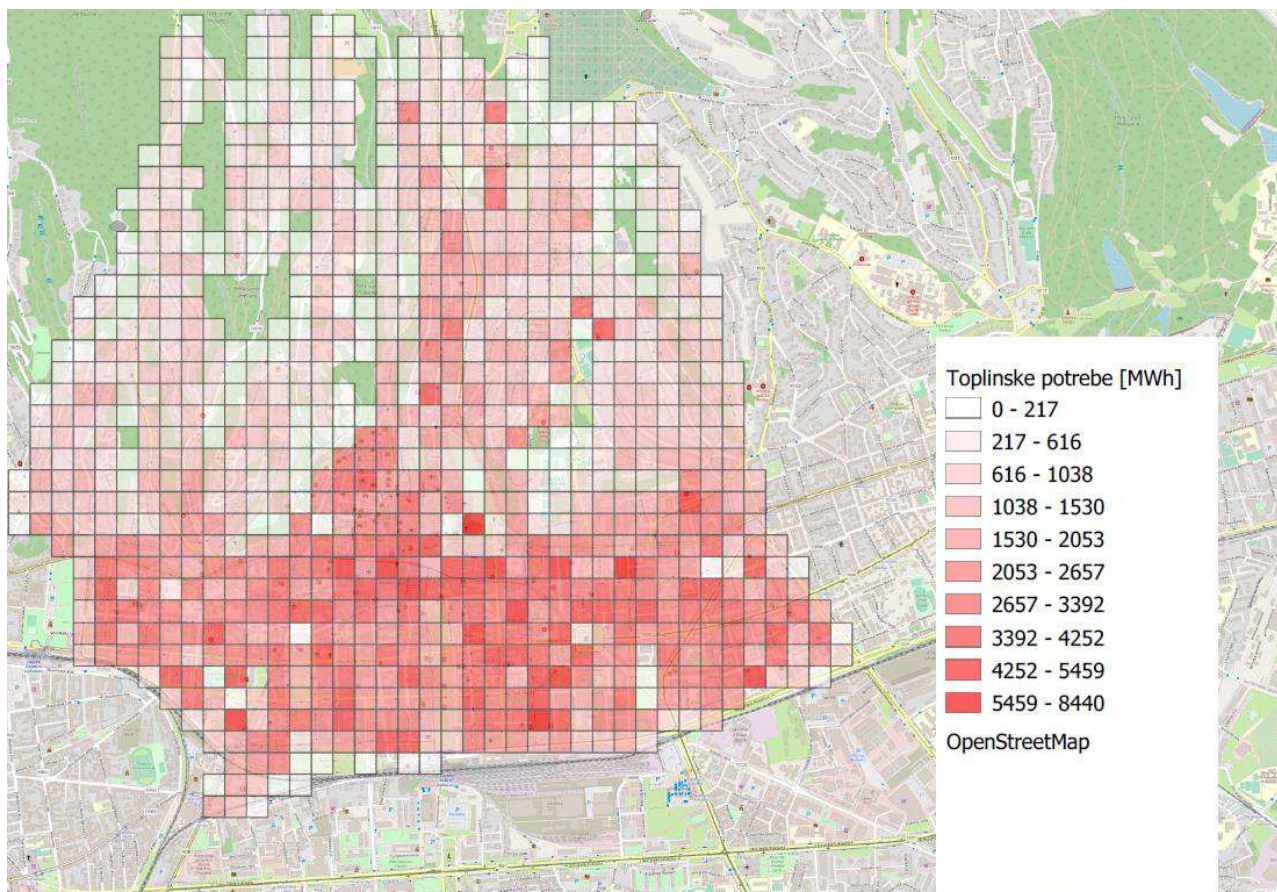
U ovome elaboratu predloženo je pet tehničkih rješenja, odnosno scenarija, koji se potencijalno mogu integrirati u Bloku-19. Predloženi scenariji su tehnički i financijski izvedivi, premda je odrađena SWOT analiza pokazala ključne prednosti i mane svakog rješenja. Konačno prihvaćeno tehničko rješenje ovisi o mnogim parametrima koje je potrebno sagledati s više aspekata pri čemu je potrebno uključiti stručnjake iz ostalih sektora obnove povijesne jezgre Grada Zagreba.

U nastavku je prikazan prijedlog konačnog tehničkog rješenja koje je zapravo **kombinacija** analiziranih scenarija:

- **Energetska obnova zgrada** – energetska obnova zgrada je nužna zbog trenutne niske energetske učinkovitosti i visokih toplinskih specifičnih toplinskih potreba. Obnova će omogućiti smanjenje toplinskih potreba, vršnog toplinskog opterećenja i toplinskih režima grijanja što će pozitivno utjecati na učinkovitost ostalih tehnologija.
- **Spajanje na centralizirani toplinski sustav Grada Zagreba** – ova tehnologija je jedina koja omogućuje potpunu neovisnost od prirodnog plina u povijesnoj jezgri Grada Zagreba. Preporučuje se spajanje na postojeći parovod na lokaciji Klaićeva-Kačićeva ulica. Na navedenoj lokaciji potrebno je napraviti toplinsku stanicu koja će omogućiti prijelaz s parovoda (vodena para na 220°C) na toplovod (voda oko 100°C). Toplovod duljine 600 m provodi se do toplinske podstanice Bloka-19, a potom se distribuira po svim zgradama bloka. Na toplovod je moguće spojiti i ostale susjedne blokove te tako povećati financijsku isplativost projekta. Toplinska stanica na lokaciji Klaićeva-Kačićeva također može sadržavati i apsorpcijsku dizalicu topline koja će omogućavati i proizvodnju rashladne energije s čime je moguće paralelno uvesti i prvu rashladnu mrežu u Gradu Zagrebu.
- **Integracija dizalice topline** – premda s ovim rješenjem nije moguće pokriti sve toplinske potrebe Bloka-19, predlaže se uvođenje ove tehnologije za potrebe nekoliko objekata. Ovime bi se demonstrirala mogućnost integracije obnovljivih izvora energije u povijesnoj jezgri Grada Zagreba te mogućnost uklapanja u postojeću infrastrukturu. Tako izveden projekt bi postao izvanredan demonstracijski primjer koji bi poslužio za promociju energetske tranzicije i edukaciju stanovnika.
- **Integracija fotonaponskih panela** – instalacija fotonaponskih panela služi za proizvodnju električne energije i pokrivanje djelomične potrošnje zgrada na lokaciji. Ušteda električne energije predstavlja također direktnu financijsku uštedu za stanovnike. Premda ovo tehničko rješenje ne predstavlja velike uštede energije i CO₂ emisija, ono omogućuje uključivanje građana, odnosno stanovnika Bloka-19, u energetska tranziciju kroz npr. osnivanje energetskih zadruga.

8. Analiza toplinskih potreba ostatka povijesne jezgre Grada Zagreba

Analiza toplinskih potreba povijesne jezgre Grada Zagreba dobivena je pomoću metode korištene u radu [9]. Slika 24 prikazuje rezultate provedene analize, odnosno prostornu raspodjelu toplinskih potreba za grijanjem povijesne jezgre Grada Zagreba. Ukupne toplinske potrebe za grijanjem iznose 1,150 GWh. Uzimajući u obzir pretpostavku od 2,500 sati nominalnog načina rada, dolazi se do vršnog toplinskog opterećenja od 460 MW. Važno je naglasiti kako je ovaj izračun temeljen na pretpostavkama vezanim za specifične toplinske potrebe, vrstu te visinu, odnosno broj katova, pojedinog objekata.



Slika 24 Toplinske potrebe za grijanjem povijesne jezgre Grada Zagreba

Blok-19 je poslužio kao referentni objekt za analizu ostatka povijesne jezgre Grada Zagreba. Za potrebe ovoga rada je pretpostavljeno kako se većina toplinske energije za grijanje pokriva pomoću individualnih kotlova na prirodni plin.

9. Potencijal repliciranja predloženog tehničkog rješenja na ostatak povijesne jezgre Grada Zagreba

Predloženo tehničko rješenje za Blok-19 se potencijalno može replicirati i na ostatak povijesne jezgre Grada Zagreba:

- Energetska obnova zgrada – smanjivanje specifičnih energetske potreba i temperaturnih režima grijanja
- Širenje centraliziranog toplinskog sustava Grada Zagreba u povijesnu jezgru
- Integracija dizalice topline – korištenje određenog toplinskog izvora (voda ili tlo), ovisno o dostupnome potencijalu
- Integracija fotonaponskih panela na krovove zgrada – djelomičnog pokrivanja potreba za električnom energijom

Energetska tranzicija povijesne jezgre Grada Zagreba se temelji na dekarbonizaciji sektora grijanja. Povijesna jezgra Grada Zagreba u 2050. godini neće koristiti individualne kotlove na plin već tehnologije bazirane na kogeneraciji (istovremena proizvodnja električne i toplinske energije), obnovljivim izvorima energije i dizalicama topline. Ova vizija je u skladu sa Strategijom EU za grijanje i hlađenje te energetske-klimatskim ciljevima postavljenim na razini EU za 2030. i 2050. godinu. Nadalje ova vizija je u skladu s trendom mnogih EU zemalja koja smanjuju mogućnost korištenja individualnih plinskih bojlera u novim zgradama velikih gradova.

Tehničko rješenje predloženo za Blok-19 se potencijalno može provesti za ostatak povijesne jezgre Grada Zagreba. Konačna vizija povijesne jezgre Grada Zagreba se temelji na energetske obnovi zgrada u kombinaciji sa korištenjem toplinske mreže CTS-a Grada Zagreba. Najveći izazov predstavlja širenje postojećih magistralnih toplovoda u povijesnu jezgru zbog čega je potrebno sustavno planiranje i koordinacija svih sudionika.

Vizija razvoja 2050. povijesne jezgre Grada Zagreba podrazumijeva i provođenje tzv. toplinskog zoniranja, odnosno definiranja prioritarnih zona. Ovaj proces omogućuje definiranje gradskih zona s najvećom gustoćom toplinskih potreba. U slučaju da se navedene zone nalaze daleko od trenutnih magistralnih toplovoda, potrebno je prvo izgraditi manje „kvartovske“ toplinske sustave koji će se u kasnijim fazama širenje mreže CTS-a spojiti na veće magistralne toplovođe i predavati višak toplinske energije u mrežu. Istovremeno se sa širenjem toplinske mreže provodi i energetska obnova zgrada čime se smanjuje toplinsko opterećenje i oslobađa toplinski kapacitet mreže za spajanje dodatnih objekata na toplovodnu mrežu. Ona gradska područja koja je ekonomski neisplativo spojiti na CTS, primjerice ona s vrlo niskim toplinskim potrebama i na velikoj udaljenosti od toplinske mreže, će koristiti lokalno dostupne OIE u kombinaciji s dizalicama topline. Dizalice topline se u tom slučaju mogu koristiti za pokrivanjem potreba za grijanjem i hlađenjem, ovisno o potrebama zgrade. Potrebe za rashladnom energijom se mogu pokriti i razvijanjem centraliziranog rashladnog sustava korištenjem apsorpcijskih dizalica topline.

Kao što je već navedeno, najveći izazov za ostvarivanje energetske tranzicije Grada Zagreba predstavlja širenje postojeće toplinske mreže. Prema prikupljenim informacijama, toplinska mreža Grada Zagreba je provedena do ruba povijesne jezgre: zapadno do Klaićeve, južno do Glavnog kolodvora te istočno do Trga kralja Petra Krešimira. Slika 25 prikazuje potencijalne početne točke širenja toplinske mreže, s istočne i zapadne strane povijesne jezgre Grada Zagreba. Važno je naglasiti kako trenutni dostupan kapacitet magistralnih toplovoda nije dovoljan da se pokriju ukupne toplinske potrebe povijesne jezgre Grada Zagreba.

Dostupan toplinski kapacitet postojećih magistralnih toplovoda je potrebno iskoristiti za spajanje stambenih blokova u neposrednoj blizini. Spajanje blokova je potrebno provoditi paralelno sa energetskom obnovom zgrada, čime se smanjuje toplinsko opterećenje i oslobađa toplinski kapacitet mreže za spajanje dodatnih objekata.

U onim blokovima koju su udaljeni od postojeće toplinske mreže potrebno je ugraditi manje „kvartovske“ toplinske sustave baziranim na kogeneraciji. Ovi sustavi će se u budućnosti međusobno spojiti i priključiti u glavnu toplinske mrežu. Za one korisnike koji imaju niske toplinske potrebe i udaljeni su toplinske mreže, predviđeno je korištenje dizalica topline u kombinaciji s lokalno dostupnim obnovljivim izvorima energije.



Slika 25 Početne točke širenja toplinske mreže Grada Zagreba (plavo)

10. Zaključak

U sklopu ovoga istraživanja, analizirana je energetska potrošnja zgrada i trenutne energetske infrastrukture za povijesnu jezgru Grada Zagreba. Kao referentni stambeni blok je odabran pilot projekt Blok-19. Pokazalo se kako je sektor grijanja uzročnik oko 75% emisija CO₂ uslijed niskog energetskeg razreda zgrada i korištene tehnologije za grijanja, tj. individualnih kotlova na prirodni plin. Energetska tranzicija se, kao što je i očekivano, stoga svodi na dekarbonizaciju sektora grijanja. Na temelju analize energetske potrošnje i dostupnih potencijala za proizvodnju energije predloženo je nekoliko tehničkih scenarija.

Analizom scenarija se pokazalo kako su dostupni potencijali OIE relativno niski i ne mogu u potpunosti pokriti energetske potrebe čitavog bloka. Konačno predloženo tehničko rješenje se sastoji od energetske obnove zgrada, spajanja na toplinsku mrežu CTS-a Grada Zagreba, instalaciju fotonaponskih panela na krovove zgrada te instalacije dizalice topline voda-voda ili tlo-voda, ovisno o izdašnosti vodonosnika, za pokrivanje toplinskog opterećenja nekoliko zgrada unutar Bloka-19. Važno je naglasiti kako se dizalica topline može upotrijebiti za grijanje i za hlađenje, ovisno o vanjskim uvjetima, odnosno energetskim potrebama unutar zgrada.

Premda sektor grijanja predstavlja veliki udio energetske potrošnje, ključno je razmotriti i opcije hlađenja. Visoko-temperaturni CTS Grada Zagreba se može upotrijebiti i za proizvodnju rashladne energije koristeći apsorpcijske dizalice topline. Ovime se otvara mogućnost izgradnje centraliziranog rashladnog sustava koji može pokriti rashladni kapacitet određenih zgrada.

Na temelju tehničkog rješenja za pilot projekt je izrađena strategija za ostvarivanje energetske tranzicije ostatka povijesne jezgre Grada Zagreba. Povijesna jezgra Grada Zagreba u 2050. godini neće koristiti individualne kotlove na plin već tehnologije bazirane na kogeneraciji (istovremena proizvodnja električne i toplinske energije), obnovljivim izvorima energije i dizalicama topline. Najveći izazov predstavlja širenje postojećih magistralnih toplovoda u povijesnu jezgru zbog čega je potrebno sustavno planiranje i koordinacija svih sudionika. Ključan korak je definiranje prioriternih toplinskih zona koje imaju visoke toplinske potrebe i relativno su blizu postojećoj toplinskoj mreži CTS-a. U ostalim zonama će se izgraditi manji „kvartovski“ toplinski sustavi koji će se u kasnijim fazama širenje mreže CTS-a spojiti na veće magistralne toplovode i predavati višak toplinske energije u mrežu. Paralelno sa širenjem toplinske mreže je potrebno provoditi i energetske obnovu zgrada čime će se smanjiti toplinsko opterećenje zgrade i osloboditi dodatni toplinski kapacitet toplinske mreže. Potrebe za hlađenjem će se pokrivati dizalicama topline ili razvijanjem centraliziranog rashladnog sustava.

Korištena literatura

1. S. Frederiksen and S. Werner, District Heating and Cooling. 2013
2. Faktori primarne energije i emisija CO₂ (u primjeni od 30. rujna 2017.)
3. P. A. Sørensen, J. E. Nielsen, R. Battisti, T. Schmidt, and D. Trier, "Solar district heating guidelines: Collection of fact sheets," no. August, p. 152, 2012.
4. E. Latššov, A. Volkova, A. Siirde, J. Kurnitski, and M. Thalfeldt, "Primary energy factor for district heating networks in European Union member states," Energy Procedia, vol. 116, pp. 69–77, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.05.056
5. Norma VDI 4640 Thermal use of the underground: Ground source heat pump systems
6. Kurevija, T., Vulin, D., Krapec, V.: Influence of Undisturbed Ground Temperature and Geothermal Gradient on the Sizing of Borehole Heat Exchangers, Proceedings, World Renewable Energy Congress, 2011, 1360–1367.
7. Rezultati prikupljeni na ispitnim bušotinama u sklopu projekata Dizalice topline s korištenjem tla kao obnovljivog toplinskog spremnika (projekt MZOŠ-a), Istraživanje i promocija plitkih geotermalnih potencijala u Republici Hrvatskoj (IPA IIIC projekt), CHEAP GSHP (Horizon 2020).
8. Kapuralić, J., Posavec, K., Kurevija, T., Macenić, M.: Identification of the Sava River temperature influence on the groundwater temperature of the Zagreb and Samobor-Zaprešić aquifers as a part of shallow geothermal potential, The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin, 33 (2018), 59-69.
9. T. Novosel, T. Pukšec, N. Duić, and J. Domac, "Heat demand mapping and district heating assessment in data-poor areas," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 131, no. November 2019, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.109987