



ConnectHeat
Community engagement for clean heat

D4.2 IMPLEMENTACIJA PILOT PROJEKTA U HRVATSKOJ

REGIONALNA

ENERGETSKO-KLIMATSKA

AGENCIJA

SJEVEROZAPADNE HRVATSKE



The LIFE21-CET-ENERCOM-CONNECTHEAT project has received funding from the European Union's LIFE Programme under grant agreement N°101076258



D4.2 IMPLEMENTACIJA PILOT PROJEKTA

Broj isporuĉevine	D4.2	
Odgovoran partner	Regionalna energetska i klimatska agencija Sjeverozapadne Hrvatske	
Rok za isporuku isporuĉevine	Svibanj 2025	
Stvarni datum podnošenja	Lipanj 2025	
Povijest verzija / dokumenta	02	
Autori	Martina Krizmanić Pećnik, Marko Čavar, Hrvoje Maras, Slavica Robić	
Recenzenti	M. Neyhousser, A. Sohail R. Battisti, C. Lazzari – AMBIT	
Broj i naziv radnog paketa	RP4 – Provođenje promjena – Pilot primjeri, strateški putokazi i konceptualni model	
Voditelj radnog paketa	Solites	
Sudionici u radnom paketu	Svi partneri	
Razina diseminacije (molimo odaberite jednu opciju)		
SEN	Povjerljivo, ograniĉeno uvjetima Ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava	<input type="checkbox"/>
PU	Javno, potpuno otvoreno	<input checked="" type="checkbox"/>
Vrsta isporuĉevine (molimo odaberite jednu opciju)		
R	Izvještaj, dokument	<input checked="" type="checkbox"/>
DEM	Demonstrator, pilot, prototip, nacrti planova	<input type="checkbox"/>
DEC	Internetske stranice, prijava patenata, tiskovne i medijske aktivnosti	<input type="checkbox"/>
DATA	Skupovi podataka, mikro podatci i sl.	<input type="checkbox"/>
DMP	Plan upravljanja podacima	<input type="checkbox"/>
ETHICS	Isporuĉevine vezane uz etička pitanja	<input type="checkbox"/>
SECURITY	Isporuĉevine vezane uz sigurnosna pitanja	<input type="checkbox"/>
OTHER	Softver, tehniĉki dijagrami, algoritmi, modeli i sl.	<input type="checkbox"/>



Izjava o odricanju od odgovornosti

Financirano od strane Europske unije. Stavovi i mišljenja izraženi u ovom dokumentu isključivo su stavovi autora i ne odražavaju nužno stavove Europske unije niti CINEA-e. Europska unija niti CINEA ne mogu se smatrati odgovornima za njih.



Sadržaj

Popis slika	5
Popis tablica	6
Sažetak	8
1. Tehnička izvedivost studije	10
1.1. Analiza potražnje za energijom	13
Opis postojećeg termotehničkog sustava – Grijanje.....	13
Opis postojećeg termotehničkog sustava – Priprema PTV	13
Opis postojećeg termotehničkog sustava – Hlađenje.....	13
Analiza računa – električna energija	13
Analiza računa - plin.....	15
1.2. Analiza energetske opskrbe	17
Početno referentno stanje	17
Buduće referentno stanje	18
Analiza mogućnosti korištenja sustava geotermalne dizalice topline tlo-voda	18
Definiranje optimalnog sustava geotermalne dizalice topline tlo-voda za početno referentno i buduće referentno stanje	20
Utjecaj odabranih optimalnih sustava geotermalne dizalice topline (tlo-voda) – udio zadovoljavanja potreba za toplinskom i rashladnom energijom za sve objekte	21
Analiza mogućnosti korištenja sustava geotermalne dizalice voda-voda	22
Definiranje referentnog potencijala za iskorištavanje geotermalne energije na lokalitetu RGNF-a.....	24
Definiranje optimalnog sustava geotermalne dizalice topline voda-voda za početno referentno i buduće referentno stanje	25
Utjecaj odabranih optimalnih sustava geotermalne dizalice topline (voda-voda) – udio zadovoljavanja potreba za toplinskom i rashladnom energijom za sve objekte	25
Prijedlog ugradnje dodatne dizalice topline zrak-voda uz dizalicu topline voda-voda.....	27
2. Analiza troškova i koristi	29
2.1. Financijska analiza.....	29
Ključni pokazatelji uspješnosti.....	30
<i>Specifikacija investicijskih ulaganja u sustav geotermalne dizalice topline (tlo-voda) te utjecaj predmetnog sustava – financijske uštede</i>	<i>30</i>
<i>Specifikacija investicijskih ulaganja u sustav geotermalne dizalice topline (voda-voda) te utjecaj predmetnog sustava – financijske uštede</i>	<i>34</i>
<i>Specifikacija investicijskih ulaganja u sustav geotermalne dizalice topline (voda-voda) i dizalice topline (zrak-voda) za buduće referentno stanje kompleksa te utjecaj predmetnog sustava – financijske uštede.....</i>	<i>39</i>
2.2. Ekonomska ocjena	41



Methodology.....	41
Ključni pokazatelji uspješnosti.....	43
2.3. Rezultati evaluacije	43
Rješenje 1 – sustav dizalice topline tlo-voda	43
Rješenje 2 – Dizalica topline voda-voda	44
Rješenje 3 - Dizalica topline zrak-voda kao dopuna dizalici topline voda-voda	45
2.4. Dostupni izvori financiranja	46
Europski strukturni i investicijski fondovi (ESIF)	46
Mehanizam za oporavak i otpornost (RRF)	46
Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (FZOEU)	46
Hrvatska banka za obnovu i razvitak (HBOR)	47
Komerijalni zeleni krediti	47
Ugovaranje opskrbe energijom (ESCO)	48
Zajedničko financiranje i ulaganje	49
2.5. Utjecaj na okoliš i emisije CO₂.....	49
2.6. SWOT analiza	53
3. Model energetske zajednice	55
3.1. Energetske zajednice u Hrvatskoj	56
3.2. Identificirani modeli razvoja energetske zajednice na fakultetima	59
3.3. Odabrani model: Samostalni razvoj i upravljanje sustavom od strane fakulteta	61
3.4. Organizacijska i upravljačka struktura projekta energetske zajednice	65
3.5. Plan provedbe projekta	69
3.6. Rizici	71
Popis literature	73
Prilozi	1



Popis slika

Slika 1: Kompleks zgrada RGNF-a i PBF-a na lokaciji Pierottijeva 4 and 6 (izvor: https://geoportal.zagreb.hr/Karta).....	11
Slika 2: Geološki profil bušotine duboke 90 m na području Maksimira – Bukovac.....	19
Slika 3: 3D geološki model zagrebačkog vodonosnika.....	23





Popis tablica

Tablica 1: Pregled isporučene električne energije za OMM br. 0171020164 stambenog kompleksa.	14
Tablica 2: Pregled cijene električne energije od srpnja 2023. do lipnja 2024.	14
Tablica 3: : Pregled troškova električne energije od srpnja 2023. do lipnja 2024. za sustave grijanja, hlađenja i potrošne tople vode (PTV).....	15
Tablica 4: Isporučena energija iz plina na OMM br. 028953 za kompleks zgrada.....	15
Tablica 5: Potrošnja električne energije i energije iz plina za sustav grijanja, hlađenja i PTV	16
Tablica 6: Trošak plina (srpanj 2023. – lipanj 2024.) – sustav grijanja.....	16
Tablica 7: Pregled početnog referentnog stanja za RGNF i PBF	17
Tablica 8: Pregled budućeg referentnog stanja za RGNF I PBF.....	18
Tablica 9: Pregled tehničkih karakteristika polja 28 BIT-ova	20
Tablica 10: Tehničke karakteristike dizalice topline tlo-voda	21
Tablica 11: Iskoristiva toplinska i rashladna energija novog sustava s dizalicom topline tlo-voda za početno referentno stanje (RGNF i PBF).....	22
Tablica 12: Iskoristiva toplinska i rashladna energija novog sustava s dizalicom topline tlo-voda za buduće referentno stanje (RGNF i PBF).....	22
Tablica 13: Referentni potencijal korištenja podzemne vode kao izvora/ponora topline na lokaciji RGNF	24
Tablica 14: Tehnički podaci – eksploatacijski i upojnih zdenac	25
Tablica 15: Tehnički podaci – dizalica topline voda-voda	25
Tablica 16: Iskoristiva toplinska i rashladna energija novog sustava s dizalicom topline voda-voda za početno referentno stanje (RGNF i PBF).....	26
Tablica 17: Iskoristiva toplinska i rashladna energija novog sustava s dizalicom topline voda-voda za buduće referentno stanje (RGNF i PBF)	27
Tablica 18: Iskoristiva toplinska i rashladna energija novog sustava s dizalicom topline voda-voda i dizalicom topline zrak-voda za buduće referentno stanje (RGNF i PBF)	29
Tablica 19: Investicijski troškovi za sustav s dizalicom topline tlo-voda.....	31
Table 20: Energetska ušteda sustavom dizalice topline tlo-voda – Početno referentno stanje.....	32
Tablica 21: Financijska ušteda sustavom dizalice topline tlo-voda – Početno referentno stanje	33
Tablica 22: Energetska ušteda sustavom dizalice topline tlo-voda – Buduće referentno stanje	34
Tablica 23: Financijska ušteda sustavom dizalice topline tlo-voda – Buduće referentno stanje	34
Tablica 24: Investicijski troškovi za sustav s dizalicom topline voda-voda	35
Tablica 25: Energetska ušteda sustavom dizalice topline voda-voda – Početno referentno stanje	36
Tablica 26: Financijska ušteda sustavom dizalice topline voda-voda – Početno referentno stanje.....	37
Tablica 27: Energetska ušteda sustavom dizalice topline voda-voda – Buduće referentno stanje.....	38
Tablica 28: Financijska ušteda sustavom dizalice topline voda-voda – Buduće referentno stanje.....	38
Tablica 29: Investicijski troškovi za sustav s dizalicom topline voda-voda i dizalicom topline zrak-voda	39
Tablica 30: Energetska ušteda sustavom dizalice topline voda-voda i dizalice topline zrak-voda – Buduće referentno stanje	40
Tablica 31: Financijska ušteda sustavom dizalice topline voda-voda i dizalica topline zrak-voda – Buduće referentno stanje.....	41
Tablica 32: Povrat investicije sustava s dizalicom topline voda-voda i zrak-voda – Buduće referentno stanje	41
Tablica 33: Ključni financijski pokazatelji – sustav dizalice topline tlo-voda – početno referentno stanje	43
Tablica 34: Ključni ekonomski pokazatelji – sustav dizalice topline tlo-voda – početno referentno stanje....	44
Tablica 35: Ključni financijski pokazatelji – sustav dizalice topline tlo-voda – buduće referentno stanje	44
Tablica 36: Ključni ekonomski pokazatelji – sustav dizalice topline tlo-voda– buduće referentno stanje.....	44
Tablica 37: Ključni financijski pokazatelji – sustav dizalice topline voda-voda – početno referentno stanje ..	44



Tablica 38: Ključni ekonomski pokazatelji – sustav dizalice topline voda-voda – početno referentno stanje	45
Tablica 39: Ključni financijski pokazatelji –Dizalica topline voda-voda– buduće referentno stanje	45
Tablica 40: Ključni ekonomski pokazatelji –Sustav dizalice topline voda-voda – buduće referentno stanje ...	45
Tablica 41: Ključni financijski pokazatelji – dizalica topline zrak-voda kao dopuna dizalici topline voda-voda – buduće referentno stanje	45
Tablica 42: Ključni ekonomski pokazatelji – dizalica topline zrak-voda kao dopuna dizalici topline voda-voda	46
Tablica 43: Smanjenje emisija CO ₂ ugradnjom dizalice topline tlo-voda – početno i buduće referentno stanje	50
Tablica 44: Smanjenje emisija CO ₂ ugradnjom dizalice topline voda-voda – početno i buduće referentno stanje	51
Tablica 45: Smanjenje emisija CO ₂ ugradnjom dizalice topline voda-voda i dizalice topline zrak-voda	52



Sažetak

Početni opseg ove studije izvodljivosti obuhvaćao je nekoliko akademskih zgrada, uključujući Fakultet arhitekture, Građevinski fakultet i Geodetski fakultet. Međutim, zbog renovacijskih radova nakon potresa na kompleksu smještenom na katastarskoj čestici broj 2843/4, Novi centar, pojavila su se značajna ograničenja. Tijekom obnove zadržan je postojeći parni sustav grijanja, modernizirana je infrastruktura visokotemperaturnog grijanja te je integriran sustav hlađenja zrak–zrak. Navedene tehničke karakteristike onemogućuju primjenu niskotemperaturnih izvora topline i sustava hlađenja voda–zrak, čime je isključena mogućnost uključivanja ovog kompleksa kao potencijalnog korisnika geotermalnog sustava.

Analizom dostupne tehničke dokumentacije i izvješća o izvedenim radovima utvrđen je mogući toplinski učinak bušotine s izmjenjivačem topline u tlu od 50 W/m (plitki geotermalni potencijal). Također je procijenjen potencijal podzemnih voda, pri čemu je utvrđena izvediva kapacitivnost crpljenja od 25 l/s pri temperaturi od 13,7 °C. Ipak, rezultati su pokazali da lokacija ne raspolaže dovoljnim kapacitetom tla ni količinom podzemnih voda za opskrbu energetske zajednice s više objekata. Sukladno tome, fokus studije sužen je na dvije preostale jedinice: Fakultet rudarstva, geologije i naftnog inženjerstva (RGNF) te Prehrambeno-biotehnološki fakultet (PBF).

Studija je obuhvatila analizu tehničke izvedivosti, investicijskih troškova te potencijalnih energetskih i financijskih ušteda uvođenjem sustava dizalica topline. Evaluirane su tri ključne tehnologije:

- **Geotermalna dizalica topline s bušotinama:** Unatoč visokoj učinkovitosti i stabilnom toplinskom učinku tijekom cijele godine, zbog prostornog ograničenja bilo je moguće ugraditi samo 28 bušotina, što je omogućilo pokrivanje tek manjeg dijela potreba za grijanjem i hlađenjem (14,44 % postojećih potreba i 27,45 % budućih potreba). Procijenjeni investicijski trošak iznosio je 478.000 eura, dok su godišnje financijske uštede bile minimalne – svega 300 eura – zbog ograničenog doprinosa sustava ukupnoj energetskej opskrbi.
- **Geotermalna dizalica topline voda–voda :** Korištenjem podzemnog izvora vode s protokom od 25 l/s, ovo je rješenje omogućilo znatno veći kapacitet grijanja i hlađenja (48,12 % trenutnih potreba i 70,00 % budućih potreba). Procijenjeni investicijski trošak iznosio je 332.000 eura, a potencijalne godišnje financijske uštede mogle su doseći do 52.972 eura u najboljem scenariju. Ipak, zbog dugog povrata investicije od 50 do 60 godina, samostalna primjena sustava voda–voda nije bila financijski isplativa.
- **Kombinacija dizalica topline voda–voda i zrak–voda:** Kao nadopuna sustavu voda–voda, predložena je ugradnja dizalica topline zrak–voda ukupnog kapaciteta grijanja od 400 kW i kapaciteta hlađenja od 260 kW, s ciljem potpune dekarbonizacije i eliminacije uporabe prirodnog plina. Ukupni investicijski trošak za kombinirani sustav voda–voda i zrak–voda iznosio je 525.000 eura, uz predviđene godišnje financijske uštede od 31.000 eura te značajno kraći period povrata investicije od 21 godine.

Analiza je zaključila da je optimalno rješenje za potpunu dekarbonizaciju hibridni sustav koji integrira dizalice topline voda–voda i zrak–voda. Ovakav pristup omogućuje maksimalnu energetske učinkovitost, smanjenje emisije CO₂ te je usklađen s prostornim i infrastrukturnim ograničenjima.

Ključni element ove inicijative jest definiranje modela upravljanja i operativnog okvira za obnovljivu energetske zajednicu. Identificirana su tri moguća modela, koji se razlikuju prema razini uključenosti fakulteta, financijske odgovornosti te ulozi vanjskih dionika – osobito HEP Toplinarstva, državne tvrtke odgovorne za centraliziranu toplinsku infrastrukturu u Republici Hrvatskoj.



1. Nezavisno upravljanje od strane fakulteta

- Fakulteti u potpunosti preuzimaju vlasništvo nad geotermalnim sustavom, kao i njegov razvoj i upravljanje.
- Unutarnjim sporazumima o raspodjeli energije osigurava se pravedna i transparentna distribucija među korisnicima.
- Zaposlenici i studenti fakulteta mogu sudjelovati u projektu kao ulagači.
- Ovaj model omogućuje potpunu autonomiju, ali zahtijeva znatna financijska ulaganja te visoku razinu tehničke i upravljačke stručnosti.

2. Fakultetski razvoj uz operativno upravljanje od strane HEP Toplinarstva

- Fakulteti razvijaju geotermalni sustav, dok se operativno upravljanje povjerava HEP Toplinarstvu.
- Vlasništvo nad sustavom ostaje u rukama fakulteta, a energija se kupuje temeljem ugovornog odnosa.
- Integracija s postojećom mrežom centraliziranog grijanja omogućuje višu razinu učinkovitosti i veću iskoristivost sustava.
- Model predstavlja ravnotežu između autonomije fakulteta i profesionalnog upravljanja, ali ograničava mogućnost utjecaja na formiranje cijena energije.

3. Potpuno upravljanje od strane HEP Toplinarstva

- Fakulteti u potpunosti prepuštaju upravljanje i vlasništvo nad sustavom HEP Toplinarstvu.
- HEP Toplinarstvo preuzima odgovornost za razvoj, upravljanje i integraciju geotermalnog sustava u mrežu centraliziranog grijanja.
- Fakulteti postaju krajnji korisnici te energiju nabavljaju po tržišnim uvjetima.
- Ovim modelom fakulteti u potpunosti izbjegavaju financijske i operativne rizike, no gube kontrolu nad sustavom i dugoročnim strateškim odlukama.

The Rezultati ove studije ukazali su na potencijale, ali i ograničenja osnivanja energetske zajednice unutar odabranog akademskog kompleksa. Zbog ograničenih kapaciteta tla i nedovoljnih mogućnosti crpljenja podzemne vode, formiranje šire energetske zajednice koja bi obuhvatila više fakultetskih objekata pokazalo se neizvedivim. Ipak, unutar kompleksa Fakulteta rudarstva, geologije i naftnog inženjerstva (RGNF) te Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta (PBF), koncept interne obnovljive energetske zajednice ostaje izvediv i strateški opravdan. Ugradnjom hibridnog sustava dizalica topline voda–voda i zrak–voda, ovi fakulteti mogli bi postati predvodnici lokalnog i održivog energetskeg modela koji učinkovito koristi dostupne resurse, smanjuje ovisnost o fosilnim gorivima i služi kao ogledni primjer za buduće energetske projekte u visokom obrazovanju. Odabran je model 1, jer omogućuje RGNF-u i PBF-u preuzimanje potpune odgovornosti za razvoj, upravljanje i održavanje sustava geotermalnih dizalica topline, čime se potiče lokalno vlasništvo, tehnička samostalnost i snažnija integracija unutar akademske zajednice. U suradnji s Regionalnom energetske-klimatskom agencijom Sjeverozapadne Hrvatske (REGEA), provedeno je anketno ispitivanje među studentima radi procjene spremnosti za osnivanje studentski vođene obnovljive energetske zajednice (REC). Analizom 50 ispunjenih upitnika utvrđena je visoka razina informiranosti, interesa i spremnosti studenata za sudjelovanje u projektima obnovljivih izvora energije. Rezultati potvrđuju snažan potencijal za uspostavu participativnog modela energetske zajednice temeljenog na aktivnom uključivanju studenata, uz potporu institucionalne infrastrukture. Odabrani model upravljanja – Nezavisno fakultetsko upravljanje – zahtijeva visok stupanj angažmana fakulteta, financijska ulaganja i operativni nadzor. Jasno definirana struktura upravljanja ključna je za osiguranje učinkovite administracije sustava, dugoročnu ekonomsku održivost te usklađenost s regulatornim okvirom. Ovaj model podržava autonomiju institucije i pruža platformu za integraciju obrazovnih, tehničkih i društveno orijentiranih ciljeva. U daljnjim koracima bit će važan nastavak dijaloga s HEP Toplinarstvom, nadležnim regulatornim tijelima te potencijalnim investitorima radi rješavanja infrastrukturnih i pravnih pitanja. Iako Model 1 stavlja većinu odgovornosti na same fakultete, on također donosi značajne prednosti u pogledu kontrole, obrazovne vrijednosti i dugoročne isplativosti. Ukupno gledano, ova inicijativa predstavlja važan iskorak prema decentraliziranim, održivim energetske modelima unutar akademskih ustanova, čime se dodatno potvrđuje hrvatska predanost ekološkoj odgovornosti i energetske neovisnosti.



1. Tehnička izvedivost studije

Kao dio globalnih napora za smanjenje emisija stakleničkih plinova i povećanje energetske učinkovitosti, Rudarsko-geološko-naftni fakultet (RGNF) u Zagrebu aktivno poduzima strateške korake prema dekarbonizaciji svojih sustava grijanja i hlađenja, usklađujući se s dugoročnim ciljevima energetske održivosti.

RGNF se uključio u projekt ConnectHeat kao pilot-projekt s ciljem uspostave prve akademske energetske zajednice za toplinsku energiju. Cilj je integrirati više okolnih akademskih institucija u zajednički, održivi sustav grijanja i hlađenja temeljen na obnovljivim izvorima energije. U sklopu ove inicijative provedena je sveobuhvatna studija izvedivosti za procjenu mogućnosti implementacije niskougličnih rješenja za grijanje i hlađenje, odnosno kombinacije toplinskih pumpi zemlja-voda, voda-voda i zrak-voda.

Toplinske pumpe predstavljaju održivo rješenje za grijanje i hlađenje koje značajno smanjuje emisije CO₂ te doprinosi borbi protiv klimatskih promjena. Korištenjem obnovljivih izvora energije smanjuju ovisnost o fosilnim gorivima, minimiziraju ekološki otisak te ostvaruju značajne energetske i financijske uštede, što je bila i svrha ove studije. Inicijalna ideja obuhvaćala je nekoliko građevina u kojima su smještene akademske ustanova, primjerice Arhitektonskog, Građevinskog i Geodetskog fakulteta, no isti je trenutno u procesu protupotresne obnove kroz koju se planira zadržavanje postojećeg izvora grijanja uz modernizaciju strojarških instalacija. Zbog tehničkih ograničenja, sustav navedenog fakulteta nije kompatibilan s niskotemperaturnim izvorima topline koji su u fokusu ConnectHeat projekta. Stoga, na početku izrade studije odlučeno je kako će se studija imati smanjeni obuhvat – **isključivo kompleks RGNF (RGNF) i Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta (PBF)**.

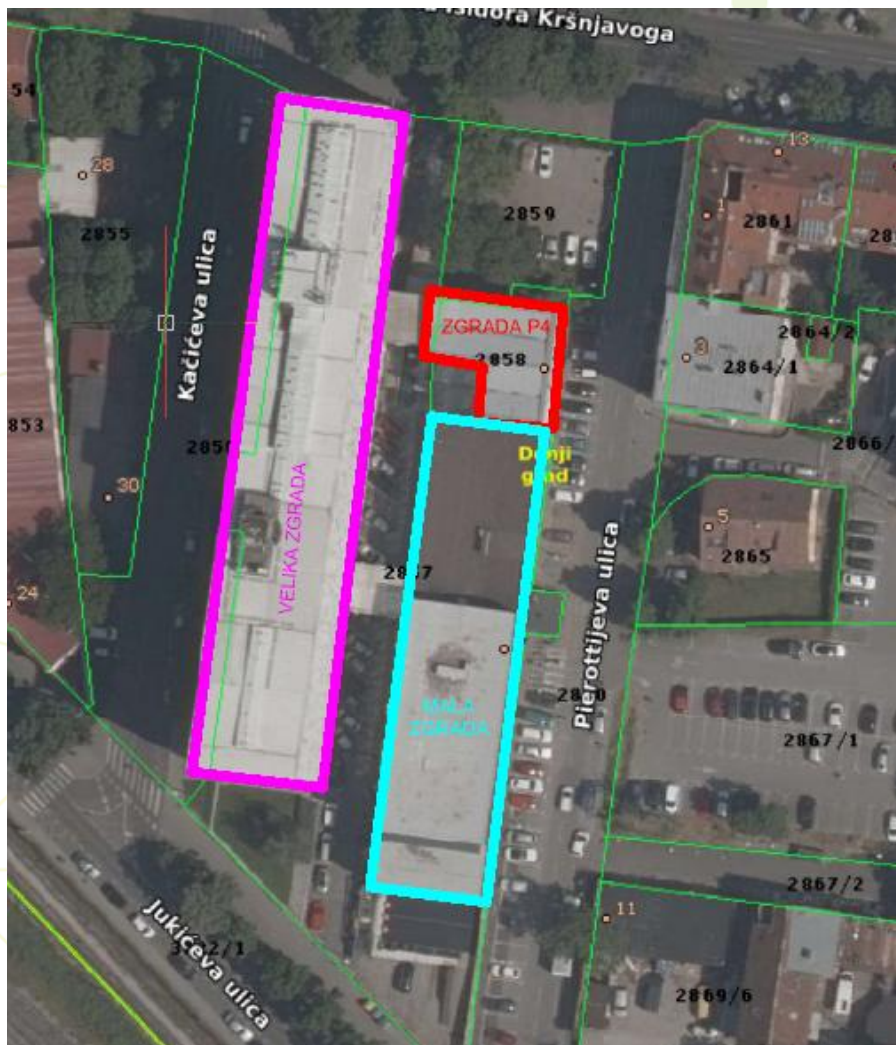
Rudarsko-geološko-naftni fakultet i Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu smješteni su u zgradama na pet lokacija, a promatrana lokacija ove Studije je Pierottijeva ulica 4 i 6 (Donji Grad, Grad Zagreb) gdje se nalaze dvije zgrade koje su međusobno povezane: zgrada P4 na adresi Pierottijeva ulica 4 i zgrada na adresi Pierottijeva ulica 6 (sastavljena od Velike i Male zgrade). Zgrada P4, na adresi Pierottijeva ulica 4, nalazi se na k.č.br. 2858, k.o. Centar, ima ukupnu bruto površinu 1.138,00 m². Zgrada se koristi u namjeni Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu, pet dana u tjednu, 8 sati dnevno. Velika i Mala zgrada nalaze se k.č.br 2857, k.o. Centar, te se koriste u namjeni oba fakulteta – PBF-a i RGNF-a. Mala zgrada ima ukupnu bruto površinu 2.994,00 m², dok Velika zgrada ima ukupnu bruto površinu 12.736,00 m². Mala i Velika zgrada koriste se pet dana u tjednu – 8 sati dnevno fakultetsko osoblje, dok je za studente ulaz otvoren od 7-21 sat. U daljnjoj razradi koristit će se zajednički naziv kompleks za sve objekte.

Rudarsko-geološko-naftni fakultet (RGNF) jedan je od vodećih akademskih i znanstvenih instituta unutar Sveučilišta u Zagrebu, specijaliziran za područja rudarstva, geologije i naftnog inženjerstva. Fakultet predstavlja centar izvrsnosti u visokom obrazovanju, znanstvenim istraživanjima i inovacijama, doprinosi razvoju Hrvatske u upravljanju prirodnim resursima, održivom rudarstvu, hidrogeologiji i istraživanju energetskih izvora. RGNF je posvećen osposobljavanju studenata i istraživača suvremenim znanjima i praktičnim vještinama potrebnim za rješavanje aktualnih izazova u području energetike, geotehničkog inženjerstva i održivosti okoliša. Fakultet održava snažnu suradnju s industrijskim partnerima, državnim institucijama i međunarodnim istraživačkim organizacijama, osiguravajući usklađenost akademskih programa s globalnim tehnološkim dostignućima i ciljevima održivosti.

Prostorni kapaciteti Fakulteta obuhvaćaju dvije međusobno povezane zgrade koje su sastavni dio većeg sveučilišnog kompleksa zajedničkog s Fakultetom prehrambene tehnologije i biotehnologije (PBF). Ove zgrade opremljene su suvremenim predavaonicama, specijaliziranim laboratorijima, istraživačkim centrima, upravnim prostorijama te studentskim sadržajima, dizajniranim za potporu kako teorijskoj nastavi, tako i primijenjenim znanstvenim istraživanjima. Kampus je izvrsno povezan s javnim prijevozom grada Zagreba, čime je osiguran jednostavan pristup studentima, nastavnom osoblju i gostujućim istraživačima. Osim toga,



blizina drugih fakulteta Sveučilišta u Zagrebu potiče interdisciplinarnu suradnju i razvoj zajedničkih istraživačkih projekata.



Slika 1: Kompleks zgrada RGNF-a i PBF-a na lokaciji Pierottijeva 4 and 6
(izvor: <https://geoportal.zagreb.hr/Karta>).

Prvom fazom izrade studije obuhvaćeno je prikupljanje podataka o trenutnom i budućem stanju kompleksa budući da za isti postoji izrađena projektno-tehnička dokumentacija za energetske obnove, ali i podaci o lokalnim geološkim uvjetima i dostupnim resursima. Bitno je naglasiti kako se studija fokusirala isključivo na dostupnu tehničku dokumentaciju iskoristivosti energije tla i podzemnih voda tj. nisu izvršeni konkretni istražni radovi na konkretnoj lokaciji.



U svrhu određivanja plitkog geotermalnog potencijala za izvedbu geotermalne dizalice topline tlo-voda i voda-voda na užem području lokacije RGNF-a, proučena je dostupna dokumentacija u vidu postojećih studija, istraživanja, sveučilišnih radova i projekata na području Republike Hrvatske, Grada Zagreba te na lokacijama u blizini Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta.

Za uvid u izvedene projekte s geotermalnim dizalicama tlo-voda i voda-voda na užem području grada u odnosu na lokaciju RGNF-a, kao izvor podataka provedenih projekata korištena je interaktivna karta Geografskog informacijskog sustava (<https://powerlab.fsb.hr/pliges/>) koja je realizirana provedbom projekta Mapiranje plitkih geotermalnih sustava u Republici Hrvatskoj od strane interdisciplinarnog tima s dvije znanstveno-obrazovne institucije (Fakulteta strojarstva i brodogradnje i Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu) te jedne tvrtke za projektiranje i nadzor izvedbe takvih sustava (TT Inženjering d.o.o.). Realizacijom projekta, od 1. veljače 2023. godine do 30. travnja 2024., prikupljeni su podaci o izvedenim geotermalnim dizalicama topline te je izrađena javno dostupna interaktivna GIS karta.

Na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, u sklopu znanstvenog projekta, izvedena je geotermalna dizalica topline tlo-voda s bušotinskim izmjenjivačem topline (BIT), zračne udaljenosti od RGNF-a oko 1,47 km jugoistočno, a na temelju čega su izrađeni mnogi završni, diplomski i doktorski radovi čije su zadaće bile provedbe ispitivanja na sustavu tlo-voda. Kako je FSB proveo mjerenja prve izvedene geotermalne bušotine dubine 100 m na svojoj lokaciji, korišteni su i podaci o izmjerenim vrijednostima.

Osim dokumentacije vezane za geotermalni sustav tlo-voda na FSB-u, prikupljena je i dokumentacija vezana za istraživanja, mjerenje i korištenja plitke geotermalne energije na području Republike Hrvatske i Grada Zagreba u vidu znanstvenih članaka izrađena od nekoliko autora sa Zavoda za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku na Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta te diplomski rad autorice Kristina Strpić.

Podaci vezane uz zagrebački vodonosnik i mogućnost iskorištavanja potencijala vode dobiveni su dokumentacijom RGNF-a vezane uz zone sanitarne zaštite vodonosnika, Hrvatskog geološkog instituta vezanu za stanje podzemnih voda u Panonskoj Hrvatskoj, završnim radom o hidrogeografskim značajkama zagrebačkog vodonosnika [8], diplomskim radom o opremanju zdenaca te znanstvenim člankom o utjecaju temperature rijeke Save na temperaturu podzemne vode.

Tvrtka GEOSERVIS A.S. d.o.o. ustupila je dokumentaciju vezanu uz istražne radove i izradu eksploatacijskog i upojnog zdenca [12] za sustav s dizalicom topline voda-voda u hotelu Palace, na Trgu J.J. Strossmayera 10 u Zagrebu, na zračnoj udaljenosti 1,1 km istočno od lokacije RGNF-a.

Doktorska disertacija o vrednovanju plitkih geotermalnih potencijala RH autora Tomislava Kurevije omogućila je uvid u analizu potencijala i primjenjivost plitke geotermalne energije u Republici Hrvatskoj.

Zakonodavna norma koja se koristi prilikom projektiranja i implementacije sustava koji koristi tlo kao izvor toplinske energije jest njemačka norma VDI 4640, dok uvjete za korištenje podzemne vode propisuju Hrvatske vode.



1.1. Analiza potražnje za energijom

Opis postojećeg termotehničkog sustava – Grijanje

Grijanje kompleksa objekata vrši se centralno pomoću dva plinska kotla proizvođača Viessman Vitorond 200 s pojedinačnim toplinskim učinkom od 1.080 kW. Dozvoljeni radni tlak u kotlu je 6 bara, a maksimalna temperatura polaznog voda u kotlovskom krugu iznosi 110°C. Grijanje prostora, odnosno predaja topline u prostor, ostvaruje se pomoću radijatorskog i ventilokonvektorskog sustava. U kompleksu je ukupno instalirano 562 radijatora različitih tipova i proizvođača, ukupne instalirane snage 1304,3 kW. U prostorijama u kojima radijatori ne zadovoljavaju zahtjeve toplinske ugodnosti koriste se dodatne električne grijalice za zagrijavanje ukupne toplinske snage 99 kW. Ukupni instalirani toplinski kapacitet svih ogrjevnih tijela u kompleksu iznosi 1.522,6 kW.

Opis postojećeg termotehničkog sustava – Priprema PTV

Priprema sanitarne (potrošne) tople vode (PTV) izvedena je lokalno kod izljevniha mjesta, putem električnih toplovodnih grijalica (bojlera). PTV se koristi u sanitarnim čvorovima, laboratorijima, kuhinjama i pojedinim uredima. Ukupna instalirana električna snaga bojlera iznosi 252,8 kW, s ukupnim volumenom od 665 litara.

Opis postojećeg termotehničkog sustava – Hlađenje

Hlađenje kompleksa ostvareno je putem single i multi split-sustava za pojedinačne prostorije, izuzev auditorija s predvorjima u Maloj zgradi te velike predavaone u podrumu Velike zgrade, gdje su instalirani centralizirani sustavi s rashladnicima vode i ventilokonvektorima koji kao medij koriste demineraliziranu vodu polazne temperature 7°C i povratne temperature 12°C. U prostorijama kompleksa ukupno je instalirano 268 klima jedinica ukupne rashladne snage 838,49 kW prosječne učinkovitosti EER=3. Ukupni instalirani rashladni kapacitet svih rashladnih tijela u kompleksu iznosi 1.038,13 kW.

Analiza računa – električna energija

Hlađenje kompleksa ostvareno je putem single i multi split-sustava za pojedinačne prostorije, izuzev auditorija s predvorjima u Maloj zgradi te velike predavaone u podrumu Velike zgrade, gdje su instalirani centralizirani sustavi s rashladnicima vode i ventilokonvektorima koji kao medij koriste demineraliziranu vodu polazne temperature 7°C i povratne temperature 12°C. U prostorijama kompleksa ukupno je instalirano 268 klima jedinica ukupne rashladne snage 838,49 kW prosječne učinkovitosti EER=3. Ukupni instalirani rashladni kapacitet svih rashladnih tijela u kompleksu iznosi 1.038,13 kW. Pregled isporučene električne energije za OMM br. 0171020164 stambenog kompleksa, prikazan je u donjoj tablici.

Mjesec	VT	NT	Ukupno
	kWh	kWh	kWh
Srpanj 2023	51.416,00	22.325,00	73.741,00
Kolovoz 2023	38.188,00	19.752,00	57.940,00
Rujan 2023	47.394,00	21.087,00	68.481,00
Listopad 2023	50.967,00	21.761,00	72.728,00
Studeni 2023	53.810,00	20.262,00	74.072,00
Prosinac 2023	45.895,00	20.100,00	65.995,00
Siječanj 2024	50.437,00	20.701,00	71.138,00
Veljača 2024	47.791,00	19.478,00	67.269,00
Ožujak 2024	51.286,00	20.855,00	72.141,00
Travanj 2024	46.561,00	21.250,00	67.811,00



Svibanj 2024	47.944,00	21.944,00	69.888,00
Lipanj 2024	52.755,00	23.974,00	76.729,00
	584.444,00	253.489,00	837.933,00

Tablica 1: Pregled isporučene električne energije za OMM br. 0171020164 stambenog kompleksa.

Kako bi se ustanovio dio isporučene električne energije koji je korišten za sustave grijanja, hlađenja i PTV-a, pretpostavljeni su radni sati pojedinih sustava:

- Sustav pripreme PTV-a ima ukupnu instaliranu električnu snagu od 252,8 kW. Ukoliko se pretpostavi da električni bojleri rade prosječno 1 sat dnevno u punom kapacitetu, 20 dana u mjesecu, svih 12 mjeseci u godini, dolazi se do podatka o potrošnji električne energije za sustav pripreme potrošne tople vode koja iznosi 60.672,00 kWh/god.
- Sustav hlađenja ima ukupnu instaliranu rashladnu snagu od 1.038,13 kW, uz prosječnu učinkovitost od EER=3. Dijeljenjem instalirane rashladne snage i učinkovitosti moguće je dobiti podatak o električnoj snazi, te iznosi 346,04 kW. Ukoliko se pretpostavi da sustav hlađenja radi prosječno 8 sati dnevno, 20 dana u mjesecu, 3 mjeseca u godini, s 50% opterećenjem radu, dolazi se do podatka o potrošnji električne energije za rad sustava hlađenja koja iznosi 83.049,60 kWh/god, a pri čemu se proizvede 249.148,80 kWh/god.
- Potrošnja dijela sustava grijanja (električne grijalice, ventilokonvektorski sustav) kojem je za rad potrebna električna energija, također je proračunat na temelju procijenjenih radnih sati (5 mjeseci, 20 dana u mjesecu, 8 sati dnevno) te iznosi 73.306,67 kWh/god.

Trošak isporučene električne energije za kompleks fakulteta RGN i PBF, u periodu od jedne godine, iznosio je 186.435,54 EUR/god (Tablica 7). Navedeni trošak je trošak za sva električna trošila koja postoje na lokaciji. Procijenjena potrošnja električne energije samo za sustav grijanja, hlađenja i PTV-a dana je prethodnim poglavljem, a množenjem procijenjene količine energije s cijenom električne energije po kWh (za cijenu električne energije uzeta je cijena električne energije za višu tarifu 0,249745 EUR/kWh jer predmetni sustavi uglavnom rade tijekom više tarife). Trošak električne energije za rad sustava grijanja, hlađenja i PTV-a iznosi 54.201,73 EUR/god. U sljedećoj tablici prikazan je trošak električne energije od srpnja 2023. do lipnja 2024. godine.

Mjesec	VT	Cijena	Troškovi	NT	Cijena	Troškovi	Ukupni trošak
	kWh	€/kWh	€	kWh	€/kWh	€	€
Srpanj 2023	51.416,00	0,249745	12.840,89 €	22.325,00	0,159666	3.564,54 €	16.405,43 €
Kolovoz 2023	38.188,00	0,249745	9.537,26 €	19.752,00	0,159666	3.153,72 €	12.690,98 €
Rujan 2023	47.394,00	0,249745	11.836,41 €	21.087,00	0,159666	3.366,88 €	15.203,29 €
Listopad 2023	50.967,00	0,249745	12.728,75 €	21.761,00	0,159666	3.474,49 €	16.203,25 €
Studeni 2023	53.810,00	0,249745	13.438,78 €	20.262,00	0,159666	3.235,15 €	16.673,93 €
Prosinac 2023	45.895,00	0,249745	11.462,05 €	20.100,00	0,159666	3.209,29 €	14.671,33 €
Siječanj 2024	50.437,00	0,249745	12.596,39 €	20.701,00	0,159666	3.305,25 €	15.901,63 €
Veljača 2024	47.791,00	0,249745	11.935,56 €	19.478,00	0,159666	3.109,97 €	15.045,54 €
Ožujak 2024	51.286,00	0,249745	12.808,42 €	20.855,00	0,159666	3.329,83 €	16.138,26 €
Travanj 2024	46.561,00	0,249745	11.628,38 €	21.250,00	0,159666	3.392,90 €	15.021,28 €
Svibanj 2024	47.944,00	0,249745	11.973,77 €	21.944,00	0,159666	3.503,71 €	15.477,48 €
Lipanj 2024	52.755,00	0,249745	13.175,30 €	23.974,00	0,159666	3.827,83 €	17.003,13 €
							186.435,54 €

Tablica 2: Pregled cijene električne energije od srpnja 2023. do lipnja 2024.



Sljedeća tablica prikazuje trošak električne energije od srpnja 2023. do lipnja 2024. za sustave grijanja, hlađenja i potrošne tople vode (PTV).

	EE	Cijena	Trošak
	kWh/godina	€/kWh	€
Sustav grijanja	73.306,67	0,249745	18.307,97
Sustav hlađenja	83.049,60	0,249745	20.741,22
Sustav PTV	60.672,00	0,249745	15.152,53
			54.201,73

Tablica 3: Pregled troškova električne energije od srpnja 2023. do lipnja 2024. za sustave grijanja, hlađenja i potrošne tople vode (PTV).

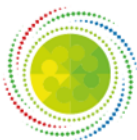
Analiza računa - plin

Ukupna isporučena toplinska energija iz plina, za razdoblje od srpnja 2023. do lipnja 2024. prema računima od strane tvrtki HEP PLIN d.o.o. (od srpnja 2023. do ožujka 2024.) i tvrtke Međimurje-plin d.o.o. (od ožujka 2024. do lipnja 2024.). iznosi 1.233.341,00 kWh/god. Navedena količina isporučene toplinske energije koristila se isključivo za sustav grijanja.

Mjesec	Količina
	kWh
Srpanj 2023	202,00
Kolovoz 2023	0,00
Rujan 2023	0,00
Listopad 2023	32.247,00
Studeni 2023	216.604,00
Prosinac 2023	253.536,00
Siječanj 2024	370.618,00
Veljača 2024	154.022,00
Ožujak 2024	138.235,00
Travanj 2024	67.866,00
Svibanj 2024	0,00
Lipanj 2024	11,00
	1.233.341,00

Tablica 4: Isporučena energija iz plina na OMM br. 028953 za kompleks zgrada

Sumirana količina potrošnje energije (električna energija i prirodni plin) za rad sustava grijanja, hlađenja i PTV-a prikazana je sljedećom tablicom.



	EE	PP	UKUPNP
	kWh/godina	kWh/godina	kWh/godina
SUSTAV GRIJANJA	73.306,67	1.233.341,00	1.306.647,67
SUSTAV HLAĐENJA	83.049,60	0,00	83.049,60
SUSTAV PTV	60.672,00	0,00	60.672,00
	217.028,27	1.233.341,00	1.450.369,27

Tablica 5: Potrošnja električne energije i energije iz plina za sustav grijanja, hlađenja i PTV

Mjesec	Količina	Cijena nabave i opskrbe	Cijena nabave i opskrbe
	kWh	€/kWh	€
Srpanj 2023	202,00	0,0572	11,55
Kolovoz 2023	0,00	0,0572	0,00
Rujan 2023	0,00	0,0572	0,00
Listopad 2023	32.247,00	0,0572	1.844,53
Studeni 2023	216.604,00	0,0572	12.389,75
Prosinac 2023	253.536,00	0,0572	14.502,26
Siječanj 2024	370.618,00	0,0572	21.199,35
Veljača 2024	154.022,00	0,0572	8.810,06
Ožujak 2024	138.235,00	0,0578	7.989,98
Travanj 2024	67.866,00	0,0578	3.922,65
Svibanj 2024	0,00	0,0578	0,00
Lipanj 2024	11,00	0,0578	0,64
	1.233.341,00		70.670,77

Tablica 6: Trošak plina (srpanj 2023. – lipanj 2024.) – sustav grijanja

Trošak isporučene toplinske energije iz plina za kompleks fakulteta RGN i PBF, u periodu od jedne godine, iznosio je 70.670,77 EUR/god (Tablica 9). Navedeni trošak isključivo se odnosi na isporučenu energiju iz plina za potrebe grijanja kompleksa. Procijenjeni ukupni troškovi energenata za sustav grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a iznose 124.872,50 EUR/god.



1.2. Analiza energetske opskrbe

Početno referentno stanje prikazuje postojeće stanje kompleksa RGNF-a i PBF-a, koji do sada nisu bili obuhvaćeni mjerama energetske obnove. Sustav grijanja temelji se na visokotemperaturnoj konfiguraciji s plinskim kotlovima, pri čemu temperatura polaznog voda iznosi 90 °C, a povratnog voda 70 °C. U ovom stanju procijenjene potrebe za grijanjem iznose 1.800,00 kW, dok su potrebe za hlađenjem procijenjene na 1.038,13 kW. Snaga potrebna za pripremu potrošne tople vode iznosi 252,80 kW. Ove vrijednosti odražavaju trenutnu energetske potrošnje nez obnovljenih zgrada te ukazuju na potrebu za dodatnom analizom toplinskih gubitaka i dobitaka kako bi se osigurala točnost prikazanih podataka.

Buduće referentno stanje predviđa uspješnu provedbu planiranog projekta energetske obnove Fakulteta kemijskog inženjerstva i biotehnologije te Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, smještenih na adresi Pierottijeva 4 i 6 u Zagrebu. Ovo stanje podrazumijeva da je provedena energetska obnova, uključujući ugradnju niskotemperaturnih sustava grijanja te integraciju sustava distribucije rashladne vode za potrebe hlađenja. U ovom očekivanom budućem scenariju, maksimalna dopuštena godišnja potreba za toplinskom energijom za grijanje procjenjuje se na 238.184,40 kWh/god, dok je maksimalna potreba za hlađenjem procijenjena na 697.450,00 kWh/god, sukladno važećim tehničkim propisima.

Temeljem empirijskih podataka, očekuje se značajno smanjenje energetske potrebe nakon provedene obnove: potreba za grijanjem smanjuje se za 50 %, a za hlađenjem za 35 % u odnosu na početno referentno stanje. Predviđene potrebe za snagom nakon provedene obnove iznose 1.000 kW za grijanje i pripremu potrošne tople vode zajedno, te 675 kW za hlađenje. Ove procjene predstavljaju preliminarne pokazatelje i zahtijevaju dodatne detaljne proračune za konačnu potvrdu.

Zaključno, analiza prikazuje jasnu usporedbu početnog i budućeg referentnog stanja, s naglaskom na značajne promjene u energetske potrebama koje se očekuju provedbom predloženog projekta energetske obnove.

Početno referentno stanje

U dokumentaciji, koja je korištena kao podloga za izradu ove studije, ne nalaze se konkretni i točni podaci o trenutnim potrebnim snagama uređaja zbog čega je napravljena projektantska procjena početnog referentnog stanja.

- Za početno referentno stanje procijenjeno je kako je potrebna toplinska snaga za grijanje na izvoru 1.800,00 kW (srednja vrijednost između trenutno instaliranog kapaciteta izvora topline i instaliranog toplinskog kapaciteta ogrjevnih tijela unutar prostorija kompleksa).
- Za hlađenje se procjenjuje kako je potrebna trenutno instalirana rashladna snaga uređaja na objektu koja iznosi 1.038,13 kW.
- Za potrebe pripreme potrošne tople vode procjenjuje se kako je potrebna trenutno instalirana snaga za zagrijavanje PTV-a koja iznosi 252,80 kW.

POČETNO REFERENTNO STANJE		
Pgr, Init.Ref.	Kw	1.800,00
Phl, Init.Ref.	Kw	1.038,13
PPTV, Init.Ref.	Kw	252,80
Qgr, Init.Ref.	kWh/godina	1.306.647,67
Qhl, Init.Ref.	kWh/godina	249.148,80
QPTV, Init.Ref.	kWh/godina	60.672,00

Tablica 7: Pregled početnog referentnog stanja za RGNF i PBF



Buduće referentno stanje

Buduće referentno stanje predstavlja potrebnu energiju za grijanje, hlađenje i pripremu PTV-a, uz uvjet kako je provedena energetska obnova ovojnice kompleksa uz implementaciju niskotemperaturnih distributivnih ogrjevnih tijela unutar kompleksa i uređaja za distribuciju rashladne energije putem rashladne vode koji će se moći spojiti na centralni sustav grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a. Navedeni zahvat nije predmet Studije i buduće referentno stanje definira se kao da je zahvat proveden.

Na temelju empirijskih podataka, procjenjuje se kako će se energetskom obnovom potrebna toplinska energija smanjiti za 50%, a rashladne energije za 35% u odnosu na vrijednosti definirane početnim referentnim stanjem (vrijednosti temeljem računa), te se uzimaju kao buduće referentno stanje. Potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode ostaje jednaka kao u početnom referentnom stanju jer se ne očekuje promjena u količini korištene tople vode.

Procjenjuje se kako će potrebna toplinska snaga za grijanje i pripremu PTV-a (zajednički sustav) iznositi 1 MW, dok će potrebna rashladna snaga iznositi 675 kW. Navedeni podaci su isključivo procjena, a za točne podatke nužno je provesti odgovarajuće proračune.

BUDUĆE REFERENTNO STANJE		
Pgr+PTV, fut.ref.	Kw	1.000,00
Phl, fut.ref.	Kw	675,00
Qgr, fut.ref.	kWh/godina	653.323,84
Qhl, fut.ref.	kWh/godina	161.946,72
QPTV, fut.ref.	kWh/godina	60.672,00

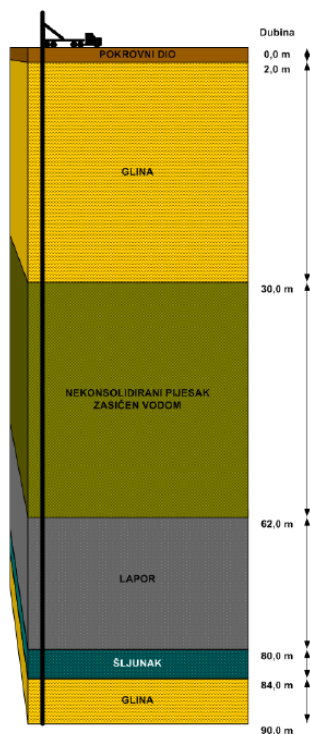
Tablica 8: Pregled budućeg referentnog stanja za RGNF I PBF

Analiza mogućnosti korištenja sustava geotermalne dizalice topline tlo-voda

Područje Republike Hrvatske pretežno je izgrađeno od sedimentnih stijena, koje pokrivaju više od 95 % njezine površine. One se svrstavaju u dvije glavne skupine: (a) klastične stijene – nekoherentne (šljunak, pijesak, mulj), djelomično koherentne (glina) i koherentne (pješčanjak, silit, šejl, breča, lapor, konglomerat); (b) karbonati – vapnenac i dolomit.

U sjevernom dijelu Hrvatske (sjeverno od Karlovca) prevladavaju klastične sedimentne stijene. Pojam „klastične“ odnosi se na stijene ili sedimente sastavljene uglavnom od fragmenata ranije postojećih stijena ili minerala, prenesenih s izvorne lokacije. U Panonskoj nizini najrašireniji klastični sedimenti su pješčanjak i šejl. Većina nekoherentnih klastičnih sedimenata potječe iz holocena i pleistocena, a najčešće se javljaju duž slivova Save i Drave te u istočnoj Slavoniji.

Geološki profil bušotine duboke 90 m na području Maksimira (Bukovac) prikazan je u doktorskoj disertaciji Kurevije. Bušotinu je izvela tvrtka GEOSERVIS A.S. d.o.o. radi istraživanja potencijala plitke geotermalne energije. Vodonosnik, smješten na relativno visokoj nadmorskoj visini u odnosu na nizinski dio Zagreba, odlikuje se velikom propusnošću. Ispod površinskog sloja kompaktna glina proteže se do dubine od 30 m, a zatim slijedi nekoherentni sloj pijeska i šljunka (30,0–62,0 m) visoke propusnosti i zasićenosti vodom. Interval 62,0–80,0 m karakterizira prevladavanje lapora, nakon čega se nalazi 4,0 m debeli šljunčani vodonosnik. Od 80,0 do 90,0 m ponovno se pojavljuje kompaktna glina.



Slika 2: Geološki profil bušotine duboke 90 m na području Maksimira – Bukovac

Toplinska vodljivost ima ključnu ulogu u učinkovitosti sustava dizalica topline s geotermalnim izmjenjivačem topline u tlu. Tla visoke toplinske vodljivosti brzo se prilagođavaju promjenama temperature okoline, dok onima s nižom vodljivošću treba više vremena da postignu toplinsku ravnotežu. Dokumentacija za sustav dizalice topline voda–voda u hotelu Palace (1,1 km istočno od Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta – RGNF) pruža uvid u stratigrafiju tla do dubine od 20 m, čime se dobivaju vrijedni dopunski podaci.

Procjena toplinske vodljivosti za bušotinske izmjenjivače topline provodi se analognim metodama, laboratorijskim ispitivanjima te in-situ mjerenjima. In-situ ispitivanja daju najtočnije podatke zbog lokalne litološke heterogenosti. Toplinska vodljivost predstavlja glavni parametar za dimenzioniranje bušotina te ovisi o volumnom toplinskom kapacitetu i toplinskoj difuzivnosti. Neometana temperatura tla ključna je u procjeni potencijala plitkih geotermalnih izvora. U nedostatku izravnih mjerenja, često se procjenjuje na temelju srednje godišnje temperature zraka. Međutim, zbog toplinske inercije tla i geotermalnog gradijenta, stvarna temperatura podzemlja može varirati s dubinom. Mjerenja provedena na Fakultetu strojarstva i brodogradnje (FSB) zabilježila su temperature od 13,5 °C na dubini od 50 m te 15,2 °C na 100 m.

Geotermalna bušotina duboka 130 m na FSB-u, opremljena koaksijalnim izmjenjivačem topline i dizalicom topline voda–voda, korištena je za eksperimentalna istraživanja. Tijekom sezone grijanja (9. siječnja 2018.) izmjerena je kapacitet isparavanja od 10,8 kW uz protok radnog medija od 0,52 kg/s. Radni medij ulazio je u izmjenjivač topline na temperaturi od 5,49 °C, a izlazio na 10,85 °C. Jednostavni proračuni pokazuju da je toplinski učinak bušotinskog izmjenjivača topline iznosio 83,08 W/m.

Za potrebe izrade diplomskog rada provedeni su inovativni termogeološki pokusi na devet lokacija, uključujući i područje RGNF-a. Ispitni koaksijalni bušotinski izmjenjivači topline postavljeni su isključivo u



edukativne svrhe u sklopu kolegija Primijenjena termogeologija, a ne za potrebe grijanja ili hlađenja fakultetskih prostora.

Termalni odzivni testovi (TRT) standardna su metoda za procjenu toplinskih svojstava tla pri korištenju geotermalne energije niskotemperaturnog režima. Rezultati TRT-a daju podatke o neometanoj temperaturi tla, efektivnoj toplinskoj vodljivosti te toplinskom otporu bušotine, što su ključni parametri za projektiranje učinkovitih geotermalnih sustava.

Definiranje optimalnog sustava geotermalne dizalice topline tlo-voda za početno referentno i buduće referentno stanje

The required Potrebna toplinska snaga izvora za trenutne potrebe grijanja kompleksa [objekti u sastavu fakulteta RGNF i PBF (Pierottijeva 4 i 6)] iznosi 1.800,00 kW, 252,80 kW za sustav pripreme potrošne tople vode, dok potrebna rashladna snaga iznosi 1.038,13 kW. Trenutna procijenjena godišnja potrebna toplinska energija za grijanje iznosi 1.306.647,67 kWh/god (Q_{gr}, poč.ref.), dok za pripremu potrošne tople vode iznosi 249.148,80 kWh/god (Q_PTV, poč.ref.). Trenutna procijenjena godišnja potrebna rashladna energija za hlađenje kompleksa iznosi 249.148,80 kWh/god (Q_{hl}, poč.ref.)

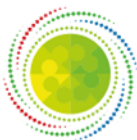
Procijenjena potrebna toplinska snaga za buduće potrebe grijanja i pripreme potrošne tople vode kompleksa (pod uvjetom provedene energetske obnove objekata koja obavežno uključuje ugradnju toplinske izolacije ovojnice) iznosi 1.000,00 kW, dok procijenjena potrebna rashladna energija iznosi 675 kW. Buduća procijenjena godišnja potrebna toplinska energija za grijanje iznosi 653.323,84 kWh/god (Q_{gr}, bud.ref.), dok za pripremu potrošne tople vode iznosi 60.672,00 kWh/god (Q_PTV, bud.ref.). Buduća procijenjena godišnja potrebna rashladna energija za hlađenje kompleksa iznosi 161.946,72 kWh/god (Q_{hl}, bud.ref.)

Bez obzira gleda li se početno referentno stanje ili buduće referentno stanje, dizalica topline tlo-voda koja se može ugraditi za predmetnu lokaciju (uz polja 28 BIT-ova) ima jednaki kapacitet (kapacitet uvjetovan bušotinskim izmjenjivačima topline te u oba slučaja je moguće dobiti isti kapacitet). U nastavku su dane tehničke karakteristike za polje BIT-ova i dizalice topline tlo-voda, odnosno mogućeg sustava za korištenje plitke geotermalne energije na lokaciji RGNF-a.

POLJE BIT-ova		
Broj		28
Dubina	m	100
Protok medija (mješavina glikola i vode)	l/s	6,68
Temperatura polaza	°C	10
Temperatura povrata	°C	5
Toplinski prinos jednog BIT-a	Kw	5
Ukupni prinos polja	Kw	140

Tablica 9: Pregled tehničkih karakteristika polja 28 BIT-ova

DIZALICA TOPLINE TLO-VODA		
Kapacitet u grijanju	kW	186,7
Kapacitet u hlađenju	kW	116,67
Protok medija (voda)	l/s	8,91



Temperatura polaza - grijanje	°C	50
Temperatura povrata - grijanje	°C	45
SCOP		4
Temperatura polaza - Hlađenje	°C	7
Temperatura povrata - Hlađenje	°C	12
SEER		5
El. snaga uređaja	kW	50

Tablica 10: Tehničke karakteristike dizalice topline tlo-voda

Utjecaj odabranih optimalnih sustava geotermalne dizalice topline (tlo-voda) – udio zadovoljavanja potreba za toplinskom i rashladnom energijom za sve objekte

Sustav s poljem od 28 BIT-ova i dizalicom topline tlo-voda prethodno navedenih karakteristika može zadovoljiti tek 10 % trenutno potrebnog kapaciteta u grijanju i 11 % trenutno potrebnog kapaciteta za hlađenje, dok nema utjecaja na isporučenu toplinsku energiju za pripremu potrošne tople vode (lokalna priprema). Procijenjeni udio proizvedene energije ovog sustava u ukupno potrebnoj toplinskoj i rashladnoj energiji kompleksa iznosio bio oko 14,44%. Detaljniji podaci dani su sljedećom tablicom.

POČETNO REFERENTNO STANJE		
Pgr, init. Ref.	Kw	1.800,00
Phl, init. Ref.	Kw	1.038,13
PPTV, init. Ref.	Kw	252,8
Qgr, init. ref.	kWh/godina	1.306.647,67
Qhl, init.ref.	kWh/godina	249.148,80
QPVT, init Ref.	kWh/godina	60.672,00
DIZALICA TOPLINE TLO-VODA		
GRIJANJE		
Kapacitet	Kw	186,70
Udio u kapacitetu		10%
Udio u proizvedenoj energiji		15%
Q	kWh/godina	195.997,15
HLAĐENJE		
Kapacitet	Kw	116,67
Udio u kapacitetu		11%
Udio u proizvedenoj energiji		15%
Q	kWh/godina	37.372,32
UKUPNO POTREBNO	kWh/godina	1.616.468,47
UKUPNO PROIZVEDENO	kWh/godina	233.369,47
UKUPNIO UUDIO		14,44%



Tablica 11: Iskoristiva toplinska i rashladna energija novog sustava s dizalicom topline tlo-voda za početno referentno stanje (RGNF i PBF)

Sustav s poljem od 28 BIT-ova i dizalicom topline tlo-voda može zadovoljiti 19 % budućeg procijenjenog potrebnog kapaciteta u grijanju i 17 % budućeg procijenjenog potrebnog kapaciteta za hlađenje. Procijenjeni udio proizvedene energije ovog sustava u ukupno potrebnoj toplinskoj i rashladnoj energiji kompleksa iznosio bio oko 27,45 %. Detaljniji podaci dani su sljedećom tablicom.

BUDUĆE REFERENTNO STANJE		
Pgr+PTV, fut.ref.	Kw	1.000,00
Phl, fut.ref.	Kw	675,00
Qgr, fut.ref.	kWh/godina	653.323,84
Qhl, fut.ref.	kWh/godina	161.946,72
QPTV, fut.ref.	kWh/godina	60.672,00
DIZALICA TOPLINE TLO-VODA		
GRIJANJE		
Kapacitet	Kw	186,70
Udio u kapacitetu		19%
Udio u proizvedenoj energiji		28%
Q	kWh/godina	199.918,84
HLAĐENJE		
Kapacitet	Kw	116,67
Udio u kapacitetu		17%
Udio u proizvedenoj energiji		25%
Q	kWh/godina	40.486,68
UKUPNO POTREBNO	kWh/godina	875.942,56
UKUPNO PROIZVEDENO	kWh/godina	240.405,52
UKUPNI UDIO		27,45%

Tablica 12: Iskoristiva toplinska i rashladna energija novog sustava s dizalicom topline tlo-voda za buduće referentno stanje (RGNF i PBF)

Analiza mogućnosti korištenja sustava geotermalne dizalice voda-voda

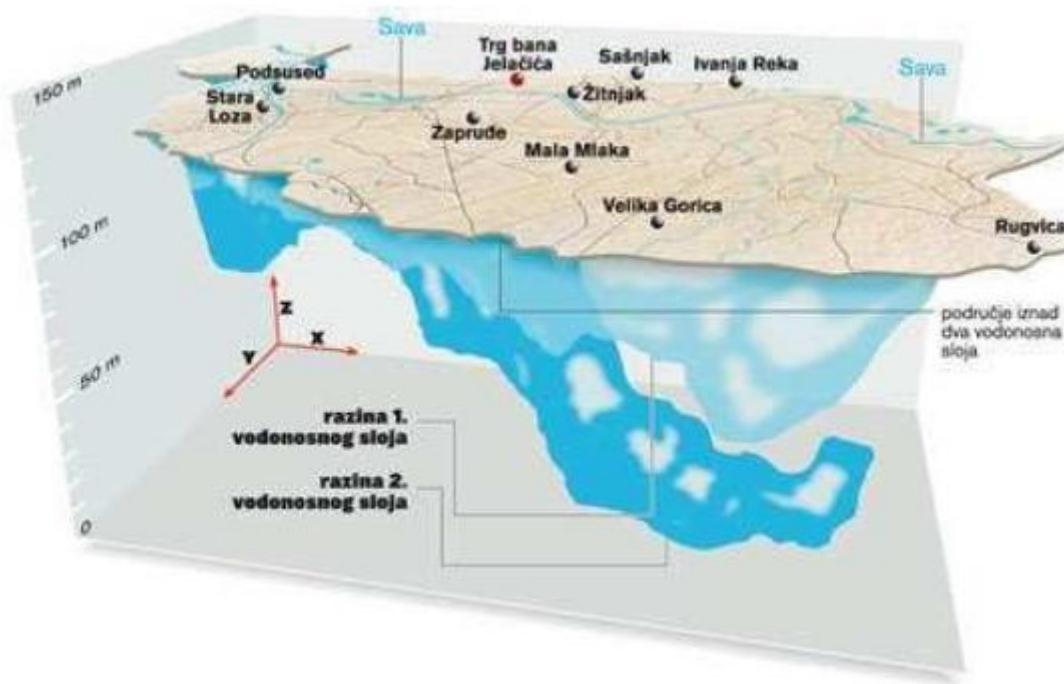
Jedna od glavnih hidrogeoloških značajki Panonskog bazena jest prisutnost plitke podzemne vode, koja se često nalazi na dubinama od svega nekoliko desetaka metara ili manje, ovisno o konkretnom lokalitetu. Republika Hrvatska obuhvaća dva različita hidrogeološka područja, pri čemu se grad Zagreb nalazi unutar Panonskog bazena. Ovo područje pretežno se sastoji od grubozrnatih klastičnih sedimenata i kvartarnih naslaga koje karakterizira primarna poroznost. U dolinama rijeka Drave i Save, te formacije čine vodonosnike visokog kapaciteta, pri čemu su najproduktivnije zone smještene u gornjim tokovima rijeka. Nizvodno, produktivnost vodonosnika opada zbog sve većeg udjela sitnozrnatih čestica mulja i gline. Područja između rijeka uglavnom su građena od sitnozrnatih naslaga, što rezultira relativno nižom produktivnošću vodonosnika.



Što se tiče kvalitete podzemnih voda, područje unutar sliva rijeke Save, od slovenske granice do Siska, pokazuje povišene koncentracije antropogenih onečišćujućih tvari. To se pripisuje i velikoj ranjivosti vodonosnika na onečišćenje, kao i prisutnosti brojnih izvora zagađenja.

Zagrebački vodonosnik, koji je definiran strateškim dokumentima upravljanja vodama Republike Hrvatske, predstavlja ključno podzemno vodno tijelo koje opskrbljuje grad Zagreb i okolna područja. Smješten u sjeverozapadnom središnjem dijelu Hrvatske, omeđen je Medvednicom na sjeveru i Vukomeričkim goricama na jugu. Vodonosnik je izgrađen od pjeskovito-šljunčanih naslaga koje se protežu od Podsuseda do Rugvice. Zajedno sa Samoborsko-zaprešićkim vodonosnikom čini stratešku vodnu rezervu Republike Hrvatske. Hidrološkim režimom Zagrebačke županije dominira rijeka Sava i njezini pritoci, pri čemu poplavna ravnica ima značajnu ulogu kao područje akumulacije vode. Sava, kao jedina velika rijeka u regiji, ima ključnu ulogu u održavanju vodonosnika.

Zagrebački vodonosnik pokazuje varijacije u debljini, od otprilike 5 metara na krajnjem zapadu do oko 100 metara na istočnom dijelu. Regionalni smjer tečenja podzemnih voda ide od zapada/sjeverozapada prema istoku/jugoistoku, uglavnom prateći tok rijeke Save. Lokalni obrasci tečenja podzemne vode ovise o hidrološkim uvjetima i razini vodostaja rijeke. Zbog morfoloških obilježja doline rijeke Save, ona ne djeluje kao glavni drenažni sustav za ove vodonosnike.



Slika 3: 3D geološki model zagrebačkog vodonosnika

Prema javno dostupnim podacima Hrvatskih voda, litološki sastav područja pretežno čine šljunak i pijesak, koji formiraju značajan vodonosnik prosječne dubine od 10 do 20 metara, s lokalnom depresijom kod Strmca gdje dubina doseže i do 50 metara.

Najbliže crpilište u odnosu na lokaciju RGNF-a je Sašnjak-Žitnjak, gdje su zabilježene temperature podzemne vode u rasponu od 11,5 do 15,9 °C. Podzemna voda na tom području je blago alkalna te pokazuje umjerenu do visoku zasićenost kisikom.



Za potrebe implementacije sustava dizalica topline s podzemnom vodom u hotelu Palace (Trg J.J. Strossmayera 10, Zagreb), smještenom 1,1 km istočno od RGNF-a, provedena su hidrogeološka istraživanja, nakon čega su izgrađeni crpni i upojni bunar dubine 20 metara. Bušenje je izvedeno rotacijskom metodom s ugrađenim zaštitnim koljenom i spiralno-zračnim odstranjivanjem izbušenog materijala.

Kako bi se ublažili mogući negativni učinci spuštanja razine podzemne vode pri dugotrajnom iskorištavanju, preporučeno je optimalni kapacitet crpljenja od 25 l/s. Naknadna kemijska analiza podzemne vode potvrdila je usklađenost s važećim Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u Republici Hrvatskoj.

Rezultati ovog istraživanja naglašavaju znatan potencijal za iskorištavanje plitke geotermalne energije u Zagrebu putem sustava dizalica topline na podzemnu vodu, s obzirom na povoljne karakteristike vodonosnika i stabilne temperature podzemne vode.

Definiranje referentnog potencijala za iskorištavanje geotermalne energije na lokalitetu RGNF-a

Najbliža lokacija u odnosu na RGNF gdje se nalazi sustav s korištenjem podzemne vode kao izvor/ponor topline za rad dizalice topline voda-voda, a za koju su dostupni podaci, jest hotel Palace na lokaciji Trg Josipa Jurja Strossmayera 10 Zagreb (udaljenost 1,1 km zračne udaljenosti od RGNF-a). Kako je i prethodnim poglavljima navedeno, optimalna količina crpljenja vode na predmetnoj lokaciji prema dokumentaciji iznosi 25 l/s. Dokumentacija o vodonosniku upućuje kako je najbliže vodocrpilište lokaciji RGNF-a crpilište Sašnjak-Žitnjak gdje je izmjerena temperatura podzemnih voda iznosila između 11,5 i 15,9 °C. Ukoliko se uzme prosjek, temperatura podzemne vode iznosi 13,7 °C, a za potrebe izrade Studije pretpostavit će se kako je ta vrijednost konstantna tijekom cijele godine. Upravo će ovi podaci predstavljati referentni potencijal za iskorištavanje podzemne vode za rad dizalice topline voda-voda na lokaciji RGNF-a, a na temelju istih će se zasnovati analiza izvedbe predmetnog sustava za sustav grijanja i hlađenja kompleksa RGNF i PBF. Sljedeća tablica prikazuje referentni potencijal za korištenje podzemne vode kao izvora/ponora topline na lokaciji RGNF-a.

REFERENTNI POTENCIJAL DT VODA-VODA	
Količina crpljene voda (q)	25 l/s
Temperatura podzemne vode (T)	13,7 °C

Tablica 13: Referentni potencijal korištenja podzemne vode kao izvora/ponora topline na lokaciji RGNF

Na lokaciji RGNF-a postavljeni su testni koaksijalni bušotinski izmjenjivači topline koji isključivo služe za potrebe praktičnog dijela vježbi na fakultetu i ne koriste se za potrebe grijanja/hlađenja fakulteta. Prema dostupnoj dokumentaciji, specifični toplinski prinos predmetnog koaksijalnog bušotinskog izmjenjivača topline iznosi 54 W/m. Za potrebe izrade ove Studije pretpostavit će se kako je moguće ostvariti specifični toplinski prinos bušotinskog izmjenjivača topline od 50 W/m te duljinu jednog izmjenjivača topline u iznosu od 100 m. Pretpostavljena temperatura tla na dubini 50 m je 13,5 °C, a na dubini 100 m 15,2 °C sukladno mjerenjima na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Na navedenoj pretpostavci temeljit će se daljnja analiza implementacije sustava grijanja i hlađenja s dizalicom topline koja koristi tlo za izvor/ponor topline za kompleks RGNF i PBF.



Definiranje optimalnog sustava geotermalne dizalice topline voda-voda za početno referentno i buduće referentno stanje

Dostupna dokumentacija o obližnjim zahvatima u podzemne vode ukazuje na mogućnost crpljenja podzemne vode u količini od 25 l/s iz jednog eksploatacijskog (crnog) bunara, pri temperaturi vode od 13,7 °C. Daljnja analiza temelji se na navedenim podacima, odnosno na pretpostavci da je moguće crpiti 25 l/s podzemne vode iz jednog eksploatacijskog bunara za potrebe rada dizalice topline voda-voda te vraćati vodu u jedan upojni bunar.

Eksploatacijski bunar smješten je na katastarskoj čestici broj 2856, dok je upojni bunar smješten na katastarskoj čestici broj 2859. Neovisno o tome promatra li se početno referentno stanje ili buduće referentno stanje, dizalica topline voda-voda koja se može instalirati na predmetnoj lokaciji ima isti kapacitet (kapacitet je uvjetovan crpljenjem podzemne vode od 25 l/s te je u oba slučaja moguće ostvariti jednak učin).

U nastavku su prikazani tehnički podaci o bunarima i ostvarivi kapacitet dizalice topline voda-voda u skladu s raspoloživim protokom podzemne vode.

ZDENCI		
Broj eksploatacijskih		1
Broj upojnih		1
Dubina	m	20
Protok medija (podzemna voda)	l/s	25
Temperatura polaza	°C	13,7
Temperatura povrata	°C	9

Tablica 14: Tehnički podaci – eksploatacijski i upojnih zdenac

DIZALICA TOPLINE VODA-VODA		
Kapacitet u grijanju	kW	615,13
Kapacitet u hlađenju	kW	421,80
Protok medija (W)	l/s	29
Temperatura polaza- grijanje	°C	50
Temperatura povrata - grijanje	°C	45
SCOP		5
Temperatura polaza - hlađenje	°C	7
Temperatura povrata - hlađenje	°C	12
SEER		6
El. snaga uređaja	kW	160

Tablica 15: Tehnički podaci – dizalica topline voda-voda

Utjecaj odabranih optimalnih sustava geotermalne dizalice topline (voda-voda) – udio zadovoljavanja potreba za toplinskom i rashladnom energijom za sve objekte

Geotermalni sustav s dizalicom topline voda-voda prethodno navedenih karakteristika može zadovoljiti tek 34 % trenutno potrebnog kapaciteta u grijanju i 41 % trenutno potrebnog kapaciteta za hlađenje, dok nema utjecaja na isporučenu toplinsku energiju za pripremu potrošne tople vode (lokalna priprema).



Procijenjeni udio proizvedene energije ovog sustava u ukupno potrebnoj toplinskoj i rashladnoj energiji kompleksa iznosio bio oko 48,12 %. Detaljniji podaci dani su sljedećom tablicom.

POČETNO REFERENTNO		
Pgr, init.Ref.	Kw	1.800,00
Phl, init.Ref.	Kw	1.038,13
PPTV, init.Ref.	Kw	252,8
Qgr, init.ref.	kWh/godina	1.306.647,67
Qhl, init.ref.	kWh/godina	249.148,80
QPTV, Ref.	kWh/godina	60.672,00
DIZALICA TOPLINE VODA-VODA		
GRIJANJE		
Kapacitet	Kw	615,13
Udio u kapacitetu		34%
Udio u proizvedenoj energiji		50%
Q	kWh/godina	653.323,84
HLAĐENJE		
Kapacitet	Kw	421,80
Udio u kapacitetu		41%
Udio u proizvedenoj energiji		50%
Q	kWh/godina	124.574,40
UKUPNO POTREBNO	kWh/godina	1.616.468,47
UKUPNO PROIZVEDENO	kWh/godina	777.898,24
UKUPNI UDIO		48,12%

Tablica 16: Iskoristiva toplinska i rashladna energija novog sustava s dizalicom topline voda-voda za početno referentno stanje (RGNF i PBF)

Geotermalni sustav s dizalicom topline voda-voda može zadovoljiti 62 % budućeg procijenjenog potrebnog kapaciteta u grijanju i 62 % budućeg procijenjenog potrebnog kapaciteta za hlađenje. Procijenjeni udio proizvedene energije ovog sustava u ukupno potrebnoj toplinskoj i rashladnoj energiji kompleksa iznosio bio oko 70 %. Detaljniji podaci dani su sljedećom tablicom.

BUDUĆE REFERENTNO STANJE		
Pgr+PTV, fut.ref.	Kw	1.000,00
Phl, fut.ref.	Kw	675,00
Qgr, fut.ref.	kWh/godina	653.323,84
Qhl, fut.ref.	kWh/godina	161.946,72
QPTV, fut.ref.	kWh/godina	60.672,00
DIZALICA TOPLINE VODA-VODA		
GRIJANJE		
Kapacitet	Kw	615,13



Udio u kapacitetu		62%
Udio u proizvedenoj energiji		70%
Q	kWh/godina	499.797,09
HLAĐENJE		
Kapacitet	Kw	421,80
Udio u kapacitetu		62%
Udio u proizvedenoj energiji		70%
Q	kWh/godina	113.362,70
UKUPNO POTREBNO	kWh/godina	875.942,56
UKUPNO PROIZVEDENO	kWh/godina	613.159,79
UKUPNI UDIO		70,00%

Tablica 17: Iskoristiva toplinska i rashladna energija novog sustava s dizalicom topline voda-voda za buduće referentno stanje (RGNF i PBF)

Ukoliko se vodoistražnim radovima uspostavi kako postoji veći potencijal u korištenju podzemnih voda kao obnovljivog izvora energije, za postojeće potrebe objekta potrebno je predvidjeti ukupno 75 l/s protok podzemne vode (1,8 MW toplinske snage), dok je za buduće potrebe objekta potreban protok podzemne vode od 41 l/s. (1 MW toplinske snage) U svrhu optimalnog rada dizalica topline, preporučuje se ugradnja više uređaja koji će raditi u paralelnom načinu rada, a ne jednog uređaja koji će imati ukupni potreban kapacitet. Naime, potrebna toplinska snaga varira tijekom i sezone grijanja i sezone hlađenja, a više uređaja omogućuje rad pojedine dizalice topline po potrebi i optimalan rad uređaja. Iz aspekta održavanja i izvanrednih servisa, svakako je povoljnija opcija kada se može samo dio uređaja staviti izvan funkcije tijekom perioda redovnog servisiranja ili uklanjanja kvara.

Za postojeće potrebe, preporučaju se tri dizalice topline voda-voda te će sve morati biti u pogonu tijekom zimskih mjeseci, dok u ljetnim mjesecima, rad dviju dizalica topline bi trebao biti u mogućnosti zadovoljiti potrebe za rashladnom energijom kompleksa. Za buduće potrebe preporuča se ugradnja dviju dizalica topline voda-voda, svaka kapaciteta 500 kW u grijanju.

Svakako je potrebno istaknuti da dizalica toplina voda-voda ima znatno nižu polaznu temperaturu ogrjevnog medija (50°C) što je znatno niže od trenutne polazne temperature visokotemperaturnog sustava grijanja. Kako bi se omogućila distribucija toplinske/rashladne energije iz centraliziranog sustava pripreme ogrjevnog/rashladnog medija dizalicama topline voda-voda unutar objekata, nužna je intervencija na distributivnom razvodu i potrošačima u vidu ugradnje ventilokonvektora (vodeni grijači/hladnjaci za prijenos toplinske i rashladne energije prostora prisilnom konvekcijom) i zamjene cijevnog razvoda.

Prijedlog ugradnje dodatne dizalice topline zrak-voda uz dizalicu topline voda-voda

Kako sustav s dizalicom topline voda-voda predstavlja najveći potencijal za korištenje stabilnog obnovljivog izvora/ponora topline, predlaže se, u slučaju nemogućnosti crpljenja dostatne količine podzemne vode za pokrivanje potrebne toplinske i rashladne energije za buduće potrebe kompleksa, ugradnja dodatne dizalice topline zrak-voda. Navedena preporuka vezana je samo za buduće stanje jer trenutne potrebe objekta i visokotemperaturni sustav grijanja ne zadovoljava korištenje niskotemperaturnog izvora topline. Dizalica topline zrak-voda koristi zrak kao obnovljivi izvor energije, a najčešće se također koristi kompresijska dizalica topline koja, za povišenje energetske razine radne tvari, koristi mehanički rad kompresora. Osnovni dijelovi takve dizalice topline su isparivač, kompresor, kondenzator i ekspanzijski ventil. Kompresor tlači radnu tvar u plinovitom stanju. Na izlazu iz kompresora radna tvar je pod visokim tlakom i temperaturom i kao takva ulazi u izmjenjivač topline (kondenzator), te tamo kondenzira u kapljevinu koja je i dalje pod visokim tlakom.



Takav visoki tlak se snižava na početnu vrijednost tlaka prije ulaza u kompresor pomoću ekspanzijskog ventila ili kapilara. Radna tvar tada ulazi u drugi izmjenjivač topline (isparivač) gdje apsorbira toplinu primjerice okoliša i ponovno ulazi u kompresor. Okolišni zrak najveći je i najpristupačiji toplinski spremnik. Njegovo iskorištavanje ne zahtjeva velike troškove za priključenje već samo dostupan i siguran prostor u koji se može ugraditi vanjska jedinica. Vanjska jedinica može predstavljati izvor buke zbog ugrađenih ventilatora i kompresora što je nužno uzeti u obzir prilikom odabira mjesta ugradnje.

Najveći nedostatak zraka, što uvelike utječe na efikasnost sustava, je to što zrak ima veliku fluktuaciju u temperaturi tijekom godine. Dodatno, u zimskim mjesecima je moguća pojava inja i leda na cijevima isparivača uslijed vlage u zraku što dodatno narušava učinkovitost uređaja.

Prosječna sezonska učinkovitost u grijanju (SCOP) za dizalicu topline zrak-voda iznosi 3,2 kWh/kWh, dok prosječna sezonska učinkovitost u hlađenju (SEER) iznosi 4 kWh/kWh. Uz dizalicu topline voda-voda kapaciteta 615,13 kW u grijanju i 421,80 kW u hlađenju (protok podzemne vode 25 l/s), preporuča se ugradnja dizalice topline zrak-voda minimalnog kapaciteta u grijanju 400 kW (pri vanjskoj temperaturi zraka od -10 °C) i minimalnog kapaciteta u hlađenju 260 kW (35 °C vanjska temperatura zraka). Ukoliko se u proračun, uz dizalicu topline voda-voda, uzme i dizalica topline zrak-voda, moguće je ukupno potrebnu količinu toplinske i rashladne energije proizvesti iz obnovljivih izvora energije.

BUDUĆE REFERENTNO STANJE		
Pgr+PTV, fut.ref.	Kw	1.000,00
Phl, fut.ref.	Kw	675,00
Qgr, fut.ref.	kWh/godina	653.323,84
Qhl, fut.ref.	kWh/godina	161.946,72
QPTV, fut.ref.	kWh/godina	60.672,00
DIZALICA TOPLINE VODA-VODA		
GRIJANJE		
Kapacitet	Kw	615,13
Udio u kapacitetu		62%
Udio u proizvedenoj energiji		70%
Q	kWh/godina	499.797,09
HLAĐENJE		
Kapacitet	Kw	421,80
Udio u kapacitetu		62%
Udio u proizvedenoj energiji		70%
Q	kWh/godina	113.362,70
DIZALICA TOPLINE ZRAK-VODA		
GRIJANJE		
Kapacitet	Kw	400,00
Udio u kapacitetu		40%
Udio u proizvedenoj energiji		30%
Q	kWh/godina	214.198,75
HLAĐENJE		
Kapacitet	Kw	260,00
Udio u kapacitetu		39%



Udio u proizvedenoj energiji		30%
Q	kWh/godina	48.584,02
UKUPNO POTREBNO	kWh/godina	875.942,56
UKUPNO PROIZVEDENO	kWh/godina	875.942,56
UKUPNI UDIO		100,00%

Tablica 18: Iskoristiva toplinska i rashladna energija novog sustava s dizalicom topline voda-voda i dizalicom topline zrak-voda za buduće referentno stanje (RGNF i PBF)

2. Analiza troškova i koristi

Analiza troškova i koristi (ATK) ima ključnu ulogu u razvoju projekata jer osnažuje ekonomsku opravdanost za njihovo odobrenje. Ona koristi kako predlagateljima projekata tako i evaluatorima, pružajući dragocjene uvide donositeljima odluka u ključnim fazama razvojnog ciklusa projekta. Tijekom početnih faza programiranja i razvoja projekta, ATK omogućuje identificiranje i sužavanje strateških i tehničkih opcija. Također pomaže u određivanju prioriteta i rangiranju projektnih rješenja kako bi se postigli željeni ciljevi unutar ograničenih (javnih) financijskih sredstava, te doprinosi transparentnosti i odgovornosti u odabiru projekata kroz standardizirani pristup koji omogućuje provjeru pretpostavki. Ova pojednostavljena analiza troškova i koristi uključivat će financijsku i ekonomsku analizu s ciljem vrednovanja okolišnih i društveno-ekonomskih koristi različitih investicijskih rješenja.

2.1. Financijska analiza

Financijska analiza sastavni je dio socioekonomske analize i cjelokupne metodologije analize troškova i koristi (ATK). Ona procjenjuje financijsku izvedivost, isplativost i rizike projekta prije donošenja investicijskih odluka. Analizom troškova, prihoda i financijskih prinosa utvrđuje se isplati li se projekt provoditi s monetarnog stajališta. Iako su obje sastavnice ATK-a, financijska i ekonomska analiza razlikuju se po opsegu, ali zajedno čine temelj za vrednovanje troškova i koristi (npr. financijska analiza ne uzima u obzir ne-novčane stavke poput eksternalija), kao i za određivanje primjenjivih diskontnih stopa.

Metodologija

Ključne sastavnice financijske analize obuhvaćaju:

- Početno ulaganje (kapitalni izdaci – CAPEX), koje uključuje troškove pripremnih aktivnosti, opreme, infrastrukture, tehnologije i druge potrebne imovine (npr. dozvole, naknade).
- Operativni troškovi (OPEX), koji obuhvaćaju ponavljajuće izdatke poput troškova energije, komunalnih usluga, održavanja, plaća, osiguranja i slično.
- Prihodi, koji mogu proizaći iz financijskih ušteda (npr. smanjena potrošnja energije te troškovi održavanja i rada) ili iz prihoda ostvarenih proizvodnjom energije ili pružanjem drugih usluga na tržištu.
- Analiza novčanih tokova, kojom se procjenjuju priljevi (prihodi) i odljevi (troškovi) kako bi se osigurala likvidnost.

Prilikom provođenja financijske analize potrebno je definirati niz ključnih pretpostavki kako bi projekcije bile točne i relevantne. Te pretpostavke čine temelj za predviđanje buduće financijske izvedbe i procjenu investicijskih odluka. Najvažnije pretpostavke uključuju:

- Referentno razdoblje (vremenski horizont) – Određuje vremenski okvir koji će financijska analiza obuhvatiti (npr. 5, 10, 20 godina). Ono bi trebalo biti usklađeno s ekonomskim vijekom trajanja projekta, investicijskim horizontom ili očekivanim rokom povrata ulaganja. Stoga je u ovoj studiji odabrano referentno razdoblje od 20 godina za vrednovanje svih investicijskih rješenja.



- **Financijska diskontna stopa (FDR)** – Predstavlja traženu stopu povrata, često temeljenu na ponderiranom prosječnom trošku kapitala (WACC). Viša diskontna stopa upućuje na veći rizik i može varirati ovisno o konkretnom sektoru, tržišnim uvjetima, premijama rizika i trošku financiranja. Vrijednosti WACC-a trebale bi biti one koje su službeno određene na nacionalnoj razini od strane nadležnih regulatornih tijela za pojedine (pod)sektore, gdje su dostupne. U ovoj će se studiji, sukladno praksi iz razdoblja 2014.–2020., koristiti financijska diskontna stopa od 4 %, iako se, prema potrebi, može primijeniti i drugačija stopa.
- **Ostatna vrijednost** – Predstavlja procijenjenu vrijednost imovine, projekta ili ulaganja na kraju njegova uporabnog vijeka ili referentnog razdoblja. Odražava preostalu vrijednost nakon amortizacije ili po završetku provedbe projekta. Za svaku je pojedinu opremu određeno zasebno referentno razdoblje, u skladu s njezinim očekivanim ekonomskim vijekom trajanja.
- **Porez na dodanu vrijednost (PDV)** – Postupanje s PDV-om u financijskoj analizi ovisi o kontekstu i svrsi analize. Opravdanost PDV-a ovisi o njegovoj povratnosti. U ovom je slučaju riječ o ustanovi koja ima pravo na povrat PDV-a, što znači da su sve investicije i troškovi energije u ovoj studiji prikazani bez uključenog PDV-a.

Ključni pokazatelji uspješnosti

Ključni pokazatelji uspješnosti, odnosno pokazatelji profitabilnosti financijske analize u okviru ove studije su sljedeći:

- **Financijska neto sadašnja vrijednost (FNPV)** predstavlja financijski pokazatelj koji izračunava sadašnju vrijednost budućih novčanih tokova diskontiranih po zahtijevanoj stopi povrata, umanjenu za početno ulaganje. Ovaj pokazatelj pomaže u procjeni isplativosti projekta ili ulaganja.
- **Financijska interna stopa povrata (FRR)** jest stopa diskonta pri kojoj je financijska neto sadašnja vrijednost (FNPV) projekta jednaka nuli. Ona prikazuje očekivanu godišnju stopu povrata ulaganja ili projekta. Pojednostavljeno rečeno, FIRR je ona stopa po kojoj sadašnja vrijednost novčanih priljeva izjednačava sadašnju vrijednost novčanih odljeva. Ovaj pokazatelj pomaže investitorima i poduzećima u donošenju odluka o financijskoj opravdanosti projekta.
- **Jednostavni period povrata (SPP)** označava vremensko razdoblje potrebno da se ulaganje u potpunosti vrati kroz novčane priljeve, bez uzimanja u obzir vremenske vrijednosti novca. Riječ je o brzom pokazatelju koji prikazuje koliko je vremena potrebno da projekt dosegne točku pokrića.
- **Diskontirani period povrata (DPP)** označava vrijeme potrebno za povrat ulaganja uzimajući u obzir vremensku vrijednost novca. Za razliku od jednostavnog perioda povrata, DPP diskontira buduće novčane tokove na njihovu sadašnju vrijednost prije njihova zbrajanja.
- **Analiza financijske održivosti** na razini projekta ima za cilj utvrditi može li projekt tijekom referentnog razdoblja uravnotežiti pozitivne i negativne novčane tokove te tako osigurati svoju dugoročnu financijsku stabilnost.

Specifikacija investicijskih ulaganja u sustav geotermalne dizalice topline (tlo-voda) te utjecaj predmetnog sustava – financijske uštede

Investicijska ulaganja za sustav grijanja/hlađenja s dizalicom topline tlo-voda, sastoji se od troškova za istražne radove (istražna bušotina i ispitna mjerenja), izrade projektno-tehničke dokumentacije, provedbe nabave opreme i ugradnje te operativnih troškova (servis dizalice topline). Tablicom u nastavku dan je detaljniji opis ulaganja te trošak pojedine stavke. Operativni trošak prikazan je na godišnjoj razini.



INVESTICIJSKI TROŠKOVI - SUSTAV DIZALICE TOPLINE TLO-VODA	
ISTRAŽNI RADOVI	
Izrada istražne bušotine dubine 100 m (bušenje, ugradnja izmjenjivača i popunjavanje bušotine)	8.000,00 €
Ispitna mjerenja i izrada elaborata o efektivnim toplinskim svojstvima tla temeljen na toplinskom odzivu tla	4.000,00 €
Σ	12.000,00 €
PROJEKTNO-TEHNIČKA DOKUMENTACIJA	
Izrada idejnog projekta	5.000,00 €
Izrada glavnog projekta	30.000,00 €
Izrada izvedbenog projekta (opcionalno)	22.000,00 €
Σ	57.000,00 €
NABAVA I UGRADNJA OPREME	
Polje s 28 bušotinskih izmjenjivača topline, kolektorske cijevi)	250.000,00 €
Dizalica topline tlo-voda (186,70 kW grijanje i 116,67 kW hlađenje)	80.000,00 €
Oprema u strojarnici (akumulacijski spremnik 1000 l, cirkulacijske pumpe, ekspanzijska posuda, cijevni razvod, zaporna i mjerno-regulacijska armatura, etilen glikol, sitno potrošni materijal)	35.000,00 €
Ugradnja opreme u strojarnici	40.000,00 €
Prilagodba prostora kotlovnice za smještaj dizalice topline (ventilacija)	4.000,00 €
Σ	409.000,00 €
UKUPNO	478.000,00 €
OPERATIVNI TROŠKOVI	
Servis jednom godišnje (trošak na godišnjoj razini)	2.000,00 €

Tablica 19: Investicijski troškovi za sustav s dizalicom topline tlo-voda

Investicijsko ulaganje u sustav s dizalicom topline tlo-voda, kapaciteta u grijanju 186,7 kW i 116,67 kW u hlađenju, iznosi 478.000,00 EUR/god (jednak iznos i za početno i za buduće stanje). Dodatni trošak na godišnjoj razini su troškovi servisa koji iznose 2.000,00 EUR/god. Predmetno investicijsko ulaganje utjecat će na energetske i financijske uštede. Korištenjem dobivenih podataka o isporučenoj energiji dizalicom topline tlo-voda koja kao energente koristi tlo (obnovljivi izvor energije) i električnu energiju, izračunata je potrošnja energenata novim sustavom, a uspoređujući sa postojećim sustavom, izračunata je energetska ušteda na godišnjoj razini za početno i buduće referentno stanje.

POSTOJEĆE STANJE		
POSTOJEĆE REFERENTNO STANJE		
Qgr, init.ref.	kWh/godina	1.306.647,67
Qhl, init.ref.	kWh/godina	249.148,80
QPTV, init Ref.	kWh/godina	60.672,00



POTROŠNJA ENERGENATA		
Toplinska energija iz plina	kWh/godinar	1.233.341,00
El. energija za sustav grijanja	kWh/godina	73.306,67
El. energija za sustav hlađenja	kWh/godina	83.049,60
El. energija -sustav PTV-a	kWh/godina	60.672,00
		1.450.369,27
NOVI SUSTAV		
DT TLO VODA		
Qgr	kWh/godina	195.997,15
SCOP		4
Eel.en.	kWh/godina	48.999,29
Qhl	kWh/godina	37.372,32
SEER		5
Eel.en.	kWh/godina	7.474,46
POSTOJEĆI SUSTAV		
Prirodni plin (grijanje)	kWh/godina	1.037.343,85
Eel.en. (grijanje)	kWh/godina	73.306,67
Qhl	kWh/godina	211.776,48
Eel.en. (hlađenje)	kWh/godina	70.592,16
POTROŠNJA ENERGENATA		
Toplinska energija iz plina	kWh/godina	1.037.343,85
El. energija za sustav grijanja	kWh/godina	122.305,96
El. energija za sustav hlađenja	kWh/godina	78.066,62
El. energija – sustav PTV-a	kWh/godina	60.672,00
		1.298.388,43
ENERGETSKA UŠTEDA [kWh/godina]		151.980,84

Table 20: Energetska ušteda sustavom dizalice topline tlo-voda – Početno referentno stanje

U prethodnoj tablici vidljiv je izračun energetske uštede za početno referentno stanje. Za energiju koja nije isporučila dizalica topline tlo-voda stavljeno je kako tu količinu energije isporučuje postojeći sustav grijanja, hlađenja i PTV-a.

Investicijska ulaganja u geotermalni sustav za početno referentno stanje rezultirat će smanjenjem potrošnje energenata za 151.980,84 kWh/god. Smanjenje isporučene energije iz energenata rezultirat će smanjenjem godišnjih troškova za 238,12 EUR/god (Tablica 21).

POSTOJEĆE STANJE						
	EE	Cijena	Trošak	PP	Trošak	UKUPNO
	kWh/godina	€/kWh	€	kWh/godina	€	€
SUSTAV GRIJANJA	73.306,67	0,249745	18.307,97	1.233.341,00	70.670,77	88.978,74
SUSTAV HLAĐENJA	83.049,60	0,249745	20.741,22	0,00	0,00	20.741,22
SUSTAV PTV-a	60.672,00	0,249745	15.152,53	0,00	0,00	15.152,53
			54.201,73		0,00	124.872,50
NOVI SUSTAV						



SUSTAV GRIJANJA	122.305,96	0,249745	30.545,30	1.037.343,85	59.439,80	89.985,10
SUSTAV HLAĐENJA	78.066,62	0,249745	19.496,75	0,00	0,00	19.496,75
NOVI SUSTAV PTV-a	60.672,00	0,249745	15.152,53	0,00	0,00	15.152,53
			65.194,58		59.439,80	124.634,38
FINANCIJSKA UŠTEDA (EUR/godina)						238,12

Tablica 21: Financijska ušteda sustavom dizalice topline tlo-voda – Početno referentno stanje

Financijske uštede su zanemarive jer kapacitet dizalice topline tlo-voda, koji je moguće ugraditi na lokaciji, malim udjelom sudjeluje u ukupnoj isporučenoj energiji, a koja je za potrebe postojećeg stanja objekata izrazito velika u odnosu na današnje standarde u gradnji. Energetske uštede za buduće referentno stanje izračunate su na temelju procijenjenih energetske potreba objekata nakon provedbe energetske ovojnice objekta. Prvotno je izračunata potrošnja energenata za buduće potrebe, a da se koristi postojeći sustav grijanja, hlađenja i PTV-a (potrebno u svrhu korištenja usporedivih podataka). Nakon toga je izračunata

potrošnja energenata za buduće stanje u kojem se djelomično koristi sustav dizalice topline tlo-voda i djelomično postojeći sustav. Podaci su prikazani Tablica 22 gdje je vidljivo kako bi navedeno ulaganje rezultiralo energetsom uštedom u iznosu od 155.337,35 kWh/god.

POSTOJEĆE		
BUDUĆE REFERENTNO STANJE		
Qgr, fut.ref.	kWh/godina	653.323,84
Qhl, fut.ref.	kWh/godina	161.946,72
QPTV, fut.ref.	kWh/godina	60.672,00
POTROŠNJA ENERGENATA		
Toplinska energija iz plina	kWh/godina	580.017,17
El. energija za sustav grijanja	kWh/godina	73.306,67
El. energija za sustav hlađenja	kWh/godina	53.982,24
El. energija za sustav PTV-a	kWh/godina	60.672,00
		767.978,08
NOVO		
DT TLO VODA		
Qgr	kWh/godina	199.918,84
SCOP		4
El.en.	kWh/godina	49.979,71
Qhl	kWh/godina	40.486,68
SEER		5
El.en.	kWh/godina	8.097,34
POSTOJEĆI SUSTAV		
Prirodni plin (grijanje)	kWh/godina	380.098,33
Eel.en. (grijanje)	kWh/godina	73.306,67
Qhl	kWh/godina	121.460,04
Eel.en. (hlađenje)	kWh/godina	40.486,68
POTROŠNJA ENERGENATA		



Toplinska energija iz plina	kWh/godina	380.098,33
El. energija za sustav grijanja	kWh/godina	123.286,38
El. energija za sustav hlađenja	kWh/godina	48.584,02
El. energija za sustav PTV-a	kWh/godina	60.672,00
		612.640,73
ENERGETSKA UŠTEDA [kWh/godina]		155.337,35

Tablica 22: Energetska ušteda sustavom dizalice topline tlo-voda – Buduće referentno stanje

U prethodnoj tablici vidljiv je izračun energetske uštede za početno referentno stanje. Za energiju koja nije isporučila dizalica topline tlo-voda stavljeno je kako tu količinu energije isporučuje postojeći sustav grijanja, hlađenja i PTV-a. Investicijska ulaganja u geotermalni sustav za početno referentno stanje rezultirat će smanjenjem potrošnje energenata za 151.980,84 kWh/god. Smanjenje isporučene energije iz energenata rezultirat će smanjenjem godišnjih troškova za 238,12 EUR/god (Tablica 23).

CURRENT STATE						
	EE	Cijena	Trošak	PP	Trošak	UKUPNO
	kWh/godina	€/kWh	€	kWh/godina	€	€
SUSTAV GRIJANJA	73.306,67	0,249745	18.307,97	580.017,17	33.234,98	51.542,96
SUSTAV HLAĐENJA	53.982,24	0,249745	13.481,79	0,00	0,00	13.481,79
SUSTAV PTV-a	60.672,00	0,249745	15.152,53	0,00	0,00	15.152,53
			46.942,30		33.234,98	80.177,28
NOVO STANJE						
SUSTAV GRIJANJA	123.286,38	0,249745	30.790,16	380.098,33	21.779,63	52.569,79
SUSTAV HLAĐENJA	48.584,02	0,249745	12.133,62	0,00	0,00	12.133,62
SUSTAV PTV-a	60.672,00	0,249745	15.152,53	0,00	0,00	15.152,53
			58.076,30		21.779,63	79.855,93
FINANCIJSKA UŠTEDA(EUR/godina)						321,35

Tablica 23: Financijska ušteda sustavom dizalice topline tlo-voda – Buduće referentno stanje

Povrat investicije u slučaju ugradnje sustava s dizalicom topline tlo-voda nije potrebno računati jer je vidljivo kako su investicijska ulaganja znatno veća od financijskih ušteda na energentima na godišnjoj razini, a rezultat je neisplativost investicije.

Specifikacija investicijskih ulaganja u sustav geotermalne dizalice topline (voda-voda) te utjecaj predmetnog sustava – financijske uštede

Investicijska ulaganja za sustav grijanja/hlađenja s dizalicom topline voda-voda, sastoji se od troškova za vodoistražne radove (istražna bušotina), izrade projektno-tehničke dokumentacije, provedbe nabave opreme i ugradnje te operativnih troškova (servis dizalice topline i trošak zahvata na podzemnoj vodi za početno i buduće referentno stanje). Tablicom u nastavku dan je detaljniji opis ulaganja te trošak pojedine stavke. Operativni troškovi prikazani su na godišnjoj razini.



INVESTICIJSKI TROŠKOVI - SUSTAV DIZALICE TOPLINE VODA-VODA	
VODOISTRAŽNI RADOVI	
Izrada programa vodo istražnih radova od strane ovlaštene osobe, izvedba istražno-piezometarske bušotine dubine 20 m s pokusnim crpljenjem i Završno izvješće o izvedenim istražnim bušotinama sa svim tehničkim podacima o izvedbi i ispitivanju bušotine	13.000,00 €
Σ	13.000,00 €
PROJEKTNO-TEHNIČKA DOKUMENTACIJA	
Izrada idejnog projekta	5.000,00 €
Izrada glavnog projekta	25.000,00 €
Izrada izvedbenog projekta (opcionalno)	15.000,00 €
Σ	45.000,00 €
NABAVA I UGRADNJA OPREME	
Izvedba eksploatacijskog i upojnog zdenca dubine 20 m s pokusnim crpljenjem, ispitivanjem i provjerom kvalitete uzoraka te Izrada izvješća o izvedenom eksploatacijskom i upojnom bušotinom, te nabava i ugradnja podzemnog cjevovoda do objekta.	50.000,00 €
Dizalica topline voda-voda (615,13 kW grijanje i 421,80 kW hlađenje)	130.000,00 €
Oprema u strojarnici (akumulacijski spremnik 3000 l, cirkulacijske pumpe, među izmjenjivač topline, ekspanzijska posuda, cijevni razvod, zaporna i mjerno-regulacijska armatura, etilen glikol, sitno potrošni materijal)	50.000,00 €
Ugradnja opreme u strojarnici	40.000,00 €
Prilagodba prostora kotlovnice za smještaj dizalice topline (ventilacija)	4.000,00 €
Σ	274.000,00 €
UKUPNO	332.000,00 €
OPERATIVNI TROŠKOVI	
Servis jednom godišnje (trošak na godišnjoj razini)	2.000,00 €
ZAHVAT PODZEMNE VODE - POČETNO REF. STANJE	
Zahvat na podzemnoj vodi (0,013 EUR/m3) - 122.169,00 m3/god podzemne vode (trošak na godišnjoj razini)	1.588,20 €
ZAHVAT PODZEMNE VODE - BUDUĆE REF. STANJE	
Zahvat na podzemnoj vodi (0,013 EUR/m3) - 97.314,00 m3/god podzemne vode (trošak na godišnjoj razini)	1.265,08 €

Tablica 24: Investicijski troškovi za sustav s dizalicom topline voda-voda

Investicijsko ulaganje u sustav s dizalicom topline voda-voda, kapaciteta u grijanju 615,13 kW i 421,80 kW u hlađenju, iznosi 332.000,00 EUR/god (jednak iznos i za početno i za buduće stanje). Dodatni trošak na godišnjoj razini su troškovi servisa koji iznose 2.000,00 EUR/god. Dodatni trošak na godišnjoj razini su zahvat na podzemnoj vodi koji predstavlja trošak od 0,013 eura po kubnom metru crpljene i vraćene podzemne vode. Za početno referentno stanje, količina crpljene podzemne vode iznosi 122.169,00 m3/god i predstavlja trošak od 1.588,20 eura na godišnjoj razini. Za buduće referentno stanje, količina crpljene podzemne vode iznosi 97.314,00 m3/god i predstavlja trošak od 1.265,08 eura na godišnjoj razini. Predmetno investicijsko ulaganje utjecat će na energetske i financijske uštede. Korištenjem dobivenih podataka o isporučenoj energiji dizalicom topline voda-voda koja kao energente koristi podzemnu vodu (obnovljivi izvor energije) i električnu



energiju, izračunata je potrošnja energenata novim sustavom, a uspoređujući sa postojećim sustavom, izračunata je energetska ušteda na godišnjoj razini za početno i buduće referentno stanje.

POSTOJEĆE STANJE		
POSTOJEĆE REFERENTNO STANJE		
Q _{gr} , init.ref.	kWh/godina	1.306.647,67
Q _{hl} , init.ref.	kWh/godina	249.148,80
QPTV, init.Ref.	kWh/godina	60.672,00
POTROŠNJA ENERGENATA		
Toplinska energija iz plina	kWh/year	1.233.341,00
El. energija za sustav grijanja	kWh/year	73.306,67
El. energija za sustav hlađenja	kWh/godina	83.049,60
El. energija za sustav PTV-a	kWh/godina	60.672,00
		1.450.369,27
NOVI SUSTAV		
DT VODA-VODA		
Q _{gr}	kWh/godina	653.323,84
SCOP		5
Eel.en.	kWh/godina	130.664,77
Q _{hl}	kWh/godina	124.574,40
SEER		6
Eel.en.	kWh/godina	20.762,40
POSTOJEĆI SUSTAV		
Prirodni plin (grijanje)	kWh/godina	580.017,17
Eel.en. (grijanje)	kWh/godina	73.306,67
Q _{hl}	kWh/godina	124.574,40
Eel.en. (grijanje)	kWh/godina	41.524,80
POTROŠNJA ENERGENATA		
Toplinska energija iz plina	kWh/godina	580.017,17
El. energija za sustav grijanja	kWh/godina	203.971,44
El. energija za sustav hlađenja	kWh/godina	62.287,20
El. energija za sustav PTV-a	kWh/godina	60.672,00
		906.947,80
ENERGETSKA UŠTEDA [kWh/godina]		543.421,47
ENERGETSKA UŠTEDA [%]		37,47%

Tablica 25: Energetska ušteda sustavom dizalice topline voda-voda – Početno referentno stanje

U prethodnoj tablici vidljiv je izračun energetske uštede za početno referentno stanje. Za energiju koja nije isporučila dizalica topline voda-voda stavljeno je kako tu količinu energije isporučuje postojeći sustav grijanja, hlađenja i PTV-a. Investicijska ulaganja u geotermalni sustav voda-voda za početno referentno stanje rezultirat će smanjenjem potrošnje energenata za 543.421,47 kWh/god (smanjenje za 37,47%). Smanjenje isporučene energije iz energenata rezultirat će smanjenjem godišnjih troškova za 9.988,22 EUR/god (Tablica 26).



POSTOJEĆE STANJE						
	EE	Cijena	Trošak	PP	Trošak	UKUPNO
	kWh/godina	€/kWh	€	kWh/godina	€	€
SUSTAV GRIJANJA	73.306,67	0,249745	18.307,97	1.233.341,00	70.670,77	88.978,74
SUSTAV HLAĐENJA	83.049,60	0,249745	20.741,22	0,00	0,00	20.741,22
SUSTAV PTV-a	60.672,00	0,249745	15.152,53	0,00	0,00	15.152,53
			54.201,73		70.670,77	124.872,50
NOVO STANJE						
SUSTAV GRIJANJA	203.971,44	0,249745	50.940,85	580.017,17	33.234,98	84.175,83
SUSTAV HLAĐENJA	62.287,20	0,249745	15.555,92	0,00	0,00	15.555,92
SUSTAV PTV-a	60.672,00	0,249745	15.152,53	0,00	0,00	15.152,53
			81.649,29		33.234,98	114.884,28
FINANCIJSKA UŠTEDA (EUR/)						9.988,22

Tablica 26: Financijska ušteda sustavom dizalice topline voda-voda – Početno referentno stanje

Financijske uštede su znatno veće u odnosu na sustav s dizalicom topline tlo-voda s kapacitetom koji je moguće ugraditi na lokaciji, ali postotak ušteda u odnosu na postojeće stanje i dalje nije znatno velik (oko 8%), a razlog tome je nedovoljni kapacitet dizalice topline voda-voda i znatno niža cijena prirodnog plina od cijene električne energiju koju dizalica topline koristi za rad kompresora. Energetske uštede za buduće referentno stanje izračunate su na temelju procijenjenih energetske potreba objekata nakon provedbe energetske ovojnice objekta. Prvotno je izračunata potrošnja energenata za buduće potrebe, a da se koristi postojeći sustav grijanja, hlađenja i PTV-a (potrebno u svrhu korištenja usporedivih podataka). Nakon toga je izračunata potrošnja energenata za buduće stanje u kojem se djelomično koristi sustav dizalice topline voda-voda i djelomično postojeći sustav. Podaci su prikazani Tablica 31 gdje je vidljivo kako bi navedeno ulaganje rezultiralo energetsom uštedom u iznosu od 418.731,45 kWh/god (smanjenje za 54,52%).

POSTOJEĆE		
BUDUĆE REFERENTNO STANJE		
Qgr, fut.ref.	kWh/godina	653.323,84
Qhl, fut.ref.	kWh/godina	161.946,72
QPTV, fut.ref.	kWh/godina	60.672,00
POTROŠNJA ENERGENATA		
Toplinska energija iz plina	kWh/godina	580.017,17
El. energija za sustav grijanja	kWh/godina	73.306,67
El. energija za sustav hlađenja	kWh/godina	53.982,24
El. energija za sustav PTV-a	kWh/godina	60.672,00
		767.978,08
NOVO		
DT VODA-VODA		
Qgr	kWh/godina	499.797,09
SCOP		5
Eel.en.	kWh/godina	99.959,42



Qhl	kWh/godina	113.362,70
SEER		6
Eel.en.	kWh/godina	18.893,78
POSTOJEĆII SUSTAV		
Prirodni plin (grijanje)	kWh/godina	80.220,08
Eel.en. (grijanje)	kWh/godina	73.306,67
Qhl	kWh/godina	48.584,02
Eel.en. (hlađenje)	kWh/godina	16.194,67
POTROŠNJA ENERGENATA		
Toplinska energija iz plina	kWh/godina	80.220,08
El. energija za sustav grijanja	kWh/godina	173.266,09
El. energija za sustav hlađenja	kWh/godina	35.088,46
El. energija za sustav PTV-a	kWh/godina	60.672,00
		349.246,63
ENERGETSKA UŠTEDA [kWh/godina]		418.731,45
ENERGETSKA UŠTEDA [%]		54,52%

Tablica 27: Energetska ušteda sustavom dizalice topline voda-voda – Buduće referentno stanje

Gledajući s financijskog aspekta (Tablica 27), uštede su veće u odnosu na sustav s dizalicom topline tlo-voda te iznose 8.392,64 EUR/god (smanjenje za 10%). Razlog niskom postotku ušteda u odnosu na postojeće stanje je znatno niža postojeća cijena plina u odnosu na cijenu električne energije po kilowatsatu. Uspoređujući s postojećim troškovima energenata za objekt, financijske uštede su 52.972,21 EUR/god, ali ta ušteda u najvećem udjelu je rezultat obnove ovojnice objekata kojom se znatno smanjila potrebna toplinska i rashladna energija, a samim time i potrošnja energenata.

POSTOJEĆE STANJE						
	EE	Cijena	Trošak	PP	Trošak	UKUPNO
	kWh/godina	€/kWh	€	kWh/godina	€	€
SUSTAV GRIJANJA	73.306,67	0,249745	18.307,97	580.017,17	33.234,98	51.542,96
SUSTAV HLAĐENJA	53.982,24	0,249745	13.481,79	0,00	0,00	13.481,79
SUSTAV PTV-a	60.672,00	0,249745	15.152,53	0,00	0,00	15.152,53
			46.942,30		33.234,98	80.177,28
NOVO STANJE						
SUSTAV GRIJANJA	173.266,09	0,249745	43.272,34	80.220,08	4.596,61	47.868,95
SUSTAV HLAĐENJA	35.088,46	0,249745	8.763,17	0,00	0,00	8.763,17
SUSTAV PTV-a	60.672,00	0,249745	15.152,53	0,00	0,00	15.152,53
			67.188,03		4.596,61	71.784,64
FINANCIJSKA UŠTEDA (EUR/godina)						8.392,64

Tablica 28: Financijska ušteda sustavom dizalice topline voda-voda – Buduće referentno stanje

Povrat investicije se kreće u rasponu 50-60 godina u oba slučaja i ne predstavlja financijski isplativo ulaganje.



Specifikacija investicijskih ulaganja u sustav geotermalne dizalice topline (voda-voda) i dizalice topline (zrak-voda) za buduće referentno stanje kompleksa te utjecaj predmetnog sustava – financijske uštede

Kako je ranije opisano kroz studiju predlaže se ugradnja dodatne dizalice topline zrak/voda uz dizalicu topline voda-voda (veći potencijal iskorištavanja u odnosu na dizalicu topline tlo-voda), a navedenim sustavom zadovoljio bi se sav potreban kapacitet za grijanje i hlađenje kompleksa nakon obnove (buduće referentno stanje). Trošak investicije prikazan je sljedećom tablicom i iznosi 525.000,00 eura, uz godišnje operativne troškove od 5.265,08 eura.

INVESTICIJSKI TROŠKOVI - SUSTAV DIZALICE TOPLINE VODA-VODA I ZRAK-VODA	
VODOISTRAŽNI RADOVI	
Izrada programa vodo istražnih radova od strane ovlaštene osobe, izvedba istražno-piezometrijske bušotine dubine 20 m s pokusnim crpljenjem i Završno izvješće o izvedenim istražnim bušotinama sa svim tehničkim podacima o izvedbi i ispitivanju bušotine	13.000,00 €
Σ	13.000,00 €
PROJEKTNO-TEHNIČKA DOKUMENTACIJA	
Izrada idejnog projekta	7.000,00 €
Izrada glavnog projekta	35.000,00 €
Izrada izvedbenog projekta (opcionalno)	20.000,00 €
Σ	62.000,00 €
NABAVA I UGRADNJA OPREME	
Izvedba eksploatacijskog i upojnog zdenca dubine 20 m s pokusnim crpljenjem, ispitivanjem i provjerom kvalitete uzoraka te Izrada izvješća o izvedenom eksploatacijskom i upojnom bušotinom	50.000,00 €
Podzemni cijevni razvod do objekta	6.000,00 €
Dizalica topline voda-voda (615,13 kW grijanje i 421,80 kW hlađenje)	130.000,00 €
Dizalica topline zrak-voda (400 kW grijanje i 260 kW hlađenje)	100.000,00 €
Oprema u strojarnici (akumulacijski spremnik 4000 l, cirkulacijske pumpe, međuzmjenjivač topline, ekspanzijska posuda, cijevni razvod, zaporna i mjerno-regulacijska armatura, etilen glikol, sitno potrošni materijal)	70.000,00 €
Ugradnja opreme u strojarnici	90.000,00 €
Prilagodba prostora kotlovnice za smještaj dizalice topline (ventilacija)	4.000,00 €
Σ	450.000,00 €
UKUPNO	525.000,00 €
OPERATIVNI TROŠKOVI	
Servis jednom godišnje (trošak na godišnjoj razini)	4.000,00 €
ZAHVAT PODZEMNE VODE - BUDUĆE REF. STANJE	
Zahvat na podzemnoj vodi (0,013 EUR/m3) - 97.314,00 m3/god podzemne vode	1.265,08 €

Tablica 29: Investicijski troškovi za sustav s dizalicom topline voda-voda i dizalicom topline zrak-voda



Navedenim ulaganjima omogućilo bi se ukidanje postojećeg termotehničkog sustava u potpunosti (ukidanje plina kao energenta, centralizacija sustava grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode), a pritom bi energetska ušteda bila znatna – smanjenje potrošnje energenata za 570.041,76 kWh/god (smanjenje za 74,23 % u odnosu na energiju koja se trošila postojećim sustavom u kompleksu s energetski obnovljenom ovojnicom).

POSTOJEĆE		
BUDUĆE REFERENTNO STANJE		
Qgr, fut.ref.	kWh/godina	653.323,84
Qhl, fut.ref.	kWh/godina	161.946,72
QPTV, fut.ref.	kWh/godina	60.672,00
POTROŠNJA ENERGENATA		
Toplinska energija iz plina	kWh/godina	580.017,17
El. energija za sustav grijanja	kWh/godina	73.306,67
El. energija za sustav hlađenja	kWh/godina	53.982,24
El. energija za sustav PTV-a	kWh/godina	60.672,00
		767.978,08
NOVO		
DT VODA-VODA		
Qgr	kWh/godina	499.797,09
SCOP		5
Eel.en.	kWh/godina	99.959,42
Qhl	kWh/godina	113.362,70
SEER		6
Eel.en.	kWh/godina	18.893,78
DT ZRAK-VODA		
Qgr	kWh/godina	214.198,75
SCOP		3,2
Eel.en.	kWh/godina	66.937,11
Qhl	kWh/godina	48.584,02
SEER		4
Eel.en.	kWh/godina	12.146,00
POTROŠNJA ENERGENATA		
Toplinska energija iz plina	kWh/godina	0,00
El. energija za sustav grijanja i PTV-a	kWh/godina	166.896,53
El. energija za sustav hlađenja	kWh/godina	31.039,79
		197.936,32
ENERGETSKA UŠTEDA [kWh/godina]		570.041,76
ENERGETSKA UŠTEDA [%]		74,23%

Tablica 30: Energetska ušteda sustavom dizalice topline voda-voda i dizalice topline zrak-voda – Buduće referentno stanje



Osim energetske, ulaganje u ovakav sustav rezultiralo bi i znatnim financijskim uštedama zbog smanjenje potrošnje energenata, a na godišnjoj razini ostvariva ušteda je 30.743,68 EUR/god.

POSTOJEĆE STANJE						
	EE	Cijena	Trošak	PP	Cijena	UKUPNO
	kWh/godina	€/kWh	€	kWh/godina	€	€
SUSTAV GRIJANJA	73.306,67	0,249745	18.307,97	580.017,17	33.234,98	51.542,96
SUSTAV HLAĐENJA	53.982,24	0,249745	13.481,79	0,00	0,00	13.481,79
SUSTAV PTV-a	60.672,00	0,249745	15.152,53	0,00	0,00	15.152,53
			46.942,30		33.234,98	80.177,28
NOVO STANJE						
SUSTAV GRIJANJA I PTV-a	166.896,53	0,249745	41.681,57	0,00	0,00	41.681,57
SUSTAV HLAĐENJA	31.039,79	0,249745	7.752,03	0,00	0,00	7.752,03
			49.433,61		0,00	49.433,61
FINANCIJSKA UŠTEDA (EUR/godina)						30.743,68

Tablica 31: Financijska ušteda sustavom dizalice topline voda-voda i dizalice topline zrak-voda – Buduće referentno stanje

Implementacijom sustava s dizalicom topline voda-voda i zrak-voda za buduće referentno stanje, ostvarila bi se i energetska i financijska isplativost ulaganja jer bi povrat investicije iznosi oko 21 godinu, što je znatno manje od sustava koji koristi dizalicu topline tlo-voda i voda-voda

POVRAT INVESTICIJE		
UŠTEDA NA ENERAGENTIMA	€/godina	30.743,68
OPERATIVNI TROŠKOVIS	€/godina	5.265,08
TROŠAK INVESTICIJE	€	525.000,00
POVRAT INVESTICIJE (godina)		21

Tablica 32: Povrat investicije sustava s dizalicom topline voda-voda i zrak-voda – Buduće referentno stanje

2.2. Ekonomska ocjena

Ekonomska ocjena projekta procjenjuje njegov sveukupni učinak na društvo analizom ekonomske učinkovitosti, društvenih koristi i troškova koji nadilaze izravne financijske povrate. Za razliku od financijske analize, koja je usmjerena na isplativost iz perspektive ulagača, ekonomska ocjena uzima u obzir šire društvene učinke, uključujući okolišne, socijalne i dugoročne ekonomske aspekte. Temeljni pojam ekonomske analize jest primjena obračunskih (sjenskih) cijena koje odražavaju društveni oportunitetni trošak dobara i usluga, umjesto tržišnih cijena koje mogu biti iskrivljene uslijed fiskalnih opterećenja, subvencija ili vanjskih učinaka koji nisu izraženi novčano.

Methodology

Kako bi se ispravno procijenio stvarni utjecaj projekata obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti na društvo, potrebno je prijeći s financijske na ekonomsku analizu, i to na sljedeći način:

- Provesti fiskalne korekcije uklanjanjem PDV-a, drugih poreza i subvencija iz svih cijena korištenih u analizi (čak i ako porezi nisu povratni)



- Pretvoriti tržišne cijene u sjene cijene korištenjem konverzijskih faktora za netržišnu robu ili graničnih cijena za uvoznu robu (cijene koje ne uključuju domaće poreze i subvencije, ali uključuju međunarodne troškove prijevoza i carine)
- Procijeniti utjecaje koji nisu dio tržišta i izvršiti korekcije za eksternalije.

Buduće troškove i koristi potrebno je diskontirati nakon što se prilagode tržišne cijene i procijene netržišni utjecaji. U evaluaciji investicijskih projekata, društvena diskontna stopa (SDR) odražava način na koji društvo vrednuje buduće troškove i koristi u odnosu na sadašnje. Međutim, s obzirom na to da je za ovu evaluaciju odabrana pojednostavljena analiza troškova i koristi (CBA), provest će se samo fiskalne korekcije te procjena netržišnih utjecaja i eksternalija.

Dok se financijska analiza prvenstveno usredotočuje na perspektivu nositelja projekta, ekonomska analiza troškova i koristi (CBA) procjenjuje širi društveno-ekonomski utjecaj energetskih ulaganja na društvo u cjelini. U okviru ekonomske procjene, uz primjenu pojednostavljene CBA metodologije, koristit će se sljedeći ključni parametri i pretpostavke:

- Društvena diskontna stopa (Social Discount Rate – SDR)
 - Države članice Europske unije mogu primjenjivati nacionalno definirane stope društvene diskontne stope. Međutim, u slučaju da nacionalne vrijednosti nisu propisane, za potrebe procjene projekata financiranih sredstvima EU u programskom razdoblju 2021.–2027. koristi se referentna stopa od 3 %.
- Izravne koristi projekta
 - Produljenje ekonomskog vijeka zgrade, njezinih elemenata ili opreme
 - Ova korist predstavlja odgodu kapitalnog izdatka, odnosno financijsku prednost ostvarenu odgađanjem većih ulaganja, poput rekonstrukcije, obnove ili potpune zamjene zgrade, infrastrukture ili opreme. Produljenjem vijeka trajanja osnovne imovine smanjuje se potreba za budućim većim ulaganjima, što rezultira uštedom izraženom u neto sadašnjoj vrijednosti. Godišnja vrijednost ove koristi procjenjuje se kao konstantna anuitetska vrijednost tijekom operativne faze referentnog razdoblja, čija neto sadašnja vrijednost odgovara investicijskom trošku projekta umanjenom za rezidualnu vrijednost opreme koja se zamjenjuje projektom.
 - Smanjenje troškova održavanja zgrade ili toplinskog sustava
 - Očekuje se smanjenje troškova redovitog (preventivnog) i izvanrednog (korektivnog) održavanja zgrade i/ili sustava grijanja kao izravna posljedica provedbe projekta.
- Okolišne i energetske eksternalije
 - Izbjegnuti troškovi proizvodnje energije (toplinske, električne, rashladne)
 - Ukoliko su dostupni, u analizi se koriste podaci o lokalnoj proizvodnji energije. Troškovi goriva izražavaju se po graničnoj cijeni, uvećani za transportne troškove, ali umanjeni za poreze i subvencije.
 - Izbjegnute emisije CO₂ ili sekvestracija ugljika
 - Sjena cijena za monetizaciju procijenjenog smanjenja emisije ugljičnog dioksida temelji se na vrijednostima objavljenima u dokumentu Economic Appraisal Vademecum 2021–2027 – General Principles and Sector Applications koji su izradili Europska investicijska banka (EIB) i Glavna uprava za klimatsku politiku Europske komisije (DG CLIMA), s predviđenim godišnjim vrijednostima do 2050. godine.
 - Sekvestrirane ili izbjegnute emisije štetnih tvari u zraku

Za monetizaciju izbjegnutih emisija ključnih onečišćivača zraka koristit će se vrijednosti štete po toni emisije, definirane u okviru europskih istraživačkih projekata NEEDS i ExternE:

- Čestice PM2.5 (gusta urbana područja): 24.261 EUR/t
- Čestice PM10 (gusta urbana područja): 1.383 EUR/t



- Sumporovi oksidi (SOx) (gusta urbana područja): 7.079 EUR/t
- Dušikovi oksidi (NOx) (gusta urbana područja): 8.223 EUR/t
- Povećana sigurnost opskrbe energijom
- U slučajevima kada se projektom smanjuje potrošnja primarne energije iz uvoznih fosilnih goriva, koristi se standardizirana vrijednost Europske investicijske banke u iznosu od 10 EUR/MWh kao pokazatelj koristi od povećane energetske neovisnosti i sigurnosti opskrbe.

Ključni pokazatelji uspješnosti

Ključni pokazatelji uspješnosti ekonomske analize koji će se koristiti u ovoj studiji su:

- Ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV) – pokazatelj koji se koristi za procjenu ekonomske isplativosti projekta, politike ili ulaganja, uzimajući u obzir i financijske i društveno-ekonomske troškove i koristi tijekom vremena. Riječ je o proširenoj varijanti metode neto sadašnje vrijednosti (NPV), koja obuhvaća šire ekonomske i društvene učinke, a ne samo izravne financijske rezultate. Ako je $ENPV > 0$, projekt stvara neto ekonomsku vrijednost i ekonomski je opravdan. U slučajevima kada je $ENPV < 0$, društvo bi bilo u boljem položaju bez provedbe projekta.
- Ekonomska stopa povrata (ERR) – pokazatelj koji se koristi u ekonomskoj analizi projekata kako bi se procijenila njihova ukupna korist za društvo. To je diskontna stopa pri kojoj ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV) postaje jednaka nuli. ERR se razlikuje od financijske stope povrata (FRR) jer uključuje i netržišne koristi i troškove, poput okolišnih i društvenih čimbenika.
- Omjer koristi i troškova (B/C omjer) – ekonomski pokazatelj koji se koristi u analizi troškova i koristi (CBA) za ocjenu isplativosti projekta ili ulaganja. Omjer uspoređuje ukupne ekonomske koristi projekta s njegovim ukupnim ekonomskim troškovima. Ako je omjer $B/C > 1$, projekt je ekonomski opravdan (koristi premašuju troškove), dok omjer $B/C < 1$ ukazuje na to da projekt nije isplativ (troškovi premašuju koristi) te da bi za društvo bilo bolje da se projekt ne provodi.

2.3. Rezultati evaluacije

Rješenje 1 – sustav dizalice topline tlo-voda

Ovo ulaganje predviđa ugradnju geotermalne dizalice topline s izvorom iz podzemne vode za potrebe grijanja i hlađenja u dva različita scenarija: početnom referentnom stanju i budućem referentnom stanju (nakon energetske obnove zgrada). Kapitalni i operativni troškovi, uključujući i sadašnje te buduće troškove energije, detaljno su prikazani u Poglavlju 2.1 Ključni financijski pokazatelji za ovu tehničku opciju i konkretni scenarij (početno referentno stanje bez energetske obnove zgrade) prikazani su u nastavku. Rezultati financijske analize za početno referentno stanje (Tablica 33) ukazuju na to da ulaganje nije isplativo. Glavni razlog je niska razina financijskih ušteda, koje nisu dostatne za pokriće početnog ulaganja. Posljedično, svi financijski pokazatelji su nepovoljni te se ova tehnička varijanta ne preporučuje s aspekta financijske isplativosti i održivosti.

Ključni pokazatelji uspješnosti	Rezultati
Financijska neto sadašnja vrijednost (FNPV)	EUR -455,750
Financijska stopa povrata (FRR)	Negativno
Jednostavno razdoblje povrata ulaganja	Povrat ulaganja nije ostvaren
Diskontirano razdoblje povrata ulaganja	Povrat ulaganja nije ostvaren

Tablica 33: Ključni financijski pokazatelji – sustav dizalice topline tlo-voda – početno referentno stanje



Ekonomska analiza (Tablica 34), za razliku od financijske analize, pokazuje povoljne rezultate zahvaljujući značajnim pozitivnim okolišnim učincima i produljenju ekonomskog vijeka trajanja sustava grijanja. Ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV) je blago pozitivna, a ekonomska stopa povrata (ERR) veća od društvene diskontne stope (SDR). Iz društvenog aspekta, ulaganje ima pozitivne učinke.

Ključni pokazatelji uspješnosti	Rezultati
Ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV)	EUR 30,162
Ekonomska stopa povrata (ERR)	3.72%
Omjer koristi i troškova (B/C)	1.07

Tablica 34: Ključni ekonomski pokazatelji – sustav dizalice topline tlo-voda – početno referentno stanje

Čak i uz veće ostvarene financijske uštede, rezultati financijske analize za buduće referentno stanje (Tablica 35) pokazuju da ulaganje i dalje nije isplativo. Razlog tome su niske financijske uštede koje nisu dovoljne za pokriće početnog ulaganja. Kao posljedica, svi financijski pokazatelji su nepovoljni, te se ova tehnička opcija ne preporučuje s aspekta financijske isplativosti i održivosti.

Ključni pokazatelji uspješnosti	Rezultati
Ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV)	EUR -454,426
Ekonomska stopa povrata (ERR)	Negativno
Jednostavno razdoblje povrata ulaganja	Povrat ulaganja nije ostvaren
Diskontirano razdoblje povrata ulaganja	Povrat ulaganja nije ostvaren

Tablica 35: Ključni financijski pokazatelji – sustav dizalice topline tlo-voda – buduće referentno stanje

Ponovno, ekonomska analiza (Tablica 36) pokazuje povoljne rezultate zahvaljujući značajnim pozitivnim utjecajima na okoliš i produljenju ekonomskog vijeka trajanja sustava grijanja. Ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV) je pozitivna, iako nešto viša u odnosu na početno referentno stanje, a ekonomska stopa povrata (ERR) je iznad društvene diskontne stope (SDR). Iz društvenog aspekta, ulaganje ima pozitivne učinke.

Ključni pokazatelji uspješnosti	Rezultati
Ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV)	EUR 31,329
Ekonomska stopa povrata (ERR)	3.75%
Omjer koristi i troškova (B/C)	1.07

Tablica 36: Ključni ekonomski pokazatelji – sustav dizalice topline tlo-voda – buduće referentno stanje

Rješenje 2 – Dizalica topline voda-voda

Rezultati financijske analize za početno referentno stanje (Tablica 37) pokazuju da ulaganje nije isplativo. Razlog su niske financijske uštede koje nisu dovoljne za pokriće početnog ulaganja. Kao posljedica toga, svi financijski pokazatelji su nepovoljni te se ova tehnička opcija ne preporučuje s aspekta financijske isplativosti i održivosti.

Ključni pokazatelji uspješnosti	Rezultati
Financijska neto sadašnja vrijednost (FNPV)	EUR -161,445
Financijska stopa povrata (FRR)	Negativno (-3.1%)
Jednostavno razdoblje povrata ulaganja	Povrat ulaganja nije ostvaren
Diskontirano razdoblje povrata ulaganja	Povrat ulaganja nije ostvaren

Tablica 37: Ključni financijski pokazatelji – sustav dizalice topline voda-voda – početno referentno stanje



Ekonomska analiza (Tablica 38) pokazuje povoljne rezultate zahvaljujući značajnim pozitivnim utjecajima na okoliš te produljenju ekonomskog vijeka trajanja sustava grijanja. Ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV) je pozitivna i visoka, dok je ekonomska stopa povrata (ERR) znatno veća od društvene diskontne stope (SDR). Iz društvenog aspekta, ulaganje ima pozitivne učinke.

Ključni pokazatelji uspješnosti	Rezultati
Ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV)	EUR 788.416
Ekonomska stopa povrata (ERR)	19.9%
Omjer koristi i troškova (B/C)	5.30

Tablica 38: Ključni ekonomski pokazatelji – sustav dizalice topline voda-voda – početno referentno stanje

Rezultati financijske analize za buduće referentno stanje (Tablica 39) pokazuju da je ulaganje manje isplativo u usporedbi s početnim referentnim stanjem. Razlog tome su nedostatne financijske uštede koje nisu dovoljne za pokrivanje početnog ulaganja. Posljedično, svi financijski pokazatelji su nepovoljni, te se ova tehnička opcija ne preporučuje s aspekta financijske isplativosti i održivosti.

Ključni pokazatelji uspješnosti	Rezultati
Financijska neto sadašnja vrijednost (FNPV)	EUR -186,629
Financijska stopa povrata (FRR)	Negativno (-4.6%)
Jednostavno razdoblje povrata ulaganja	Povrat ulaganja nije ostvaren
Diskontirano razdoblje povrata ulaganja	Povrat ulaganja nije ostvaren

Tablica 39: Ključni financijski pokazatelji – Dizalica topline voda-voda – buduće referentno stanje

Ekonomska analiza (Tablica 40) pokazuje povoljne rezultate zahvaljujući značajnim pozitivnim utjecajima na okoliš te produljenju ekonomskog vijeka trajanja opreme za grijanje. ENPV je pozitivan i visok, dok je ERR znatno veći od društvene diskontne stope (SDR). S društvenog aspekta, ulaganje ima pozitivne učinke.

Ključni pokazatelji uspješnosti	Rezultati
Ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV)	EUR 766,230
Ekonomska stopa povrata (ERR)	19.5%
Omjer koristi i troškova (B/C)	4.73

Tablica 40: Ključni ekonomski pokazatelji – Sustav dizalice topline voda-voda – buduće referentno stanje

Rješenje 3 - Dizalica topline zrak-voda kao dopuna dizalici topline voda-voda

Rezultati financijske analize za dizalicu topline zrak-voda i dizalicu topline voda-voda (Tablica 41) pokazuju da je ulaganje financijski granično prihvatljivo. Iako financijske uštede još uvijek nisu dovoljne za pokriće početnog ulaganja, period povrata ulaganja je kraći od ekonomskog vijeka trajanja opreme. Stoga se ova tehnička opcija može uvjetno preporučiti.

Ključni pokazatelji uspješnosti	Rezultati
Financijska neto sadašnja vrijednost (FNPV)	EUR -19,486
Financijska stopa povrata (FRR)	-3.5%
Jednostavno razdoblje povrata ulaganja	13.7
Diskontirano razdoblje povrata ulaganja	Povrat ulaganja nije ostvaren

Tablica 41: Ključni financijski pokazatelji – dizalica topline zrak-voda kao dopuna dizalici topline voda-voda – buduće referentno stanje



Ekonomska analiza (Tablica 42) pokazuje vrlo povoljne rezultate zahvaljujući značajnim pozitivnim utjecajima na okoliš te produljenju ekonomskog vijeka trajanja opreme za grijanje. ENPV je pozitivan i visok, dok je ERR znatno veći od društvene diskontne stope (SDR). S društvenog aspekta, ulaganje ima pozitivne učinke i može se preporučiti za provedbu.

Ključni pokazatelji uspješnosti	Rezultati
Ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV)	EUR 1,087,264
Ekonomska stopa povrata (ERR)	19.0%
Omjer koristi i troškova (B/C)	14.23

Tablica 42: Ključni ekonomski pokazatelji – dizalica topline zrak-voda kao dopuna dizalici topline voda-voda – početno referentno stanje – buduće referentno stanje

2.4. Dostupni izvori financiranja

Analizirana investicijska rješenja mogu se financirati kombinacijom nacionalnih, EU i privatnih izvora financiranja. S obzirom na njihovu ograničenu financijsku isplativost, bilo bi potrebno osigurati bespovratna sredstva kako bi se period povrata ulaganja učinio privlačnijim za investitora. Sljedeća poglavlja pružaju pregled trenutnih izvora financiranja za ovu vrstu ulaganja.

Europski strukturni i investicijski fondovi (ESIF)

Europski strukturni i investicijski fondovi (ESIF) osiguravaju značajna sredstva u Hrvatskoj za modernizaciju sustava grijanja u javnim zgradama, posebno kada te nadogradnje doprinose energetske učinkovitosti, dekarbonizaciji i korištenju obnovljivih izvora energije. Fokus nije samo na zamjeni izvora grijanja, već na cjelovitoj energetske učinkovitosti zgrade. Cilj je smanjiti potrošnju energije za najmanje 30–50 % u skladu s EU direktivama i strategijom energetske obnove Hrvatske. Financiranje se obično dodjeljuje putem javnih poziva unutar Operativnih programa — prvenstveno Operativnog programa "Konkurentnost i kohezija" (OPKK) za razdoblje 2021.–2027. Prihvatljivi projekti dobivaju bespovratna sredstva koja pokrivaju 60–85 % ukupnih troškova ulaganja, ovisno o lokaciji projekta, vrsti ustanove i tome nalazi li se u manje razvijenom području.

Mehanizam za oporavak i otpornost (RRF)

Nacionalni plan oporavka i otpornosti (NPOO), financiran kroz Mehanizam EU-a za oporavak i otpornost (RRF), ima ključnu ulogu u financiranju modernizacije sustava grijanja u javnim zgradama u Hrvatskoj, posebno u sklopu zelene tranzicije i klimatskih ciljeva. NPOO se sastoji od šest glavnih komponenti. Komponenta C6 – Energetska učinkovitost, obnovljivi izvori energije i zelena tranzicija u zgradarstvu – izravno je povezana s modernizacijom sustava grijanja, uključujući uvođenje obnovljivih tehnologija kao što su geotermalne toplinske pumpe u javnim i stambenim objektima.

NPOO osigurava bespovratna sredstva – koja obično pokrivaju od 60 % do 100 % prihvatljivih troškova projekta za javne zgrade, ovisno o vrsti projekta i nositelju. Često se postavlja minimalni zahtjev za smanjenjem potrošnje energije – na primjer, između 30 % i 50 %, ovisno o trenutnoj energetske klasifikaciji zgrade. Pristup bespovratnim sredstvima ostvaruje se putem javnih poziva koje objavljuju različita ministarstva ili provedbena tijela. Neke komponente NPOO-a dostupne su i kroz financijske instrumente (npr. povoljni krediti Hrvatske banke za obnovu i razvitak – HBOR), no modernizacija grijanja u javnim zgradama najčešće se financira putem bespovratnih sredstava.

Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (FZOEU)

Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, poznat u Hrvatskoj pod nazivom FZOEU, glavna je institucija odgovorna za financiranje projekata zaštite okoliša i energetske učinkovitosti u zemlji. Djeluje pri Ministarstvu



gospodarstva i održivog razvoja, a financira se prvenstveno iz ekoloških naknada koje se prikupljaju od različitih izvora, poput onečišćivača, motornih vozila i ambalaže. Prikupljena sredstva reinvestiraju se u projekte koji imaju za cilj zaštitu okoliša i povećanje energetske učinkovitosti.

FZOEU ima ključnu ulogu u poticanju hrvatske tranzicije prema obnovljivim izvorima energije. Jedno od glavnih područja djelovanja je sufinanciranje ugradnje obnovljivih izvora energije, uključujući geotermalne toplinske pumpe, osobito u modernizaciji sustava grijanja u stambenim, poslovnim i javnim objektima. Fond redovito objavljuje javne pozive putem kojih građani, pravne osobe, stanarske zajednice i javne institucije mogu podnijeti zahtjev za financijsku potporu. Ovisno o lokaciji podnositelja zahtjeva i socio-ekonomskoj klasifikaciji regije, FZOEU može pokriti između 40 i 80 posto prihvatljivih troškova.

Za prijavu je potrebno pričekati otvorenje javnog poziva, a potom pripremiti potrebnu dokumentaciju, koja obično uključuje dokaz o vlasništvu, energetske certifikat ili energetske pregled, glavni projekt rekonstrukcije te ostalu relevantnu dokumentaciju.

Hrvatska banka za obnovu i razvitak (HBOR)

Hrvatska banka za obnovu i razvitak (HBOR) je nacionalna razvojna banka Republike Hrvatske. Ključna je u financiranju projekata koji podržavaju gospodarski rast, regionalni razvoj, zaštitu okoliša i zelenu tranziciju. Osnovana kao državna institucija, HBOR nije komercijalna banka, već razvojna banka koja pruža povoljne uvjete financiranja za ulaganja u javnom i privatnom sektoru u skladu s nacionalnim i EU prioritetima.

Jedno od glavnih područja djelovanja HBOR-a je podrška obnovljivim izvorima energije i energetske učinkovitosti. To uključuje financiranje projekata koji koriste tehnologije poput geotermalnih toplinskih pumpi, osobito kada su dio šireg ulaganja u održivu energiju ili obnovu zgrada. HBOR nudi kreditne programe namijenjene potpori ulaganja u tehnologije koje smanjuju potrošnju energije i utjecaj na okoliš. Ovi programi često dolaze s vrlo povoljnim uvjetima, poput niskih kamatnih stopa (između 2 i 4 %), dugih rokova otplate (ponekad do 14 ili 17 godina) te počeka od nekoliko godina prije početka otplate. Iznosi kredita ovise o opsegu projekta i vrsti zajmoprimca, a kreću se od manjih ulaganja do velikih infrastrukturnih projekata.

Financiranje HBOR-a može pokriti kupnju i ugradnju same toplinske pumpe, kao i pripadajuće građevinske radove, tehničku dokumentaciju, energetske preglede te upravljanje projektom. Zahtjevi za prihvatljivost obično uključuju dobro definiran investicijski plan, potrebnu tehničku dokumentaciju, a u nekim slučajevima i energetske pregled ili studiju izvedivosti koja dokazuje uštede energije ili koristi za okoliš.

HBOR često surađuje s EU mehanizmima financiranja, poput Europskih strukturnih i investicijskih fondova (ESIF) te Nacionalnog plana oporavka i otpornosti (NPOO) Hrvatske. Ove suradnje omogućuju HBOR-u da ponudi financijske instrumente koji kombiniraju bespovratna sredstva i kredite s niskim kamatama, što je posebno atraktivno za ulaganja vezana uz energetiku. Poslovni subjekti ili institucije koje planiraju projekte geotermalnih sustava mogu tako ostvariti pravo na financiranje i djelomičnu potporu putem bespovratnih sredstava, pod uvjetom da projekt ispunjava određene kriterije povezane s klimatskim ciljevima.

Komercijalni zeleni krediti

Nekoliko komercijalnih banaka u Hrvatskoj nudi tzv. „zeleni kredite“ ili „eko kredite“ koji se mogu koristiti za financiranje projekata obnovljive energije. Ovi kreditni proizvodi osmišljeni su kako bi podržali energetske učinkovitost i prijelaz na čistu energiju u kućanstvima, zgradama i malim poduzećima, uz povoljnije uvjete zaduživanja (kamate, rokove otplate) u odnosu na standardne kredite.



Zagrebačka banka (ZABA) nudi različite osobne i stambene kredite koji se mogu koristiti za energetske obnovu, uključujući modernizaciju sustava grijanja i hlađenja. Promoviraju „zelene“ ili „eko“ kredite s nižim kamatnim stopama za klijente koji ulažu u sustave obnovljive energije. ZABA je također sudjelovala u EU sufinanciranim programima (poput ESIF kredita za energetske učinkovitost) u kojima su geotermalni sustavi prihvatljivi.

Privredna banka Zagreb (PBZ) nudi zelene kredite posebno prilagođene ekološkim i energetski učinkovitim poboljšanjima doma. To uključuje ugradnju solarnih panela, toplinsku izolaciju i sustave grijanja na obnovljive izvore energije poput toplinskih pumpi. PBZ je surađivao i s HBOR-om na subvencioniranim kreditnim programima koji su idealni za veće ili složenije projekte energetske obnove.

Erste banka aktivno promovira financijske proizvode usmjerene na održivost, uključujući „zelene“ potrošačke i stambene kredite. Njihovi zeleni krediti pokrivaju ulaganja u geotermalne, solarne i druge obnovljive sustave grijanja. Erste nudi kredite s fiksnim ili promjenjivim kamatnim stopama, često uz fleksibilne uvjete otplate. Za poslovne korisnike Erste također nudi financiranje obnovljivih izvora energije u sklopu šire ESG i klimatske strategije.

Raiffeisenbank (RBA) nudi ekološke kredite korisnicima koji žele smanjiti svoj energetski otisak. Ovi krediti podržavaju ugradnju obnovljivih sustava poput geotermalnih toplinskih pumpi, osobito kao dio veće obnove doma. RBA sudjeluje i u zajedničkim programima financiranja u suradnji s HBOR-om i EU razvojnim instrumentima, što im omogućuje pružanje povoljnih uvjeta za projekte koji su odgovorni prema okolišu.

Hrvatska poštanska banka (HPB) ima zelene kreditne linije za poboljšanja energetske učinkovitosti u kućanstvima i poslovnim prostorima. Njihovi zeleni krediti često dolaze bez administrativnih troškova te mogu financirati projekte poput ugradnje toplinskih pumpi, izolacije i drugih mjera uštede energije. HPB može surađivati i s javnim programima poput FZOEU-a ili HBOR-a, što omogućuje kombiniranje bespovratnih sredstava i kredita u jednom projektu.

Općenito, većina ovih komercijalnih banaka zahtijeva osnovnu dokumentaciju, uključujući investicijski plan s procjenama troškova, račune ili ponude ovlaštenih izvođača, a u nekim slučajevima i dokaz o vlasništvu ili rezultate energetskog pregleda.

Ugovaranje opskrbe energijom (ESCO)

Ugovaranje opskrbe energijom (često nazivano i energetske ugovaranje ili ESCO model) predstavlja model financiranja u kojem tvrtka za energetske usluge (ESCO) preuzima odgovornost za modernizaciju i upravljanje energetskim sustavom, poput grijanja ili hlađenja, u zgradi ili objektu. Ovaj model posebno je koristan kada vlasnik zgrade ne želi ili ne može unaprijed ulagati u sustave poput geotermalnih toplinskih pumpi ili mjera energetske učinkovitosti.

Umjesto da vlasnik zgrade sam financira ugradnju novog sustava grijanja i hlađenja, ESCO financira, ugrađuje, upravlja i održava taj sustav. Vlasnik zgrade ESCO-u plaća putem redovnih računa za energiju, koji su obično niži nego prije zbog povećane energetske učinkovitosti. ESCO vraća svoja ulaganja kroz uštede na troškovima energije tijekom dugoročnog ugovora, koji obično traje od 5 do 15 godina. Ključna značajka ovog modela je prijenos investicijskog rizika s vlasnika zgrade na ESCO. Ako sustav ne zadovolji očekivane performanse i uštede energije ne budu ostvarene, ESCO snosi gubitke.

U Hrvatskoj je energetske ugovaranje podržano i nacionalnim politikama i direktivama Europske unije. Najčešće se koristi u javnim zgradama poput škola, bolnica i općinskih objekata, no model se sve više primjenjuje i na veće stambene zgrade, stanarske zajednice i privatna poduzeća. Varijanta poznata kao Energetske ugovaranje s garancijom učinkovitosti (EPC) napredniji je oblik u kojem ESCO jamči određeni nivo ušteda energije. Ukoliko te uštede nisu ostvarene, ESCO nadoknađuje razliku.



Agencija za pravne poslove i posredovanje nekretninama (APN) u Hrvatskoj uspostavila je nacionalni program koji omogućuje energetska obnovu i modernizaciju javnih zgrada putem ESCO modela koristeći pristup javno-privatnog partnerstva (JPP). APN je standardizirao i upravljao ovim modelom, pružajući pravni i proceduralni okvir za cijeli proces. Program uključuje ugovorne obrasce, garancije energetske učinkovitosti i smjernice za zaštitu interesa korisnika zgrada, primjerice javnih institucija.

Zajedničko financiranje i ulaganje

Modeli zajedničkog financiranja (crowdfunding) u Hrvatskoj još su relativno novi, no postupno dobivaju na značaju, uključujući i sektor energije. Iako nisu toliko rašireni kao u nekim zapadnoeuropskim zemljama, crowdfunding se sve više prepoznaje kao potencijalna alternativa za financiranje projekata obnovljivih izvora energije, osobito zajedničkih inicijativa, zadruga i manjih instalacija. U Hrvatskoj trenutno postoji stagnirajući ekosustav platformi, pravnih okvira i pilot projekata koji podržavaju crowdfunding. Najčešće korišteni oblici su:

- Crowdfunding temeljen na donacijama
- Crowdfunding temeljen na nagradama
- Crowdfunding temeljen na udjelima (equity crowdfunding) – gdje ulagači dobivaju vlasničke udjele u tvrtki ili projektu
- Crowdfunding temeljen na zajmovima (peer-to-peer lending) – gdje pojedinci posuđuju novac projektu uz dogovorene kamatne stope

Dok su modeli temeljeni na donacijama i nagradama najčešći u području obnovljive energije, modeli temeljeni na vlasničkim udjelima i zajmovima sve se više istražuju i primjenjuju. Od 2021. godine Hrvatska je uskladila svoje propise s EU Uredbom o crowdfundingu (Uredba (EU) 2020/1503), što olakšava pokretanje platformi za crowdfunding temeljeni na vlasničkim udjelima i zajmovima pod jedinstvenom europskom licencom. Ipak, domaće tržište je još u razvoju, a nedostaju etablirane domaće platforme koje bi bile usmjerene isključivo na sektor energije. Trenutačno je jedina platforma za crowdinvesting u Hrvatskoj ona koju vodi Zadruga za zelenu energiju, koja je uspjela uspostaviti platformu financiranu od strane građana te realizirati nekoliko projekata obnovljivih izvora energije.

2.5. Utjecaj na okoliš i emisije CO₂

Najveća prednost dizalica topline, odnosno korist za okoliš, jest smanjenje emisija CO₂, što umanjuje štetan utjecaj na okoliš jer koriste obnovljive izvore energije koji ne emitiraju ugljični dioksid, a manji dio električne energije potrebne za rad može se proizvesti iz obnovljivih izvora. Ugljični dioksid jedan je od glavnih plinova koji uzrokuju efekt staklenika, a u usporedbi s ostalim glavnim plinovima koji sudjeluju u ovom procesu, ostaje u atmosferi najduže. Nakon što se CO₂ emisije oslobode u atmosferu, 40 % ostat će u njoj 100 godina, 20 % će ostati 1000 godina, a 10 % čak 10.000 godina. To doslovno znači da emisije štetnih plinova koje danas ispuštamo utječu na klimu i u dalekoj budućnosti.

Investicije obuhvaćene ovom Studijom pridonose smanjenju emisija CO₂ u usporedbi s postojećim termo mehaničkim sustavom u kompleksu RGNF i PBF, koristeći obnovljive izvore energije.

Korištenjem faktora emisija za energetske proizvode propisanih Pravilnikom o sustavu praćenja, mjerenja i verifikacije uštede energije (Narodne novine br. 98/21, 30/22 i 96/23), izračunate su emisije CO₂ za sve obrađene sustave (Tablica 49, Tablica 50, Tablica 51).



Ugradnjom geotermalne toplinske pumpe potencijalnog kapaciteta, smanjenje emisija CO₂ iznosi 11,34 tone godišnje (smanjenje od 11,71 % u odnosu na postojeći sustav) za početnu referentnu vrijednost, te 35,69 tona CO₂ godišnje (smanjenje od 23,18 %) za buduću referentnu vrijednost.

Ugradnjom vodene toplinske pumpe potencijalnog kapaciteta, smanjenje emisija CO₂ iznosi 122,34 tone godišnje (smanjenje od 40,99 % u odnosu na postojeći sustav) za početnu referentnu vrijednost, te 94,07 tona CO₂ godišnje (smanjenje od 61,08 %) za buduću referentnu vrijednost. Ugradnjom vodene i zračne toplinske pumpe, smanjenje emisija CO₂ iznosi 122,54 tone godišnje (smanjenje od 79,56 % u odnosu na postojeći sustav) za buduću referentnu vrijednost.

DIZALICA TOPLINE TLO-VODA			
POČETNO REFERETNO STANJE			
	Količina energije	Emisijski faktor	Emisija CO ₂
	kWh/godina	kg CO ₂ /kWh	kgCO ₂ /godina
POSTOJEĆI SUSTAV			
Prirodni plin	1.233.341,00	0,214	263.934,97
Električna energija	217.028,27	0,159	34.507,49
			298.442,47
NOVI SUSTAV			
Prirodni plin	1.037.343,85	0,214	221.991,58
Električna energija	261.044,58	0,159	41.506,09
			263.497,67
SMANJENJE EMISIJA CO₂			34.944,80
SMANJENJE EMISIJA CO₂ [%]			11,71%
BUDUĆE REFERETNO STANJE			
	Količina energije	Emisijski faktor	Emisija CO ₂
	KWh/godina	kg CO ₂ /kWh	kgCO ₂ /godina
POSTOJEĆI SUSTAV			
Prirodni plin	580.017,17	0,214	124.123,67
Električna energija	187.960,91	0,159	29.885,78
			154.009,46
NOVI SUSTAV			
Prirodni plin	380.098,33	0,214	81.341,04
Električna energija	232.542,39	0,159	36.974,24
			118.315,28
SMANJENJE EMISIJA CO₂			35.694,17
SMANJENJE EMISIJA CO₂ [%]			23,18%

Tablica 43: Smanjenje emisija CO₂ ugradnjom dizalice topline tlo-voda — početno i buduće referentno stanje



DIZALICA TOPLINE VODA-VODA

POČETNO REFERETNO STANJE			
	Količina energije	Emisijski faktor	Emisija CO ₂
	kWh/godina	kg CO ₂ /kWh	kg CO ₂ /godina
POSTOJEĆI SUSTAV			
Prirodni plin	1.233.341,00	0,214	263.934,97
Električna energija	217.028,27	0,159	34.507,49
			298.442,47
NOVI SUSTAV			
Prirodni plin	580.017,17	0,214	124.123,67
Električna energija	326.930,64	0,159	51.981,97
			176.105,64
SMANJENJE EMISIJA CO₂			122.336,82
SMANJENJE EMISIJA CO₂ [%]			40,99%

BUDUĆE REFERETNO STANJE			
	Količina energije	Emisijski faktor	Emisija CO ₂
	kWh/godina	kgCO ₂ /kWh	kgCO ₂ /godina
POSTOJEĆI SUSTAV			
Prirodni plin	580.017,17	0,214	124.123,67
Električna energija	187.960,91	0,159	29.885,78
			154.009,46
NOVI SUSTAV			
Prirodni plin	80.220,08	0,214	17.167,10
Električna energija	269.026,54	0,159	42.775,22
			59.942,32
SMANJENJE EMISIJA CO₂			94.067,14
SMANJENJE EMISIJA CO₂ [%]			61,08%

Tablica 44: Smanjenje emisija CO₂ ugradnjom dizalice topline voda-voda — početno i buduće referentno stanje

DIZALICA TOPLINE VODA-VODA I DIZALICA TOPLINE TLO-VODA

BUDUĆE REFERENTNO STANJE			
	Količina energije	Emisijski faktor	Emisija CO ₂
	kWh/godina	kg CO ₂ /kWh	kg CO ₂ /godina
POSTOJEĆI SUSTAV			
Prirodni plin	580.017,17	0,214	124.123,67
Električna energija	187.960,91	0,159	29.885,78
			154.009,46



NOVI SUSTAV			
Prirodni plin	0,00	0,214	0,00
Električna energija	197.936,32	0,159	31.471,87
			31.471,87
SMANJENJE EMISIJA CO₂			122.537,58
SMANJENJE EMISIJA CO₂ [%]			79,56%

Tablica 45: Smanjenje emisija CO₂ ugradnjom dizalice topline voda-voda i dizalice topline zrak-voda – buduće referentno stanje

Korištenje sustava s geotermalnim toplinskim pumpama može donijeti nekoliko potencijalnih negativnih utjecaja:

- Trajna promjena temperature tla (dizalica topline zemlja-voda),
- Onečišćenje tla i podzemnih voda,
- Visoka razina buke dizalice topline.

Trajna promjena temperature tla u izmjenjivačima topline u sondama može biti uzrokovana nepovoljnim omjerima toplinske energije za grijanje i hlađenje, odstupanjima u radu u odnosu na projekt, karakteristikama rada toplinske pumpe koje se razlikuju od predviđenih, toplinskim međudjelovanjem s drugim instalacijama ili nepovoljnim položajem i geometrijom polja sonde u odnosu na smjer podzemne vode. Kako bi se to izbjeglo, potrebno je pravilno dimenzionirati sustav (određivanjem točnih potreba zgrade i svojstava tla), planirati izmjenjivače topline u tlu (povećavanjem razmaka, dijeljenjem polja u nekoliko manjih, dodatnim izvorima/ponorima topline), pravilno izvesti radove (kontrola rada sonde i sustava toplinskih pumpi) te pravilno koristiti sustav uz nadzor temperature medija u izmjenjivačima.

Onečišćenje tla i podzemnih voda moguće je ako se sustav toplinske pumpe zemlja-voda ili voda-voda ne izvede ili ne koristi na pravilan način. Ako šahtovi na sondama nisu pravilno izvedeni, postoji mogućnost curenja ulja s površina, što može onečistiti podzemne vode. Kako bi se to spriječilo, šaht mora biti vodonepropustan i izrađen u zračnom zatvorenom dizajnu. Mješavina glikola i voda koja cirkulira kroz izmjenjivače topline u sondama predstavlja potencijalni problem ukoliko dođe do curenja glikola u tlo i podzemne vode. Uklanjanje takve potencijalne opasnosti postiže se odabirom prikladnog materijala cijevi te redovitim pregledima sustava i servisiranjem od strane ovlaštene osobe.

Tijekom izvođenja radova koristi se razna građevinska mehanizacija koja može negativno utjecati na okoliš (buka, prašina i onečišćenja). Kako bi se smanjili negativni utjecaji, preporučuje se:

- Radove izvoditi malo bučnim strojevima, uređajima i sredstvima za rad i transport
- Bučne radove organizirati na način da se obavljaju tijekom dnevnog razdoblja, a samo u iznimnim slučajevima, kada to zahtijeva tehnologija, tijekom noći
- Isključivati pogonske motore građevinske mehanizacije i transportnih vozila koja se koriste pri izgradnji, kada nisu u uporabi
- Pri korištenju građevinskih strojeva i vozila na gradilištu primjenom postupaka dobre prakse kod manipulacije gorivima i mazivima onemogućiti istjecanje ili ispuštanje tekućina u okoliš
- Pri građenju za slučaj istjecanja pogonskog goriva ili maziva iz strojeva ili vozila, na lokaciji osigurati interventne količine sredstava za suho čišćenje tla.
- U slučaju izlivanja naftnih derivata iz spremnika strojeva, odmah poduzeti mjere za sprječavanje daljnjeg razlivanja, sakupiti onečišćeno tlo i izliveni sadržaj, staviti u posebne bačve te predavati ovlaštenoj osobi.



- Tijekom građenja pri suhom vremenu prometnice na kojima je sedimentirala prašina prskati vodom kako bi se spriječilo podizanje prašine s prometnica uslijed odvijanja prometa.
- Tijekom radova sav otpad će se razvrstavati i propisno odlagati
- Nakon završetka svih radova provest će se mjerenja buke uređaja koji su značajniji izvor buke. Ukoliko izmjerene vrijednosti buke na referentnim točkama pokažu prekoračenje dozvoljenih vrijednosti, poduzeti dodatne mjere smanjenja buke kako bi se kumulativni utjecaj buke koja se širi u okoliš s predmetne lokacije sveo na prihvatljivu razinu. Ovlaštena osoba koja provodi mjerenja će ovisno o situaciji na terenu odabrati mjerne točke

Negativni utjecaji buke nastaju uslijed rada geotermalne dizalice topline. Maksimalne dopuštene razine buke dizalice topline u urbanim područjima iznose 63 dB(A) tijekom dana te 45 dB(A) noću. Potrebno je osigurati dovoljnu udaljenost između dizalice topline i susjednih zgrada. Kako bi se smanjile vibracije, preporučuje se ugradnja dizalice topline na gumene protuvibracijske podloge. Akustična izolacija postiže se oblaganjem kućišta materijalima za zvučnu izolaciju te dodatnim akustičnim panelima koji upijaju ili preusmjeravaju buku.

2.6. SWOT analiza

Ugradnja sustava geotermalne dizalice topline na kompleksu RGNF i PBF predstavlja ključnu inicijativu usmjerenu na unapređenje održivih rješenja za grijanje i hlađenje. Ovaj projekt ima za cilj iskorištavanje obnovljivih izvora energije radi smanjenja emisija ugljičnog dioksida, povećanja energetske učinkovitosti te postati model za akademske energetske zajednice. Također, projekt će uspostaviti zajedničku energetska zajednicu koja potiče suradničko upravljanje energijom i optimizaciju resursa. Sljedeća SWOT analiza pruža sveobuhvatnu procjenu snaga, slabosti, prilika i prijetnji ovog projekta.

Snage:

- **Ekološka održivost:** Ugradnja geotermalnih dizalica topline značajno smanjuje emisije CO₂, usklađujući se s ciljevima EU-a u području klimatskih aktivnosti i Ciljevima Zelenog sporazuma.
- **Energetska učinkovitost:** Predloženi sustav koristi obnovljive izvore energije (toplina iz tla i vode), osiguravajući stabilno i održivo grijanje i hlađenje uz smanjenu ovisnost o fosilnim gorivima.
- **Potencijal dekarbonizacije:** Kombinacija dizalica topline voda-voda i zrak-voda omogućuje gotovo potpunu tranziciju s prirodnog plina, pridonoseći dugoročnoj ugljičnoj neutralnosti.
- **Stabilnost rada:** Tehnologija jamči stabilan i učinkovit sustav grijanja i hlađenja s predvidljivim performansama tijekom cijele godine.
- **Akadska i istraživačka vrijednost:** Kao sastavni dio akademske energetske zajednice, sustav predstavlja projekt stvarnog svijeta za istraživanje, obrazovanje i tehnološke inovacije u području obnovljivih izvora energije.
- **Formiranje energetske zajednice:** Projekt potiče suradnički model dijeljenja energije među akademskim institucijama, čime se povećava ukupna energetska učinkovitost i održivost.
- **Sudjelovanje zajednice:** Model uključivanja zajednice obuhvaća aktivno sudjelovanje zaposlenika i studenata Sveučilišta, ne samo kao potrošača, već i kao investitora u projekt. Kroz zajedničko financiranje, akademska zajednica – zaposlenici i studenti – imat će priliku ulagati u energetska sustava i sudjelovati u njegovom donošenju odluka. Ovakav pristup promiče lokalno vlasništvo i osnaživanje, što je u skladu s ciljem Europske komisije o poticanju uključivanja građana u projekte energetske tranzicije.



Slabosti:

- **Visoka početna ulaganja:** Početni kapital potreban za ugradnju sustava, uključujući bušenja, izradu tehničke dokumentacije i nabavu opreme, iznosi značajan iznos (procijenjeno na 525.000 eura).
- **Dugi povrat investicije:** Iako je projekt dugoročno financijski isplativ, procijenjeni period povrata ulaganja iznosi oko 21 godinu, što može predstavljati izazov pri kratkoročnoj financijskoj opravdanosti.
- **Ograničen prostorni kapacitet:** Dostupan urbani prostor ograničava broj bušotina i kapacitet izmjene topline, čime se smanjuje mogućnost skaliranja sustava dizalice topline s geotermalnim izvorom.
- **Ovisnost o tehničkoj izvedivosti:** Projekt je uvjetovan dostupnim geološkim i hidrološkim uvjetima, koji mogu predstavljati izazove u pogledu dugoročne održivosti podzemnih voda te usklađenosti s regulatornim zahtjevima.

Prilike:

- **EU i nacionalno financiranje:** Postoji mogućnost osiguravanja dodatnih bespovratnih sredstava, subvencija ili povoljnih zajmova kroz europske i nacionalne programe usmjerene na promicanje obnovljivih izvora energije.
- **Mogućnost ponavljanja i širenja:** Uspješna provedba ovog projekta može poslužiti kao model za širu primjenu u drugim akademskim i javnim institucijama, čime se dodatno potiče korištenje obnovljivih rješenja za grijanje i hlađenje.
- **Tehnološki napredak:** Kontinuirani razvoj učinkovitosti dizalica topline i sustava za pohranu energije može dodatno poboljšati ukupnu izvedbu sustava i njegovu isplativost.
- **Podrška politika i regulative:** Europski zeleni plan i nacionalne klimatske politike potiču ulaganja u projekte obnovljive energije, olakšavajući time regulatorno odobrenje i pristup financijskim poticajima.
- **Energetska neovisnost:** Smanjenje ovisnosti o uvoznim fosilnim gorivima povećava sigurnost opskrbe energijom za akademski kompleks i doprinosi širim strategijama energetske tranzicije EU-a.
- **Zajedničko korištenje energije u zajednici:** Osnivanje akademske energetske zajednice omogućuje optimizirano korištenje resursa i zajedničke uštede, čime se dodatno učvršćuje dugoročna održivost projekta.

Prijetnje:

- **Regulatorne prepreke:** Moguće administrativne i pravne zapreke vezane uz crpljenje podzemnih voda i prostorno planiranje mogle bi odgoditi ili zakomplicirati provedbu projekta.
- **Neizvjesni geološki uvjeti:** Konačna učinkovitost i izvedivost geotermalnog sustava ovise o toplinskim svojstvima podzemlja i dostupnosti vode, što može zahtijevati dodatna terenska istraživanja.
- **Nestabilnost tržišta:** Promjene u cijenama opreme i troškovima ugradnje, uzrokovane poremećajima u opskrbnim lancima ili inflacijom, mogle bi utjecati na predviđeni proračun projekta.
- **Troškovi održavanja:** Iako su godišnji troškovi održavanja procijenjeni na oko 1.300 €, nepredviđeni tehnički problemi ili neučinkovitost sustava mogli bi rezultirati dodatnim dugoročnim izdacima.
- **Regulatorne prepreke za osnivanje energetske zajednice:** Uspostava zajednice obnovljive energije može se suočiti s izazovima zbog regulatornih ograničenja, uključujući pristup mreži, raspodjelu energije i pravne okvire koji uređuju kolektivne energetske projekte.

Ugradnja sustava dizalica topline na geotermalni izvor za kompleks RGNF-a i PBF-a predstavlja strateški izuzetno važnu investiciju u održivu energetiku, usklađenu s klimatskim ciljevima Europske unije i pokazuje lidersku ulogu akademske zajednice u području energetske tranzicije. Iako postoje financijska i prostorna ograničenja, dugoročne ekološke, gospodarske i obrazovne koristi čine ovaj projekt uzornim modelom za



buduće energetske prijelaze. Kombinacija dizalica topline voda–voda i zrak–voda identificirana je kao optimalno rješenje koje osigurava visoku učinkovitost, značajno smanjenje emisija i ostvariv put prema potpunoj dekarbonizaciji kompleksa. Nadalje, osnivanje akademske energetske zajednice dodatno jača utjecaj projekta poticanjem zajedničkog upravljanja energijom i maksimalnim iskorištavanjem obnovljivih izvora energije.

3. Model energetske zajednice

Dekarbonizacija urbanih energetske sustava, osobito u sektoru grijanja i hlađenja, jedan je od ključnih stupova strategije energetske tranzicije Europske unije. Integracija obnovljivih izvora energije (OIE) u distribuirane i centralizirane sustave nužna je za postizanje ciljeva klimatske neutralnosti, jačanje energetske sigurnosti i smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima. U tom kontekstu, energetske zajednice – kako ih definira zakonodavstvo EU-a, kao pravne osobe temeljene na dobrovoljnom i otvorenom sudjelovanju, demokratskom upravljanju i usmjerene na ostvarivanje okolišnih, gospodarskih ili društvenih koristi za svoje članove ili lokalnu zajednicu – nameću se kao transformativni model uključivanja građana i decentralizacije energetskog sektora.

Hrvatska je, iako je poduzela zakonodavne korake za implementaciju ključnih oblika energetske zajednice priznatih na razini EU – građanskih energetske zajednice (CEC) i zajednice za obnovljive izvore energije (REC) – suočena s brojnim regulatornim i praktičnim preprekama koje otežavaju njihovu širu primjenu i integraciju u nacionalni energetski sustav. Posebno je to izraženo u sektoru grijanja, gdje je udio OIE izuzetno nizak, unatoč znatnom geotermalnom i solarnom potencijalu zemlje. Kruta struktura sustava distribucije toplinske energije, u kombinaciji s kompleksnim postupcima izdavanja dozvola i koncesija, i dalje ograničava inovacije, sudjelovanje privatnog sektora i širenje nisko ugljičnih rješenja za grijanje. U tom kontekstu, predloženi projekt na Sveučilištu u Zagrebu predstavlja pionirski pokušaj operacionalizacije zajednice za obnovljive izvore energije (REC), koja bi povezala dva fakulteta – Rudarsko-geološko-naftni fakultet (RGNF) i Prehrambeno-biotehnološki fakultet (PBF) – u zajednički, decentralizirani sustav toplinske energije temeljen na tehnologiji geotermalnih dizalica topline. Obje institucije, smještene na adresama Pierottijeva 4 i 6 u Zagrebu, trenutno koriste konvencionalne, visoko ugljične sustave grijanja temeljene na prirodnom plinu i električnoj energiji. Prijelaz na model grijanja i hlađenja iz obnovljivih izvora ne samo da podržava institucionalne ciljeve dekarbonizacije, već stvara temelje za širenje sustava na okolne javne zgrade, čime se oblikuje jezgra šire urbane energetske zajednice obnovljivih izvora.

Srž projekta leži u demonstraciji kako energetske zajednice mogu djelovati kao katalizatori za integraciju distribuiranih obnovljivih tehnologija u postojeću urbanu infrastrukturu. Međutim, kako bi takav model zajedničke energetske proizvodnje mogao funkcionirati unutar šireg okvira centraliziranog sustava grijanja, nužno je prevladati niz sustavnih izazova. Ključni među njima je izostanak regulatornog priznanja energetske zajednice kao prihvatljivih subjekata u sektoru distribucije toplinske energije. Iako Zakon o tržištu toplinske energije prepoznaje sustave centraliziranog grijanja kao pitanje strateškog nacionalnog interesa, on ne predviđa regulatorni okvir koji bi omogućio energetskim zajednicama pristup postojećoj infrastrukturi ili razvoj novih priključaka povezanih s centraliziranom mrežom. Ovaj pravni nedostatak prisiljava energetske zajednice da ostanu izolirane ili da razvijaju zatvorene distribucijske sustave – modele koji, iako izvedivi, ograničavaju skalabilnost i međusektorsku integraciju.

Predložena energetska zajednica obnovljivih izvora na Sveučilištu u Zagrebu stoga će poslužiti kao tehnološki i institucionalni pilot-projekt koji testira izvedivost integracije malih OIE sustava u urbane energetske mreže te se istodobno suočava s kompleksnim institucionalno-upravljačkim okvirom koji trenutačno definira energetsko zakonodavstvo u Hrvatskoj.



Projekt će biti vođen kroz posvećeni model upravljanja koji osigurava transparentnost, pravnu usklađenost, sudjelovanje dionika i financijsku odgovornost. To uključuje i punu usklađenost s načelima EU-a koja se odnose na dobrovoljno sudjelovanje, demokratsko donošenje odluka i prioritet lokalne koristi nad ostvarivanjem profita.

Projekt dodatno adresira pitanje prostornog planiranja, koje se pokazuje kao ključna prepreka u implementaciji obnovljivih sustava grijanja u urbanim sredinama. Trenutni propisi o prostornom uređenju u Hrvatskoj često onemogućuju gradnju objekata za proizvodnju toplinske energije iz obnovljivih izvora u stambenim ili mješovitim zonama, neovisno o njihovom minimalnom okolišnom utjecaju. Kako bi se omogućila provedba decentraliziranih i modularnih sustava poput dizalica topline, potrebno je dopuniti zakonodavni okvir tako da eksplicitno dopušta izgradnju takve infrastrukture unutar ili u neposrednoj blizini postojećih toplinskih mreža, osobito u urbanim sredinama s utvrđenim geotermalnim potencijalom.

Za dugoročnu održivost i ponovljivost sličnih projekata nužno je uspostaviti i odgovarajuće financijske mehanizme podrške. S obzirom na visoke početne troškove investicije u tehnologije obnovljivog grijanja te relativno nizak povrat investicije uslijed reguliranih cijena energije, projekti poput ovoga zahtijevaju sufinanciranje koje bi smanjilo kapitalno opterećenje i smanjilo investicijski rizik. Bez ciljanih nacionalnih i EU fondova, sposobnost Hrvatske da ispuni ciljeve integracije obnovljivih izvora propisane europskim direktivama ostaje ozbiljno dovedena u pitanje.

Zaključno, projekt dijeljenja geotermalne energije Sveučilišta u Zagrebu nije samo tehnička nadogradnja – on predstavlja model sustavne transformacije. Korištenjem načela energetske zajednice obnovljivih izvora, integracijom OIE tehnologija u institucionalnu infrastrukturu i suočavanjem s postojećim regulatornim ograničenjima u sektoru toplinske energije, projekt pruža okvir za održivo urbano grijanje koji se može replicirati. Također ističe nužnost regulatorne reforme koja bi omogućila uključivanje energetske zajednice u sustave centraliziranog grijanja te potaknula razvoj decentraliziranih distribucijskih modela u skladu s klimatskim ciljevima Hrvatske i obvezama prema Europskoj uniji.

3.1. Energetske zajednice u Hrvatskoj

Primarni fokus energetske zajednice usmjeren je na proizvodnju energije, pri čemu se građanske energetske zajednice (EZG) posebno koncentriraju na električnu energiju. Nacionalne definicije GEZ-a i zajednica za obnovljive izvore energije (ZOIE) usklađene su s europskim direktivama koje se odnose na obnovljive izvore energije i dizajn tržišta električne energije, a koje su prenesene u Zakon o tržištu električne energije i Zakon o obnovljivim izvorima energije. Slično energetske zadrugama, ove zajednice snažno zagovaraju obnovu zgrada, zdravije životno okruženje i mjere energetske učinkovitosti.

Energetske zajednice otvorene su i dobrovoljne, a u svojem djelovanju kombiniraju nekomercijalne ciljeve s okolišnim i društvenim ciljevima lokalne zajednice. Postoji više oblika i definicija energetske zajednice. S obzirom na temeljnu svrhu i način djelovanja, a prema zakonodavnom okviru Europske unije, mogu se podijeliti u dvije osnovne skupine: građanske energetske zajednice (EZG) i zajednice obnovljivih izvora energije (ZOIE)¹ Oba modela – energetske zajednice građana (EZG) i zajednice obnovljivih izvora energije (ZOIE) – omogućuju zajednička ulaganja građana, poduzetnika i javnog sektora u različite energetske projekte.

¹ U Republici Hrvatskoj ova dva oblika građanske energije definirana su Zakonom o tržištu električne energije (NN 111/21, 83/23) i Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 138/21, 83/23).



Cilj energetske zajednice i zajednice obnovljivih izvora energije u suštini je isti – osigurati da građani i ostali partneri postanu aktivni sudionici energetske tranzicije te im omogućiti pristup izravnim koristima poput smanjenja troškova energije, povećanja energetske učinkovitosti i korištenja obnovljivih izvora energije. Ovaj pristup uključuje i ranjive skupine te izravno doprinosi ublažavanju energetske siromaštva, koje predstavlja jedan od najvećih problema današnjice. Energetske zajednice predviđaju uključivanje širokog spektra sudionika – lokalne i regionalne vlasti, privatnih građana, kao i mikro, malih i srednjih poduzeća. Svi oni sudjeluju u različitim energetske projektima koji donose izravnu korist lokalnoj zajednici.

- Strategija Europske unije za solarnu energiju² predviđa da će zemlje članice EU surađivati u:
 - uspostaviti barem jednu energetske zajednicu temeljenu na obnovljivim izvorima energije u svakoj lokalnoj samoupravi s više od 10.000 stanovnika do 2025. godine.
 - osigurati pristup solarnoj energiji za energetske ugrožene i ranjive skupine potrošača, primjerice putem instalacija u državnim stambenim jedinicama, energetske zajednice ili financijske potpore za individualne solarne sustave.
- Direktiva (EU) 2019/944 Europskog parlamenta i Vijeća od 5. lipnja 2019. o zajedničkim pravilima za unutarnje tržište električne energije definira građansku energetske zajednicu (EZG) kao pravnu osobu koja:³
 - ima kao primarni cilj pružanje okolišnih, gospodarskih ili društvenih koristi svojoj članovima, dioničarima ili lokalnoj zajednici u kojoj djeluje, a ne ostvarivanje financijske dobiti.
 - može se baviti proizvodnjom energije, uključujući iz obnovljivih izvora, distribucijom, opskrbom, potrošnjom, agregacijom, skladištenjem energije, uslugama energetske učinkovitosti, uslugama punjenja električnih vozila ili pružanjem drugih energetske usluga svojim članovima ili dioničarima;
 - osnovana je na dobrovoljnom i otvorenom sudjelovanju te je u stvarnom vlasništvu i kontroli članova ili dioničara koji su fizičke osobe, lokalne samouprave, uključujući općine, ili mala poduzeća.
- Direktiva (EU) 2018/2001 Europskog parlamenta i Vijeća o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora također definira zajednice obnovljive energije (ZOIE) kao pravnu osobu koja:⁴
 - ima kao svoj glavni cilj pružanje okolišnih, gospodarskih ili društvenih koristi svojim članovima ili dioničarima, odnosno lokalnim zajednicama u kojima djeluje, a ne ostvarivanje financijske dobiti. Zajednica obnovljive energije (ZOIE) osniva se u skladu s važećim nacionalnim zakonodavstvom i temelji se na otvorenom i dobrovoljnom sudjelovanju. Nezavisna je i stvarno je nadzirana od strane dioničara ili članova smještenih u neposrednoj blizini projekata obnovljive energije koje posjeduje ili razvija navedena pravna osoba. Članovi ili dioničari mogu biti fizičke osobe, mala i srednja poduzeća ili jedinice lokalne samouprave.
- U hrvatskom zakonodavstvu ove dvije forme građanske energije definirane su Zakonom o tržištu električne energije (NN 111/2021, 83/2023),
 - kojim se uređuje područje zajednica građana za energiju (EZG), kao i
- Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 138/2021, 83/2023),
 - kojim se definiraju zajednice obnovljivih izvora energije (ZOIE).
- Pravilnik o općim uvjetima opskrbe električnom energijom (NN 100/2022)

² https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13338-EU-solar-energy-strategy_en

³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32019L0944>

⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001>



- Pravilnik o licencama za obavljanje energetske djelatnosti i certificiranju (NN 44/2022)
- Odluka o naknadi za obavljanje energetske djelatnosti (NN 38/2022)
- Zakon o financijskom poslovanju i računovodstvu neprofitnih organizacija (NN 121/2014, 114/2022)
- Zakon o udrugama (NN 74/2014, 70/2017, 98/2019)
- Zakon o zadrugama (NN 34/2011, 125/2013, 76/2014, 114/2018, 98/2019)

U Republici Hrvatskoj do sada nijedna pravna osoba formalno nije registrirana kao Zajednica obnovljivih izvora energije (ZOIE), no od 16. rujna 2024. godine registrirane su tri energetske zajednice građana (EZG).⁵ Iako ovo predstavlja pozitivan pomak prema uključivanju građana u energetske tranziciju, te zajednice trenutno postoje samo formalno, jer tehnički preduvjeti za aktivnu razmjenu električne energije među članovima još nisu ostvareni. Ova situacija naglašava potrebu za daljnjim naporima u razvoju regulatornog okvira, uspostavi jasnih procedura te implementaciji potrebne tehničke infrastrukture. Bez ovih temeljnih elemenata, puni potencijal energetske zajednice za doprinos decentraliziranom, demokratskom i održivom energetskom sustavu u Hrvatskoj neće moći biti ostvareni.

Trenutno su u tijeku izmjene važećeg zakonodavnog okvira i pripadajućih propisa u području energetike. Zabilježen je izražen interes više od desetak energetske inicijative za pokretanje vlastitih energetske projekata, dok više od stotinu stambenih zgrada aktivno istražuje mogućnosti uspostave vlastitih solarnih fotonaponskih (PV) sustava te korištenja modela zajedničke potrošnje i dijeljenja energije.

Energetske zadruge mogu sudjelovati na energetskim tržištima ukoliko pribave odgovarajuću licencu. Prema hrvatskim propisima o tržištu električne energije, svaki proizvođač s instaliranim kapacitetom većim od 1 MW mora posjedovati licencu za obavljanje energetske djelatnosti koju izdaje Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti (HERA). Za proizvođače s kapacitetom manjim od 1 MW takva licenca nije obavezna. Ipak, i dalje su obvezujući zahtjevi koji se odnose na operatora prijenosnog sustava (TSO), operatora distribucijskog sustava (DSO) te Hrvatskog operatora tržišta energije (HROTE).

Iako energetske zajednice trenutno nisu formalno prepoznate u Hrvatskoj, industrijski i trgovački subjekti imaju mogućnost obavljanja dijeljenja energije unutar zatvorenih distribucijskih sustava, što je definirano Zakonom o tržištu električne energije. Zatvoreni distribucijski sustav (ZDS) predstavlja mrežu koja distribuira električnu energiju unutar geografski ograničenog industrijskog ili komercijalnog područja.

Trenutno ne postoje specifični državni programi potpore namijenjeni energetskim zajednicama. Njihov razvoj i jačanje, posebice u smislu pristupa informacijama i savjetodavnim uslugama, uglavnom su potaknuti projektima financiranim sredstvima Europske unije i raznih međunarodnih izvora financiranja. U tijeku su neformalni razgovori o uspostavi financijskih mehanizama za zajedničku energetiku te o osnivanju sveobuhvatnih nacionalnih centara podrške. Dio tih prijedloga ide u smjeru uvođenja nacionalnih kvota.

Lokalne jedinice samouprave uključene su u istraživačke i razvojne projekte usmjerene na obnovljive izvore energije (OIE), koji bi mogli poslužiti kao temelj za projekte energetske učinkovitosti (EE) povezane s energetskim zajednicama. Nadalje, prihodi ostvareni kroz projekte OIE mogli bi se usmjeriti za financiranje inicijativa energetske učinkovitosti koje bi koristile članovima zajednica.

⁵ [HERA - Registar energetske zajednice građana](#)



Forum hrvatskih energetske zajednice službeno je osnovan u travnju 2024. godine kao suradnička platforma s ciljem podrške razvoju energetske zajednice diljem Republike Hrvatske. Forum trenutno okuplja 17 članica, uključujući lokalne i regionalne vlasti, energetske zadruge, nevladine organizacije, razvojne agencije i akademske institucije.

Njegova je temeljna zadaća olakšati dijalog, prepoznati zakonodavne i upravne prepreke te predlagati konkretna rješenja za promicanje Obnovljivih energetske zajednice (OEZ) i Zajednice građana za energetiku (ZGE) u skladu s Paketom čiste energije Europske unije i nacionalnim klimatskim ciljevima. Forum djeluje kao otvorena i međusektorska inicijativa posvećena unapređenju sudjelovanja građana i decentralizaciji u energetske sektoru.

Regionalna energetska i klimatska agencija Sjeverozapadne Hrvatske (REGEA) aktivni je osnivač Foruma, pružajući svoju tehničku stručnost i praktično iskustvo u projektima obnovljive energije temeljenim na zajednicama. Za uspješnu provedbu pilot projekta energetske zajednice unutar projekta ConnectHeat, neophodna je kontinuirana institucionalna podrška, ciljne regulatorne izmjene te osiguranje namjenskih financijskih sredstava. Ustrajan rad na ovom području bit će ključan kako bi se omogućilo da se ovakve i slične inicijative trajno uspostave i prošire u narednim godinama, čime će se značajno doprinijeti pravednoj i uključivoj energetske tranziciji u Republici Hrvatskoj.

3.2. Identificirani modeli razvoja energetske zajednice na fakultetima

S obzirom na složenost projekata energetske tranzicije, ključni je aspekt ove inicijative određivanje najprikladnijeg modela upravljanja i operativnog rada sustava zajedničke razmjene energije. Tijekom faze planiranja identificirana su tri različita modela, svaki s različitim razinama uključenosti i odgovornosti fakulteta, vanjskih dionika te upravljanja geotermalnim energetske sustavom. Ovi modeli razvijeni su uzimajući u obzir financijsku održivost, operativne kapacitete, usklađenost s propisima te stupanj uključenosti akademske zajednice, posebno nastavnog osoblja i studenata.

Identificirani modeli predstavljaju različite pristupe uspostavi i radu Zajednice obnovljivih izvora energije (ZOIE). Razlikuju se u smislu izravne uključenosti fakulteta u razvoj i upravljanje geotermalnim sustavom, kao i u ulozi vanjskih subjekata poput HEP Toplinarstva, državne tvrtke za toplinsku energiju. Svaki model osmišljen je tako da omogući postupno proširenje sustava razmjene energije, podržavajući kako neposredne potrebe fakulteta, tako i šire ciljeve energetske tranzicije u Hrvatskoj.

U nastavku su detaljno prikazana tri modela, uz opis njihovih mogućih implikacija na upravljanje, distribuciju energije, uključivanje dionika te financijsku održivost.

Opcija 1: Fakulteti samostalno razvijaju i upravljaju sustavom

U ovom prvom modelu fakulteti preuzimaju punu odgovornost za razvoj, upravljanje i održavanje sustava geotermalne energije. Ovakav pristup naglašava samodostatnost i potpuni nadzor nad procesom dijeljenja energije. Dva fakulteta bila bi vlasnici i upravitelji geotermalne infrastrukture, dijelili proizvedenu energiju između sebe te snosili operativne i financijske obveze.

Fakulteti bi također upravljali tehničkim aspektima sustava, uključujući instalaciju, nadzor i održavanje, kao i financijsko upravljanje energetske sustavom. Uspostavila bi se interna energetska suglasnost kojom bi se osigurala pravična raspodjela energije temeljem obrazaca potrošnje i unaprijed definiranim kvotama.



Potrošnja energije pratila bi se digitalnom platformom za nadzor radi potpune transparentnosti. Ovaj model uključuje i aktivno sudjelovanje sveučilišnog osoblja i studenata, koji ne bi bili samo potrošači, već bi mogli postati i investitori u projekt. Kroz zajedničko financiranje, akademska zajednica — kako osoblje tako i studenti — dobila bi priliku ulagati u energetske sustav i sudjelovati u njegovom odlučivanju. Ovaj model potiče osjećaj lokalnog vlasništva i osnaživanja, što je u skladu s ciljevima Europske komisije za poticanje građanske uključenosti u projekte energetske tranzicije.

Upravljanje i sudjelovanje: Fakulteti bi uspostavili upravljačku strukturu zajednice u kojoj bi osoblje i studenti aktivno sudjelovali u donošenju odluka vezanih uz raspodjelu energije, formiranje cijena i proširenje sustava. Nadalje, članovi fakulteta mogli bi preuzeti ulogu energetskih menadžera, nadgledajući operativne aspekte sustava.

Izazovi i razmatranja: Iako ovaj model potiče neovisnost i lokalno vlasništvo, zahtijevao bi značajna ulaganja s strane fakulteta, kako za početnu infrastrukturu, tako i za kontinuirano poslovanje. Financijski teret mogao bi se ublažiti kroz prijave na EU potpore i nacionalne programe financiranja, no fakulteti bi morali upravljati svim aspektima energetskog sustava, što zahtijeva odgovarajuću tehničku stručnost.

- **Opcija 2: Fakulteti razvijaju sustav, a operativno upravljanje preuzima HEP Toplinarstvo**

U drugom modelu, fakulteti ostaju odgovorni za razvoj geotermalnog sustava, odnosno za njegovu izgradnju i početno uspostavljanje. Međutim, nakon što sustav zaživi, upravljanje i svakodnevno održavanje preuzima HEP Toplinarstvo, državna tvrtka specijalizirana za daljinsko grijanje. Time fakulteti ostaju vlasnici sustava, ali se ne bave izravnim upravljanjem njegovim radom.

Fakulteti i dalje koriste toplinsku energiju proizvedenu iz geotermalnog izvora, no sklapa se ugovor s HEP Toplinarstvom koje sustav integrira u širu mrežu daljinskog grijanja. Fakulteti kupuju potrebnu energiju prema dogovorenim cijenama koje uključuju troškove proizvodnje, održavanja i upravljanja.

Što se tiče upravljanja i uključenosti, iako operativne odgovornosti preuzima HEP Toplinarstvo, fakulteti ostaju aktivni sudionici kroz ugovor o dijeljenju energije u kojem se definiraju cijene, potrošnja i uloge svih uključenih strana. Nastavno osoblje i studenti i dalje prate rad sustava, no njihova uloga u odlučivanju ima više savjetodavni karakter.

Ovaj model umanjuje operativni teret fakultetima, ali istovremeno ograničava njihovu kontrolu nad cijenama i održavanjem sustava. S druge strane, povezivanjem na mrežu daljinskog grijanja, geotermalni sustav dobiva mogućnost opskrbe većeg broja korisnika, što donosi veće koristi i ekonomiju razmjera.

- **Opcija 3: Fakulteti prenose potpuno upravljanje na HEP Toplinarstvo**

U trećem modelu fakulteti u potpunosti odustaju od upravljanja, razvoja i operativnog vođenja geotermalnog energetskog sustava. U ovom slučaju, HEP Toplinarstvo preuzima punu odgovornost za integraciju geotermalnog sustava u mrežu daljinskog grijanja te prodaju toplinske energije fakultetima putem Ugovora o otkupu toplinske energije (UOT). Fakulteti ostaju isključivo potrošači energije, kupujući geotermalnu toplinu od HEP Toplinarstva po tržišnim cijenama.

HEP Toplinarstvo upravlja svim aspektima sustava, od instalacije do održavanja, te osigurava da višak proizvedene energije iz geotermalnog sustava bude vraćen u mrežu daljinskog grijanja. Time fakulteti



ostvaruju koristi od pouzdanog i obnovljivog izvora energije bez potrebe da se bave složenostima operativnog upravljanja sustavom.

Upravljanje i sudjelovanje: U ovom modelu fakulteti imaju manju izravnu kontrolu nad energetske sustavom, no i dalje mogu sudjelovati u suradnji s HEP Toplinarstvom putem savjetodavnog odbora u kojem su zastupljeni predstavnici fakultetskog osoblja i studenata. Ovi dionici imaju ulogu praćenja performansi sustava te osiguravanja da sustav zadovoljava njihove energetske potrebe.

Izazovi i razmatranja: Glavna prednost ovog modela je što se svi operativni i financijski rizici prebacuju na HEP Toplinarstvo, čime fakulteti nisu izloženi teretu upravljanja sustavom. Međutim, fakulteti imaju manju fleksibilnost u pogledu cijena i distribucije energije, budući da su ti aspekti regulirani uvjetima Ugovora o otkupu toplinske energije.

Svaki od tri predložena modela predstavlja različit put prema uspostavi održive i učinkovite zajednice obnovljive energije na Sveučilištu u Zagrebu. Odluka o izboru modela ovisit će o brojnim čimbenicima, uključujući razinu kontrole koju fakulteti žele zadržati, financijsku i tehničku sposobnost upravljanja sustavom te stupanj uključenosti vanjskih dionika poput HEP Toplinarstva.

U sljedećoj fazi projekta bit će potrebne dodatne konzultacije s dionicima, uključujući HEP Toplinarstvo, regulatorna tijela i potencijalne investitore, kako bi se procijenila izvedivost svakog modela i odabrao onaj koji najbolje odgovara dugoročnoj energetske strategiji sveučilišta. Bez obzira na odabrani model, projekt će pridonijeti širem cilju prijelaza na održiviji, decentralizirani energetske sustav u Hrvatskoj te će aktivno uključiti akademsku zajednicu u proces energetske tranzicije, osiguravajući pritom inkluzivnost i transparentnost.

Sva tri modela razvijena su u bliskoj suradnji s Savjetodavnom grupom projekta i Odborom za energetske zajednicu (CEB), čiji je glavni predstavnik gospodin Vladislav Brkić, dekan Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta. Ovaj zajednički razvojni proces osigurao je da svaki model odražava kako tehničke i institucionalne kapacitete Sveučilišta, tako i dugoročne strateške ciljeve energetske tranzicije.

Važno je istaknuti kako do danas u Hrvatskoj još nije implementiran nijedan model energetske zajednice u sektoru grijanja i hlađenja. Stoga ova inicijativa predstavlja pionirski pristup — uvođenje novog okvira upravljanja i poslovanja koji može poslužiti kao nacionalna referenca za buduće Zajednice obnovljive energije (ZOIE).

Od samog početka projekta svi dionici – uključujući rukovodstvo fakulteta, istraživače, tehničke stručnjake i administrativno osoblje – aktivno su sudjelovali u oblikovanju predloženih modela. Ovaj inkluzivni pristup proširen je i na akademsku zajednicu, posebice studente, čiji su stavovi sustavno prikupljeni putem strukturiranog upitnika. Cilj istraživanja bio je ispitati interes studenata za aktivno sudjelovanje i suvlasništvo u energetske zajednici, a dobiveni su rezultati izravno utjecali na oblikovanje mehanizama uključenosti unutar Modela 1, koji se pokazao kao najperspektivniji i najbolje usklađen pristup. S obzirom na njegov snažan potencijal za provedbu, angažman dionika i dugoročnu održivost, **Model 1 odbran je kao prioritetni model** te će biti detaljnije razrađen i opisan u sljedećim poglavljima.

3.3. Odabrani model: Samostalni razvoj i upravljanje sustavom od strane fakulteta

Model 1 predlaže da Rudarsko-geološko-naftni fakultet (RGNF) i Prehrambeno-biotehnoški fakultet (PBF) Sveučilišta u Zagrebu preuzmu punu odgovornost za razvoj, upravljanje i održavanje sustava geotermalne dizalice topline.



Ovaj decentralizirani model naglašava lokalno vlasništvo, tehničku autonomiju te blisku povezanost s akademskom zajednicom, posebice studentima. Model je usklađen s politikama Europske unije koje promiču energetska demokraciju, obrazovanje o održivosti i sudjelovanje građana u procesima energetske tranzicije.

Kako bi se procijenila izvedivost i spremnost za uspostavu studentske Zajednice obnovljive energije (ZOIE), pokrenuta je zajednička inicijativa fakulteta u suradnji s REGEA-om – Regionalnom energetskom i klimatskom agencijom Sjeverozapadne Hrvatske. Svjesni ključne uloge mladih i akademskih institucija u ubrzanju energetske tranzicije, osmišljen je i proveden ciljano usmjeren anketni upitnik za studente, s ciljem prikupljanja podataka o njihovoj svijesti, interesu i spremnosti za uključivanje u zajedničke inicijative temeljem obnovljivih izvora energije.

Ukupno je prikupljeno i analizirano 50 ispunjenih upitnika. Format upitnika dostavljen je u prilogu, zajedno sa 50 ispunjenih anketa koje čine dodatak ovom istraživanju. Ova anketa predstavlja temeljni korak u razvoju inkluzivnog i participativnog modela energetske zajednice, koji se gradi na temelju angažmana studenata, uz podršku obrazovne i institucionalne infrastrukture. U nastavku slijedi detaljan pregled rezultata ankete, praćen strateškim uvidima i početnim koracima implementacije, usmjerenim na pretvaranje studentskog interesa u konkretne aktivnosti.

1. Upoznatost sa pojmom energetske zajednice

Prvi cilj istraživanja bio je ispitati koliko su studenti upoznati s pojmom energetske zajednice. Rezultati su pokazali sljedeće:

- 20 % studenata (10 ispitanika) u potpunosti je upoznato s pojmom.
- 60 % studenata (30 ispitanika) djelomično je upoznato.
- 20 % studenata (10 ispitanika) nije upoznato s tim pojmom.

Iako velika većina studenata (80 %) ima barem osnovno poznavanje teme, relativno nizak udio onih koji su u potpunosti informirani ukazuje na potrebu za dodatnim edukacijama. Posebno je značajan podatak da 20 % studenata nema nikakvo znanje o energetskim zajednicama, s obzirom na to da je informiranost ključna za aktivno i odgovorno sudjelovanje. Važno je osigurati da svi studenti – neovisno o studijskom usmjerenju – steknu osnovno razumijevanje o tome što su energetske zajednice, kako funkcioniraju i na koji način se pojedinci mogu uključiti.

2. Zainteresiranost za sudjelovanje u energetskoj zajednici temeljeno na obnovljivim izvorima energije

Studentima je postavljeno pitanje u kojoj mjeri su zainteresirani za uključivanje u energetska zajednica koja se temelji na obnovljivim izvorima energije. Rezultati su sljedeći:

- 70 % studenata (35 ispitanika) izrazilo je veliki interes.
- 24 % studenata (12 ispitanika) pokazalo je umjeren interes.
- 4 % studenata (2 ispitanika) nije zainteresirano.
- 2 % studenata (1 ispitanik) nije sigurno.

Ovi podatci svjedoče o iznimno visokoj razini entuzijazma među studentima. Činjenica da je čak 94 % ispitanika iskazalo snažan ili umjeren interes jasno upućuje na to da ideja energetske zajednice utemeljene na obnovljivim izvorima energije snažno odjekuje u studentskoj populaciji. Takav rezultat pruža čvrst društveni temelj za uspostavu energetske zajednice te opravdava hitno pokretanje pripremnih aktivnosti i



uključivanje zainteresiranih sudionika. Izrazito nizak udio nezainteresiranih dodatno potvrđuje da studenti u ovoj inicijativi prepoznaju višestruku vrijednost – obrazovnu, ekološku, ali i osobnu.

3. Spremnost na financijski doprinos (do 50 €)

Pitanje o financijskoj spremnosti studenata imalo je za cilj ispitati njihovu volju da osobnim novčanim doprinosom podupru rad energetske zajednice. Dobiveni rezultati su sljedeći:

- 68 % studenata (34 ispitanika) spremno je izdvojiti do 50 eura.
- 18 % (9 ispitanika) pokazalo je uvjetnu spremnost, ovisno o okolnostima.
- 14 % (7 ispitanika) nije voljno financijski sudjelovati.

Dobiveni rezultati jasno ukazuju na izražen osjećaj pripadnosti i ozbiljnosti kojom studenti pristupaju inicijativi uspostave energetske zajednice. Iako je predviđeni novčani doprinos relativno skroman, sama spremnost na financijsko sudjelovanje pokazuje volju da se projekt podupre ne samo idejno, već i konkretnim djelovanjem. Ovo je osobito značajno uzme li se u obzir činjenica da studenti često raspolažu ograničenim financijskim sredstvima.

Udio od 18 % studenata koji izražavaju uvjetnu spremnost dodatno naglašava važnost transparentne i pravodobne komunikacije – osobito o načinu upravljanja sredstvima te o konkretnim koristima koje proizlaze iz sudjelovanja. Ispune li se ti preduvjeti, opravdano je očekivati još snažniji odaziv i višu razinu angažmana.

4. Uključenje u akademske sadržaje i istraživački rad

Akademska dimenzija projekta vrednovana je pitanjem o zainteresiranosti studenata za povezivanje energetske zajednice sa studijskim obvezama i istraživačkim aktivnostima. Rezultati su sljedeći:

- 82 % studenata (41 ispitanik) želi uključiti projekt u sklop kolegija, seminarskih radova, projekata ili završnih/diplomskih radnji.
- 10 % (5 ispitanika) otvoreno je za tu mogućnost, ovisno o raspoloživosti.
- 8 % (4 ispitanika) ne iskazuje interes za akademsko povezivanje projekta.

Iz rezultata je razvidno da postoji izuzetno snažna volja studenata za integraciju projekta u vlastiti akademski razvoj. Takva usklađenost između akademskih ciljeva i projektne prakse otvara prostor za dugoročan interes i kontinuiranu podršku. Posebno je to slučaj kada se studentima ponude bodovane aktivnosti, mentorska podrška ili mogućnost obrade relevantnih tema u sklopu završnih i diplomskih radova.

Ovakav oblik integracije dodatno osnažuje potencijal projekta za institucionalno priznanje i podršku, bilo kroz nastavne planove i programe, suradnju s nastavnim osobljem, ili kroz prijave za europske fondove koji promiču obrazovanje, istraživanje i aktivno sudjelovanje mladih u zelenoj tranziciji i klimatskim inicijativama.

5. Spremnost na volonterski angažman

Volontiranje, kao oblik aktivnog, nefinancijskog doprinosa zajednici, također je bilo predmet ispitivanja. Rezultati su pokazali sljedeće:

- 62 % studenata (31 ispitanik) izrazilo je spremnost na volonterski angažman.
- 28 % (14 ispitanika) razmotrilo bi volontiranje, ovisno o osobnim obvezama i vremenskoj dostupnosti.
- 10 % (5 ispitanika) nije spremno sudjelovati u volonterskim aktivnostima.



Ovi podatci govore u prilog činjenici da značajan broj studenata ne samo da podupire ideju energetske zajednice, već je voljan uložiti i vlastito vrijeme i trud u njezinu provedbu. Upravo su ti resursi – vrijeme i osobni angažman – ključni za održivost svake inicijative vođene odozdo, odnosno iz zajednice.

Međutim, zamjetan udio onih koji su neodlučni ukazuje na potrebu za fleksibilnim pristupom organizaciji volontiranja, uz jasno definirane uloge i očekivanja. Ponuda kratkoročnih, konkretno usmjerenih zadataka, kao i priznavanje volontiranja putem potvrda, bodova ili javnog priznanja, može dodatno potaknuti sudjelovanje i pretvoriti pasivnu naklonost u dugoročnu uključenost.

6. Uloga studenata u upravljanju i nadzoru

U završnom dijelu istraživanja, studenti su upitani o svom mišljenju vezanom uz mogućnost sudjelovanja u upravljačkim i nadzornim strukturama Zajednice za obnovljivu energiju. Rezultati su sljedeći:

- 88 % studenata (44 ispitanika) podržava aktivno uključivanje studenata u upravljanje.
- 10 % (5 ispitanika) neodlučno je ili nema jasno formirano mišljenje.
- 2 % (1 ispitanik) protivi se studentskom sudjelovanju u upravljačkim procesima.

Ova izrazito visoka razina podrške studentskoj uključenosti u upravljanje ukazuje na to da studenti projekt ne doživljavaju tek kao gotovu strukturu kojoj se treba priključiti, već kao otvoren prostor u kojem žele preuzeti odgovornost, donositi odluke i oblikovati njegov razvoj. Takva participativna orijentacija odražava snažnu težnju za osnaživanjem mladih, a ujedno se nadovezuje na europske vrijednosti uključivanja mladih u donošenje odluka, održivost i razvoj lokalnih zajednica.

Upravljanje zajednicom pritom ne nosi samo koristi za samu inicijativu, već i za same studente, omogućujući im razvoj organizacijskih, komunikacijskih i liderskih vještina, koje su iznimno važne u njihovom profesionalnom i društvenom sazrijevanju.

Rezultati istraživanja jasno ukazuju na visoku razinu informiranosti, motiviranosti i spremnosti studenata za aktivno sudjelovanje u stvaranju i razvoju Zajednice za obnovljivu energiju. Bilo da je riječ o financijskoj potpori, uključivanju u nastavu i istraživanje, volonterskom radu ili upravljačkoj ulozi, studenti pokazuju snažan interes i osjećaj odgovornosti.

Ovakav potencijal predstavlja čvrstu osnovu za uspostavu zajednice koja će biti istinski vođena od strane svojih članova, a njezino sidrenje u akademskom okruženju dodatno osnažuje mogućnosti njezina razvoja, širenja i dugoročne održivosti.

Kako bi se ovaj snažan zamah pretočio u sustavne i promišljene korake, u prvoj fazi razvoja Zajednice obnovljive energije preporučuju se sljedeće strateške mjere:

- **Osnivanje studentske inicijativne skupine** – Sastaviti radnu skupinu od studenata različitih akademskih profila, uz stručnu podršku i mentorstvo fakultetskih profesora. Ova skupina zajednički će oblikovati misiju, temeljne vrijednosti i organizacijsku strukturu REC-a, postavljajući tako čvrste temelje za daljnji razvoj.
- **Pokretanje kampanje za podizanje svijesti i uključivanje** – Usmjeriti se na studente s ograničenim znanjem o konceptu energetske zajednice putem informativnih predavanja, vizualnih materijala i interaktivnih radionica. Cilj ove kampanje je osigurati široku uključenost i unaprijediti opću energetska pismenost, gradeći tako temelj za aktivno sudjelovanje.



- **Povezivanje s akademskom zajednicom** – Uspostaviti suradnju s fakultetskim odjelima radi integracije REC-a u studijske programe, kroz izborna predavanja, teme seminarskih radova i znanstvena istraživanja usmjerena na područja energetike, upravljanja i održivosti.
- **Izrada modela financijskog sudjelovanja** – Osmisliti transparentan, dobrovoljan i pristupačan model financijskog doprinosa, s različitim pragovima (npr. 10 €, 25 €, 50 €), koji će studentima omogućiti da prema vlastitim mogućnostima podrže inicijativu. Ključno je jasno komunicirati svrhu i način korištenja prikupljenih sredstava.
- **Razvoj volonterskog programa** – Uspostaviti fleksibilan volonterski okvir s jasno definiranim ulogama i vremenskim obvezama, pružajući pritom mogućnosti za stjecanje dodatnih vještina i formalno priznavanje angažmana putem certifikata ili akademskih priznanja, čime se potiče trajno uključivanje.
- **Formalizacija upravljačkih i nadzornih tijela** – Izraditi interni statut i demokratski model upravljanja, uz izbor ključnih funkcija poput predsjednika i rizničara. Savjetodavnu ulogu dodijeliti predstavnicima REGEA-e i sveučilišnog osoblja, osiguravajući time stručnost, usklađenost i transparentnost u vođenju zajednice.

Ova inicijativa predstavlja iznimnu priliku da se studenti postave u prvi plan zelene tranzicije. Rezultati istraživanja jasno potvrđuju snažne temelje interesa, predanosti i entuzijazma među studentskom populacijom, pokazujući spremnost za osnivanje studentske Zajednice obnovljive energije. Uz koordiniranu potporu sveučilišnih fakulteta, stručno mentorstvo REGEA-e te jasnu strategiju provedbe, ovaj REC ima potencijal postati svjetionik mladenačke klime akcije, akademske inovacije i društvenog angažmana.

Visoka razina interesa za aktivnim sudjelovanjem – bilo kroz financijske doprinose, volontiranje ili uključivanje u akademska istraživanja – naglašava sposobnost ove inicijative da potakne duboko i dugotrajno angažiranje studenata. Posebno je značajno što su studenti izrazili snažnu želju za preuzimanjem vodstva u oblikovanju smjera zajednice, što ukazuje na robustan potencijal za demokratsko upravljanje i dugoročnu odgovornost za projekt.

Kako bi se u potpunosti iskoristio ovaj potencijal, nužne su ciljne aktivnosti koje će ukloniti postojeće praznine u znanju, osobito vezano uz koncept energetske zajednice. Povećanje svijesti kroz edukativne programe i osiguravanje fleksibilnih i dostupnih mogućnosti volontiranja pomoći će u uključivanju šireg spektra studenata. Istovremeno, usklađivanje projekta s nastavnim i istraživačkim aktivnostima dodatno će povećati njegovu akademsku vrijednost i praktični učinak.

U svojoj srži, nalazi ne pokazuju samo spremnost, već i jasno izraženu želju studenata da doprinesu i su kreiraju održivu energetske budućnost. Uz odgovarajuće institucionalne okvire, integraciju u obrazovanje i uključive strategije angažmana, ova inicijativa može prerasti u primjer koji se može replicirati i koji će istovremeno poticati ostvarenje energetske politike Europske unije te obrazovnu misiju visokih učilišta.

3.4. Organizacijska i upravljačka struktura projekta energetske zajednice

Following a comparative evaluation of three proposed governance and operational models for the development of a renewable-based heating and cooling system within the ConnectHeat initiative, Model 1 has been selected as the most optimal and strategically aligned. This model places full responsibility for the development, operation, and maintenance of a geothermal heat pump system under the joint leadership of the Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering (RGNF) and the Faculty of Food Technology and Biotechnology (PBF) at the University of Zagreb.



Nakon pomnog usporednog razmatranja triju predloženih modela upravljanja i operativnog djelovanja u okviru razvoja sustava grijanja i hlađenja temeljenog na obnovljivim izvorima, unutar inicijative ConnectHeat, kao najoptimalniji i strateški usklađen odabran je Model 1. Ovaj model povjerava punu odgovornost za razvoj, upravljanje i održavanje geotermalnog sustava pod zajedničko vodstvo Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta (RGNF) i Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta (PBF) Sveučilišta u Zagrebu.

Decentralizirana priroda ovog modela potiče institucionalnu autonomiju, jača osjećaj lokalnog vlasništva te omogućava duboku povezanost s akademskom zajednicom i studentskim kolektivima, pri čemu ostaje u potpunosti usklađen s politikama Europske unije koje promiču održivost, energetska demokraciju i obrazovnu inkluziju u kontekstu zelene tranzicije.

Rudarsko-geološko-naftni fakultet stoljećima gradi stručnost u području geotermalnih sustava, hidrogeologije i podzemnih energetske tehnologije, dok Prehrambeno-biotehnološki fakultet unosi znanja iz područja okolišnih sustava, biotehnologije i optimizacije održivih procesa. Spojem ovih dvaju interdisciplinarnih ekspertiza stvara se čvrsta osnova za uspješnu realizaciju i dugoročno upravljanje sustavom grijanja i hlađenja pomoću energije iz zemlje. Njihova samostalnost u planiranju, izvedbi i upravljanju sustavom znatno smanjuje potrebu za angažmanom vanjskih izvođača ili komercijalnih partnera.

Model 1 osigurava da potpuna kontrola ostane u rukama samih fakulteta. Ovaj decentralizirani model upravljanja u potpunosti korespondira s vrijednostima Europske unije o energetskej demokraciji, pružajući javnim institucijama mogućnost da postanu nositelji prijelaza prema obnovljivim izvorima energije kroz inicijative vođene zajednicom. Time se odgovara na poziv EU-a lokalnim akterima da preuzmu odgovornost za razvoj čistih energetske rješenja u duhu Zelene agende i programa REPowerEU.

Jedna od ključnih snaga ovog modela jest njegova uska povezanost s akademskom misijom oba fakulteta. Studenti će imati priliku uključiti se u stvarne, primjenjive projekte obnovljive energije kroz:

- Izrada tehničkih simulacija
- Praćenje i analiza okolišnih učinaka
- Obrada podataka i priprema izvještaja
- Procjena politika i njihova komunikacija
- Volonterski angažman i vođenje unutar Zajednice za obnovljivu energiju

Ovakvo praktično iskustvo nadopunjuje akademsko obrazovanje primijenjenim istraživanjem, razvojem vještina i razumijevanjem klimatskih izazova, čime se oblikuje nova generacija stručnjaka osposobljenih za vođenje europske energetske tranzicije.

Model 1 ujedno konkretizira ključne energetske i klimatske politike Europske unije kroz sljedeće ciljeve:

- Poticanje uporabe obnovljivih tehnologija grijanja i hlađenja, poput geotermalne energije, u skladu s ciljevima inicijativa Fit for 55 i REPowerEU
- Omogućavanje projekata zajedničke proizvodnje energije pod vodstvom građana – u ovom slučaju, studenata
- Jačanje povezanosti akademskih institucija s klimatskim djelovanjem
- Podršku pravednoj i uključivoj energetskej tranziciji putem angažmana javnog sektora

Ovaj model upravljanja lako je prilagodljiv drugim sveučilištima i javnim institucijama diljem Europe, čime se nameće kao skalabilan prototip. Sveučilište u Zagrebu time ima priliku pozicionirati se kao predvodnik među



visokoobrazovnim institucijama koje ne sudjeluju u klimatskom djelovanju isključivo kroz obrazovanje i znanost, već i kroz konkretno upravljanje infrastrukturom temeljenom na obnovljivim izvorima energije.

Za razliku od modela kojima upravljaju vanjski partneri, Model 1 omogućuje unutarnje reinvestiranje operativnih ušteda. Takvi financijski viškovi mogu se usmjeriti na:

- daljnje proširenje sustava
- studentske inovacijske projekte
- znanstvena istraživanja pod vodstvom nastavnog osoblja
- osposobljavanje i jačanje kapaciteta tehničkog osoblja i studenata

Ovakav samoodrživi ciklus dodatno osnažuje dugoročnu održivost sustava te je u potpunosti usklađen s ciljevima Europske unije o razvoju otporne infrastrukture temeljene na zajedničkom djelovanju lokalnih zajednica.

Model 1 predstavlja optimalan put za Sveučilište u Zagrebu i njegovu Zajednicu obnovljive energije. On odražava zajedničku predanost fakulteta, studenata i šire društvene zajednice u stvaranju tehnički pouzdanog, društveno uključivog i okolišno održivog energetskeg sustava.

Odabirom ovog decentraliziranog modela postavlja se čvrst temelj za dugoročnu uključenost dionika, izvrsnost u obrazovanju i praktično vodstvo u području klimatskih politika. Štoviše, ovaj pristup povećava relevantnost inicijative na razini Europske unije nudeći model koji se može prenijeti na druga sveučilišta — model koji povezuje učenje s konkretnim okolišnim učinkom. Takav pristup ne odgovara samo na tehničke i akademske potrebe Sveučilišta, već izravno podupire prioritete europskih politika, pokazujući kako visokoobrazovne ustanove mogu iznutra predvoditi energetske tranziciju.

Predložena Zajednica obnovljive energije čiji je cilj proizvodnja i dijeljenje obnovljive energije za grijanje i hlađenje na Sveučilištu u Zagrebu, predstavlja pionirsku inicijativu u hrvatskom energetskeg sektoru. Projekt je osmišljen u skladu s hrvatskim Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji, koji definira Zajednice obnovljive energije kao pravno priznate subjekte, i ima za cilj razvoj inovativnog, održivog i suradničkog pristupa proizvodnji i potrošnji energije.

U svojoj srži, ova inicijativa je rezultat suradnje dvaju fakulteta – Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta (RGNF) i Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta (PBF). Integracijom lokalno proizvedene obnovljive energije i uključivanjem akademske zajednice u proces ulaganja, projekt se usklađuje s direktivama Europske unije i podupire prijelaz Hrvatske prema decentraliziranim i održivim energetskeg rješenjima.

Energetska zajednica bit će uspostavljena kao Zajednica obnovljive energije, u skladu s važećim hrvatskim zakonodavstvom. Radi osiguranja dugoročne održivosti te usklađenosti s nacionalnim i europskim regulatornim okvirom, upravljačka i organizacijska struktura temeljit će se na načelima demokratskog upravljanja. Fakulteti će, u suradnji s drugim relevantnim dionicima, sklopiti pravno obvezujući sporazum o formiranju zajednice za zajedničko korištenje energije.

Model dijeljenja energije omogućit će da oba fakulteta raspolažu energijom sukladno stvarnim potrebama potrošnje, uz transparentan sustav raspodjele koji promiče pravičnost i učinkovitost.



- **Distribucija energije:**
 - Geotermalna energija proizvedena u sklopu sustava bit će raspodijeljena između dvaju fakulteta prema unaprijed definiranim kvotama potrošnje. Potrošnja svakog fakulteta nadzirat će se i izračunavati putem digitalne platforme za praćenje u stvarnom vremenu. Bit će uspostavljen Interni sporazum o energetske usluzama, kojim će se jasno definirati cijene energije, kvote potrošnje te odgovornosti za održavanje i upravljanje sustavom između dvaju fakulteta.
- **Distribucija viška energije:**
 - U slučaju da se proizvede višak energije (tj. kada proizvodnja nadmaši ukupnu potrošnju fakulteta), taj će se višak preusmjeriti u sustav centralnog grijanja kojim upravlja HEP Toplinarstvo. Time se omogućuje prodaja viškova na širem energetske tržištu, što Sveučilištu omogućuje ostvarenje prihoda i aktivan doprinos povećanju udjela obnovljivih izvora u nacionalnom energetske miksu.
- **Formiranje cijene energije:**
 - Cijena energije koju troše pojedini fakulteti određivat će se na temelju stvarnih troškova proizvodnje, održavanja i rada sustava, kao i tržišne vrijednosti prodane viškove energije. Predloženi model cijena osigurat će transparentnost i pravednost, uz redovite revizije koje će omogućiti prilagodbu tržišnim promjenama.

Jedna od ključnih značajki predloženog modela Zajednice obnovljive energije (ZOE) jest aktivno sudjelovanje akademske zajednice – koju čine nastavno i nenastavno osoblje te studenti – u procesu ulaganja i odlučivanja. U ovom kontekstu, pojam „građani“ odnosi se upravo na članove sveučilišne zajednice koji djeluju kao temeljni dionici unutar zajednice. Kroz zajedničko financiranje, ti dionici imaju priliku postati aktivni sudionici u energetske zajednici. Ovakav pristup ne samo da osigurava financijsku održivost projekta, već potiče osjećaj lokalnog vlasništva, čime se proces energetske tranzicije čini uključivim i pravednim.

Sveučilišno osoblje i studenti imat će mogućnost suupravljanja, zajedničkog ulaganja te ostvarivanja koristi kroz podjelu dobiti od prodaje energije ili kroz smanjenje troškova potrošnje. Također će aktivno sudjelovati u demokratskom upravljanju zajednicom i donošenju odluka vezanih uz energetske politiku projekta. Ovakva razina angažmana u potpunosti je usklađena s politikama Europske komisije koje podupiru uključivanje građana u energetske inicijative – u ovom slučaju, studenti i zaposlenici predstavljaju upravo tu građansku komponentu.

Početna faza projekta temeljenog na geotermalnoj energiji usmjerena je na podmirenje energetske potreba dvaju fakulteta. No, dugoročna vizija predviđa mogućnost širenja modela dijeljenja energije na druge zgrade Sveučilišta, okolne ustanove ili lokalne dionike. Takav razvoj omogućit će postupno stvaranje šire integrirane mreže obnovljive energije, čime se doprinosi uspostavi održivijeg i učinkovitijeg energetske sustava u službi čitave zajednice.

- **Skalabilnost energetske sustava:**
 - Geotermalni sustav bit će projektiran s posebnom pažnjom na mogućnost budućeg proširenja. Infrastruktura će omogućiti fazno povećanje kapaciteta proizvodnje i distribucije, čime će se omogućiti priključenje dodatnih zgrada i korisnika iz neposrednog okruženja.
 - Među budućim korisnicima mogli bi se naći i drugi fakulteti te lokalne javne ustanove, koje bi time ostvarile pristup čistoj i održivoj energiji iz geotermalnog izvora.
- **Integracija s mrežom daljinskog grijanja:**
 - Kako projekt bude rastao, višak energije proizveden proširenjem geotermalnog sustava mogao bi se sve više integrirati u gradski sustav daljinskog grijanja.

○



- Time bi se omogućila šira primjena obnovljivih izvora energije u urbanim sredinama, dodatno smanjujući ovisnost o fosilnim gorivima i izravno pridonoseći nacionalnim i europskim klimatskim ciljevima.
- **Financijski aspekti i poticaji:**
 - Proširenje sustava bit će potpomognuto kontinuiranim sredstvima iz fondova Europske unije, kao i potencijalnim ulaganjima Grada Zagreba, lokalnih energetske poduzeća i privatnih investitora zainteresiranih za obnovljive izvore energije. Istražit će se odgovarajući financijski mehanizmi koji će osigurati pokrivanje troškova proširenja, a pritom očuvati financijsku održivost projekta.
 - Posebnu ulogu imat će programi poput Horizon Europe i drugi fondovi usmjereni na potporu energetske tranziciji, koji mogu znatno pridonijeti širenju kapaciteta.
- **Uključivanje dionika:** Jasna strategija za uključivanje dionika bit će ključna za proces skaliranja projekta. Kako se zajednici obnovljive energije budu priključivali novi korisnici, od presudne će važnosti biti osigurati njihovo aktivno sudjelovanje u procesima donošenja odluka te održati transparentnost u pogledu raspodjele energije, određivanja cijena i upravljačkih struktura. To može uključivati izradu novih sporazuma te razvoj dodatnih partnerskih odnosa s lokalnim vlastima, energetske poduzećima, ali i, potencijalno, drugim sveučilištima i obrazovnim institucijama. Razvoj energetske zajednice i njezinog operativnog modela provodit će se u suradnji sa sljedećim dionicima, uz puno poštivanje obveza i prava koje Zajednica obnovljive energije (REC) mora ispuniti u skladu s važećim zakonodavnim okvirom:
- **Rudarsko-geološko-naftni fakultet (RGNF) i Prehrambeno-biotehnološki fakultet (PBF):** Djeluju kao proizvođači i potrošači energije (tzv. prosumeri), aktivno sudjelujući u proizvodnji i korištenju obnovljive energije.
- **Grad Zagreb:** Pruža regulatornu podršku te sudjeluje u procesima prijave na natječaje za financiranje.
- **REGEA – Regionalna energetska i klimatska agencija sjeverozapadne Hrvatske:** Osigurava tehnički nadzor i administrativnu podršku tijekom provedbe projekta.
- **Hrvatska energetska regulatorna agencija (HERA):** Prati usklađenost projekta s nacionalnim energetske zakonodavstvom i regulativom.
- **Hrvatske vode d.o.o.:** Odgovorne su za izdavanje dozvola za korištenje vodnih resursa te nadzor nad usklađenošću s propisima o zaštiti okoliša.
- **HEP Toplinarstvo:** Djeluje kao vanjski operater zadužen za integraciju geotermalnog sustava u širu mrežu daljinskog grijanja, upravljanje distribucijom viška proizvedene energije te održavanje i operativni nadzor sustava.
- **Nacionalna tijela za financiranje:** Pružaju financijsku potporu za razvoj i širenje projekta.

Zajednice obnovljive energije predstavljaju ključan korak prema decentraliziranom, pravednom i održivom energetske sustavu u Hrvatskoj. Uz potporu odgovarajućeg zakonodavnog okvira i pilot-projekata poput inicijative ConnectHeat, otvara se značajan prostor za njihovo širenje – osobito u specifičnim okruženjima poput visokih učilišta i javnog sektora.

3.5. Plan provedbe projekta

Studija izvedivosti za dekarbonizaciju sustava grijanja i hlađenja na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu (RGNF) uspješno je dovršena, čime je zaključena početna faza projekta. Studiju je izradila skupina vanjskih stručnjaka, a rezultati jasno potvrđuju tehničku i ekonomsku opravdanost implementacije sustava grijanja i hlađenja temeljenog na kombinaciji dizalica topline voda–voda i zrak–voda. Ovakvo rješenje prepoznato je kao najoptimalniji pristup potpunoj dekarbonizaciji objekta, uz istovremeno učinkovito rješavanje postojećih prostornih i infrastrukturnih ograničenja unutar kompleksa fakulteta.



Zbog određenih regulatornih prepreka na nacionalnoj razini, provedba predloženog modela trenutačno se suočava s izazovima. Ključni nacionalni propis — Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (ZOIEVK) — trenutačno je u fazi javnog savjetovanja, koje traje do kraja ožujka 2025. godine. Ovim se zakonodavnim izmjenama nastoji uskladiti nacionalni okvir s regulativom Europske unije te dodatno potaknuti korištenje obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj. Neki od predviđenih noviteta uključuju:

- Povećanje nacionalnog cilja udjela obnovljivih izvora energije na 42,5 % ukupne finalne potrošnje energije do 2030. godine.
- Od 1. siječnja 2026. godine, kupci s vlastitom proizvodnjom (tzv. samoopskrbljivači) više neće biti izuzeti od naknada za korištenje mreže i drugih davanja prilikom preuzimanja električne energije iz mreže.
- Uvođenje novih pravila i poticaja za vlastitu potrošnju, uz jačanje razvoja energetske zajednice obnovljivih izvora.
- Uspostavu pravila za registraciju zajednica, izradu plana razvoja elektroenergetske mreže te integraciju sustava za pohranu energije, u svrhu učinkovitijeg uključivanja obnovljivih izvora.
- Jasnije definiranje uloge aktivnih potrošača, uz mogućnost razmjene energije između različitih lokacija, uz plaćanje naknade za korištenje mreže.

Zasad još uvijek ne postoje jasne zakonske definicije niti regulatorne smjernice koje bi precizno uredile modele dijeljenja energije, osobito u pogledu razmjene energije, unutarnje prodaje unutar energetske zajednice te pripadajućih troškova. Takva pravna neujednačenost predstavlja ozbiljnu tehničku, pravnu i financijsku prepreku za konkretnu provedbu energetske zajednice u Hrvatskoj.

Očekuje se da će, nakon usvajanja predloženih zakonskih izmjena, u roku od šest mjeseci biti donesen novi zakon koji će ponuditi jasnije smjernice i omogućiti daljnji napredak projekta. Za prelazak projekta u fazu provedbe, potrebno je ispuniti niz ključnih koraka, uključujući osiguravanje relevantnih suglasnosti, dozvola te investicijskih sredstava.

U ovoj fazi dovršena je isključivo studija izvedivosti. Još nisu pribavljena formalna odobrenja, niti su započeti radovi na terenu. Kako bi projekt prešao u fazu konkretne realizacije, potrebno je prikupiti sljedeću dokumentaciju i ishoditi odgovarajuće suglasnosti:

- **Imovinsko-pravni odnosi i odobrenja za korištenje zemljišta:** Ukoliko zemljište predviđeno za instalaciju sustava nije u vlasništvu fakulteta, potrebno je prethodno osigurati formalne sporazume s nadležnim vlasnicima nekretnina. Proces ishođenja građevinske dozvole uvelike ovisi o riješenim imovinsko-pravnim odnosima, a moguća kašnjenja u dobivanju suglasnosti mogu znatno usporiti dinamiku projekta.
- **Građevinske i okolišne dozvole:** Za početak radova nužno je pribaviti niz regulatornih odobrenja, uključujući: građevinsku dozvolu (s obzirom na intervencije u postojeći sustav grijanja i hlađenja), vodopravnu dozvolu (budući da će se za obnovljivi izvor energije koristiti podzemna voda), procjenu utjecaja na okoliš, ako je tako propisano od strane nadležnih tijela.
- **Tehnička i projektna dokumentacija:** Projekt mora proći kroz tri razine projektiranja:
 1. Idejni projekt
 2. Glavni projekt
 3. Izvedbeni projekt (opcionalno, ovisno o zakonskim zahtjevima)
- **Nabava opreme i instalacija sustava:** Nakon pribavljanja svih potrebnih dozvola i suglasnosti, slijedi nabava dizalica topline (geotermalnih i zrak–voda), kao i pripadajuće infrastrukture. U ovoj fazi također će se izvršiti potrebne preinake postojeće kotlovnice kako bi se prilagodila novom sustavu.



- **Regulatorna usklađenost i integracija u energetska sustav:** Za nesmetanu integraciju novog sustava u postojeću energetska infrastrukturu, potrebno je ishoditi odobrenja od strane nadležnih energetskih i komunalnih tijela. Osim toga, obvezno je provođenje postupaka javne nabave u skladu s pravilima korištenja sredstava iz fondova Europske unije, kako bi se osigurala transparentnost i ravnopravnost u postupku odabira izvođača.

Jedan od presudnih čimbenika koji oblikuje vremenski tijek realizacije ovoga projekta jest status vlasništva nad zemljištem na kojem je planirana intervencija. Kako bi se ishodila građevinska dozvola, potrebno je prethodno pribaviti suglasnost vlasnika predmetne čestice, a vrijeme potrebno za ostvarenje te suglasnosti teško je unaprijed precizno predvidjeti zbog brojnih varijabli i administrativnih okolnosti koje na to mogu utjecati. Ukupno trajanje projekta uvelike će ovisiti o dinamici dobivanja potrebnih dozvola, kao i o pravovremenom rješavanju imovinsko-pravnih odnosa. Studija izvedivosti jasno ističe kako bi moguća administrativna kašnjenja, osobito u vezi s vlasništvom zemljišta, mogla značajno utjecati na ukupni vremenski raspored provedbe.

Unatoč tim izazovima, predloženo tehničko rješenje – sustav koji objedinjuje dizalice topline tipa voda–voda i zrak–voda – nudi inovativan, ekonomičan i energetska učinkovit model. Ovakav sustav ne samo da omogućuje znatne financijske uštede i smanjenje emisija stakleničkih plinova, već ima potencijal postati ogledni primjer energetska održive tranzicije unutar akademska zajednice.

3.6. Rizici

Nekoliko ključnih rizika može utjecati na provedbu projekta. Ti rizici proizlaze iz regulatornih, financijskih, tehničkih i tržišnih neizvjesnosti.

Projekt je podložan nacionalnim i EU regulatornim okvirima koji reguliraju sustave obnovljive energije, upravljanje vodnim resursima te građevinska djelatnost. Moguće promjene u:

- energetska i okolišnoj regulativi mogle bi zahtijevati dodatne prilagodbe planiranog sustava,
- procesima odobrenja dozvola koje bi mogle dovesti do neočekivanih kašnjenja,
- zakonodavnim izmjenama ili novim državnim politikama koje bi mogle promijeniti mehanizme financiranja ili zahtjeve za usklađenost.

Ekonomska održivost projekta ovisi o troškovima ulaganja, cijenama energije i financijskim uštedama. Ključni financijski rizici uključuju:

- prekoračenje proračuna zbog nepredviđenih troškova infrastrukture,
- promjene u politikama određivanja cijena energije koje bi mogle utjecati na ostvarene uštede,
- kašnjenja u osiguravanju sredstava iz EU ili nacionalnih fondova, što može utjecati na novčani tok za provedbu projekta.

S obzirom na složenost projekta, kašnjenja u pribavljanju prava vlasništva i dozvola predstavljaju značajan rizik. Ukoliko odobrenja za korištenje zemljišta ne budu osigurana, projekt bi mogao doživjeti znatna odgađanja ili biti primoran na alternativni odabir lokacije, što dodatno povećava troškove i vremenske okvire.

Postojeća prostorna i infrastrukturna ograničenja na fakultetu predstavljaju izazove za instalaciju sustava. Studija izvedivosti ukazala je na ključne tehničke rizike:



- prilagodba postojeće kotlovnice može zahtijevati dodatne intervencije,
- osiguranje kompatibilnosti sa sustavima distribucije grijanja i hlađenja može predstavljati dizajnerske i inženjerske izazove.

Uspješna realizacija projekta zahtijeva pristup kvalificiranim stručnjacima, dobavljačima i izvođačima radova. Rizici uključuju:

- Promjene u cijenama električne energije koje utječu na operativne troškove.
- Promjene u poticajnim politikama za obnovljive izvore energije koje bi mogle utjecati na povrat ulaganja u projekt.

Unatoč ovim rizicima, studija izvedivosti jasno pokazuje da je predložena konfiguracija sustava — kombinacija voda-voda i zrak-voda toplinskih pumpi — najizvedivije i najučinkovitije rješenje za postizanje potpune dekarbonizacije sustava grijanja i hlađenja Fakulteta.

Implementacija ovog sustava predstavlja značajan korak prema održivoj energetskej tranziciji te služi kao skalabilan model za druge akademske ustanove. Uz primjenu odgovarajućih strategija upravljanja rizicima, pravovremeno dobivanje regulatornih odobrenja i snažno vođenje projekta, ovaj projekt ima potencijal postati vodeći primjer dekarbonizacije u sektoru obrazovanja.

Dugoročni cilj jest stvoriti model koji se može replicirati u drugim akademskim i gradskim institucijama diljem Hrvatske i EU, postavivši presedan za uspostavu Zajednica obnovljive energije u sektoru grijanja i hlađenja.

Ova inicijativa predstavlja transformacijski korak prema energetskej neovisnosti i održivosti na Sveučilištu u Zagrebu. Kreiranjem prve Zajednice obnovljive energije za grijanje i hlađenje u Hrvatskoj, projekt postaje nacrt za buduće mreže zajedničke proizvodnje i korištenja energije. Kroz zajednička ulaganja, aktivno sudjelovanje akademske zajednice i usklađenost s EU i hrvatskim energetskej politikama, ovaj model ne samo da osigurava financijsku održivost, već i postavlja temelje za širu tranziciju prema decentraliziranoj proizvodnji obnovljive energije.

Uspješna provedba ovog projekta uspostaviti će otporniji i skalabilniji okvir za dijeljenje energije, doprinoseći klimatskej ciljevima Hrvatske i pokazujući kako akademske institucije mogu predvoditi energetskej tranziciju. Prevladavanjem regulatornih, financijskih i tehničkih izazova, ovaj projekt spreman je postati pionirski primjer uspješne uspostave i širenja Zajednica obnovljive energije u Hrvatskoj i šire.



Popis literature

- [1] Gjuras, I. (2018). Eksperimentalna analiza geotermalne dizalice topline u režimu grijanja (*Završni rad*). Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- [2] Boban, L. (2019). Eksperimentalna i teorijska istraživanja geotermalne dizalice topline (*Doktorska disertacija*). Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- [3] Soldo, V., Ruševljan, J., Ćurko, T. Ispitivanje geotermalne dizalice topline s probnom bušotinom dubine 100 m.
- [4] Macenić, M., Strpić, K., Kurevija, T. (2018). Sustavni pregled istraživanja i korištenja plitke geotermalne energije u Hrvatskoj.
- [5] Strpić, K. (2018). Određivanje optimalnog toplinskog učina izmjenjivača topline u bušotinama i potencijala tehnologije u Republici Hrvatskoj (*Diplomski rad*). Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- [6] Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo. (2014). Izvješće o zonama zaštite vodocrpilišta Grada Zagreba.
- [7] Hrvatski geološki institut, Odjel za hidrogeologiju i inženjersku geologiju. (2009). Procjena stanja i rizika vodonosnika podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske.
- [8] Mifka, L. (2020). Hidrogeografske značajke zagrebačkog vodonosnika (*Završni rad*). Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet.
- [9] Tomić, D. (2017). Oprema za bušotine za crpljenje podzemne vode i njezino korištenje u energetske svrhe (*Diplomski rad*). Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- [10] Kapuralić, D., Posavec, K., Kurevija, T., Macenić, M. (2018). Utjecaj temperature rijeke Save na temperaturu podzemne vode zagrebačkog i samoborsko-zaprešićkog vodonosnika kao dio plitkog geotermalnog potencijala.
- [11] GEOSERVIS A.S. d.o.o. (2014). Program hidrogeoloških istraživanja na području hotela Palace za zahvat podzemne vode u svrhu korištenja obnovljivih izvora energije – izrada istražne i reinjekcijske bušotine.
- [12] GEOSERVIS A.S. d.o.o. (2016). Izvješće o izradi bušotine za zahvat i reinjekciju podzemne vode za potrebe rada geotermalne dizalice topline u objektu hotela Palace u Zagrebu (k.č. 2508, k.o. Centar).
- [13] Kurevija, T. (2010). Energetska valorizacija plitkog geotermalnog potencijala u Republici Hrvatskoj (*Doktorska disertacija*). Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Rekapitulacija geotermalnog potencijala za početno referentno stanje (RGNF i PBF)

POČETNO REFERENTNO STANJE														
	$P_{gr, po\check{c}.ref.}$	$P_{hl, po\check{c}.ref.}$	$P_{PTV, po\check{c}.ref.}$	$Q_{gr, po\check{c}.ref.}$	$Q_{hl, po\check{c}.ref.}$	$Q_{PTV, po\check{c}.ref.}$	Potrošnja energenata	Trošak	Emisija CO ₂					
	kW	kW	kW	kWh/god	kWh/god	kWh/god	kWh/god	EUR/god	tCO ₂ /god					
	1.800,00	1.038,13	252,80	1.306.647,67	249.148,80	60.672,00	1.450.369,27	124.872,50	298,44					
SUSTAV	P_{gr}	P_{hl}	SCOP/SEER	Q_{gr}	Q_{hl}	Udio u ukupnoj potrebi	Potrošnja energenata (DT + postojeći sustav)	Trošak	Trošak investicije	Operativni trošak	Energetska ušteda	Financijska ušteda	Smanjenje emisija CO ₂	Smanjenje emisija CO ₂
	kW	kW		kWh/god	kWh/god	%	kWh/god	EUR/god	EUR	EUR/god	EUR/god	EUR/god	tCO ₂ /god	%
TLO-VODA	186,70	116,67	4/5	195.997,15	37.372,32	14,44%	1.298.388,43	124.634,38	478.000,00	2.000,00	151.980,84	238,12	34,94	11,71%
VODA-VODA	615,13	421,80	5/6	653.323,84	124.574,40	48,12%	906.947,80	114.884,28	332.000,00	3.588,20	543.421,47	9.988,22	122,34	40,99%

Rekapitulacija geotermalnog potencijala za buduće referentno stanje (RGNF i PBF)

BUDUĆE REFERENTNO STANJE														
	$P_{gr, bud.ref.}$	$P_{hl, bud.ref.}$	$P_{PTV, bud.ref.}$	$Q_{gr, bud.ref.}$	$Q_{hl, bud.ref.}$	$Q_{PTV, bud.ref.}$	Potrošnja energenata	Trošak	Emisija CO ₂					
	kW	kW	kW	kWh/god	kWh/god	kWh/god	kWh/god	EUR/god	tCO ₂ /god					
	1.000,00	675,00	0,00	653.323,84	161.946,72	60.672,00	767.978,08	80.177,28	154,01					
SUSTAV	P_{gr}	P_{hl}	SCOP/SEER	Q_{gr}	Q_{hl}	Udio u ukupnoj potrebi	Potrošnja energenata (DT + postojeći sustav)	Trošak	Trošak investicije	Operativni trošak	Energetska ušteda	Financijska ušteda	Smanjenje emisija CO ₂	Smanjenje emisija CO ₂
	kW	kW		kWh/god	kWh/god	%	kWh/god	EUR/god	EUR	EUR/god	EUR/god	EUR/god	tCO ₂ /god	%
TLO-VODA	186,70	116,67	4/5	199.918,84	40.486,68	27,45%	612.640,73	79.855,93	478.000,00	2.000,00	155.337,35	321,35	35,69	23,18%
VODA-VODA	615,13	421,80	5/6	499.797,09	113.362,70	70,00%	349.246,63	71.784,64	332.000,00	3.588,20	418.731,45	8.392,64	94,07	61,08%
VODA-VODA I ZRAK-VODA	1.015,13	681,80	5/6 (voda-voda) 3,2/4 (zrak-voda)	713.995,84	161.946,72	100,00%	197.936,32	49.433,61	525.000,00	5.265,08	570.041,76	30.743,68	122,54	79,56%



Obrazac upitnike za studente

Upitnik o sudjelovanju u akademskoj energetskej zajednici za toplinsku energiju RGNF i PBF kao pilot-fakulteti u okviru projekta ConnectHeat (LIFE program EU)

Poštovani/a,

Rudarsko-geološko-naftni fakultet (RGNF) i Prehrambeno-biotehnološki fakultet (PBF) Sveučilišta u Zagrebu sudjeluju kao pilot-fakulteti u europskom projektu **ConnectHeat**, financiranom iz programa **LIFE Europske unije**. Cilj projekta je uspostava **prve akademske energetske zajednice za toplinsku energiju** koja bi omogućila povezivanje više visokoškolskih ustanova u **zajednički, održivi sustav grijanja i hlađenja** temeljen na obnovljivim izvorima energije. Time se želi razviti poslovni model i okvir za osnivanje prve **zajednice obnovljive energije u sektoru grijanja i hlađenja** unutar akademske zajednice.

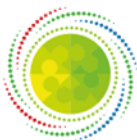
U svrhu procjene interesa i uključivanja studenata i zaposlenika, molimo Vas da ispunite ovaj kratki upitnik. Vaši odgovori omogućit će daljnje oblikovanje aktivnosti projekta u skladu s potrebama zajednice.

Upitnik

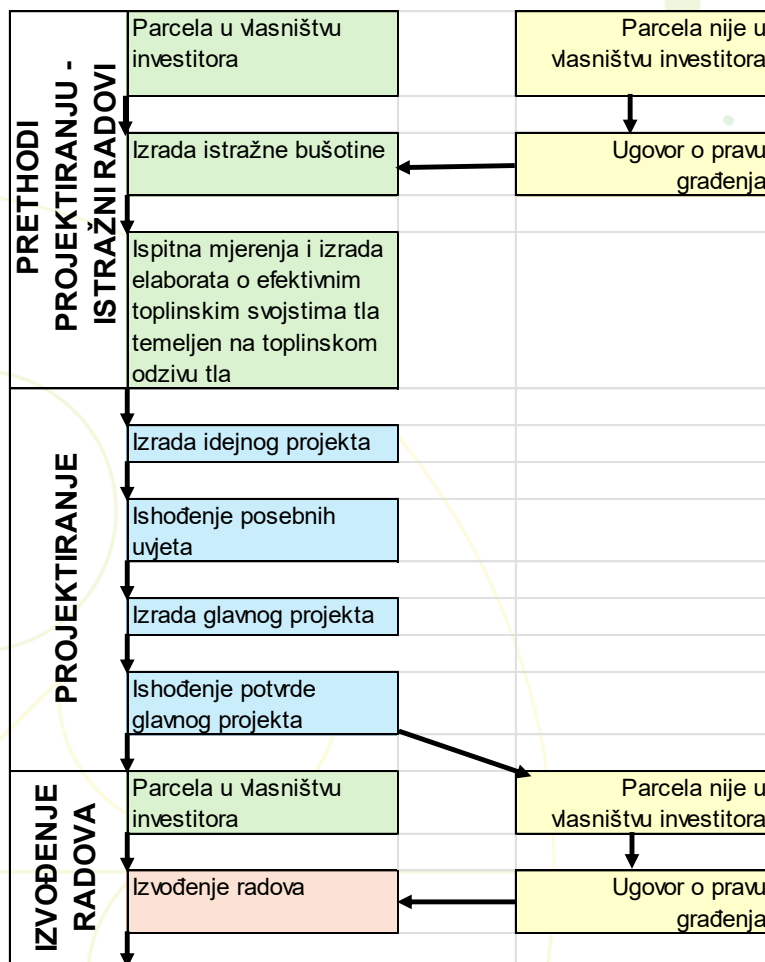
1. **Jeste li upoznati s pojmom energetske zajednice, odnosno zajednice obnovljive energije?**
 - Da, dobro sam upoznat/a
 - Djelomično sam upoznat/a
 - Ne, nisam upoznat/a
2. **Koliko ste zainteresirani za sudjelovanje u energetskej zajednici na razini vašeg fakulteta?**
 - Vrlo zainteresiran/a
 - Umjereno zainteresiran/a
 - Nisam zainteresiran/a
 - Nisam siguran/na
3. **Biste li razmotrili simboličan financijski doprinos (do 50 €) za podršku razvoju održivog sustava grijanja i hlađenja?**
 - Da
 - Možda
 - Ne
4. **Biste li željeli da se projekt integrira u vaš studijski program ili istraživačke aktivnosti (npr. kolegije, završne/diplomske radove, projekte)?**
 - Da, vrlo rado
 - Možda, ovisno o mogućnostima
 - Ne
5. **Biste li bili voljni sudjelovati kao volonter/ka unutar projekta (npr. kao energetskej ambasador: edukacija kolega, komunikacija projekta, prikupljanje mišljenja i potreba)?**
 - Da, zanima me takvo uključivanje
 - Možda, ako mi obveze to dopuste
 - Ne
6. **Smatrate li da bi studenti trebali imati ulogu u upravljanju i nadzoru energetske zajednice?**
 - Da, svakako
 - Možda
 - Ne
 - Nisam siguran/na

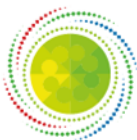
Zahvaljujemo na vašem vremenu i doprinosu ovom važnom koraku prema održivoj energetskej budućnosti akademske zajednice.

S poštovanjem,
Projektne tim ConnectHeat – REGEA, RGNF i PBF

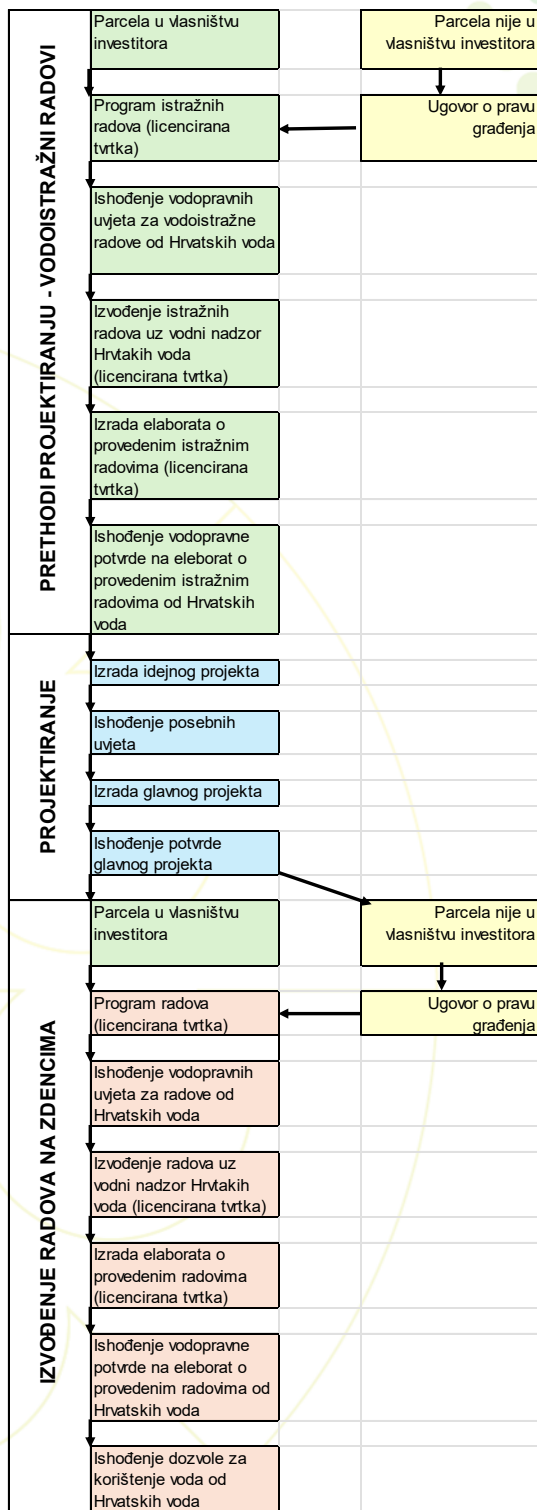


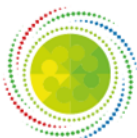
Hodogram aktivnosti – pravo korištenja, koncesije, dozvole – Dizalica topline tlo-voda





Hodogram aktivnosti – pravo korištenja, koncesije, dozvole – Dizalica topline voda-voda





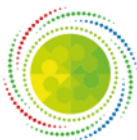
Hodogram aktivnosti s terminskim rokovima – Dizalica topline tlo-voda (parcele u vlasništvu investitora)

	Aktivnost	Očekivano trajanje	
PRETHODI PROJEKTIRANJU - ISTRAŽNI RADOVI	Parcela u vlasništvu investitora	3 tjedna	Ukupno: 3 tjedna
	Izrada istražne bušotine		
	Ispitna mjerenja i izrada elaborata o efektivnim toplinskim svojstima tla temeljen na toplinskom odzivu tla		
PROJEKTIRANJE	Izrada idejnog projekta	2 tjedna	Ukupno: 12 tjedana
	Ishođenje posebnih uvjeta	3 tjedna	
	Izrada glavnog projekta	4 tjedna	
	Ishođenje potvrde glavnog projekta	3 tjedna	
IZVOĐENJE RADOVA	Parcela u vlasništvu investitora		
	Izvođenje radova	6 tjedana	6
UKUPNO TRAJANJE (TJEDNI)			21



Hodogram aktivnosti s terminskim rokovima – Dizalica topline tlo-voda (parcele nisu u vlasništvu investitora)

	Aktivnost	Očekivano trajanje	
PRETHODI PROJEKTIRANJU - ISTRAŽNI RADOVI	Parcela nije u vlasništvu investitora	3 tjedna	Ukupno: 3 tjedna
	Ugovor o pravu građenja		
	Izrada istražne bušotine		
	Ispitna mjerenja i izrada elaborata o efektivnim toplinskim svojstima tla temeljen na toplinskom odzivu tla		
PROJEKTIRANJE	Izrada idejnog projekta	2 tjedna	Ukupno: 12 tjedana
	Ishođenje posebnih uvjeta	3 tjedna	
	Izrada glavnog projekta	4 tjedna	
	Ishođenje potvrde glavnog projekta	3 tjedna	
IZVOĐENJE RADOVA	Parcela nije u vlasništvu investitora	4 tjedna ili više (nemoguće točno procijeniti)	4 tjedna
	Ugovor o pravu građenja		
	Izvođenje radova	6 tjedana	6
UKUPNO TRAJANJE (TJEDNI)			25



Hodogram aktivnosti s terminskim rokovima – Dizalica topline voda-voda (parcele u vlasništvu investitora)

	Aktivnost	Očekivano trajanje		
PRETHODI PROJEKTIRANJU - VODOISTRAŽNI RADOVI	Parcela u vlasništvu investitora	4 tjedna	Ukupno: 8 tjedana	
	Program istražnih radova (licencirana tvrtka)			
	Ishođenje vodopravnih uvjeta za vodoistražne radove od Hrvatskih voda			
	Izvođenje istražnih radova uz vodni nadzor Hrvatskih voda (licencirana tvrtka)			
	Izrada elaborata o provedenim istražnim radovima (licencirana tvrtka)	4 tjedna		
	Ishođenje vodopravne potvrde na elaborat o provedenim istražnim radovima od Hrvatskih voda			
PROJEKTIRANJE	Izrada idejnog projekta	2 tjedna		Ukupno: 12 tjedana
	Ishođenje posebnih uvjeta	3 tjedna		
	Izrada glavnog projekta	4 tjedna		
	Ishođenje potvrde glavnog projekta	3 tjedna		
IZVOĐENJE RADOVA	Parcela u vlasništvu investitora	4 tjedna	Ukupno: 8 tjedana (u tom vremenu je i izvođenje radova na spajanju s dizalicom topline i ostalom opremom)	
	Program radova (licencirana tvrtka)			
	Ishođenje vodopravnih uvjeta za radove od Hrvatskih voda			
	Izvođenje radova uz vodni nadzor Hrvatskih voda (licencirana tvrtka)			
	Izrada elaborata o provedenim radovima (licencirana tvrtka)	4 tjedna		
	Ishođenje vodopravne potvrde na elaborat o provedenim radovima od Hrvatskih voda			
	Ishođenje dozvole za korištenje voda od Hrvatskih voda			
UKUPNO TRAJANJE (TJEDNI)			28	





Hodogram aktivnosti s terminskim rokovima – Dizalica topline voda-voda (parcele nisu u vlasništvu investitora)

	Aktivnost	Očekivano trajanje	
PRETHODI PROJEKTIRANJU - VODOISTRAŽNI RADOVI	Parcela nije u vlasništvu investitora	4 tjedna ili više (nemoguće točno procijeniti)	Ukupno: 12 tjedana
	Ugovor o pravu građenja		
	Program istražnih radova (licencirana tvrtka)	4 tjedna	
	Ishođenje vodopravnih uvjeta za vodoistražne radove od Hrvatskih voda		
	Izvođenje istražnih radova uz vodni nadzor Hrvatskih voda (licencirana tvrtka)		
	Izrada elaborata o provedenim istražnim radovima (licencirana tvrtka)	4 tjedna	
	Ishođenje vodopravne potvrde na elaborat o provedenim istražnim radovima od Hrvatskih voda		
	PROJEKTIRANJE	Izrada idejnog projekta	
Ishođenje posebnih uvjeta		3 tjedna	
Izrada glavnog projekta		4 tjedna	
Ishođenje potvrde glavnog projekta		3 tjedna	
IZVOĐENJE RADOVA	Parcela nije u vlasništvu investitora	4 tjedna ili više (nemoguće točno procijeniti)	Ukupno: 8 tjedana (u tom vremenu je i izvođenje radova na spajanju s dizalicom topline i ostalom opremom)
	Ugovor o pravu građenja		
	Program radova (licencirana tvrtka)	4 tjedna	
	Ishođenje vodopravnih uvjeta za radove od Hrvatskih voda		
	Izvođenje radova uz vodni nadzor Hrvatskih voda (licencirana tvrtka)		
	Izrada elaborata o provedenim radovima (licencirana tvrtka)	4 tjedna	
	Ishođenje vodopravne potvrde na elaborat o provedenim radovima od Hrvatskih voda		
	Ishođenje dozvole za korištenje voda od Hrvatskih voda		
	UKUPNO TRAJANJE (TJEDNI)		

