Tehno-ekonomska analiza energetske obnove fonda zgrada priključenih na centralizirani toplinski sustav

Andrašić, Vid

Undergraduate thesis / Završni rad

2025

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:599127

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Vid Andrašić

Zagreb, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Izv. prof. dr. sc. Tomislav Pukšec

Student:

Vid Andrašić

Zagreb, 2025.

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

Zahvaljujem se izvanrednom profesoru Tomislavu Pukšecu što mi je izašao u susret i pružio priliku da pišem ovaj rad pod njegovim mentorstvom. Također veliko hvala i asistentu Luki Simiću na nizu savjeta koji su mi olakšali izradu samog rada.

Zahvaljujem se obitelji, djevojci i prijateljima na pruženoj podršci kroz studij i tijekom pisanja ovog rada.

Vid Andrašić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodostrojarski

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: **602 – 04 / 25 – 06 / 1**	
Ur.broj: **15 – 25 –**	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Vid Andrašić** JMBAG: **0035228730**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Tehno-ekonomska analiza energetske obnove fonda zgrada priključenih na centralizirani toplinski sustav**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Techno-economic analysis of energy renovation of the buildings stock connected to the district heating system**

Opis zadatka:

Sektor zgradarstva najveći je pojedinačni potrošač energije u Europskoj uniji. Većina potrošnje energije stambenih zgrada odnosi se na toplinsku energiju za grijanje prostora i pripremu PTV-a. Kako je polovica zgrada u većini zemalja EU starija od 50 godina možemo identificirati veliki potencijal za uštedu energije. EU je kroz Direktivu o energetskoj učinkovitosti predstavila cilj dekarbonizacije centraliziranih toplinskih sustava. Implementacija obnovljivih izvora energija u CTS zahtjeva niže temperaturne režime rada samog sustava, što ima i veliki utjecaj na potrošače toplinske energije. Kako bi se sami potrošači prilagodili spomenutim promjenama, nameće se energetska obnova zgrada priključenih na CTS. Cilj ovog rada je analizirati utjecaj energetske obnove fonda zgrada priključenih na centralizirani toplinski sustav na promjene temperaturnih režima samog sustava, s Vukovarom kao studijom slučaja.

U sklopu rada potrebno je:

1. Izraditi detaljan pregled literature na temu energetske učinkovitosti zgrada i centraliziranih toplinskih sustava, s osvrtom na direktive EU i strategije povećanja energetske učinkovitosti.
2. Analizirati utjecaj energetske obnove fonda zgrada na centralizirani toplinski sustav, s Vukovarom kao studijom slučaja.
3. Predložiti tehnička rješenja i izraditi scenarije energetske obnove fonda zgrada te prelaska na nisko temperaturne režime rada.
4. Izraditi tehno-ekonomsku analizu predloženih rješenja.

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

Zadatak zadan:	Datum predaje rada:	Predviđeni datumi obrane:
30. 11. 2024.	**1. rok:** 20. i 21. 2. 2025. **2. rok:** 10. i 11. 7. 2025. **3. rok:** 18. i 19. 9. 2025.	**1. rok:** 24. 2. – 28. 2. 2025. **2. rok:** 15. 7. – 18.7.2025 **3. rok:** 22. 9. – 26. 9. 2025.

Zadatak zadao: Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Tomislav Pukšec

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

V Soldo

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA II
POPIS TABLICA III
POPIS OZNAKA IV
SAŽETAK V
SUMMARY VI
1. UVOD 1
1.1. Centralizirani toplinski sustavi 2
1.1.1. Centralizirani toplinski sustavi u Hrvatskoj 3
2. DIREKTIVE I PROGRAMI ENERGETSKE OBNOVE U EU I RH 4
2.1. Direktive Europske unije 4
2.2. Zakonodavni okvir Republike Hrvatske 5
2.2.1. Razine obnove Višestambenih zgrada 6
2.3. Financijske strategije obnove 7
2.3.1. Provedene mjere 8
2.3.2. Provedeni natječaji u Vukovaru 9
3. METODA 10
3.1. Opis tehno-ekonomske analize 10
3.1.1. Prvi slučaj obnove 13
3.1.2. Drugi slučaj obnove 14
3.1.3. Uštede 16
4. Opis studije slučaja – grad Vukovar 17
4.1.1. Stanje fonda zgrada u Vukovaru 17
4.1.2. Centralni toplinski sustav u Vukovaru 18
5. Rezultati tehno ekonomske analize 23
5.1. Rezultati obnove prvog slučaja 23
5.1.1. Utjecaj subvencije na prvi slučaj 25
5.2. Analiza drugog slučaja 28
5.2.1. Utjecaj subvencije na drugi slučaj 30
6. ZAKLJUČAK 32
LITERATURA 34

POPIS SLIKA

Slika 1. TE-TO Zagreb [2] 2
Slika 2. Udjeli isporučene toplinske energije pojedinih tvrtki u 2023. godini [1] 3
Slika 3. Prikaz kretanja karakterističnih koeficijenata prolaza topline po razdobljima gradnje [3] 17
Slika 4. Prikaz CTS mreže i namjena zgrada 18
Slika 5. Prikaz korisne površine po zgradama 19
Slika 6. Solarno polje CTS-a u Borovom Naselju 20
Slika 7. Cijene toplinske energije 2025, Tehnostan – Vukovar [16] 21
Slika 8. Vrijednosti QHnd_t po zgradama 22
Slika 9. Prikaz toplinskih potreba po zgradama nakon energetske obnove u prvom slučaju 23
Slika 10. Promjena zahtjeva za TE i udjeli u proizvodnji TE prvi slučaj 25
Slika 11. Prikaz promjene NPV-a sa postotkom subvencije prvi slučaj 26
Slika 12. Promjena IRR sa postotkom subvencije prvi slučaj 27
Slika 13. Prikaz toplinskih potreba po zgradama nakon energetske obnove u drugom slučaju 28
Slika 14. Promjena zahtjeva za TE i udjeli u proizvodnji TE drugi slučaj 29
Slika 15. Prikaz promjene NPV-a sa postotkom subvencije drugi slučaj 30
Slika 16. Promjena IRR sa postotkom subvencije drugi slučaj 31

POPIS TABLICA

Tablica 1. Dodatni ekonomski podaci 10
Tablica 2. Troškovničke stavke za prvi slučaj 13
Tablica 3. Tablica za određivanje QH,nd_n1 [13] 14
Tablica 4. Troškovničke stavke za drugi slučaj 15
Tablica 5. Tablica za određivanje QHnd_n2 [13] 16
Tablica 6. Podaci o mreži CTS-a 19
Tablica 7. Troškovi energenata i operativni troškovi 22
Tablica 8. Podaci nakon energetske obnove u prvom slučaju 24
Tablica 9. Rezultati podataka za ekonomsku analizu u prvom slučaju 25
Tablica 10. . Podaci nakon energetske obnove u drugom slučaju 28
Tablica 11. Rezultati podataka za ekonomsku analizu u drugom slučaju 30
Tablica 12. Usporedba vrijednosti obnova 32

POPIS OZNAKA

IRR – Unutarnja stopa povrata [%]

NPV – Neto sadašnja vrijednost [€]

PB – Metoda otplate [godina]

CTS – Centralizirani toplinski sustav

EU – Europska unija

RH – Republika Hrvatska

nZEB – Near zero energy building

ZTS – Zatvoreni toplinski sustav

STS – Samostalni toplinski sustav

HEP – Hrvatska elektroprivreda

FZOEU – Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost

VSZ – Višestambena zgrada

ESI – Europski strukturni i investicijski fondovi

TE – Toplinska energija

SAŽETAK

Kroz ovaj rad analiziran je utjecaj energetske obnove fonda zgrada priključenih na centralizirani toplinski sustav na promjene toplinskih potreba i temperaturnih režima samog sustava, s gradom Vukovarom kao studijom slučaja. Na početku dan je pregled literature na temu energetske učinkovitosti zgrada i CTS-a, s fokusom na Hrvatske i EU direktive i strategije. Nakon direktiva slijedi pregled i opis metode korištene u tehno-ekonomskoj analizi. Nadalje slijedi opis studije slučaja grada Vukovara, s analizom fonda stambenih zgrada spojenih na centralizirani toplinski sustav u Vukovaru s osvrtom na njihova energetska svojstva te pregled centraliziranih toplinskih sustava u RH i Vukovaru. U analizi utjecaja energetske obnove, analizirana su dva slučaja. Prvi slučaj analizira samo obnovu vanjske ovojnice zgrade, nadogradnju solarnih toplinskih kolektora na CTS te postepenu zamjenu plinskog kotla sa dizalicama topline. U drugom slučaju dodaju se još i tehnički sustavi u zgradi kako bi se objekti spojeni na CTS-a doveli do nZEB standarda. Dodatno, za svaki slučaj uzimaju se u obzir i različite stope subvencije obnove s ciljem da se prikažu različiti slučajevi isplativosti. Na kraju rada iznose se rezultati tehno-ekonomske analize isplativosti predloženih rješenja.

Ključne riječi: Energetska obnova, centralizirani toplinski sustav, Energetska učinkovitost, niskotemperaturni režim, tehno-ekonomska analiza

SUMMARY

Through this paper, the impact of energy renovation of the building stock connected to the district heating system on changes in heat demand and temperature regimes of the system itself is analysed, with city of Vukovar as a case study. The paper begins with a literature review on the topic of building energy efficiency and district heating systems, focusing on Croatian and EU directives and strategies. Following the directives, the method used in the techno-economic analysis is described. Next the case study of the city of Vukovar is presented, including an analysis of the residential building stock connected to the district heating in Vukovar, with an overview of their energy properties of the buildings and a review of district heating systems in Croatia and Vukovar. In the analysis, two scenarios are examined. The first scenario analyses only the renovation of the building's external shell, the addition of solar thermal collectors to the DH, and the gradual replacement of the gas boiler with heat pumps. In the second scenario, technical systems within the buildings are also upgraded to bring them up to the nZEB (nearly Zero Energy Building) standard. Additionally, for each scenario, different renovation subsidy rates are considered to illustrate various profitability cases. The paper concludes with the results of the techno-economic analysis of the proposed solutions' cost-effectiveness.

Key words: Energy renovation, district heating, energy efficiency, low-temperature regime, techno-economic analysis

1. UVOD

Zgradarstvo, kao jedan od ključnih sektora potrošnje energije, ima značajnu ulogu u budućoj energetskoj politici Hrvatske i Europske Unije. U Hrvatskoj, veliki dio stambenog fonda čine zgrade izgrađene prije 1980. godine, kada standardi energetske učinkovitosti kao ni građevinski materijali nisu bili na razini današnjih zahtjeva. Loša toplinska izolacija vanjske ovojnice, zastarjela vanjska stolarija i neučinkoviti sustavi grijanja rezultiraju visokom potrošnjom energije i velikim emisijama stakleničkih plinova. Ovakvo stanje u zgradama dodatno opterećuje ionako loše stojeća kućanstva visokim troškovima energije i otežava postizanje klimatskih ciljeva. U posljednjem desetljeću, kako na nacionalnoj tako i na razini EU, energetska obnova zgrada prepoznata je kao ključna mjera za povećanje energetske učinkovitosti i smanjenje emisija CO_2. Hrvatska, usklađujući se s EU Direktivom o energetskoj učinkovitosti i Direktivom o energetskoj učinkovitosti zgrada te Strategijom vala obnove (eng. *Renovation Wave*), usvojila je niz mjera i ciljeva kako bi potakla obnovu zgrada. Nacionalni planovi, poput Dugoročne strategije obnove zgrada i Nacionalnog energetskog i klimatskog plana, navode i ističu važnost energetske obnove, povećanja energetske učinkovitosti stambenog fonda i dekarbonizacije centraliziranih toplinskih sustava.

Energetska obnova zgrada uključuje niz mjera, od obnove vanjske ovojnice zgrade, krovne i stropne izolacije, zamjene vanjske stolarije do modernizacije sustava grijanja i korištenja obnovljivih izvora energije za toplinsku i električnu energiju. Posebnu pažnju zahtijeva obnova CTS-a, koji čini značajan dio toplinske opskrbe u urbanim sredinama. Dekarbonizacija ovih sustava, uz prelazak na niskotemperaturne režime rada, ključna je za integraciju obnovljivih izvora energije, poput solarne i geotermalne energije. Za prelazak na niskotemperaturne režime rada, nužna je povezanost obnove CTS-a s energetskom obnovom zgrada, jer niskotemperaturni režim nije moguć u zgradama sa visokim toplinskim gubitcima.

EU i Hrvatska potiču ove obnove raznim financijskim instrumentima, uključujući subvencije, povoljne kredite i fondove poput Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost te europskih strukturnih i investicijskih fondova. Kroz implementaciju ovih mjera energetske obnove, uz modernizaciju i prilagodbu centraliziranih toplinskih sustava, EU i Hrvatska ne samo da doprinose smanjenju emisija i energetskoj sigurnosti u budućnosti, već i podižu kvalitetu života svojih građana.

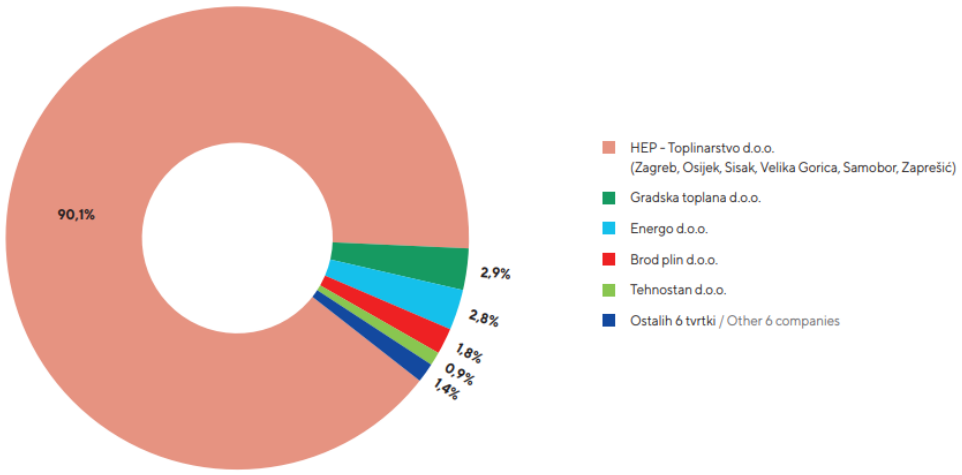
1.1. Centralizirani toplinski sustavi

Centralizirani toplinski sustavi služe za opskrbu toplinske energije za više objekata ili cijelih urbanih područja. CTS-ovi koriste centralizirani izvor topline koji može biti iz kogeneracijskih postrojenja ili samostalne kotlovnice na fosilna goriva, otpad, biomasu i geotermalnu energiju. Također danas se sve više implementiraju solarni toplinski sustavi koji nadopunjavaju klasične izvore te im povećavaju učinkovitost. Toplinska energija prenosi se pomoću vode/pare kao posrednika, kroz cjevovode od izvora do potrošača, a cijeli taj sustav naziva se mreža za distribuciju topline. CTS veoma su poželjni zbog njihove visoke energetske učinkovitosti, posebno kod kogeneracije koja omogućuje visoki stupanj iskorištenja goriva i zbog mogućnosti integracije obnovljivih izvora energije poput solarnih kolektora ili geotermalne energije koji pomažu u smanjenju emisija stakleničkih plinova. Također moguća je integracija i otpadne topline, čime se omogućava iskorištavanje viška topline iz industrijskih procesa, termoelektrana i drugih izvora. U urbanim područjima CTS smanjuje zagađenje zraka prebacivanjem izvora topline izvan jezgre, čime se eliminiraju individualni sustavi, te kod područja visoke gustoće naseljenosti mogu biti puno isplativiji od ostalih sustava zbog manjih gubitaka u mreži. Zbog svih prednosti CTS-a, takvi sustavi dio su EU strategije za dekarbonizaciju energetskog sektora i dostupni su razni fondovi koji promiču modernizaciju i prelazak na obnovljive izvore energije unutar CTS-a [1]. Na sljedećoj slici prikazan je primjer CTS-a u gradu Zagrebu.

Slika 1. TE-TO Zagreb [2]

1.1.1. Centralizirani toplinski sustavi u Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj 11 poslovnih subjekata obavlja djelatnosti proizvodnje, distribucije i opskrbe toplinskom energijom. Gradovi u kojima se pojavljuje opskrba toplinskom energijom centralnim toplinskim sustavima (CTS), zatvorenim toplinskim sustavima (ZTS) te samostalnim toplinskim sustavima (STS), mogu se navesti: Zagreb, Osijek, Sisak, Samobor, Zaprešić, Velika Gorica, Slavonski Brod, Rijeka, Karlovac, Vinkovci, Virovitica, Ogulin, Vukovar, Varaždin te općina Topusko. HEP Toplinarstvo drži najveći tržišni udio, te udio instaliranih toplinskih kapaciteta. [3]



Slika 2. Udjeli isporučene toplinske energije pojedinih tvrtki u 2023. godini [1]

Sektor toplinarstva u Republici Hrvatskoj najveću priliku u daljnjem r*azvoju ima u povećanju energetske učinkovitosti te povećanju pouzdanosti i sigurnosti opskrbe primjenom novih i suvremenih tehnologija. Pri tome se prvenstveno misli na visokoučinkovite kogeneracije, spaljivanje biomase i otpada, implementacija solarnih kolektora, zamjena starih, neučinkovitih cjevovodnih mreža novim, pred-izoliranim cjevovodima, te nadopunom zakonodavnog i regulatornog okruženja. Uz obnovu i modernizaciju CTS-a, nužna je i energetska obnova stambenih zgrada koji su glavni korisnici tih sustava. Energetskom obnovom smanjila bi se sveukupna potreba za toplinskom energijom time se smanjila i količina utrošenog goriva, ali bi se i otvorila mogućnost prelaska na niskotemperaturne režime rada samog sustava koji su energetski učinkovitiji jer nema nepotrebnog rasipanja topline kroz mrežu. [4]

2. DIREKTIVE I PROGRAMI ENERGETSKE OBNOVE U EU I RH

2.1. Direktive Europske unije

Energetska učinkovitost zgrada jedna je od ključnih strategija Europske unije za smanjenje stakleničkih plinova i postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine. Zgrade su odgovorne za 40% ukupne potrošnje energije i 36% emisija CO_2 u EU [5], zbog čega se posebna pozornost usmjerava na njihovu obnovu i usklađivanje s modernim standardima energetske učinkovitosti. Da je EU stvarno uključena u energetsku obnovu, pokazuju i tri ključne direktive u ovom području:

- Direktiva o energetskoj učinkovitosti *(eng. Energy efficiency directive)*
- Direktiva o energetskoj učinkovitosti zgrada *(eng. Energy performance of buildings directive)*
- Direktiva o energiji iz obnovljivih izvora *(eng. Renewable energy directive)*

U Direktivi o energetskoj učinkovitosti naglasak je na smanjenju potrošnje energije općenito. Prvotno je cilj do 2030. godine bio smanjiti ukupnu potrošnju energije za 32.5% u odnosu na predviđeni scenarij bez ikakvih mjera, dok je u revidiranoj verziji 2021. godine to još povećano na 45%. Direktiva također obvezuje države članice da osiguraju godišnju uštedu konačne potrošnje energije kroz subvencije i informativne kampanje. Do 2025. godine ta stopa trebala bi prema direktivi iznositi 1,3% te se postepeno kroz godine povećavati. Tako bi u razdoblju od 2026. - 2027. godine ta stopa trebala iznositi 1,5%, a do 2030. godine čak 1,9%. Ova direktiva također potiče energetsku obnovu privatnih zgrada, te obvezuje članice da obnove 3% ukupne površine javnih zgrada godišnje. Uz sve to promiče i korištenje obnovljivih izvora energije za CTS i zabranjuje korištenje fosilnih goriva u novim centraliziranim toplinskim sustavima. [6]

Direktiva o energetskoj učinkovitosti zgrada dio je šire strategije vala obnove (*eng. Renovation wave*) i govori nešto više o ciljevima i mjerama poboljšanja energetske učinkovitosti zgrada u EU, zapravo ona je ključni zakonodavni okvir EU za energetsku učinkovitost zgrada. Prvotno je usvojena 2010. godine, a zadnja revizija bila je 2024.godine. [7] Ovom direktivom definiran je standard za gotovo nulte energetske zgrade, nZEB, koji je od 2019. godine obavezan za javne zgrade, a od 2021. godine i za sve nove zgrade. nZEB zgrade minimaliziraju potrošnju energije putem visokokvalitetne toplinske izolacije, naprednih sustava za grijanje, ventilaciju i hlađenje te korištenjem obnovljivih izvora energije. Energetska potreba ovih zgrada pokriva se tehnologijama poput solarnih panela, toplinskih pumpi i sustava za pohranu energije. Njihova

izgradnja uključuje integraciju pametnih sustava upravljanja energijom, kao što su automatizirani sustavi kontrole grijanja i rasvjete, te optimizaciju orijentacije zgrade kako bi se maksimalno iskoristila prirodna svjetlost i ventilacija. Ovi standardi odražavaju širi cilj EU-a za klimatsku neutralnost do 2050. godine. Oni osiguravaju energetsku sigurnost, smanjuju emisije stakleničkih plinova i povećavaju kvalitetu života građana. Premda je njihova implementacija izazovna zbog početnih troškova, dugoročne uštede i održivost čine ovaj standard temeljem buduće gradnje u Europi i šire. Osim toga ova direktiva potiče i dubinsku obnovu postojećeg fonda zgrada te uvodi obavezne energetske certifikate, čime potiče transparentnost i svijest o energetskoj učinkovitosti. Potiče se implementacija solarnih tehnologija na svim novim zgradama i određenim postojećim gdje je to tehnički izvedivo i ekonomski isplativo, te se od 1.1.2025 ukidaju subvencije na samostalne kotlove na fosilna goriva. [8]

Direktiva o energiji dobivenoj iz obnovljivih izvora uvedena je 2009. godine i njome EU izdaje pravni okvir za promicanje obnovljivih izvora energije i u njemu navodi obvezujuće ciljeve za udio obnovljive energije u ukupnoj potrošnji energije u EU. Jedan od tih ciljeva je da do 2030. godine najmanje 42,5% energije bude iz OIE u EU. Također promiče da u sustavima grijanja i hlađenja dođe do povećanja udjela OIE za 1,1% godišnje te da se u sektoru transporta dođe do 14% udjela OIE, s time da su tu uključena napredna biogoriva i sintetička goriva. [9]

2.2. Zakonodavni okvir Republike Hrvatske

Hrvatska kao članica EU ima obvezu implementirati Europske direktive i strategije u svoje nacionalne energetske planove i strategije. Za programe energetske obnove zgrada najvažniji su strateški dokumenti u nastavku:

- Nacionalna razvojna strategija Republike Hrvatske do 2030. godine (Narodne novine, br. 13/21)
- Strategija niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu (Narodne novine, br. 63/21)
- Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine s pogledom do 2050. godine (Narodne novine, br. 25/20)
- Integrirani nacionalni energetski i klimatski plan za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2030. godine
- Dugoročna strategija obnove nacionalnog fonda zgrada do 2050. godine (Narodne novine, br. 140/20)

U navedenim dokumentima hrvatska izdaje upute, planove i propise o energetskim obnovama, kao i strategije financiranja istih. Osim što programi energetskih obnova moraju biti u skladu sa gore navedenim dokumentima, moraju biti usklađeni i s odredbama Zakona o sustavu strateškog planiranja i upravljanja razvojem Republike Hrvatske (Narodne novine, br. 123/17) i Uredbom o smjernicama za izradu akata strateškog planiranja od nacionalnog značaja i od značaja za jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave (Narodne novine, br. 89/18).
Integrirani nacionali energetski i klimatski plan (NECP) propisuje obvezu energetske obnove višestambenih zgrada čiji je cilj smanjenje primarne energije u zgradarstvu. Strategija niskougljičnog razvoja propisuje strategije dekarbonizacije u sektoru zgradarstva i CTS-a. Iz dokumenta o dugoročnoj strategiji obnove nacionalnog fonda zgrada do 2050. godine može se iščitati plan o povećanju broja i površine obnovljenih zgrada, koji raste sa trenutnog 0,7% godišnje na 3% 2030. godine, zatim 3,5% od 2031. do 2040. godine te 4% od 2041. do 2050. godine, što je otprilike 100 milijuna m^2 do 2050. godine. Uz to naveden je i dodatni pokazatelji napretka koji će se pratiti kroz registar izdanih energetskih certifikata su povećanje kvalitete vanjske ovojnice, broj nZEB zgrada te ukupna površina nZEB rekonstruiranih zgrada. [3]

2.2.1. Razine obnove Višestambenih zgrada

Dugoročna strategija obnove nacionalnog fonda zgrada do 2050. godine također propisuje i četiri modela/razine obnove višestambenih zgrada. Prva i osnovna razina obnove je implementacija pojedinačnih mjera energetske obnove, to može biti obnova ovojnice zgrade, vanjske stolarije, sustava grijanja ili nekog drugog građevinskog ili tehničkog elementa. Integralna energetska obnova je kombinacija više pojedinačnih mjera energetske obnove, a da obavezno uključuje mjeru na ovojnici zgrade koja mora rezultirati smanjenjem potrebne toplinske energije za 50 % u odnosu na početno stanje. Moguća stopa financiranja za ovako definiranu integralnu energetsku obnovu iznosi do 60 % prihvatljivih troškova. Dubinska obnova također obvezuje postizanje ušteda od najmanje 50 % godišnje potrebne toplinske energije za grijanje i primarne energije na godišnjoj razini te propisuje provođenje mjera i na vanjskoj ovojnici zgrade i mjere vezane uz tehničke sustave. Stopa financiranja ovako definirane dubinske obnove iznosi do 80 % opravdanih troškova, a ako se dubinskom obnovom dosegne nZEB standard , stopa sufinanciranja iznosi i do 85% opravdanih troškova. Zadnja navedena mjera u strategiji jest sveobuhvatna obnova, ona obuhvaća optimalne mjere poboljšanja sveukupnog postojećeg stanja te osim energetskih mjera obnove, uključuje i mjere za unapređenje mehaničke otpornosti i stabilnosti zgrada, posebice one radi smanjenja rizika

povezanih s djelovanjem potresa. Uz to propisuje još i mjere povećanja sigurnosti u slučaju požara te mjere za osiguravanje zdravih unutarnjih klimatskih uvjeta, ali može uključivati i bilo koje druge mjere kojima se poboljšavaju zahtjevi za građevinu. [4]

U sljedećem razdoblju posebno će se poticati dubinska i sveobuhvatna obnova zgrada, kao i obnova većih prostornih cjelina, na primjer gradskih četvrti i susjedstava, koje bi tako zajedno tvorile nZEN, odnosno susjedstva gotovo nulte energije (*eng. nearly Zero Energy Neighbourhoods*). [3]

2.3. Financijske strategije obnove

Financijske strategije i planovi energetskih obnova VSZ i centraliziranih toplinskih sustava okvirno se izdaju u Integriranom nacionalnom energetskom i klimatskom planu za republiku Hrvatsku koji se svake 3 godine revidira. Trenutno je na snazi najnoviji plan za 2021. do 2030. godinu. U tom planu navedene su sve mjere koje se planiraju provesti u danom razdoblju, svaka mjera ukratko je objašnjena i okvirno su definirane aktivnosti te mjere. Kroz svaku mjeru u planu navedeno je izvršno tijelo koje tu mjeru treba provesti, predviđena sredstva potrebna za provedbu, povezanost s prilagodbom klimatskim promjenama, učinkom mjere te izvorom financiranja i izvršnim tijelom. Većinom su izvori financiranja mjera obnove ESI i EU fondovi, fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost te MPGI. U nastavku su navedene najvažnije mjere za energetsku obnovu VSZ i CTS-a navedene u NECP-u [10]:

OIE-6: Korištenje OIE u centraliziranim i zatvorenim toplinskim sustavima

Financijska i regulatorna mjera kojoj je cilj povećanje udjela OIE u CTS-ima korištenjem lokalno dostupnih izvora poput sunčeve energije, energije vode, plitke i duboke geotermalne te omogućiti postizanje visokoučinkovitih sustava CTS-a. Kao izvor financiranja navedeni su FZOEU i EU fondovi, dok su predviđena potrebna sredstva oko 750 milijuna eura.

ENU-3: Program energetske obnove višestambenih zgrada

Program energetske obnove višestambenih zgrada za razdoblje 2021.-2027. predviđa nastavak aktivnosti iz prethodnog razdoblja (2014.-2020.), uz pojednostavljenje procedura, osobito u javnoj nabavi. Planirane su tri kategorije obnove (integralna, dubinska, sveobuhvatna) i tri modela provedbe (zgrade neoštećene i oštećene u potresu te potpora građanima u riziku od energetskog siromaštva). Poseban fond za energetski siromašna kućanstva olakšao bi dobivanje

suglasnosti suvlasnika. Cilj je obnavljati prosječno 700.000 m² godišnje, ukupno 6,27 milijuna m² do 2030. godine, uz poticanje obnove do nZEB standarda. Ključne aktivnosti uključuju praćenje potrošnje energije putem ISGE sustava, tehničku pomoć prijaviteljima i promotivne aktivnosti.

ENU-15: Povećanje učinkovitosti sustava toplinarstva

Cilj mjere je modernizacija velikih centraliziranih toplinskih sustava zamjenom dotrajalih distribucijskih mreža (vrelovoda i parovoda) pred-izoliranim cijevima i prelazak na četvrtu generaciju daljinskog grijanja. U manjim sustavima predviđena je rekonstrukcija kotlovnica zamjenom s visokoučinkovitim kogeneracijskim sustavima ili sustavima s dizalicama topline. Planira se razvoj novih sustava grijanja i hlađenja temeljenih na obnovljivim izvorima energije ili visokoučinkovitoj kogeneraciji. Propisan izvor financiranja su ESI fondovi, a glavni učinak mjere trebao bi biti smanjenje gubitaka u CTS-ima

Za postizanje ciljeva u segmentu višestambenih zgrada potrebno je do 2030. godine osigurati oko 1,6 milijardi eura za bespovratna sredstva iz javnih izvora, a primarni izvor su sredstva iz Nacionalnog programa za oporavak i otpornost (bespovratna sredstva) i iz ESI fondova te sredstva iz drugih izvora poput Socijalnog fonda za klimatsku politiku i nacionalna sredstva od prodaje emisijskih jedinica na dražbama. [4]

2.3.1. Provedene mjere

Vlada Republike Hrvatske donijela je 24. lipnja 2014. Program energetske obnove višestambenih zgrada za razdoblje od 2014. do 2020. godine. Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost bio je zadužen za provedbu tog programa, dok se ne stvore uvjeti za korištenje sredstava iz ESI fondova. FZOEU je tijekom 2014. i 2015. godine raspisivao javne pozive za energetske preglede i energetske certifikate VSZ, pripremu projektne dokumentacije za energetsku obnovu VSZ, samu energetsku obnovu VSZ te poziv za ugradnju individualnih mjerila potrošnje toplinske energije za VSZ priključene na centralizirane toplinske sustave.
FZOEU je u tom razdoblju odobrio oko 279 milijuna kuna bespovratnih sredstava i to za 1.347 energetskih pregleda i certifikata, 915 projektnih dokumentacija te 430 projekta energetske obnove VSZ. Sufinanciranje je, u skladu s propisima FZOEU-a, iznosilo 40, 60 ili 80% ovisno o tome gdje se VSZ nalazi, osim za izradu projektne dokumentacije razine glavnog projekta,

koja se financirala sa 100%, s ciljem osiguranja dovoljnog portfelja pripremljenih projekata za povlačenje ESIF sredstava. [4]

2.3.2. Provedeni natječaji u Vukovaru

Energetska obnova višestambenih zgrada u Vukovaru jedan je od ključnih gradskih projekata usmjerenih na poboljšanje energetske učinkovitosti, smanjenje troškova grijanja i hlađenja te povećanje kvalitete života građana. Kako bi potaknuo vlasnike i upravitelje zgrada na implementaciju mjera energetske obnove koje pridonose uštedama u potrošnji toplinske energije i smanjenju emisije CO_2, Grad Vukovar aktivno sufinancira obnovu.

U 2024. godini prijavljeno je devet višestambenih zgrada za energetsku obnovu, s ukupnom vrijednošću projekata od približno 197.383,98 eura. Grad Vukovar sufinancira 60% prihvatljivih troškova, što iznosi oko 118.337,37 eura. Ova potpora omogućuje provedbu mjera poput obnove vanjske ovojnice zgrada, zamjena vanjske stolarije te ugradnje energetski učinkovitih sustava grijanja.. U prethodnoj godini Grad je sufinancirao obnovu s iznosom od 45.303,34 eura, čime je pokrenut proces sustavne obnove fonda višestambenih zgrada. Zaključno, do sada je ukupno 14 višestambenih zgrada prošlo kroz energetske mjere ili je u procesu obnove. Grad Vukovar također najavljuje kontinuirano provođenje mjera energetske obnove u 2025. i 2026. godini. [11]

3. METODA

3.1. Opis tehno-ekonomske analize

U sklopu ovog rada analizirana je isplativost energetske obnove zgrada i modernizacije CTS-a u dva slučaja. Radi pojednostavljenja pretpostavlja se da je godišnja stopa obnove 4 % ukupne površine zgrada, što je i u skladu sa mjerama iz strategije i NECP-a, te da cijena obnove raste 1,5 % godišnje. Cilj je utvrditi isplativost projekta kroz 25 godina.

Diskontna stopa

Diskontna stopa je kamatna stopa po kojoj središnje banke odobravaju kredite poslovnim bankama i drugim financijskim institucijama. Diskontna stopa predstavlja očekivanu stopu povrata investicije, pritom uzima u obzir vremensku vrijednost novca, inflaciju i ostale rizike. Uzeta diskonta stopa za ovu analizu je 2,71 [12]

Dodatni potrebni podaci za analizu

Ulazni ekonomski podaci za analizu sažeti su u sljedećoj tablici.

Tablica 1. Dodatni ekonomski podaci

Stopa obnove	4 % godišnje
Godišnji rast cijene obnove	1,5 % godišnje
Trajanje projekta	25 godina
Porez na dobit	18 %
Godišnji rast cijene plina	1.5 %
Godišnji rast cijene električne energije	1.5 %
Godišnji rast cijene TE	1.5 %

NPV metoda

Metoda neto sadašnje vrijednosti, NPV koristi se za procjenu isplativosti tako što uspoređuje sadašnju vrijednost novca s početnim troškovima investicije. Metoda uzima u obzir vremensku vrijednost novca, novac u budućnosti ima manju vrijednost nego danas uzimajući u obzir diskontnu stopu. Ako je NPV pozitivan, znači da je investicija isplativa, te se prihvaća.

$$NPV = \sum \frac{x_T}{(1+R)^T} - x_0$$

U kojoj je:

R – diskontna stopa (%)

T – vremenski period (godina)

x_T – prihod u životnom vijeku projekta (EUR)

x_0 – iznos početne investicije (EUR)

IRR metoda

Metoda interne stope povrata, IRR izračunava diskontnu stopu pri kojoj je neto sadašnja vrijednost (NPV) projekta jednaka nuli. Predstavlja očekivani godišnji prinos ulaganja i koristi se za usporedbu različitih projekata ili procjenu isplativosti ulaganja. Ako je IRR veći od troška kapitala ili referentne diskontne stope, ulaganje je financijski isplativo.

$$\sum_{T=1}^{T} \frac{NPV(x_T)}{(1+IRR)} - x_0 = NPV = 0$$

U kojoj je:

$NPV(x_T)$– prihod u životnom vijeku projekta sveden na sadašnju vrijednost tokom perioda T (EUR)

T – vremenski period (godina)

x_0 – iznos inicijalne investicije (EUR)

IRR – Interna stopa povrata

Metoda povrata

Metoda povrata *(eng. Payback period)* metoda je profitabilnosti kojom se određuje vrijeme potrebno budućim novčanim tokovima da pokriju investirani iznos. Razdoblje povrata se ostvaruje u onoj godini u kojoj novčani tokovi od projekta pokriju investirani iznos

$$PB = n + \frac{KNPV_n}{NPV_{n+1}}$$

U kojoj je:

n – posljednja godina prije nego što se investicija isplati

$KNPV_n$ – kumulativna sadašnja vrijednost u godini prije nego što se investicija isplati

NPV_{n+1} – sadašnja vrijednost u godini kada se investicija isplati

Tehnološki opis metode

Tehno-ekonomska analiza energetske obnove zgrada priključenih na CTS provest će se za dva moguća slučaja. Prvi će biti obnova zgrada, gdje se energetski obnavlja samo ovojnica sa krovištem i vanjskom stolarijom, tehnički sustavi u zgradi ostaju isti, kao i temperaturni režim rada CTS-a. Kod drugog slučaja uz obnovu ovojnice, krovišta i vanjske stolarije, mijenjaju se tehnički sustavi u zgradi te CTS-u. Dodatno, kroz analizirani period ubacivati će se nove održive tehnologije kako bi se ispunjavali ciljevi EU direktive i kako bi u 2050. godine sustav bio 100% iz obnovljivih izvora.

Za analizu su potrebni podaci o trenutnom zahtjevu za toplinskom energijom (Q_{H,nd_t}) i zahtjevi za toplinskom energijom nakon energetske obnove (Q_{H,nd_n}). Usporedbom Q_{H,nd_t} i Q_{H,nd_n} jasno se vidi utjecaj energetske obnove na zgrade.

Radi pojednostavljenja proračuna, kod oba slučaja ukupna cijena građevinske obnove i obnove tehničkih sustava u zgradi podijeljena je po godinama kao postotak obnove ukupnog fonda, to jest otprilike svake godine trošak obnove je 4 % ukupnog troška obnove fonda zgrada. Uz to, u obzir se uzima i rast cijene obnove od 1.5 % godišnje kako je i prethodno navedeno.

Specifična potrebna toplinska energija (Q_{Hnd_t})

$$Q_{H,nd_t} = \frac{E_{ukupno}}{A_k}$$

E_{ukupno} - ukupna toplina koju CTS proizvodi godišnje

A_{bruto} - ukupnu bruto površinu zgrade, a dobivena je kao umnožak tlocrtne površine i broja katova

A_k - korisna površina zgrada, vrijednost uzeta kao 70 % izračunate ukupne bruto površine

Očekivani zahtjev za specifičnom potrebnom toplinskom energijom nakon obnove (Q_{H,nd_n})

Vrijednosti Q_{hnd_n} za svaki slučaj određuje se pomoću zadanog koeficijenta f_0 i formula za pojedine vrste zgrade iz tehničkog propisa o racionalnoj upotrebi energije i toplinske zaštite u zgradama [13]. U prvom slučaju koristi se tablica za rekonstrukciju, pri kojoj ne dolazi do ispunjavanja zahtjeva za nZEB, dok se u drugom slučaju koristi tablica za rekonstrukciju koja ispunjava zahtjeve za nZEB.

3.1.1. Prvi slučaj obnove

U prvom slučaju analizira se obnova fonda zgrada, prilikom koje obnovljene zgrade ne ispunjavaju nZEB standard, to jest prvi slučaj predstavlja nižu razinu obnove od drugog. Za ovaj slučaj pretpostavka je da se obnavljaju samo građevinski elementi zgrade, vanjska ovojnica, stolarija i krovište. Pretpostavka je da se prvih pet godina postepeno nadograđuje sustav solarnih kolektora čija se cijena navodi u €/kWh. Radi pojednostavljenja proračuna, kako se u radu analiziraju zgrade različitih dimenzija i prostornih planova, potrebno je svesti sve cijene građevinskih radova na €/m^2 korisne tlocrtne površine zgrade (A_k). Za ovaj slučaj uzete su cijene prema minimalnim zahtjevima tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinske zaštite u zgradama navedenim u programu energetske obnove višestambenih zgrada za razdoblje do 2030.godine, pomnožene sa faktorom 1,3.

Tablica 2. Troškovničke stavke za prvi slučaj

Obnova vanjske ovojnice zgrade prema minimalnim zahtjevima TPRUETZZ	95 €/m^2_{Ak}
Obnova krovišta zgrade prema minimalnim zahtjevima TPRUETZZ	35 €/m^2_{Ak}
Zamjena vanjske stolarije s uključenom zaštitom od insolacije prema minimalnim zahtjevima TPRUETZZ	90 €/m^2_{Ak}
Ugradnja i nabava solarnih kolektora po instaliranom kW snage	541 €/kW

Ugradnja i nabava apsorpcijske dizalice topline po instaliranom kW snage	640 €/kW
Ugradnja i nabava dizalice topline na otpadnu vodu po instaliranom kW snage	1210 €/kW

Ova razina obnove s navedenim radovima i pretpostavkama, ukupno bi iznosila 220 €/m^2_{Ak} te će se ta cijena koristiti u analizi prvog slučaja [4]

Cijene ugradnje i nabave solarnih kolektora i dizalica toplina, radi jednostavnosti proračuna preuzeti su iz tehničkog kataloga Danske energetske agencije. [14]

Q_{H,nd_n} za prvi slučaj

Radi pojednostavljenja analize, za odabir Q_{H,nd_n} sve zgrade uzete su kao stambene, te uzimamo najmanju vrijednosti Q_{H_nd} iz tablica Tehničkog propisa, što odgovara i najučinkovitijem slučaju zgrada. Q_{H,nd_n} u prvom slučaju onda iznosi 50,63 kWh/m^2

Tablica 3. Tablica za određivanje QH,nd_n1 [13]

ZAHTJEVI – RE-KONSTRUKCIJA	$Q''_{H,nd}$ [kWh/(m²·a)]					
	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3$ °C			primorje, $\theta_{mm} > 3$ °C		
KATEGORIJA ZGRADE	$f_0 \leq 0{,}20$	$0{,}20 < f_0 < 1{,}05$	$f_0 \geq 1{,}05$	$f_0 \leq 0{,}20$	$0{,}20 < f_0 < 1{,}05$	$f_0 \geq 1{,}05$
Višestambena	50,63	$40{,}49 + 50{,}73 \cdot f_0$	93,75	27,00	$21{,}59 + 27{,}06 \cdot f_0$	50,00
Obiteljska kuća	50,63	$40{,}49 + 50{,}73 \cdot f_0$	93,75	27,00	$19{,}24 + 38{,}82 \cdot f_0$	60,00
Uredska	21,18	$11{,}03 + 50{,}73 \cdot f_0$	64,29	17,60	$12{,}19 + 27{,}06 \cdot f_0$	40,60
Obrazovna	14,98	$4{,}84 + 50{,}73 \cdot f_0$	58,10	10,81	$5{,}40 + 27{,}06 \cdot f_0$	33,83
Bolnica	23,40	$13{,}26 + 50{,}73 \cdot f_0$	66,51	50,48	$45{,}06 + 27{,}06 \cdot f_0$	73,48
Hotel i restoran	44,35	$34{,}21 + 50{,}73 \cdot f_0$	87,48	12,50	$7{,}09 + 27{,}06 \cdot f_0$	35,50
Sportska dvorana	120,49	$110{,}35 + 50{,}73 \cdot f_0$	163,61	40,91	$35{,}50 + 27{,}06 \cdot f_0$	63,93
Trgovina	61,14	$50{,}99 + 50{,}73 \cdot f_0$	104,25	15,11	$9{,}71 + 27{,}06 \cdot f_0$	38,13
Ostale nestambene	50,63	$40{,}49 + 50{,}73 \cdot f_0$	93,75	27,00	$21{,}59 + 27{,}06 \cdot f_0$	50,00

3.1.2. Drugi slučaj obnove

Drugi slučaj analizira obnovu fonda zgrada do nZEB standarda sa dodatnom obnovom tehničkog sustava grijanja u zgradama i prelaskom CTS-a u niskotemperaturni režim rada. U ovom slučaju potrebno je maksimalno smanjenje potrošnje energije. Za postizanje nZEB standarda u energetskoj obnovi potrebni su značajni tehnički pothvati i visoka financijska

izdavanja, ali se zato u budućnosti očekuju velike uštede. Kao i u prethodnom slučaju, izvode se isti građevinski radovi na vanjskom djelu zgrade te se dodatno unaprjeđuju tehnički sustavi u zgradi. Provodi se rekonstrukcija postojeće centralne toplinske podstanice sa novim izmjenjivačem topline za niskotemeraturne režime, te se također ugrađuje novi akumulacijski spremnik za pripremu PTV-a. Kako bi se sustav grijanja u pojedinim stanovima mogao prilagoditi novim sustavima, potrebna je zamjena cijelog cijevnog razvoda sustava centralnog grijanja. Kao i u prvom slučaju, prvih pet godina dodavat će se solarni termalni kolektori, kao i dizalice topline koje bi trebale pokriti ostatak proizvodnje toplinske energije u cijelosti. U ovom slučaju pretpostavlja radove navedene u tablici te također cijene radova svodimo na €/m^2_{Ak} radi pojednostavljenja proračuna.

Tablica 4. Troškovničke stavke za drugi slučaj

Obnova vanjske ovojnice zgrade prema minimalnim zahtjevima TPRUETZZ	95 €/m^2_{Ak}
Obnova krovišta zgrade prema minimalnim zahtjevima TPRUETZZ	35 €/m^2_{Ak}
Zamjena vanjske stolarije s uključenom zaštitom od insolacije prema minimalnim zahtjevima TPRUETZZ	90 €/m^2_{Ak}
Rekonstrukcija postojeće centralne podstanice	5 €/m^2_{Ak}
Zamjena ili poboljšanje postojećeg cijevnog razvoda centralnog sustava grijanja	57 €/m^2_{Ak}
Ugradnja novog akumulacijskog spremnika PTV-a	4€/m^2_{Ak}
Ugradnja i nabava solarnih kolektora po instaliranom kW snage	541€/kW
Ugradnja i nabava apsorpcijske dizalice topline po instaliranom kW snage	640 €/kW
Ugradnja i nabava dizalice topline na otpadnu vodu po instaliranom kW snage	1210 €/kW

Zbroj svih navedenih stavki koje su svedene na €/m^2_{Ak} iznosi 286 €/m^2_{Ak} te ćemo taj iznos uzeti za analizu [4]. Cijene ugradnje i nabave solarnih kolektora i dizalica toplina, radi jednostavnosti proračuna uzeti su kao i kod prvog slučaja.

Q_{H,nd_n} za drugi slučaj

Radi pojednostavljenja analize, za odabir Q_{H,nd_n} sve zgrade uzete su kao stambene, te uzimamo najmanju vrijednosti Q_{Hnd} iz tablica Tehničkog propisa, što odgovara i najučinkovitijem slučaju zgrada. Q_{H,nd_n} u drugom slučaju onda iznosi 40.5 kWh/m^2

Tablica 5. Tablica za određivanje QHnd_n2 [13]

ZAHTJEVI ZA NOVE ZGRADE i G0EZ	$Q''_{H,nd}$ [kWh/(m²·a)]					
	NOVA ZGRADA i G0EZ					
KATEGORIJA ZGRADE	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3$ °C			primorje, $\theta_{mm} > 3$ °C		
	$f_0 \leq 0{,}20$	$0{,}20 < f_0 < 1{,}05$	$f_0 \geq 1{,}05$	$f_0 \leq 0{,}20$	$0{,}20 < f_0 < 1{,}05$	$f_0 \geq 1{,}05$
Višestambena	40,50	$32{,}39 + 40{,}58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19{,}86 + 24{,}89 \cdot f_0$	45,99
Obiteljska kuća	40,50	$32{,}39 + 40{,}58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$17{,}16 + 38{,}42 \cdot f_0$	57,50
Uredska	16,94	$8{,}82 + 40{,}58 \cdot f_0$	51,43	16,19	$11{,}21 + 24{,}89 \cdot f_0$	37,34
Obrazovna	11,98	$3{,}86 + 40{,}58 \cdot f_0$	46,48	9,95	$4{,}97 + 24{,}91 \cdot f_0$	31,13
Bolnica	18,72	$10{,}61 + 40{,}58 \cdot f_0$	53,21	46,44	$41{,}46 + 24{,}89 \cdot f_0$	67,60
Hotel i restoran	35,48	$27{,}37 + 40{,}58 \cdot f_0$	69,98	11,50	$6{,}52 + 24{,}89 \cdot f_0$	32,65
Sportska dvorana	96,39	$88{,}28 + 40{,}58 \cdot f_0$	130,89	37,64	$32{,}66 + 24{,}91 \cdot f_0$	58,82
Trgovina	48,91	$40{,}79 + 40{,}58 \cdot f_0$	83,40	13,90	$8{,}92 + 24{,}91 \cdot f_0$	35,08
Ostale nestambene	40,50	$32{,}39 + 40{,}58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19{,}86 + 24{,}89\ f_0$	45,99

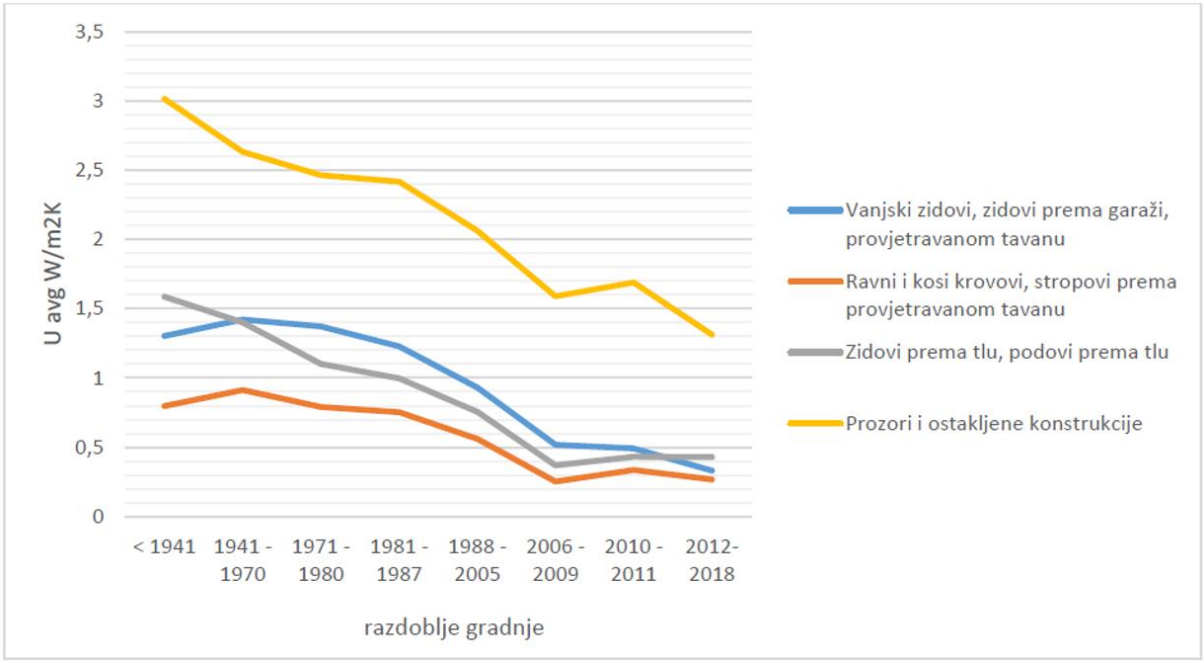
3.1.3. Uštede

Nakon energetske obnove zgrada očekuje se veliko smanjenje potražnje za toplinskom energijom kod subjekata. Samim tim smanjenjem potražnje, manje plina se koristi u proizvodnji toplinske energije i povećava se udio obnovljivih izvora preko solarnih polja i dizalica topline, da bi se na kraju sustav potpuno prebacio na obnovljive izvore. Osim financijskog aspekta, smanjuje se i emisija stakleničkih plinova koji nastaju u postrojenju i smanjuje se ovisnost o tržištu plina.

4. Opis studije slučaja – grad Vukovar

4.1.1. Stanje fonda zgrada u Vukovaru

Stanje zgrada u Vukovaru karakterizira velik udio starijih građevina izgrađenih prije 1988. godine, kada su standardi energetske učinkovitosti bili znatno niži nego danas. Veći dio stambenog fonda čine višestambene zgrade s vanjskom ovojnicom loših izolacijskih svojstava, zastarjelom vanjskom stolarijom i neadekvatnim sustavima grijanja. Kretanje koeficijenata prolaza topline prikazano je na slici [4]



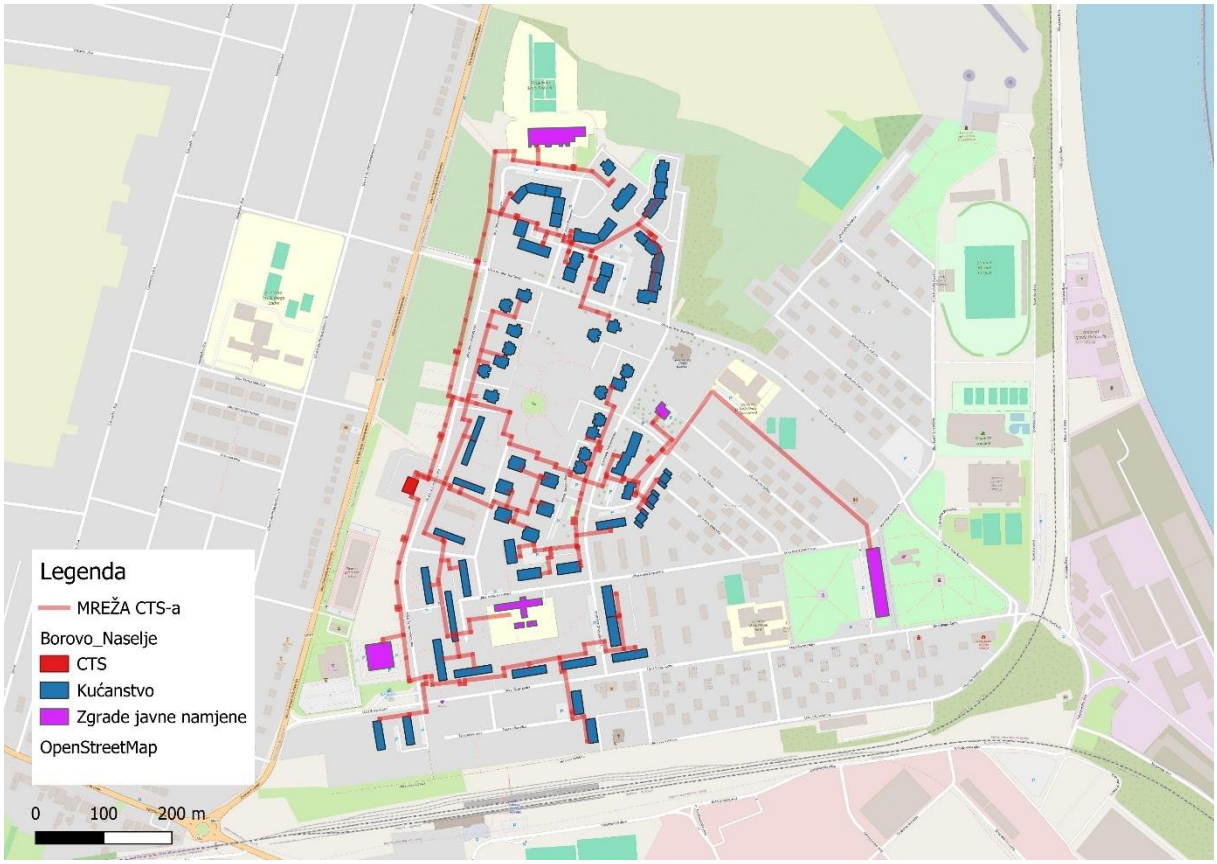
Slika 3. Prikaz kretanja karakterističnih koeficijenata prolaza topline po razdobljima gradnje [3]

Poseban izazov predstavljaju zgrade koje su bile pogođene razaranjima tijekom Domovinskog rata. Iako su mnoge obnovljene, te obnove često nisu uključivale energetsku sanaciju, već su bile usmjerene na funkcionalnu rekonstrukciju. Stoga velik broj zgrada ima visoku potrošnju primarne energije za grijanje i hlađenje, što opterećuje kućanstva visokim troškovima i povećava emisije stakleničkih plinova.

Dio zgrada u Vukovaru priključen je na CTS, koji je posljednjih godina moderniziran, ali još uvijek radi na višim temperaturnim režimima. To otežava integraciju obnovljivih izvora energije, a energetski neučinkovite zgrade dodatno povećavaju opterećenje sustava.

4.1.2. Centralni toplinski sustav u Vukovaru

CTS-om u Vukovaru upravlja tvrtka Tehnostan d.o.o., koja je odgovorna za distribuciju, proizvodnju i opskrbu toplinskom energijom. Dobavljači primarnog energenta za proizvodnju toplinske energije su LUEL – INA d.d., PLIN – Prvo plinarsko društvo Vukovar. Tehnostan na području grada Vukovara ima dva CTS-a, jedan na području Borova Naselja te jedan u Olajnici. Uz CTS, Tehnostan ima i 9 zatvorena toplinska sustava, ali u ovom radu analiziraju se samo zgrade spojene na CTS u Borovu naselju. [1]

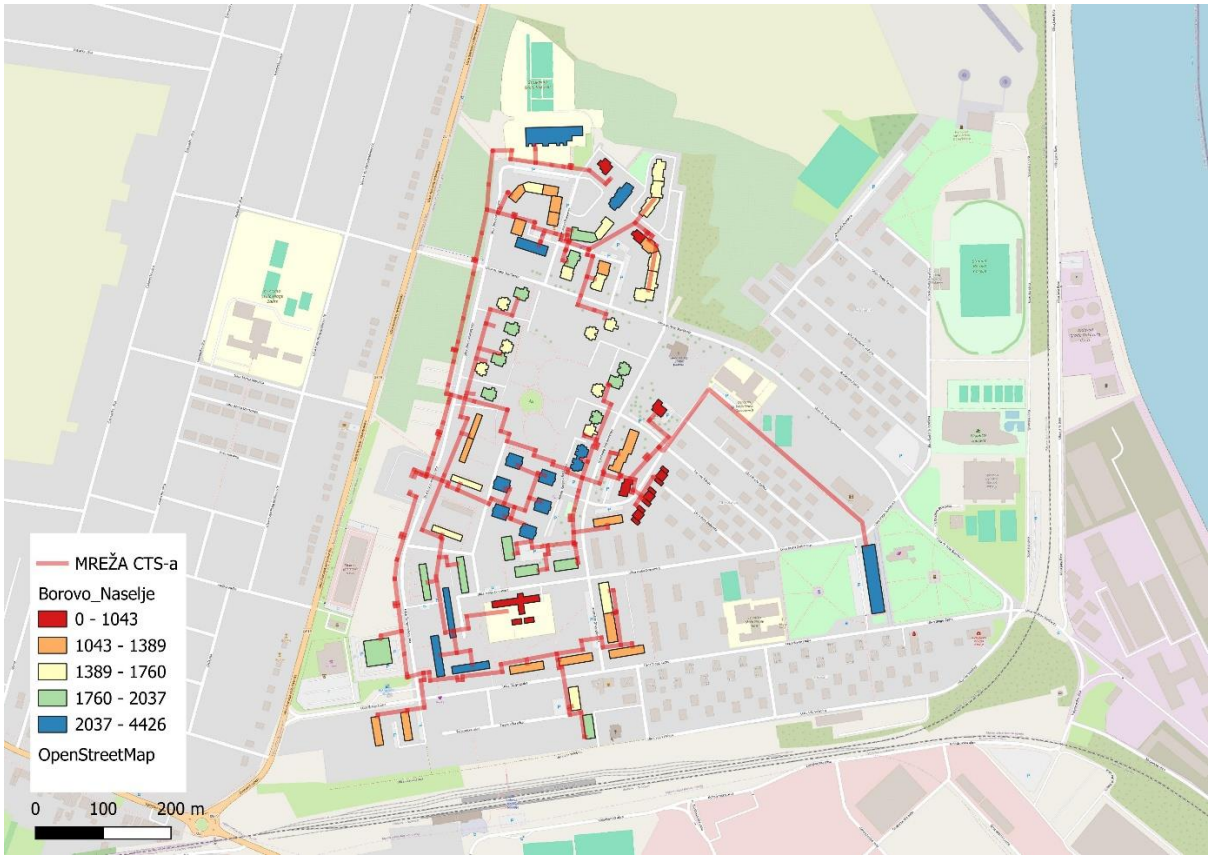


Slika 4. Prikaz CTS mreže i namjena zgrada

Slika [4] prikazuje mrežu CTS-a, te namjene spojenih zgrada. Na slici crveno označena je zgrada toplane u Borovom naselju, plavom bojom označena su kućanstva, dok su ljubičastom zgrade javne namjene, vrtić, škola te industrijske zgrade. Prema slici uočljivo je da su na CTS u Borovom naselju pretežito priključena kućanstva, a da su industrijske i ostale zgrade javne namjene u manjem postotku, čime se može potvrditi pretpostavka da se sve zgrade u analizi svrstaju pod stambene.

Tablica 6. Podaci o mreži CTS-a

Broj krajnjih kupaca	2222
Grijana površina kućanstva	121143 m^2
Grijana površina zgrada javne namjene i industrije	4887 m^2
Ukupna grijana površina	126030 m^2
Ukupna instalirana snaga kotlovnice na plin	18.2 MW
Trenutno instalirana snaga solarnih kolektora	520 kW
Polazna temperatura [°C]	90
Povratna temperatura [°C]	70
Duljina cijevi	5435 m



Slika 5. Prikaz korisne površine po zgradama

Slika [5] prikazuje korisnu površinu zgrada spojenih na CTS. Većinom su to višestambene zgrada, te broj katova po zgradama varira, od zgrada sa jednim katom, pa sve do zgrada sa devet katova. Preko ove slike također se jasno vide zgrade koje će kasnije imati najveće toplinske zahtjeve.

U 2019. godini, Tehnostan je pustio prvu solarnu termalnu kotlovnicu čime je Vukovar postao prvi grad u Hrvatskoj sa takvim postrojenjem, tada je kotlovnica brojala 160 solarnih ploča sa planom da se taj broj proširi na 600 ploča. Do danas je instalirano sveukupno 320 solarnih kolektora čiji godišnji prinos iznosi oko 900 MWh te pridonosi smanjenju emisije CO_2 u okoliš za oko 210 tona godišnje. Trenutno kada se analiziraju ukupni podaci CTS-a u Vukovaru, obnovljivi izvori čine 8 % u ukupnoj proizvodnji toplinske energije, te je sa ovom solarnom termalnom kotlovnicom ukupne snage 520 kW grad Vukovar zauzeo značajno mjesto u regiji kada je u pitanju iskorištavanje sunčeve energije [15]. Za potrebe ove analize pretpostavljeno je da se u oba slučaja postepeno se do 2030 godine ugrađuje dodatnih 200 kW solarnih kolektora godišnje, tako da ukupni kapacitet bude 1,5 MW, čime će se smanjivati udio plina u proizvodnji TE i samim time rasti će uštede na gorivu.

Slika 6. Solarno polje CTS-a u Borovom Naselju

Cijena toplinske energije

Cijene toplinske energije u Vukovaru definiraju se prema parametrima navedenim ispod u tablici sa Slike 7. Cijena toplinske energije za CTS Borovo Naselje se definira kao zbroj stavki za proizvodnju i distribuciju toplinske energije, te naknada za opskrbu i kupca toplinske energije. Također cijena ovisi o tome je li subjekt poslovni korisnik ili kućanstvo, ali u analizi, radi pojednostavljenje proračuna pretpostavljena je ista cijena za sve objekte radi malog broja korisnika van kategorije „Kućanstvo“.

TEHNOSTAN
d.o.o. za proizvodnju, distribuciju i opskrbu toplinskom energijom

Tehnostan d.o.o. | Vukovar, Dr. Franje Tuđmana 23
centrala (032) 450-300 | fax (032) 441-677
www.tehnostan-vukovar.hr | tehnostan@tehnostan-vukovar.hr

TEHNOSTAN d.o.o., VUKOVAR

CIJENE TOPLINSKE ENERGIJE
za razdoblje od 01.10.2024 do 31.03.2025.

Kotlovnica	Vrsta Toplinskog sustava	Vrsta tarifne stavke	KUĆANSTVO		POSLOVNI		Naknada za Opskrbu (bez PDV)	Naknada za Kupca TE (bez PDV)
			Energija (bez PDV)	Snaga (bez PDV)	Energija (bez PDV)	Snaga (bez PDV)		
			eur/kWh	eur/kW/mj	eur/kWh	eur/kW/mj	eur/mj	eur/m2/mj
Domovinskog rata 3 "Borovo Naselje"	CTS	krajnja cijena	0,0628	2,27	0,0706	2,27	1,10	0,09
		za proizvodnju	*0,0555*	*1,49*	*0,0633*	*1,49*	-	-
		za distribuciju	*0,0073*	*0,78*	*0,0073*	*0,78*	-	-
Olajnica 18a "Olajnica"	CTS	krajnja cijena	0,0628	2,27	0,0706	2,27	1,10	0,09
		za proizvodnju	*0,0555*	*1,49*	*0,0633*	*1,49*	-	-
		za distribuciju	*0,0073*	*0,78*	*0,0073*	*0,78*	-	-
"D6" Županijska 96	ZTS	krajnja cijena	0,0628	2,27	0,0707	2,27	1,10	0,09
"D2" Dunavska 5	ZTS	krajnja cijena	0,0628	2,27	0,0707	2,27	1,10	0,09
"INTERNATI" Rudolfa Perešina 3a	ZTS	krajnja cijena	0,0628	2,27	0,0707	2,27	1,10	0,09
"SLAVIJA" Trg Slavija 1	STS	krajnja cijena	0,0629	2,12	-	-	-	0,09

Slika 7. Cijene toplinske energije 2025, Tehnostan – Vukovar [16]

Preko tablice sa slike [7] očitava se ukupna cijena toplinske energije u Borovom Naselju, koju se radi pojednostavljenja proračuna za sve zgrade očitava kao cijena za kućanstvo i iznosi 0.0628 eura/kWh plus PDV. Naknada za opskrbu i kupca TE ne uvodi se u proračun jer su to fiksni troškovi koji ne ovise o energetskim svojstvima zgrade. [16]

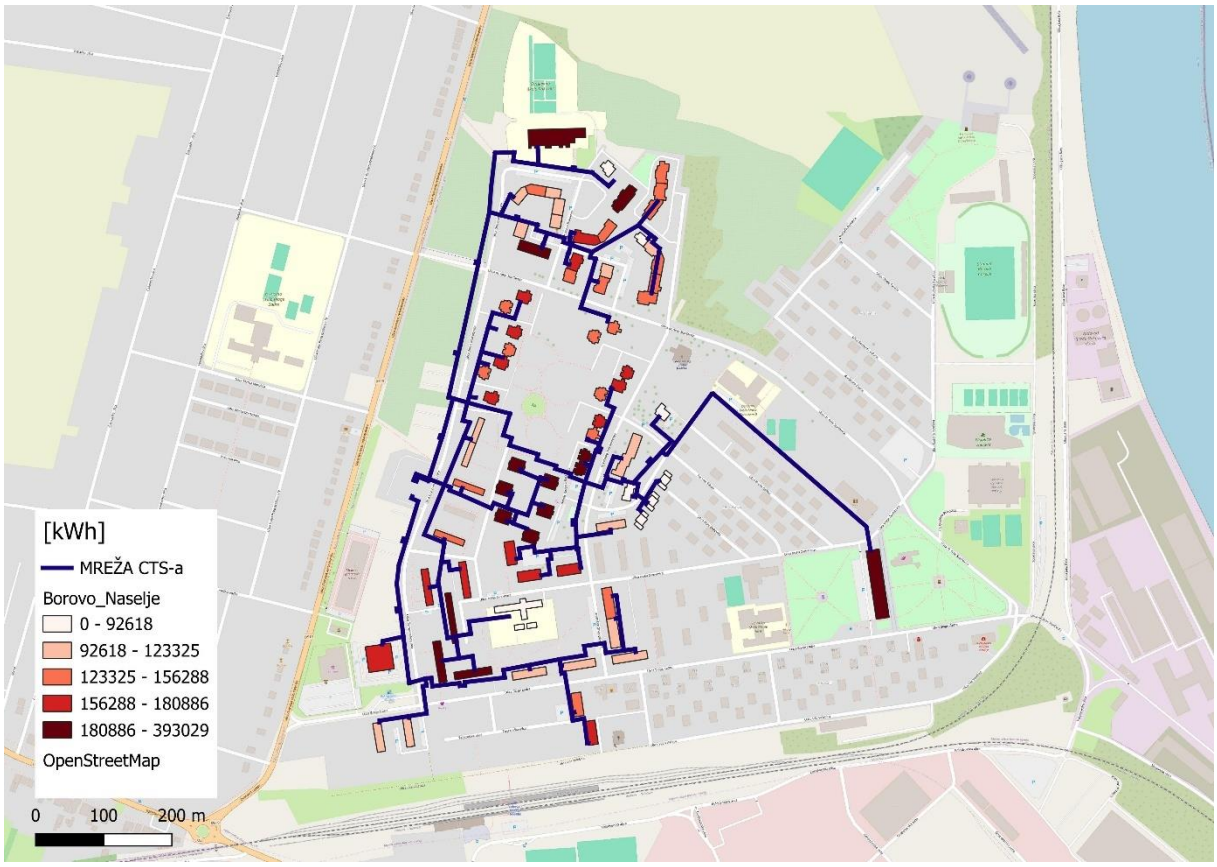
Cijene ostalih energenata i operativnih troškova korištenih u analizi. Cijena plina je u proračun uzeta prema podacima iz Eurostata za poslovne korisnike [17] dok su cijene operativnih troškova uzete iz Tehničkog kataloga.[14]

Tablica 7. Troškovi energenata i operativni troškovi

Cijena plina	0,058 €/kWh
Operativni troškovi za DT	0,001 €/kWh
Operativni troškovi za DT-WH	0,00286 €/kWh

Prikaz trenutnog stanja prema zahtjevu za toplinskom energijom

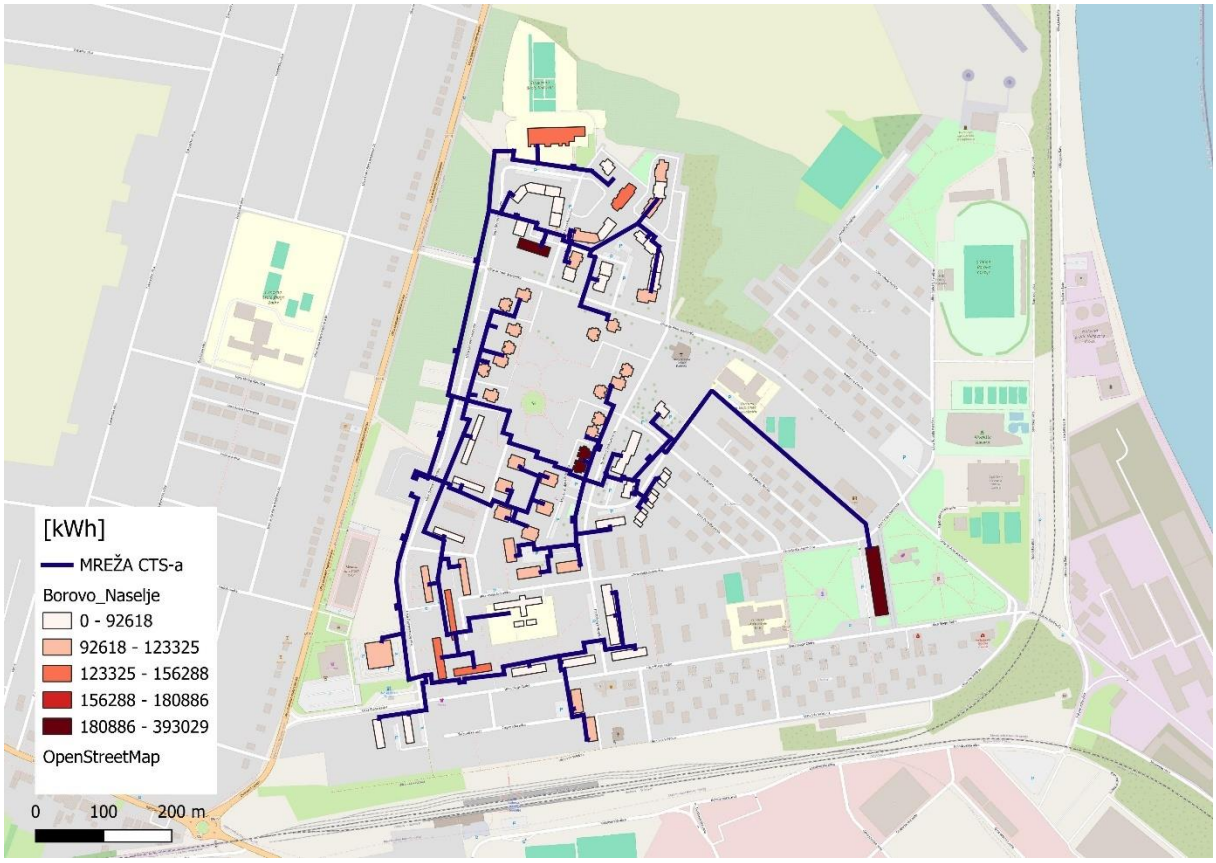
Prema podacima iz Tehnostana, totalni trenutni zahtjev za specifičnom toplinskom energijom je oko 11,152 GWh godišnje za područje CTS-a Borovo naselje. Kao što je navedeno u metodi, dijeljenjem te vrijednosti sa ukupnom korisnom površinom (A_k), dobije se Q_{Hnd_t}, koji raspoređen po zgradama izgleda kao na Slici 8. Kroz rezultate po slučajevima prikazati će se nove slike sa vrijednostima Q_{Hnd_n1} i Q_{Hnd_n2} gdje će biti lako uočljiv pad zahtjeva za toplinskom energijom.



Slika 8. Vrijednosti QHnd_t po zgradama

5. Rezultati tehno ekonomske analize

5.1. Rezultati obnove prvog slučaja



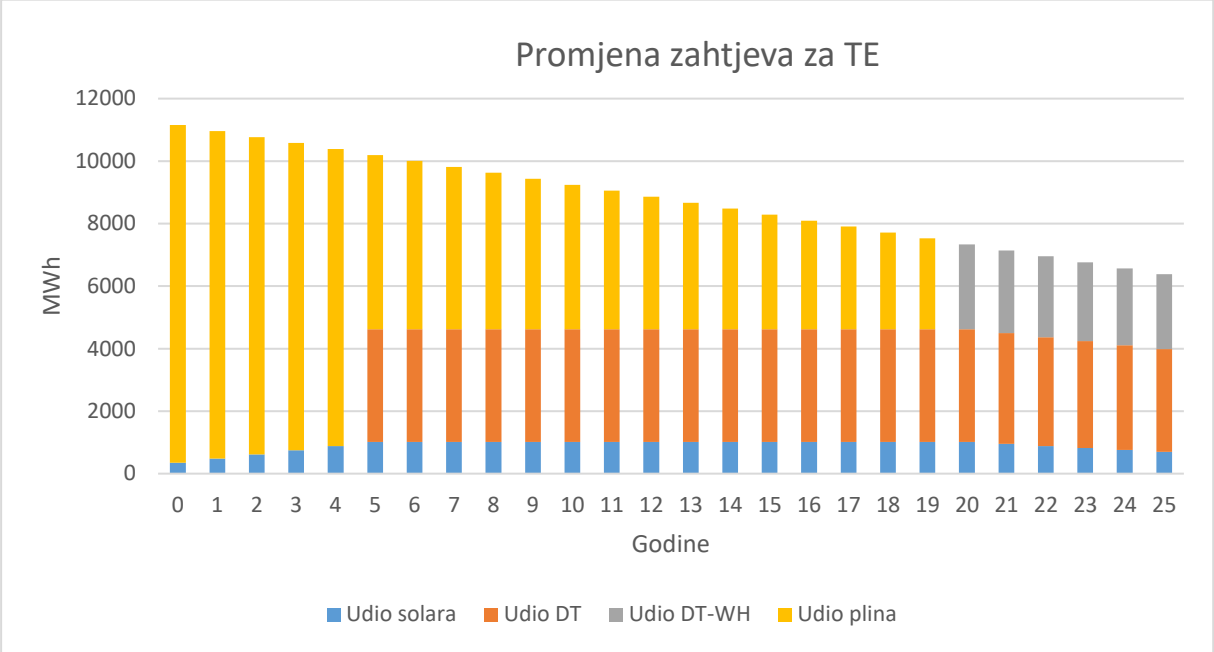
Slika 9. Prikaz toplinskih potreba po zgradama nakon energetske obnove u prvom slučaju

Nakon postepene energetske obnove vanjskog dijela zgrade, ovojnice, stolarije i krovišta, do 2050. godine, smanjio se ukupni zahtjev za toplinskom energijom sa početnih 11,152 GWh na otprilike 6,379 GWh godišnje. Postotno, to je otprilike 42 % smanjenje zahtjeva za TE, te samim time nije zadovoljen nZEB standard po zadanim uvjetima u EU direktivama. Ukupni troškovi obnove, građevinskih elemenata i instalacije novih pogona za proizvodnju TE kroz razdoblje od 25 godina, u prvom slučaju iznose 39,086 milijuna eura.

Tablica 8. Podaci nakon energetske obnove u prvom slučaju

Ukupni zahtjev za TE nakon kompletne obnove	6379,4 MWh
Snaga ukupno instaliranih solarnih kolektora	1,52 MW
Potrebna snaga DT	0,95 MW
Potrebna snaga DT-WH	0,82 MW
Ukupni troškovi građevinske obnove	37,014,813 €
Trošak DT	606,060 €
Trošak DT-WH	983,336 €
Trošak solarnih kolektora	482,727 €

Ukupna instalirana snaga solarnih kolektora je 1,52 MW, pomoću kojih se pri kraju obnove proizvodi oko 10 % ukupne TE godišnje. Potrebna snaga apsorpcijske dizalice topline u prvom slučaju iznosi 0,95 MW te se preko nje proizvodi oko 52% ukupne TE godišnje. Ostatak TE na kraju obnove proizvodi dizalica topline iskorištavajući otpadnu toplinu iz otpadnih voda ukupne instalirane snage 0,82 MW. Slika [10] grafički prikazuje postepeno smanjenje zahtjeva za toplinskom energijom kroz godine i udjele pojedinih izvora u proizvodnji TE. Na slici je vidljivo da se u petoj godini, kada se doseže maksimalna snaga solarnih kolektora, dodaje još i dizalica topline koja do 10. godine analize, zajedno sa solarima pokriva preko 50 % proizvodnje solarne energije. U 20. godini dolazi do potpunog uklanjanja kotla na plin, te se on zamjenjuje dizalicom topline na otpadne vode koja pokriva ostatak potreba.



Slika 10. Promjena zahtjeva za TE i udjeli u proizvodnji TE prvi slučaj

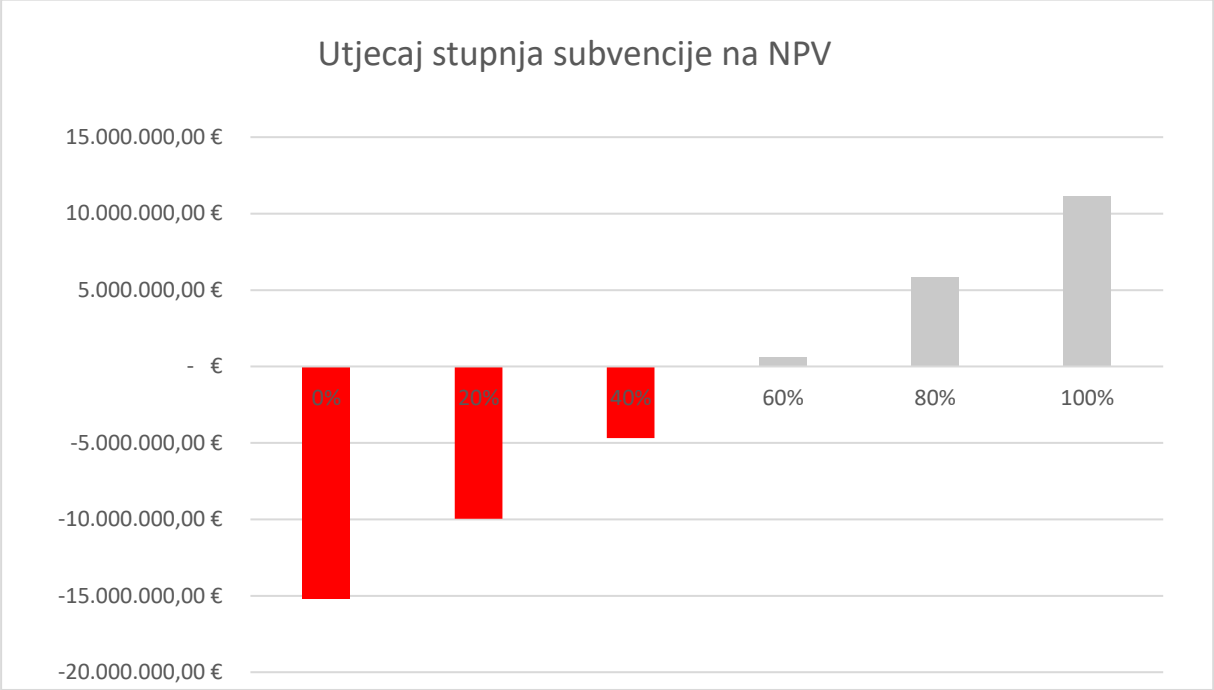
Tablica 9. Rezultati podataka za ekonomsku analizu u prvom slučaju

NPV	-15,238,012 €
IRR	/
Rok povrata	> 25 godina

Prema dobivenim ekonomskim pokazateljima isplativosti, prvi slučaj ispada ekonomski ne isplativ sa NPV-om od -15,238 milijuna eura i rokom povrata koji je veći od promatranih 25 godina. IRR nije moguće izračunati za navedeni slučaj.

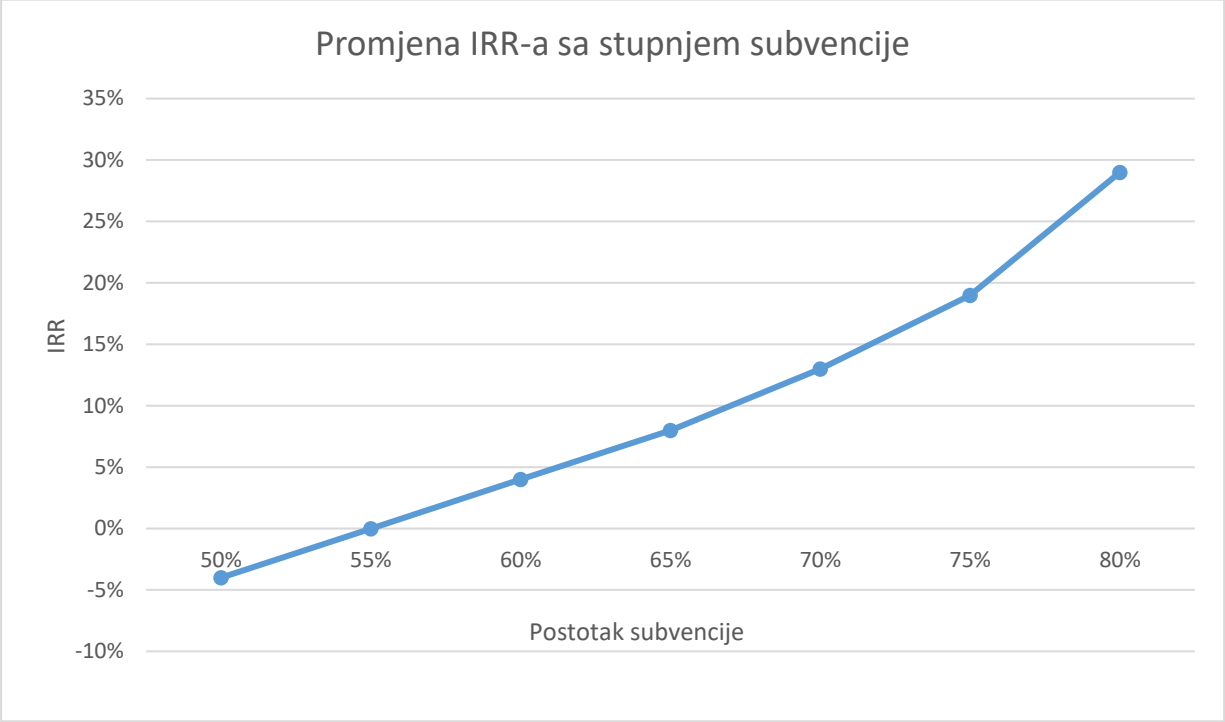
5.1.1. Utjecaj subvencije na prvi slučaj

Rezultati prvog slučaja ispali su izrazito ekonomski ne isplativi kada je u pitanju obnova sa 100 % udjelom privatne investicije, pa se postavlja pitanje bi li, i sa kolikim postotkom subvencije projekt ispao isplativ.



Slika 11. Prikaz promjene NPV-a sa postotkom subvencije prvi slučaj

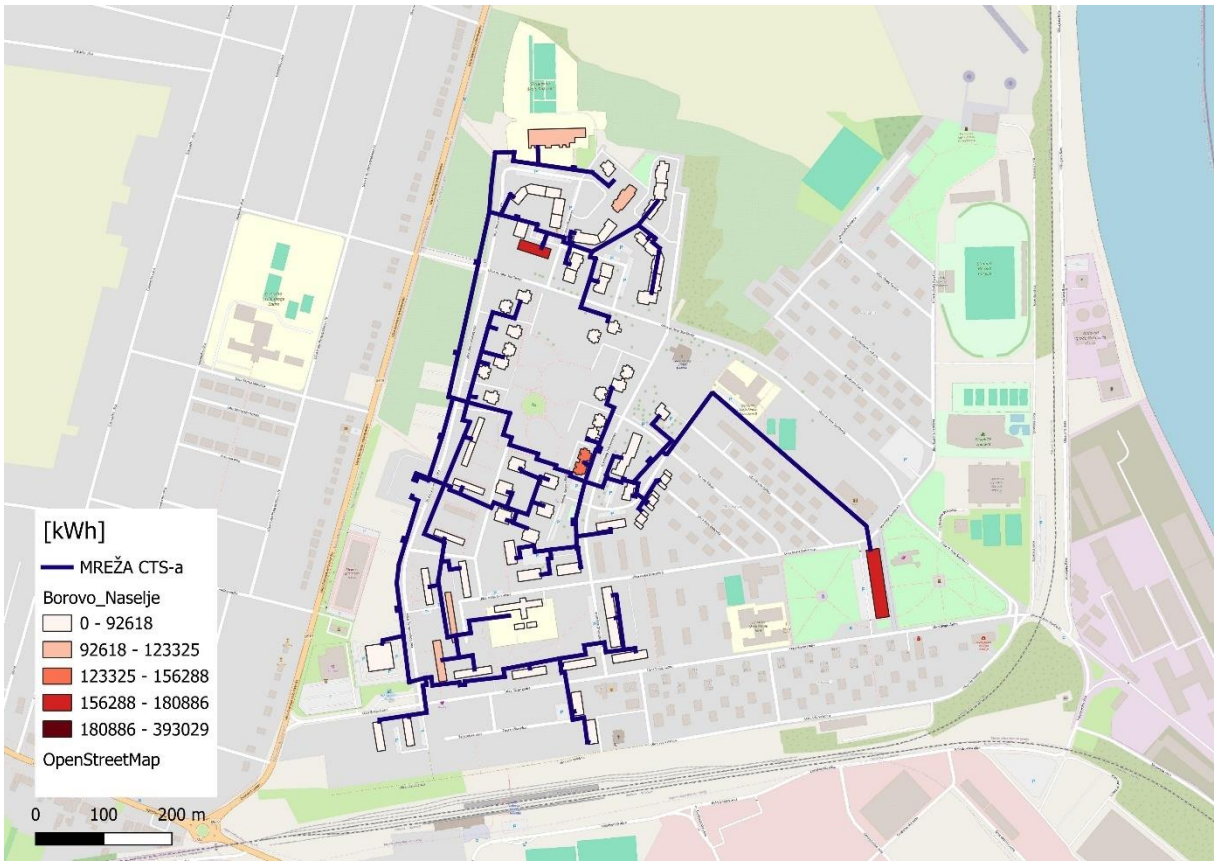
Slika 11 prikazuje promjenu NPV-a sa promjenom postotka subvencije projekta. Ako bi projekt bio potpuno financiran iz fondova za energetsku obnovu, vidljivo je da bi vrijednost NPV-a porasla do otprilike 11 milijuna eura i tada bi projekt bio najisplativiji za Tehnostan i potencijalno za krajnje kupce kojima bi cijena TE tada mogla biti snižena. Iz slike [11] je također vidljivo da će projekt biti isplativ tek sa iznosom subvencije od oko 60 %. Precizniji postotak subvencije kada bi projekt postao isplativ, lakše se iščita preko promjene IRR-a.



Slika 12. Promjena IRR sa postotkom subvencije prvi slučaj

Uz NPV, promjena isplativosti sa promjenom postotka subvencije može se pratiti i promjenom IRR-a. Prema slici [12] vidljivo je da sa 50% subvencije, IRR je i dalje negativan, a dok sa 80 % iznosi čak 29%. IRR sa postotkom subvencije od 55 % jedva prelazi nulu, a nakon što pređe vrijednost diskontne stope, tek onda se projekt može smatrati kao financijski isplativ. IRR prelazi vrijednost diskontne stope sa otprilike 60 % subvencije, a tada je rok povrata investicije od oko 22,5 godina.

5.2. Analiza drugog slučaja



Slika 13. Prikaz toplinskih potreba po zgradama nakon energetske obnove u drugom slučaju

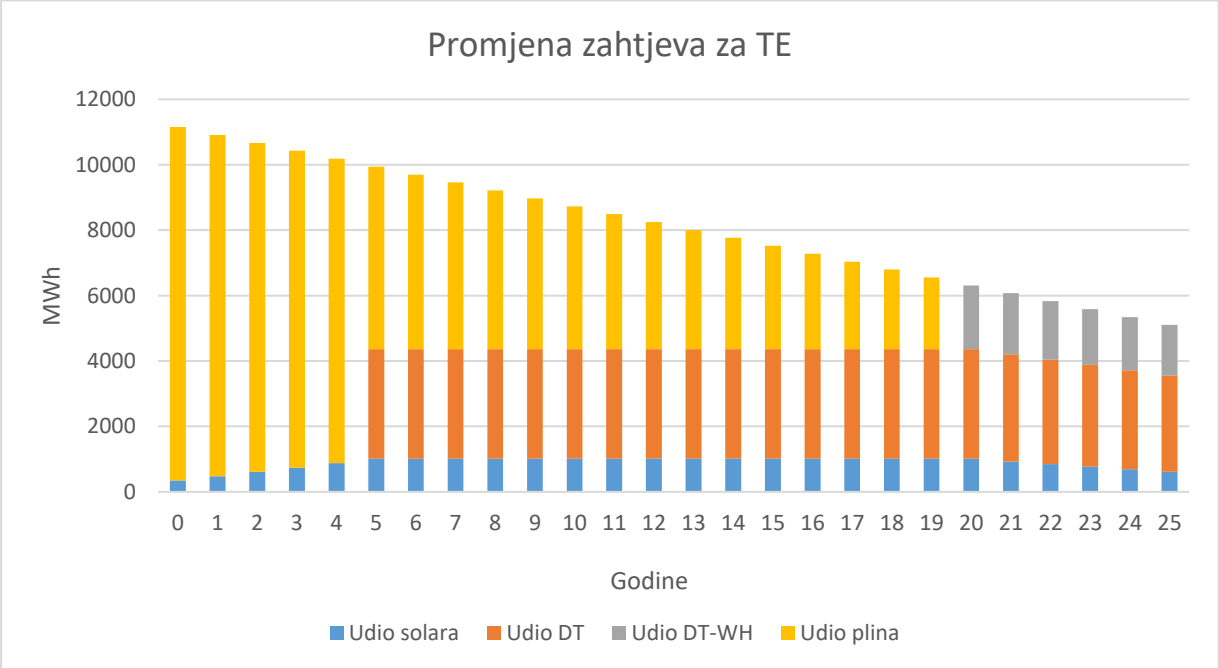
Nakon postepene energetske obnove u drugom slučaju, koja je uključivala obnovu vanjskog dijela zgrade, ovojnice, stolarije i krovišta te obnovu tehničkih sustava u zgradi, do 2050. godine, smanjio se ukupni zahtjev za toplinskom energijom sa početnih 11,152GWh na otprilike 5,103GWh godišnje. Postotno, to je otprilike 55 % smanjenje zahtjeva za TE, te je s time zadovoljen nZEB standard po zadanim tehničkim uvjetima u EU direktivama. Ukupni troškovi obnove, građevinskih elemenata i instalacije novih pogona za proizvodnju TE kroz razdoblje od 25 godina, u drugom slučaju iznose 47,031 milijuna eura.

Tablica 10. . Podaci nakon energetske obnove u drugom slučaju

Ukupni zahtjev za TE nakon kompletne obnove	5103 MWh
Snaga ukupno instaliranih solarnih kolektora	1,52 MW
Potrebna snaga DT	0,85 MW
Potrebna snaga DT-WH	0,5 MW

Ukupni troškovi građevinske obnove	45,425,495 €
Trošak DT	536,508 €
Trošak DT-WH	588,846 €
Trošak solarnih kolektora	482,727 €

Ukupna instalirana snaga solarnih kolektora je 1,52 MW, pomoću kojih se pri kraju obnove proizvodi oko 20 % ukupne TE godišnje. Potrebna snaga apsorpcijske dizalice topline u drugom slučaju iznosi 0,85 MW te se preko nje proizvodi oko 65 % ukupne TE godišnje. Ostatak TE na kraju obnove proizvodi dizalica topline iskorištavajući otpadnu toplinu iz otpadnih voda ukupne instalirane snage 0,5 MW. Slika [14] grafički prikazuje postepeno smanjenje zahtjeva za toplinskom energijom kroz godine i udjele pojedinih izvora u proizvodnji TE. Kao i u prvom slučaju, na slici je vidljivo da se u petoj godini, kada se doseže maksimalna snaga solarnih kolektora, dodaje još i dizalica topline koja do 10. godine analize, zajedno sa solarima pokriva preko 50 % proizvodnje solarne energije. U 20. godini dolazi do potpunog uklanjanja kotla na plin, te se on zamjenjuje dizalicom topline na otpadne vode koja pokriva ostatak potreba.



Slika 14. Promjena zahtjeva za TE i udjeli u proizvodnji TE drugi slučaj

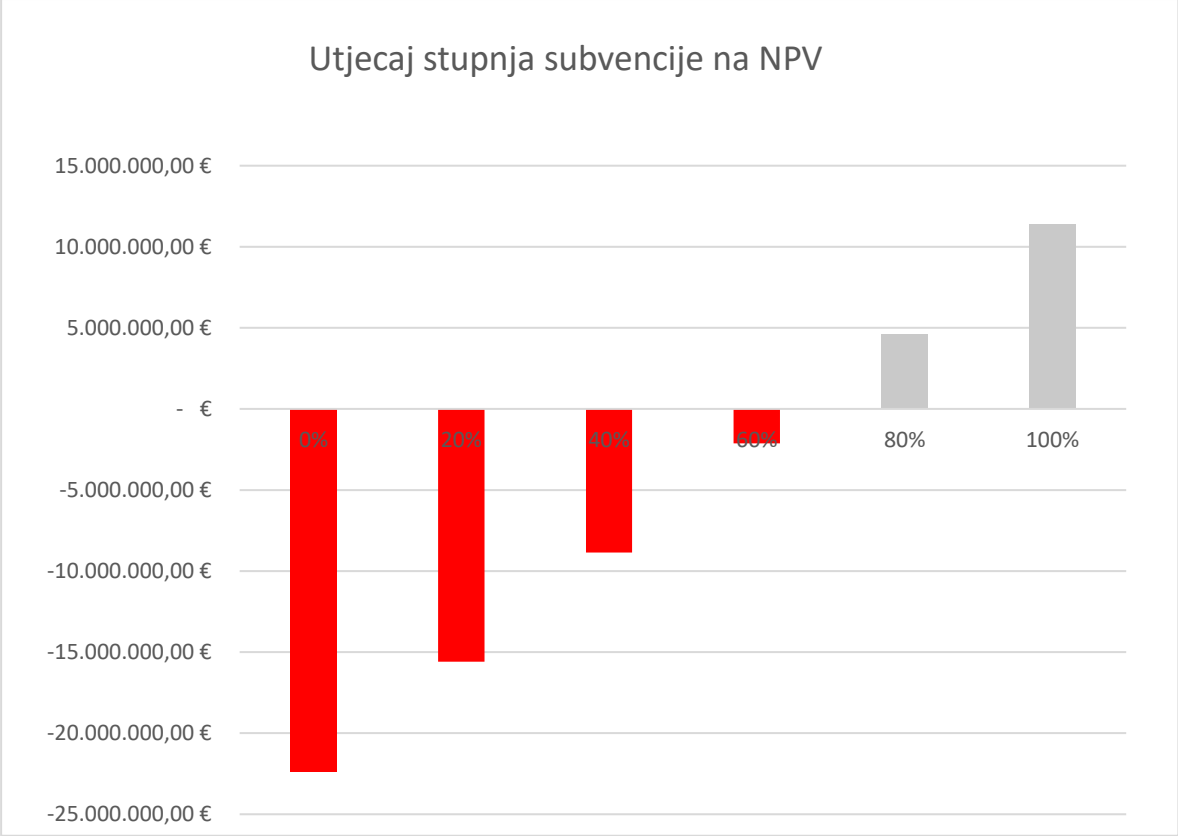
Tablica 11. Rezultati podataka za ekonomsku analizu u drugom slučaju

NPV	-22,339,633 €
IRR	/
Rok povrata	> 25 godina

Prema dobivenim ekonomskim pokazateljima isplativosti, drugi slučaj isto kao i prvi ispada ekonomski ne isplativ sa NPV-om od -22,339 milijuna eura i rokom povrata koji je veći od promatranih 25 godina. IRR nije moguće izračunati za navedeni slučaj.

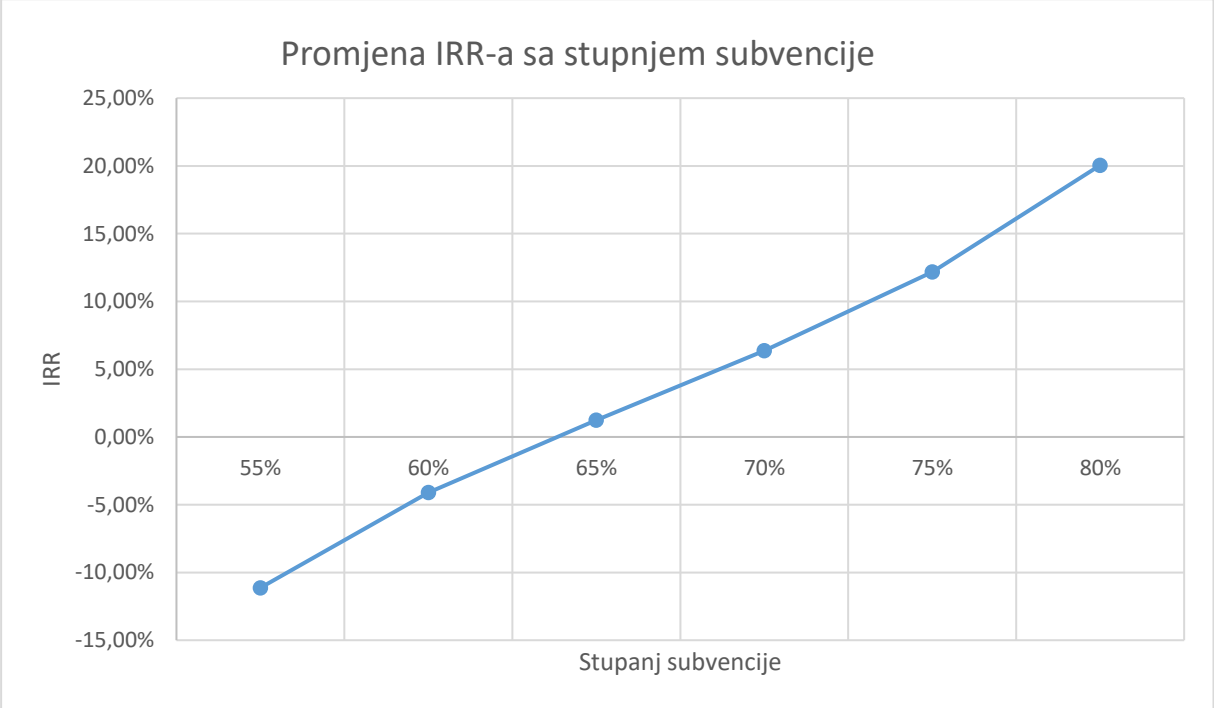
5.2.1. Utjecaj subvencije na drugi slučaj

Kao i rezultati u prvom slučaju, i u drugom su ispali ekonomski ne isplativi kada je u pitanju obnova sa 100 % udjelom privatne investicije. Iz tog razloga i u ovom slučaju promatra se utjecaj subvencije na isplativost projekta.



Slika 15. Prikaz promjene NPV-a sa postotkom subvencije drugi slučaj

Slika [15] prikazuje promjenu NPV-a sa promjenom postotka subvencije projekta. Ako bi projekt bio potpuno financiran iz fondova za energetsku obnovu, vidljivo je da bi vrijednost NPV-a porasla do otprilike 12 milijuna eura i tada bi projekt bio financijski isplativ za Tehnostan i potencijalno za krajnje kupce kojima bi cijena TE tada mogla biti snižena. Iz Slike [15] je također vidljivo da će projekt biti financijski isplativ tek sa iznosom subvencije oko 70 %.



Slika 16. Promjena IRR sa postotkom subvencije drugi slučaj

Preko slike [16] iščitava se da je IRR kod 55 % subvencije otprilike -14,8%, dok je na 80 % subvencije 20 %. IRR prelazi nulu tek sa preko 65 % subvencije, a vrijednost diskontne stope prelazi tek sa preko 68 %, tada je rok povrata 22,7 godina.

6. ZAKLJUČAK

Energetskom obnovom fonda zgrada i tehničkih podsustava, te zamjenom sustava poput plinskih kotlova sa tehnologijama koje koriste obnovljive izvore i otpadnu toplinu u CTS -u, dolazi do poboljšanja energetske učinkovitosti i smanjenja zahtjeva za TE u zgradama. Sve navedeno slijede i visoki financijski troškovi, pa ovakvi projekti predstavljaju veliki financijski izazov, te su potrebna dodatne potpore i ulaganja poput raznih subvencija.

Cilj ovog rada bio je provesti tehno-ekonomsku analizu energetske obnove zgrada u dva slučaja. U prvom slučaju iako nije postignut nZEB standard, rezultat je uvelike smanjen zahtjev za toplinskom energijom, čak 40 %. Ekonomski je prvi slučaj ispao izrazito neisplativ kroz period od 25 godina, sa NPV – om od čak -15 milijuna eura, što je očekivano ako se u obzir uzme trošak obnove od oko 40 milijuna eura. Kod drugog slučaja postignut je nZEB standard te se zahtjev za toplinskom energijom smanjio za preko 50 %, ali posljedično i cijena obnove je bila skuplja, što je rezultiralo da je drugi slučaj bude još i nepovoljniji od prvog.

Tablica 12. Usporedba vrijednosti obnova

Prvi slučaj obnove		**Drugi slučaj obnove**	
Ukupna vrijednost obnove građevinskih elemenata	37,014,813 €	Ukupna vrijednost obnove građevinskih elemenata	45,425,495 €
Ukupna vrijednost novih tehnologija (DT i Solarnih kolektora)	2,072,123 €	Ukupna vrijednost novih tehnologija (DT i Solarnih kolektora)	1,608,081 €

Tablica [12] prikazuje usporedbu vrijednosti troškova obnove, te se iz nje uočava da je kod prvog slučaja cijena same građevinske obnove, kako bi se smanjio zahtjev za Q_{Hnd} manji od istih troškova u drugom slučaju dok je cijena implementacije novih tehnologija veća. Navedeno proizlazi iz činjenice da je u drugom slučaju puno manja potrebna snaga DT i DT-WH kako bi se zadovoljili traženi postoci u proizvodnji energije, te samim time i troškovi ugradnje i nabave. Dugoročno gledano, drugi slučaj obnove energetski je puno isplativiji od prvog jer donosi veće uštede u potrošnji primarne energije, te su puno niži daljnji operativni troškovi.

Iako su oba slučaja ispala izrazito ekonomski ne isplativa zbog prevelikih troškova ulaganja, kroz analizu vidljivo je da bi uz poticaje, u prvom slučaju preko 60 % , a u drugom preko 68%

oba slučaja bila financijski isplativa za Tehnostan. Uzme li se u obzir da su razine subvencije za dubinsku obnovu do 80 %, to jest 85 % ako se postigne nZEB standard, proizlazi zaključak da bi se tada projekt mogao i u nekoj budućnosti realizirati, to jest da bi bio financijski isplativ za investitora.

Ako se nakratko ekonomski aspekt stavi sa strane, te se slučaj promatra kroz perspektivu energetske održivosti, uočava se da ovakva dubinska i nZEB obnova donose znatno smanjenje potrošnje primarne energije, što rezultira i većom energetskom neovisnošću i u krajnjem slučaju većoj energetskog sigurnosti u slučaju kriza. Također obnovom dolazi i do smanjenja emisije stakleničkih plinova te se smanjuje utjecaj zgradarstva u klimatskim promjenama.

Iako financijski ovakvi projekti ne izgledaju najbolje, zbog klimatskih promjena i zahtjeva koje propisuju EU direktive, oni su nužni kako bi sadašnji i budući CTS-ovi žele nastaviti sa radom.

LITERATURA

[1] Dugoročna strategija obnove nacionalnog fonda zgrada do 2050 godine, prosinac 2020. preuzeto s https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/9055 [18.01.2025]

[2] Program energetske obnove višestambenih zgrada do 2030. godine, prosinac 2021preuzeto s https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/14147 [19.01.2025]

[3] Fit for 55, Vijeće europske unije, https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/

[4] DIREKTIVA (EU) 2023/1791 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 13. rujna 2023. o energetskoj učinkovitosti i izmjeni Uredbe (EU) 2023/955 (preinaka). Preuzeto s https://eur-lex.europa.eu/legal content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOL_2023_231_R_0001&qid=1695186598766 [19.01.2025]

[5] DIREKTIVA (EU) 2024/1275 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 24. travnja 2024. o energetskim svojstvima zgrada (preinaka) . preuzeto s https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:32024L1275 [19.01.2025]

[6] Smjernice za zgrade gotovo nulte energije (nZEB - nearly-Zero Energy Building), Izv.prof. dr. sc. Zoran Veršić, dipl.ing.arh.. preuzeto s https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/5_Otvoreni_dijalog_5_Versic.pdf [19.01.2025]

[7] DIREKTIVA (EU) 2018/2001 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 11. prosinca 2018. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora. Preuzeto s https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:32018L2001 [19.01.2025]

[8] Ažurirani Integrirani nacionalni energetski i klimatski plan Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. - 2030. NECP . Preuzeto s https://mingo.gov.hr/azurirani-integrirani-nacionalni-energetski-i-klimatski-plan-republike-hrvatske-za-razdoblje-od-2021-2030-necp/9220 [19.01.2025]

[9] Grad Vukovar, ZA ENERGETSKU OBNOVU U 2024. GODINI PRIJAVILO SE 9 VIŠESTAMBENIH ZGRADA. Preuzeto s https://www.vukovar.hr/gradske-vijesti/291-upravni-odjel-za-komunalno-gospodarstvo-graditeljstvo-i-zastitu-okolisa/18796-za-energetsku-obnovu-u-2024-godini-prijavilo-se-9-visestambenih-zgrada [19.01.2025]

[10] Obavijest Europske komisije o referentnoj i diskontnoj stopi i stopi povrata u primjeni od 1. siječnja 2025. https://mfin.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/koncesije-dp/ref/Obavijest%20Europske%20komisije%20o%20referentnoj%20i%20diskontnoj%20stopi%20i%20stopi%20povrata%20u%20primjeni%20od%2001.01.2025.pdf [19.01.2025]

[11] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/438515.pdf [24.01.2025]

[12] Technology Data for Generation of Electricity and District Heating https://ens.dk/en/analyses-and-statistics/technology-data-generation-electricity-and-district-heating [24.01.2025]

[13] Nastavak izgradnje solarnog termalnog polja u Borovu Naselju, Grad Vukovar. https://www.vukovar.hr/gradske-vijesti/291-upravni-odjel-za-komunalno-gospodarstvo-graditeljstvo-i-zastitu-okolisa/14653-nastavak-izgradnje-solarnog-termalnog-polja-u-borovu-naselju [24.01.2025]

[14] Važeće cijene toplinske energije od 01.10.2024 do 31.03.2025, TEHNOSTAN. https://tehnostan-vukovar.hr/site/assets/files/1157/cijene_toplinske_energije_od_01_10_2024_ [24.01.2025]

[15] Eurostat cijene plina u EU https://ec.europa.eu/eurostat/cache/visualisations/energy-prices/enprices.html?geos=EU27_2020,EA,BE,BG,CZ,DK,DE,EE,IE,EL,ES,FR,HR,IT,CY,LV,LT,LU,HU,MT,NL,AT,PL,PT,RO,SI,SK,FI,SE,IS,LI,NO,ME,MK,AL,RS,TR,BA,XK,MD,UA,GE&product=4100&consumer=N_HOUSEHOLD&consoms=GJ1000-9999&unit=KWH&taxs=I_TAX,X_TAX,X_VAT&nrg_prc=undefined&currency=EUR&language=EN&detail=0&component=0&order=DESC&dataset=nrg_pc_203&time=2024-S1&chartInDetails=0&chartId=mainChart&chartGeo=&percentage=0&share=false [24.01.2025]