

Mjere energetske učinkovitosti i obnovljivih izvora energije za transformaciju različitih kategorija zgrada u GOEZ zgrade

Kruhak, Dominik

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:651258>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Dominik Kruhak

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

doc.dr.sc. Goran Krajačić, dipl. ing.

Student:

Dominik Kruhak

Zagreb, 2019.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

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

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Dominik Kruhak** Mat. br.: 0035197726

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Mjere energetske učinkovitosti i obnovljivih izvora energije za transformaciju različitih kategorija zgrada u G0EZ zgrade**
Naslov rada na engleskom jeziku: **Using renewables and energy efficiency measures for transformation of various buildings into nZEB**

Opis zadatka:

Akcijski planovi energetske održivosti i klimatskih promjena (SECAP) postaju standardni obrazac kojim gradovi i općine nastoje smanjiti emisiju stakleničkih plinova na svom teritoriju. Planovi, na lokalnoj i regionalnoj razini, promoviraju iskorištavanje obnovljivih izvora energije te primjenu mjera za učinkovito korištenje energije u skladu s energetske politikom Europske unije. Kao bitan dio plana navode se mjere za povećanje energetske učinkovitosti i korištenje OIE u zgradama različitih kategorija.

U okviru završnog rada potrebno je napraviti sljedeće:

1. Analizirati mjere koje se koriste u SECAP-ima, a cilj im je povećanje energetske učinkovitosti u različitim zgradama.
2. Proračunati mjere za integralnu obnovu različitih kategorija zgrada kako bi one postale zgrade gotovo nulte energije (G0EZ). Koristiti za primjer zgrade na području Grada Zagreba.
3. Napraviti analizu i usporedbu korištenja različitih sustava (dizalice topline, kotlovi na biomasu, kotlovi na plin, solarni toplinski kolektori i fotonaponski paneli) za pokrivanje energetske potreba u takvim zgradama uz korištenje sustava za skladištenje energije (toplinski spremnici, baterije i električna vozila).
4. Usporediti troškove, potrošnju energije i emisije CO₂ za različite kombinacije ranije navedenih sustava do 2050. godine.
5. Navesti preporuke za korištenje navedenih sustava u SECAP-ima prema različitim kategorijama zgrada.

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

Zadatak zadan:
29. studenog 2018.


Rok predaje rada:
1. rok: 22. veljače 2019.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.
3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.
3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zadao:


Doc. dr. sc. Goran Krajačić

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Igor Balen

IZJAVA O SAMOSTALNOSTI IZRADE ZAVRNOŠG RADA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno pod vodstvom doc.dr.sc. Gorana Krajačića koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Dominik Kruhak

ZAHVALA

Zahvaljujem se doc. dr. sc Goranu Krajačiću i mag. ing. mech. Nikoli Mataku na pomoći tijekom izrade ovoga rada te stečenom novom znanju.

Zahvalio bih se obitelji na potpori, strpljenju i razumijevanju tijekom ovog studija.

Na kraju bih se zahvalio prijateljima i kolegama na svojoj pruženoj pomoći koja je znatno olakšala polaganje ispita.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	IV
POPIS TABLICA.....	V
POPIS KRATICA.....	VII
POPIS OZNAKA.....	VIII
SAŽETAK.....	X
SUMMARY.....	XI
1. UVOD.....	1
2. ANALIZA ENERGETSKE POTROŠNJE GRADA ZAGREBA.....	4
3. USPOREDBA MJERA SECAP-A.....	6
3.1. Edukativne i promotivne mjere te promjena ponašanja.....	6
3.1.1. Obrazovanje i promjena ponašanja djelatnika i korisnika zgrada.....	6
3.1.2. Obrazovanje i promocija energetske učinkovitosti za građane.....	7
3.2. Mjere za zgrade u vlasništvu Grada.....	8
3.2.1. Solarni kolektori.....	8
3.2.2. Modernizacija rasvjete učionica.....	8
3.2.3. Ugradnja termostatskih ventila.....	9
3.2.4. Modernizacija kotlovnica.....	9
3.2.5. Toplinska izolacija vanjske ovojnice i krovišta.....	10
3.2.6. Zamjena dotrajale stolarije.....	10
3.2.7. Uvođenje kriterija zelene javne nabave za kupovinu električnih uređaja.....	11
3.2.8. Uvođenje štednih žarulja.....	11
3.2.9. Ugradnja fotonaponskih sustava do 30 kW na krovove zgrada.....	11
3.3. Mjere za stambeni sektor.....	12
3.3.1. Subvencija za rekonstrukciju toplinske zaštite vanjske ovojnice i sanaciju krovišta stambenih zgrada.....	12
3.3.2. Subvencija ugradnje solarnih kolektora.....	12
3.3.3. Davanje poticaja za ugradnju fotonaponskih sustava na krovovima zgrada do 30 kW.....	12
3.3.4. Poticaj kupovine energetski učinkovitih električnih uređaja za stambene zgrade.....	13
3.3.5. Uvođenje štednih žarulja.....	13
3.3.6. Ugradnja razdjelnika toplinske energije za stambene zgrade.....	14
3.3.7. Ugradnja termostatskih setova na radijatore u stambenim zgradama.....	14

3.4. Mjere za komercijalni i uslužni sektor	15
3.4.1. Poticaji za poboljšanje toplinske izolacije.....	15
3.4.2. Poticaji za korištenje obnovljivih izvora energije	15
3.4.3. Donošenje Odluke Gradskog vijeća o smanjenju komunalnog doprinosa za nove zgrade u komercijalnom i uslužnom sektoru koje koriste OIE	16
3.4.4. Ugradnja štednih žarulja	16
3.4.5. Poticanje kupovine energetski učinkovitih električnih uređaja za nove zgrade.....	16
3.5. Usporedba trenutnog scenarija i scenarija nakon primjene mjera za Grad Zagreb.....	17
4. METODA	19
4.1. Tehnički proračun kotla na prirodni plin.....	20
4.2. Tehnički proračun solarnog sustava.....	21
4.3. Tehnički proračun fotonaponskog sustava.....	23
4.4. Tehnički proračun električnog automobila kao spremnika energije	26
4.5. Tehnički proračun dizalice topline.....	28
4.6. Tehnički proračun kotla na biomasu	30
5. USPOREDBA I ANALIZA KORIŠTENJA RAZLIČITIH SUSTAVA ZA POKRIVANJE ENERGETSKIH POTREBA.....	32
5.1. Prirodni plin.....	32
5.1.1. Primjer izračuna kotla na prirodni plin za obiteljsku kuću.....	32
5.2. Solarni kolektori.....	35
5.2.1. Primjer izračuna solarnog sustava za obiteljsku kuću	35
5.3. Fotonaponski sustavi	38
5.3.1. Primjer izračuna fotonaponskog sustava za obiteljsku kuću	38
5.3.2. Električni automobili	42
5.4. Dizalice topline	46
5.4.1. Primjer izračuna dizalice topline za kuću:.....	46
5.5. Kotlovi na biomasu	49
5.5.1. Primjer proračuna kotla na biomasu za obiteljsku kuću:.....	49
5.6. Usporedbe različitih sustava.....	52
6. KOMBINACIJE SUSTAVA	55
6.1. Primjer izračuna: obiteljska kuća/ solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline.....	55
7. ZAKLJUČAK.....	76

LITERATURA79

POPIS SLIKA

Slika 1. Usporedba potrošnje energije bez mjera i s mjerama za zgradarstvo Grada Zagreba 17

Slika 2. Usporedba emisije CO₂ bez mjera i s mjerama za zgradarstvo Grada Zagreba 18

POPIS TABLICA

Tablica 1. Mjere za postizanje G0EZ	3
Tablica 2. Potrošnje energije različitih tipova zgrada u Gradu Zagrebu	5
Tablica 3. Usporedba obrazovanja djelatnika	7
Tablica 4. Usporedba obrazovanja građana	8
Tablica 5. Usporedba ugradnje solarnih kolektora	8
Tablica 6. Usporedba ugradnje termostatskih ventila.....	9
Tablica 7. Usporedba zamjena kotlovnica	10
Tablica 8. Usporedba rekonstrukcije toplinske izolacije vanjske ovojnice i krovišta	10
Tablica 9. Usporedba uvođenja kriterija zelene javne nabave.....	11
Tablica 10. Usporedba uvođenja štednih žarulja	11
Tablica 11. Usporedba rekonstrukcije toplinske izolacije vanjske ovojnice i krovišta	11
Tablica 12. Usporedba subvencija rekonstrukcije toplinske zaštite vanjske ovojnice i sanacije krovišta.....	12
Tablica 13. Usporedba subvencije solarnih kolektora	12
Tablica 14. Usporedba poticaja za ugradnju fotonaponskih sustava	13
Tablica 15. Usporedba poticaja za kupovinu energetski učinkovitih električnih uređaja	13
Tablica 16. Usporedba uvođenja štednih žarulja	14
Tablica 17. Usporedba ugradnje razdjelnika toplinske energije	14
Tablica 18. Usporedba ugradnje termostatskih setova na radijatore	14
Tablica 19. Usporedba poticaja za poboljšanje toplinske izolacije	15
Tablica 20. Usporedba poticaja za korištenje obnovljivih izvora energije.....	15
Tablica 21. Usporedba donošenja Odluke Gradskog vijeća o smanjenju komunalnog doprinosa.....	16
Tablica 22. Usporedba uvođenja štednih žarulja	16
Tablica 23. usporedba poticaja kupovine energetskih učinkovitih električnih uređaja.....	17
Tablica 24. Dopušteni iznosi energija za G0EZ	19
Tablica 25. Analiza korištenja kotla na prirodni plin	34
Tablica 26. Analiza korištenja solarnog sustava.....	37
Tablica 27. Analiza korištenja fotonaponskog sustava.....	41
Tablica 28. Analiza zamjene dizelskog automobila električnim	45
Tablica 29. Analiza korištenja dizalice topline.....	48

Tablica 30. Analiza korištenja kotla na biomasu	51
Tablica 31. Usporedba korištenja različitih sustava po zgradama	52
Tablica 32. Usporedba omjera po zgradama.....	53
Tablica 33. Kombinacije sustava za stanove	59
Tablica 34. Kombinacije sustava za dom za starije i nemoćne.....	60
Tablica 35. Kombinacije sustava za učenički dom	61
Tablica 36. Kombinacije sustava za obiteljsku kuću	62
Tablica 37. Kombinacije sustava za gradsku upravu.....	63
Tablica 38. Kombinacije sustava za mjesnu samoupravu	64
Tablica 39. Kombinacije sustava za poslovni prostor	65
Tablica 40. Kombinacije sustava za srednju školu	66
Tablica 41. Kombinacije sustava za osnovnu školu	67
Tablica 42. Kombinacije sustava za vrtić	68
Tablica 43. Kombinacije sustava za bolnicu.....	69
Tablica 44. Kombinacije sustava za hotel.....	70
Tablica 45. Kombinacije sustava za restoran.....	71
Tablica 46. Kombinacije sustava za sportsku dvoranu	72
Tablica 47. Kombinacije sustava za trgovinu	73
Tablica 48. Kombinacije sustava za kulturnu ustanovu.....	74
Tablica 49. Kombinacije sustava s najmanjim periodom povrata	77
Tablica 50. Kombinacije sustava s najvećim smanjenjem potrošnje energije.....	78

POPIS KRATICA

Kratika	Puno ime
CoM	Sporazum gradonačelnika (Covenant of Mayors)
G0EZ (nZEB)	Zgrada gotovo nulte energije (Nearly zero energy building)
OIE	Obnovljivi izvori energije
SECAP	Akcijski plan energetske održivosti i klimatskih promjena (Sustainable energy and climate action plans)

POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Značenje
A_k	$[m^2]$	Površina objekta
B		Broj osoba
B_{50}		Razlika 2050. i referentne godine
B_d	$[kWh]$	Energetska vrijednost 1 litre dizelskog goriva
B_{god}		Broj dana u godini
$B_{god/4}$		Broj dana u četvrtini godine
B_i	$[kn]$	Cijena investicije po 1 kW snage fotonaponskog sustava
B_{km}	$[km]$	Prosječni broj prijeđenih kilometara godišnje
B_l	$[km]$	Broj kilometara
B_p		Jedna četvrtina koja se odnosi na pogonske zahtjeve dizalice topline
B_{Sh}	$[s]$	Broj sekundi u jednom satu
C	$[kn]$	Godišnje uštede
C_{50}	$[kn]$	Uštede do 2050. godine
C_b	$[kn/kWh]$	Cijena peleta
C_d	$[kn]$	Cijena punjenja spremnika dizel gorivom
C_e	$[kn/kWh]$	Cijena električne energije
C_p	$[kn/kWh]$	Cijena prirodnog plina
$C_{p,50}$	$[kn]$	Cijena potrošnje prirodnog plina do 2050. godine
$C_{p,g}$	$[kn]$	Godišnji troškovi potrošnje prirodnog plina
c_w	$[kJ/kgK]$	Specifični toplinski kapacitet vode
D	$[kn/l]$	Cijena dizel goriva
E_{dop}	$[kWh/m^2]$	Dopuštena potrošnja električne energije
$E_{prim, dop}$	$[kWh/m^2]$	Dopuštena potrošnja primarne energije
e_q	$[kWh/m^2]$	Specifična potrošnja električne energije
F		Faktor pretvorbe
f_o	$[m^{-1}]$	Faktor oblika zgrade
G		Faktor godišnjeg doba
H		Udio energije za hlađenje
I	$[kn]$	Investicija

I_{fs}	[kn]	Investicija u fotonaponski sustav
I_p	[god]	Rok povrata investicije
I_{ss}	[kn]	Investicija u solarni sustav
K_d	[litara/100 km]	Potrošnja dizel automobila
P	[kW]	Potrebna snaga fotonaponskog sustava
P_d	[%]	Godišnje povećanje cijene dizelskog goriva
P_{eq}	[%]	Godišnje povećanje cijene električne energije
P_{pp}	[%]	Godišnje povećanje cijene prirodnog plina
Q	[kWh]	Godišnje smanjenje energije
Q_{50}	[kWh]	Potrošnja energije do 2050. godine
Q_g	[kWh]	Godišnja potrošnja toplinske energije
$Q''_{H,nd}$	[kWh/m ²]	Dopuštena potrošnja toplinske energije
q_g	[kWh/m ²]	Specifična potrošnja toplinske energije
Q_w	[kW]	Energija potrebna za zagrijavanje vode
S		Broj prosječnih sunčanih sati godišnje
T_1	[°C]	Ulazna temperatura vode
T_2	[°C]	Izlazna temperatura vode
T_{50}	[tona]	Emisije CO ₂ do 2050. godine
T_{CO_2}	[tona]	Smanjenje emisija CO ₂
$T_{CO_2,b}$	[tona/kWh]	Emisija CO ₂ peleta
$T_{CO_2,d}$	[tona/kWh]	Emisije CO ₂ dizelskog motora
$T_{CO_2,e}$	[tona/kWh]	Indirektna emisija CO ₂ električne energije
$T_{CO_2,g}$	[tona]	Godišnje emisije CO ₂
$T_{CO_2,p}$	[tona/kWh]	Emisije CO ₂ prirodnog plina
V_1	[dm ³]	Volumen vode

SAŽETAK

Grad Zagreb jedan je od prvih europskih glavnih gradova koji je pristupio Sporazumu gradonačelnika, s ciljem smanjenja potrošnje energije i emisija CO₂. Dio rješenja za postizanje cilja je povećanje broja zgrada gotovo nulte energije.

Cilj rada bio je, koristeći dostupnu literaturu, analizirati i proračunati mjere za povećanje energetske učinkovitosti i obnovljivih izvora energije za različite tipove zgrada kako bi one postale zgrade gotovo nulte energije. Mjere su primijenjene na primjeru zgrada Grada Zagreba.

Nakon provedene analize potrošnje energije u zgradama, navedene su razne metode za trajno smanjenje potrošnje energije i emisija CO₂. One su dane tablično uz informacije o troškovima, očekivanoj uštedi energije i smanjenju emisija CO₂. Provedeni su proračuni sustava obnovljivih izvora energije kojima je cilj pokrivanje energetske potrebe te su dane razne kombinacije navedenih sustava uz obrazloženje o odabiru. Uzeći u obzir ekonomske mogućnosti građana Republike Hrvatske, utvrđeno je kako je biomasa optimalan izbor cijene i smanjenja emisija CO₂. Za obiteljsku kuću, investicija u kotao na biomasu iznosi 25 000 kuna što nije mnogo više od investicije u kotao na prirodni plin, a s emisijama CO₂ biomase u iznosu od 34,4 kg/MWh i cijenom 0,4 kn/kWh, ona predstavlja jeftin i ekološki prihvatljiv način grijanja. Kao najnepovoljniji samostalni sustav pokazala se dizalica topline zbog visokih investicijskih troškova, koji za obiteljsku kuću iznose 140 000 kuna. Iako dizalica topline nije nužno izvan dohvata prosječnog građana, važno je naglasiti da u procesu izrade rada investicija u obnovu vanjske ovojnice zgrade nije uzeta u obzir, a ona će značajno utjecati na odabir vrste obnovljivog izvora energije. „Fotonaponski sustav + električni automobil“ je kombinacija sustava s najmanjim periodom povrata, a za obiteljsku kuću on iznosi 4,40 godina. Najveća ušteda energije i smanjenje emisija CO₂ ostvarena je kombinacijom sustava „solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobil“. Za obiteljsku kuću ušteda iznosi 21 189 kWh energije i 4,33 tone CO₂ godišnje.

Svi proračuni izvršeni su u excelu te za svaki proračun dan je konkretan primjer, pripadajuće jednadžbe te su rezultati prikazani tablično.

Ključne riječi: sporazum gradonačelnika, GOEZ, mjere energetske učinkovitosti i obnovljivih izvora energije, povrat investicije, emisije CO₂

SUMMARY

City of Zagreb was one of the first European capital cities that joined Covenant of Mayors of European cities, with a goal of reducing energy consumption and CO₂ emission. Part of the solution is to increase number of nearly zero energy buildings.

The main goal of this thesis was, using available literature, to analyse and calculate renewables and energy efficiency measures for transformation of various buildings into nearly zero energy buildings. Said measures were applied for different types of buildings found in the City of Zagreb.

After analyzing current state of energy consumption of buildings in the City of Zagreb, various methods were listed with a goal of reducing the energy consumption and CO₂ emissions. Methods are shown in tables with information of estimated costs and reductions. Various combinations of renewable energy systems were calculated and suggestions regarding choice of said systems were given. Taking economical capabilities of Croatian citizens into account, it was concluded that biomass is an optimal solution regarding cost and CO₂ reduction. For a family home, investment cost for a biomass boiler is 25 000 HRK, which isn't much more than a new boiler operating on fossil fuels, but with emissions of 34,4 kg/MWh of CO₂ and a price of a 0,4 kn/kWh, biomass is a cheap and ecologically acceptable way for heating. The least feasible choice in our analysis were heat pumps due to high investment cost, which is 140 000 HRK for a family home. Although heat pumps aren't necessarily out of reach for a regular citizen, it's important to state that investment cost for building renovation wasn't taken into account, which is going to have an impact on a budget when choosing a renewable source of energy. "photovoltaic solar system + electric car" represents a combination with the lowest payback period, which is 4,40 years for a family home. Largest reduction in energy consumption was achieved with a "solar water heater + photovoltaic solar panels + heat pump + electric car". With said combination, family home saved 21 189 kWh of energy and reduced CO₂ emissions by 4,33 tons on a yearly basis.

All calculations were done in excel and equations used to evaluate systems are provided along with examples.

Keywords: Covenant of Mayors, nZEB, renewables and energy efficiency measures, payback period, CO₂ emissions

1. UVOD

Klimatske promjene su neizbježne, a veliki utjecaj na njih imaju ljudske aktivnosti odnosno povećana koncentracija stakleničkih plinova. Neke od posljedica klimatskih promjena su porast temperature, otapanje ledenjaka te promjena oborinskih obrasca. Kako bi se ublažile posljedice, potrebno je smanjiti emisije stakleničkih plinova. Dio rješenja je smanjenje potrošnje energije u zgradarstvu, odnosno povećanje broja zgrada gotovo nulte energije.

Zgrada gotovo nulte energije (G0EZ) jest zgrada s vrlo visokim energetske svojstvima, a niski zahtjevi za energiju trebali bi se određenim dijelom pokrivati iz obnovljivih izvora. Ova definicija zasniva se na konceptu pasivne kuće, a nju karakterizira maksimalna potrošnja energije od 20 kWh/m² [1].

Prva pasivna kuća sagrađena je 1990. godine u Darmstadtu, Njemačka. Sustavnim praćenjem i mjerenjem podataka o potrošnji ovakvog tipa zgrade dokazano je da su prethodno izračunate uštede energije postignute u praksi. Od tada, koncept pasivne kuće primijenjen je i na ostale tipove zgrada, ne samo u Njemačkoj, nego i u ostatku EU. Budući da pasivna kuća u potpunosti ispunjava zahtjeve Direktive EU o energetske učinkovitosti u zgradarstvu, ona formira idealan temelj za zgrade gotovo nulte energije. Postoje brojni primjeri zgrada diljem Europe koji se, kroz kombinaciju pasivne kuće i obnovljivih izvora energije, mogu smatrati zgradama gotovo nulte energije. Neke od njih su izgrađene između 2012. i 2015. godine u Regijama pokaznih primjera projekta PassREg. Ove zgrade pokazuju da je moguće kombinirati standarde pasivne kuće bez ograničenja postavljenih na tip konstrukcije. Bitno je naglasiti da jedinstvena definicija zgrade gotovo nulte energije ne postoji te da bi se ona trebala oblikovati do kraja 2020. godine [2].

Iako su vrlo visoka energetske svojstva, niski zahtjevi za energiju i određeni dio energije iz obnovljivih izvora predstavljaju ideju zgrada gotovo nulte energije, oni su različito definirani u državama EU. „Vrlo visoka energetske svojstva“ u Hrvatskoj, Irskoj i Italiji definirana su preko primarne energije, dok su za Latviju, Litvu i Luksemburg definirana kao klasa zgrade A ili bolje. Norveška, Španjolske i Švedska nemaju definiran pojam „vrlo visokih energetske svojstava“. „Vrlo niska energetske svojstva“ u Italiji su definirana kao maksimalna potrošnja energije u iznosu od 20-25 kWh/m², u Estoniji do 50 kWh/m² a u Nizozemskoj je definirano preko toplinskog otpora. „Zahtjevi za proizvodnjom energije iz obnovljivih izvora“ uglavnom

su izraženi direktno (određeni % primarne energije i slično) i indirektno (nema specifičnih kriterija postavljenih na obnovljive izvore, no bez upotrebe istih ne mogu se postići tražene niske vrijednosti energetske potrošnje) [3], [4].

Za područje Republike Hrvatske kriteriji za G0EZ nalaze se u Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada [5]. Prema tom dokumentu, sve zgrade od 31. prosinca 2020. godine moraju biti zgrade gotovo nulte energije, a od 31. prosinca 2018. taj uvjet vrijedi za sve nove zgrade koje kao vlasnici koriste tijela javne vlasti. Prema navedenom dokumentu potrebno je zadovoljiti sljedeće kriterije:

- godišnja primarna energija po jedinici ploštine korisne površine zgrade E_{prim} [kWh/m²a], koja uključuje energiju za grijanje, hlađenje, ventilaciju i pripremu potrošne tople vode nije veća od dopuštenih vrijednosti;
- godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po jedinici ploštine korisne površine zgrade nije veća od dopuštenih vrijednosti;
- minimalno 30 % E_{prim} mora biti podmireno iz obnovljivih izvora.

Dopuštene vrijednosti ovise o namjeni zgrade i lokaciji, odnosno referentnoj klimi. Zgrade s većim brojem radnih sati te većoj unutarnjoj temperaturi imaju pravo na veću potrošnju. Lokacija je povezana s vanjskom temperaturom zraka, stoga je zgradama koje se nalaze u hladnijem dijelu Hrvatske dopuštena veća potrošnja energije.

U tablici 1. dane su metode za postizanje statusa G0EZ. Svakom podsektoru dodijeljena je mjera „OIE“ kao indikator da se minimalno 30 % primarne energije podmiruje iz obnovljivih izvora. Konkretni oblici OIE razrađeni su u nadolazećim poglavljima [6].

Tablica 1. Mjere za postizanje G0EZ

Sektor	Podsektor	Mjera
Zgrade u vlasništvu Grada Zagreba	Zdravstvo, Školstvo, Uprava, Kultura, Poslovni prostori i stanovi, zgrade članice Holdinga	Toplinska izolacija vanjske ovojnice i krovišta
		Zamjena dotrajale stolarije
		Termostatski ventili
		Poticaji za kupovinu energetski učinkovitih uređaja
		Uvođenje štednih žarulja
		Obrazovanje i promjena ponašanja korisnika zgrada u vlasništvu Grada
		OIE
Stambeni sektor	Kućanstva	Subvencija za rekonstrukciju vanjske ovojnice i sanaciju krovišta
		Zamjena dotrajale stolarije
		Poticaji za kupovinu energetski učinkovitih uređaja
		Uvođenje štednih žarulja
		Poticaji za izgradnju pasivnih i niskoenergetskih kuća i stambenih zgrada
		Obrazovne aktivnosti
		OIE
Komerijalni i uslužni sektor	Zgrade komercijalnih i uslužnih djelatnosti	Poticaji za poboljšanjem toplinske izolacije
		Poticaji za kupovinu energetski učinkovitih uređaja
		Uvođenje štednih žarulja
		Obrazovne aktivnosti
		OIE

2. ANALIZA ENERGETSKE POTROŠNJE GRADA ZAGREBA

Kako bi se mogle primijeniti metode za smanjenje potrošnje energije u zgradarstvu, zgrade u Gradu Zagrebu su izabrane za primjer zbog dostupnosti podataka. Prvi korak bila je analiza trenutne potrošnje u sektoru zgradarstva u Gradu Zagrebu. Pristupanjem Gradu Zagreba Sporazumu gradonačelnika, stvoren je plan u kojem su razrađene metode za zgradarstvo te je prikupljena većina potrebnih statističkih podataka za izračun trenutne potrošnje energije. Navedeni podaci nalaze se u tablici 2.

Površine objekta određene su kao prosječne vrijednosti ukupne površine i ukupnog broja objekta pronađenim u CoM-u Grada Zagreba, osim kada to nije bilo moguće [7].

U stambenom sektoru, višestambene zgrade i obiteljske kuće stavljene su u istu kategoriju te dijele iste prosjeke. Zbog toga njihove su površine određene prema konkretnim objektima lociranim u Gradu Zagrebu, kao i za učeničke domove. Domovi za starije računati su prema prosjeku.

U obrazovnom sektoru, srednja i osnovna škola imaju gotovo iste prosječne površine. Kako one spadaju pod istu kategoriju zgrada te imaju iste dopuštene vrijednosti, svi proračuni za ta dva tipa zgrada bili bi isti. Da se to izbjegne, površina srednje škole odabrana je prema konkretnom objektu.

Površine uredskih zgrada, sportskih dvorana, trgovina i kulturnih ustanova određene su prema prosjeku. Bolnica, hotel i restoran uzeti su prema konkretnim objektima Grada Zagreba.

Specifične potrošnje toplinske i električne energije većinom su određene prema prosjecima ukupnih površina i ukupnih energetske potrošnje. Zbog nedostataka podataka, specifična potrošnja energije za mjesnu samoupravu i zgrade komercijalnih djelatnosti te specifična potrošnja električne energije za stanove i poslovne prostore određene su iskustveno.

Potrošnje toplinske i električne energije su umnošci pripadajućih površina i specifičnih potrošnji.

Tablica 2. Godišnja potrošnja energije različitih tipova zgrada u Gradu Zagrebu

	Površina objekta [m ²]	Potrošnja toplinske energije [MWh]	Specifična potrošnja toplinske energije [kWh/m ²]	Potrošnja električne energije [MWh]	Specifična potrošnja električne energije [kWh/m ²]
Višestambena	14 000	2 028	144,89	840	60
Učenički dom	4 000	658	164,61	119	29,76
Dom za starije	8 100	2 061	254,54	377	46,55
Obiteljska kuća	150	31,32	208,85	6,99	46,62
Gradska uprava	3 600	654	181,69	260	72,26
Mjesna samouprava	220	37,4	170	5,28	24
Poslovni prostor	60	8,69	144,89	3,6	60
Srednja škola	6 000	987	164,61	178	29,76
Osnovna škola	3 400	620	182,49	80	23,57
Vrtić	995	177	177,81	38	38,66
Bolnica	80 000	33 900	423,75	7 423	92,79
Hotel	10 000	1 700	170	750	75
Restoran	200	34,2		15,4	
Sportska dvorana	7 800	1 326		585	
Trgovina	980	166		73	
Kulturna ustanova	1 500	254		169,36	

3. USPOREDBA MJERA SECAP-A [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]

Prvobitna ideja bila je kategorizirati mjere prema vrsti zgrada navedenim u Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada [5], no zbog nedostatka bitnih podataka odustalo se od takvog pristupa. Akcijski planovi gradova ne daju podjelu između stanova i obiteljskih kuća te je nemoguće odrediti kakve posljedice bi imale mjere navedene u stambenom sektoru na višestambenu zgradu odnosno obiteljsku kuću, kao ni investiciju. Drugi problem predstavlja kategorizacija zgrada komercijalnih i uslužnih djelatnosti te njihovi pripadajući podaci. Većina gradova zgrade hotela, restorana, sportskih dvorana i trgovina stavlja u jednu kategoriju te o njima nemaju nikakvih podataka osim eventualno površine, pa podjele po takvim tipovima zgrada nisu moguće. Stoga su mjere pronađene u SECAP-ima gradova razvrstane prema pripadajućim sektorima i podsektorima.

3.1. Edukativne i promotivne mjere te promjena ponašanja

U ovu skupinu mjera spadaju sve obrazovne aktivnosti kojima je cilj građanima pobliže objasniti važnost energetske efikasnosti.

3.1.1. Obrazovanje i promjena ponašanja djelatnika i korisnika zgrada

Ova mjera obuhvaća niz obrazovnih aktivnosti za djelatnike i korisnike zgrada koje se redovno provode:

- Organizacija obrazovnih radionica;
- Organizacija tribina;
- Izrada i distribucija edukativnih materijala;
- Osnivanje „Zelenog ureda“;
- Organizacija skupova s temom energetske učinkovitosti i dr.
- Osim obrazovnih aktivnosti u sklopu ove mjere potrebno je uvesti i poticajne mjere za štednju energije. Dio ostvarene uštede ostao bi ustanovi koja je postigla određenu uštedu.

Tablica 3. Usporedba obrazovanja djelatnika

Ime grada	Procjena troškova (kn/godišnje)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Zagreb	300 000	81,500 MWh toplinske energije	18 100	16,5
Rijeka	210 000	2,700 MWh toplinske energije 4,400 MWh električne energije	2 000	144
Osijek	140 000	1,450 MWh toplinske energije 280 MWh električne energije	430	325
Zadar	300 000	440 MWh toplinske energije 880 MWh električne energije	440	670
Velika Gorica	400 000	1328,67 MWh toplinske energije 339 MWh električne energije	450	880
Karlovac	80 000	580 MWh toplinske energije 85 MWh električne energije	170	470

3.1.2. Obrazovanje i promocija energetske učinkovitosti za građane

- Informiranje potrošača o energetske uštedama i aktualnim energetske temama
- Provedba tematskih kampanja za podizanje svijesti građana;
- Organizacija stručnih skupova i konferencija za promicanje racionalne uporabe energije i smanjenja emisija stakleničkih plinova;
- Izrada i distribucija obrazovnih i promotivnih materijala o energetske učinkovitosti i korištenju obnovljivih izvora energije;
- Obrazovne kampanje o projektiranju, izgradnji i korištenju zgrada na održivi način za ciljne grupe građana;
- Postavljanje info-vitrina u razne dijelove Grada i dr.

Tablica 4. Usporedba obrazovanja građana

Ime grada	Procjena troškova (kn/godišnje)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Zagreb	600 000	780,000 MWh toplinske energije 80,000 MWh električne energije	200 000	3
Osijek	280 000	73,000 toplinske energije 20,500 električne energije	18 000	16
Velika Gorica	540 000	38,000 toplinske energije 6,000 električne energije	10 000	50
Karlovac	160 000	46,600 toplinske energije 6,000 električne energije	9 000	18

3.2. Mjere za zgrade u vlasništvu Grada

3.2.1. Solarni kolektori

Teži se tome da što veći broj zgrada u vlasništvu gradova potrošnu toplu vodu priprema solarnim kolektorima te da se kolektori koriste kao dopuna grijanju. Solarni kolektori se prvenstveno predlažu za ugradnju u zdravstvene ustanove, sportske dvorane te osnovne škole i vrtiće, naravno, ako postoji dovoljno velika krovna površina. Gradovi koji su odlučili uvesti ovu mjeru očekuju uštedu toplinske energije od 10-15 %.

Tablica 5. Usporedba ugradnje solarnih kolektora

Ime grada	Procjena troškova (kn ili jedinično pomjeri)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Zagreb	41 000 000	9,344 MWh toplinske energije	2 000	19 700
Rijeka	4 200 000	2,100 MWh toplinske energije	560	7 500
Zadar	12 100 000	610 MWh toplinske energije	165	73 000
Velika Gorica	5 500 kn/m ²	740 MWh toplinske energije	190	/

3.2.2. Modernizacija rasvjete učionica

Ovom mjerom predlaže se uvođenje štednih žarulja u učionice. Procjena troškova za prosječnu učionicu od 58 m² iznosi 10 000 kuna, a uštede oko 170 kWh električne energije

godišnje po učionici. Štedne žarulje troše 25-80 % manje energije te traju 3-25 puta duže u usporedbi sa žaruljama sa žarnom niti. Rok povrata investicije oko 5 godina.

3.2.3. Ugradnja termostatskih ventila

Ugradnja termostatskih ventila za sve zgrade u vlasništvu Grada. Za školske i zdravstvene ustanove predviđeni su antivandalni termostatski ventili. Predviđena je ušteda od 16 kWh/m².

Tablica 6. Usporedba ugradnje termostatskih ventila

Ime grada	Procjena troškova (kn ili jedinično pomjeri)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Zagreb	45 000 000	43 700 MWh toplinske energije	9 700	4 600
Rijeka	18 000 000	13 600 MWh toplinske energije	3 300	4 000
Osijek	3 000 000	2 900 MWh toplinske energije	670	4 200
Zadar	350 000	440 MWh toplinske energije	120	3 000
Velika Gorica	650 000	420 MWh toplinske energije	110	6 000
Karlovac	200 000	190 MWh toplinske energije	50	4 000

3.2.4. Modernizacija kotlovnica

Zamjena kotlovnica na lož ulje kotlovnica na pelete/prirodni plin. Tako na primjer Zagreb planira 50 % postojećih kotlovnica na lož ulje zamijeniti kotlovnica na pelete, a ostatak kotlovima na prirodni plin. Rijeka će sve postojeće kotlove na lož ulje, u blizini plinske mreže, prebaciti na plin.

Tablica 7. Usporedba zamjena kotlovnica

Zamjena kotlovnica na lož ulje kotlovnica na pelete				
Ime grada	Procjena troškova (kn ili jedinično pomjeri)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Zagreb	8 400 000	18 700 MWh toplinske energije	5 150	1 600
Zamjena kotlovnica na lož ulje kotlovnica na prirodni plin				
Ime grada	Procjena troškova (kn ili jedinično pomjeri)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Zagreb	3 400 000	1 800 MWh toplinske energije	520	6 600
Rijeka	7 500 000	potrošnja ostaje jednaka	1 000	7 000
Karlovac	320 000	200 MWh toplinske energije	140	2 300

3.2.5. Toplinska izolacija vanjske ovojnice i krovišta

Mjera obuhvaća rekonstrukciju toplinske zaštite vanjske ovojnice i sanaciju krovišta određenog postotka zgrada. Ovom mjerom predviđena je ušteda od 80 kWh/m², a investicijskih troškovi iznose oko 200 kn/m².

Tablica 8. Usporedba rekonstrukcije toplinske izolacije vanjske ovojnice i krovišta

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)	Sanirane zgrade (% ili broj)
Zagreb	270 000 000	110 000 MWh toplinske energije	24 300	11 200	50 %
Rijeka	14 500 000	8 000 MWh toplinske energije	2 100	7 000	20 %
Osijek	2 400 000	800 MWh toplinske energije	185	13 000	15
Zadar	15 600 000	940 MWh toplinske energije	250	62 000	/
Velika Gorica	40 000 000	21 100 MWh toplinske energije	4 700	8 500	30 %

3.2.6. Zamjena dotrajale stolarije

Mjera predlaže da se starija dotrajala stolarija zamjeni novom. Predviđena je ušteda od 70 kWh/m² toplinske energije, a investicijski troškovi iznose oko 500 kn/m².

3.2.7. Uvođenje kriterija zelene javne nabave za kupovinu električnih uređaja

Tablica 9. Usporedba uvođenja kriterija zelene javne nabave

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Zagreb	7 500 000	7 100 MWh električne energije	2 300	3 200
Rijeka	bez troškova	3 500 MWh električne energije	1 100	/
Osijek	bez troškova	310 MWh električne energije	100	/
Zadar	bez troškova	1 450 MWh električne energije	150	/
Karlovac	bez troškova	50 MWh električne energije	16	/

3.2.8. Uvođenje štednih žarulja

Prema EU uredbi o proizvodima za rasvjetu u privatnim kućanstvima (EC Regulation 244/2009) predviđa se da će do 2016. godine prestati proizvodnja klasičnih žarulja sa žarnom niti. Ovom mjerom predviđene su uštede od 4-6 kWh/m² električne energije.

Tablica 10. Usporedba uvođenja štednih žarulja

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Zagreb	10 000 000	14 300 MWh električne energije	4 600	2 100
Osijek	bez troškova	224 MWh električne energije	70	/
Zadar	4 400 000	1 400 MWh električne energije	520	8 500
Velika Gorica	bez troškova	300 MWh električne energije	97	/
Karlovac	bez troškova	43 MWh električne energije	14	/

3.2.9. Ugradnja fotonaponskih sustava do 30 kW na krovove zgrada

Objektima poput vrtića, škola, uprava i sportskih objekata bit će montirani fotonaponski sustavi snage do 30 kW, što daje proizvodnju električne energije od oko 160 kWh/m² godišnje.

Tablica 11. Usporedba rekonstrukcije toplinske izolacije vanjske ovojnice i krovišta

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)	Broj objekata
Rijeka	7 500 000	420 000 kWh električne energije	136	55 000	25
Osijek	400 000	210 MWh električne energije	68	6 000	5
Velika Gorica	400 000	210 MWh električne energije	68	/	12
Karlovac	200 000	52 MWh električne energije	34	6 000	3
Bjelovar	400 000	210 MWh električne energije	68	6 000	1 320 m ²

3.3. Mjere za stambeni sektor

3.3.1. Subvencija za rekonstrukciju toplinske zaštite vanjske ovojnice i sanaciju krovišta stambenih zgrada

Procijenjena ušteda toplinske energije iznosi oko 80 kWh/m², a investicijski troškovi 150-500 kn/m². Prijedlog je da grad ukupne troškove subvencionira s 20 %, a 20 % je subvencija iz ostalih izvora dok građani snose 60 % ukupne investicije.

Tablica 12. Usporedba subvencija rekonstrukcije toplinske zaštite vanjske ovojnice i sanacije krovišta

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)	Sanirane zgrade (% ili broj)
Zagreb	222 400 000	445 000 MWh toplinske energije	98 000	4 500	35 %
Rijeka	190 000 000	100 000 MWh toplinske energije	28 500	7 000	35 %
Zadar	11 000 000	750 MWh toplinske energije	170	63 000	180
Velika Gorica	39 600 000	21 100 MWh toplinske energije	4 700	8 500	30 %
Bjelovar	40 800 000	13 600 MWh toplinske energije	2 000	20 400	15 %

3.3.2. Subvencija ugradnje solarnih kolektora

Prijedlog je da Grad ukupne troškove subvencionira s 20 %, 20 % je subvencija iz ostalih izvora, a građani snose 60 % ukupne investicije.

Tablica 13. Usporedba subvencije solarnih kolektora

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)	Broj zgrada
Zagreb	16 800 000	12 100 MWh toplinske energije	2 700	6 300	3 000
Rijeka	6 900 000	4 900 MWh toplinske energije	1 400	5 000	1 200
Zadar	12 000 000	1 000 MWh toplinske energije	210	57 000	210
Velika Gorica	3 350 000	2 400 MWh toplinske energije	540	6 300	600
Karlovac	6 600 000	800 MWh toplinske energije	120	55 000	200

3.3.3. Davanje poticaja za ugradnju fotonaponskih sustava na krovovima zgrada do 30 kW

Poticanje stambenih objekata na ugradnju fotonaponskih sustava na krovovima zgrada putem sufinanciranja kamatne stope banke.

Tablica 14. Usporedba poticaja za ugradnju fotonaponskih sustava

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)	Broj zgrada
Rijeka	2 200 000	6 000 MWh električne energije	2 000	1 500	/
Osijek	1 400 000	840 MWh električne energije	135	10 300	26
Zadar	8 900 000	960 MWh električne energije	360	25 000	/
Velika Gorica	700 000	420 MWh električne energije	135	5 200	25

3.3.4. Poticaj kupovine energetski učinkovitih električnih uređaja za stambene zgrade

Poticaj kupovine energetski učinkovitih električnih uređaja klase A ili bolje. Predviđena je subvencija Grada u iznosu 10 %, ostatak troškova snose građani.

Tablica 15. Usporedba poticaja za kupovinu energetski učinkovitih električnih uređaja

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Zagreb	35 000 000	49 300 MWh električne energije	16 000	2 200
Rijeka	nema procjene	11 400 MWh električne energije	3 700	/
Osijek	nema procjene	49 000 MWh električne energije	14 500	/
Zadar	nema procjene	13 500 MWh električne energije	5 050	/
Velika Gorica	39 600 000	21 100 MWh električne energije	4 700	8 500
Bjelovar	nema procjene	10 100 MWh električne energije	3 300	/

3.3.5. Uvođenje štednih žarulja

Prema EU uredbi o proizvodima za rasvjetu u privatnim kućanstvima (EC Regulation 244/2009) predviđa se da će do 2016. godine prestati proizvodnja žarulja sa žarnom niti. Ovom mjerom predviđaju se uštede od 4-6 kWh/m² električne energije. Pretpostavka je da se 25-30 % električne energije troši na rasvjetu, a štedne žarulje troše i do 70 % manje od klasičnih.

Tablica 16. Usporedba uvođenja štednih žarulja

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Zagreb	nema procjene	98 600 MWh električne energije	32 000	/
Rijeka	nema procjene	66 600 MWh električne energije	221 500	/
Osijek	nema procjene	38 000 MWh električne energije	12 200	/
Zadar	8 800 000	5 400 MWh električne energije	2 000	4 400
Velika Gorica	nema procjene	6 700 MWh električne energije	2 200	/
Karlovac	nema procjene	3 600 MWh električne energije	5 100	/
Bjelovar	nema procjene	14 300 MWh električne energije	4 600	/

3.3.6. Ugradnja razdjelnika toplinske energije za stambene zgrade

Tablica 17. Usporedba ugradnje razdjelnika toplinske energije

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)	Broj stanova
Osijek	170 000	2 620 MWh toplinske energije	420	400	1 000
Karlovac	16 000 000	22 500 MWh toplinske energije	3 500	4 500	7 600
Bjelovar	200 000	570 MWh toplinske energije	87	2 300	220

3.3.7. Ugradnja termostatskih setova na radijatore u stambenim zgradama

Predviđena je ušteda od oko 16 kWh/m² toplinske energije, a prosječna cijena termostatskog seta s ugradnjom iznosi oko 250-300 kuna.

Tablica 18. Usporedba ugradnje termostatskih setova na radijatore

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)	Broj stanova
Osijek	18 800 000	16 050 MWh toplinske energije	2 550	7 400	35 %
Velika Gorica	3 000 000	2 500 MWh toplinske energije	550	5 300	20 %
Karlovac	10 300 000	8 800 MWh toplinske energije	1 400	7 400	30 %
Bjelovar	6 500 000	5 600 MWh toplinske energije	840	7 700	30 %

3.4. Mjere za komercijalni i uslužni sektor

3.4.1. Poticaji za poboljšanje toplinske izolacije

Mjera obuhvaća rekonstrukciju toplinske zaštite vanjske ovojnice te sanaciju krovišta određenog broja zgrada. Procijenjena je ušteda toplinske energije od oko 80 kWh/m² te investicijski troškovi od 250 kn/m².

Tablica 19. Usporedba poticaja za poboljšanje toplinske izolacije

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Osijek	37 000 000	12 500 MWh toplinske energije	2 800	13 000
Zadar	90 100 000	16 000 MWh toplinske energije	4 400	102 200
Karlovac	120 000 000	40 000 MWh toplinske energije	5 700	21 000
Bjelovar	34 800 000	11 600 MWh toplinske energije	2 300	15 100

3.4.2. Poticaji za korištenje obnovljivih izvora energije

Poticanje da komercijalni i uslužni sektori ugrade solarne panele i fotonaponske sustave na svojim krovovima putem sufinanciranja kamatne stope banke.

Tablica 20. Usporedba poticaja za korištenje obnovljivih izvora energije

Solarni paneli				
Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Osijek	nema procjene	67 200 MWh toplinske energije	15 300	/
Zadar	nema procjene	9 700 MWh toplinske energije	2 600	/
Velika Gorica	5 500 kn/m ²	1 200 MWh toplinske energije	305	/
Bjelovar	nema procjene	15 000 MWh toplinske energije	3 000	/
Fotonaponski sustavi do 30 kW				
Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Rijeka	nema procjene	5 800 MWh električne energije	180	/
Osijek	700 000	420 MWh električne energije	270	2 600
Zadar	nema procjene	2 900 MWh električne energije	1 080	/
Velika Gorica	700 000	420 MWh električne energije	135	/
Bjelovar	700 000	420 MWh električne energije	135	2 600

3.4.3. Donošenje Odluke Gradskog vijeća o smanjenju komunalnog doprinosa za nove zgrade u komercijalnom i uslužnom sektoru koje koriste OIE

Donošenje Odluke Gradskog vijeća o smanjenju komunalnog doprinosa za nove zgrade u komercijalnom i uslužnom sektoru koje koriste obnovljive izvore energije za proizvodnju toplinske energije. Prije provođenja mjere potrebno je provesti detaljnu analizu radi utvrđivanja stanja i načina provedbe. Pretpostavka je da će se provedbom ove mjere potrošnja toplinske energije podsektora smanjiti za 15 %.

Tablica 21. Usporedba donošenja Odluke Gradskog vijeća o smanjenju komunalnog doprinosa

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Rijeka	nema procjene	3 500 MWh	700	/
Osijek	nema procjene	67 200 MWh toplinske energije	15 300	/
Velika Gorica	nema procjene	6 500 MWh toplinske energije	1 650	/
Karlovac	nema procjene	54 500 MWh toplinske energije	3 200	/
Bjelovar	nema procjene	18 800 MWh toplinske energije	3 800	/

3.4.4. Ugradnja štednih žarulja

Tablica 22. Usporedba uvođenja štednih žarulja

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Zagreb	nema procjene	30 150 MWh električne energije	9 700	/
Rijeka	nema procjene	5 400 MWh električne energije	1 700	/
Velika Gorica	nema procjene	1 700 MWh električne energije	555	/
Karlovac	nema procjene	10 000 MWh električne energije	3 200	/
Bjelovar	nema procjene	6 200 MWh električne energije	2 000	/

3.4.5. Poticanje kupovine energetski učinkovitih električnih uređaja za nove zgrade

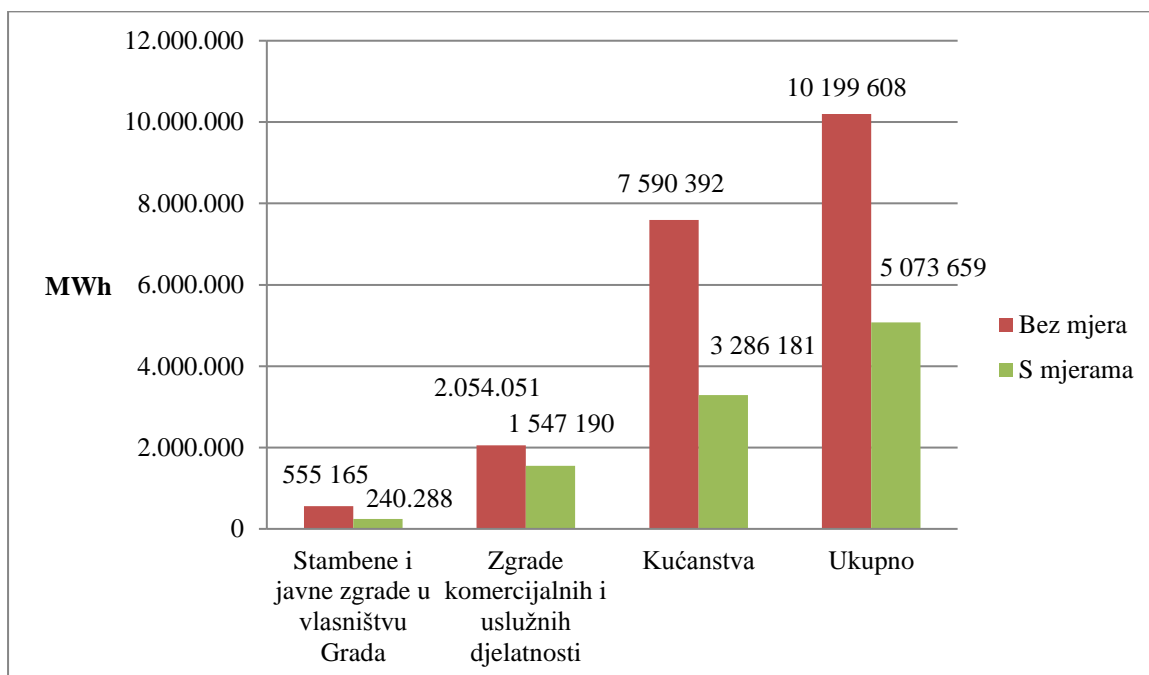
Poticanje kupovine energetski učinkovitih električnih uređaja. Prije provođenja mjere potrebno je provesti detaljnu analizu radi utvrđivanja stanja i načina provedbe.

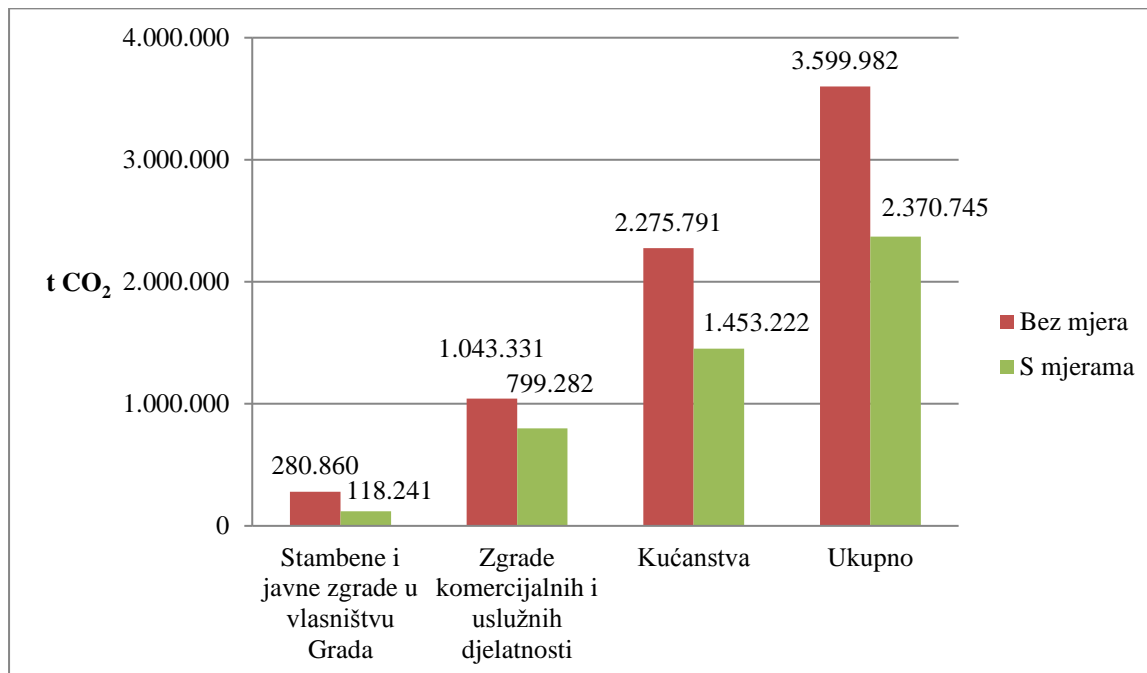
Tablica 23. usporedba poticaja kupovine energetskih učinkovitih električnih uređaja

Ime grada	Procjena troškova (kn)	Procjena uštede energije (% ili kWh, litre goriva)	Procjena smanjenja emisija t CO ₂	Troškovi po smanjenju emisije (kn/t CO ₂)
Zagreb	5 000 000	2 100 MWh električne energije	680	7 400
Rijeka	nema procjene	3 100 MWh električne energije	1 000	/
Zadar	nema procjene	5 400 MWh električne energije	2 000	/

3.5. Usporedba trenutnog scenarija i scenarija nakon primjene mjera za Grad Zagreb

Slika 1. Usporedba potrošnje energije bez mjera i s mjerama za zgradarstvo Grada Zagreba



Slika 2. Usporedba emisije CO₂ bez mjera i s mjerama za zgradarstvo Grada Zagreba

Iz grafova je vidljivo kako je moguće smanjiti ukupnu potrošnju energije za čak 50 % te reducirati emisije CO₂ za 35 %. U kategoriji kućanstva očituju se najveće uštede što je i očekivano, 4 304 311 MWh odnosno 56,7 % te smanjenje CO₂ u iznosu od 822 569 tona odnosno 36,1 %. U kategoriji stambene i javne zgrade u vlasništvu Grada očituju se najmanje apsolutne uštede u iznosu od 314 877 MWh odnosno 56,7 % te smanjenje emisija CO₂ od 162 619 tona odnosno 30,1 %. Iako zgrade komercijalnih i uslužnih djelatnosti pružaju mogućnost uštede energije od 506 861 MWh te 244 049 t CO₂, to je ipak relativno malo u odnosu na ostale sektore, jer uštede iznose 24,6 % MWh energije i 23,4 % t CO₂.

4. METODA

U tablici 24. dane su dopuštene vrijednosti primarne, toplinske i električne energije za različite vrste zgrada koje će se koristiti u proračunima. Vrijednosti $E_{\text{prim,dop}}$ i $Q''_{\text{H,nd}}$ određene su prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije [5]. Ono što se ne pronalazi u Tehničkom propisu je dopuštena vrijednost električne energije odnosno E_{dop} . Zbog toga, ona je određena, za stambene zgrade prema strategiji za postizanje G0EZ [14], a za nestambene prema projiciranim vrijednostima iz strategija za postizanje G0EZ u Rumunjskoj [15].

Kako $Q''_{\text{H,nd}}$ ovisi o faktoru oblika zgrade, odabrana je ona vrijednost faktora oblika koja označava granični slučaj, odnosno faktor oblika veći ili jednak 1,05 ($f_o \geq 1,05$). Potrošnja toplinske energije ne može biti veća od graničnog slučaja pa tako ni potrebna investicija sustava i emisije CO₂.

Tablica 24. Dopušteni iznosi energija za G0EZ

Tip zgrade	$E_{\text{prim,dop}}$ [kWh/m ²]	$Q''_{\text{H,nd}}$ [kWh/m ²]	E_{dop} [kWh/m ²]
Višestambena	80	75	15
Učenički dom	80	75	15
Dom za starije	80	75	15
Obiteljska kuća	45	75	15
Gradska uprava	35	51,43	5
Mjesna samouprava	35	51,43	5
Poslovni prostor	35	51,43	5
Srednja škola	55	46,68	5
Osnovna škola	55	46,68	5
Vrtić	55	46,68	5
Bolnica	250	53,21	5
Hotel	90	69,98	15
Restoran	90	69,98	5
Sportska dvorana	210	130,89	15
Trgovina	170	83,4	15
Kulturna ustanova	150	75	5

U svim proračunima uzeto je godišnje prosječno povećanje cijene energenata prema Eurostatu [16]. Prosječno povećanje cijene energenta izračunato je prema godišnjim promjenama u cijeni zadnjih 10 godina. Za prirodni plin postotak povećanja na godišnjoj bazi iznosi 1,73%, 2,19% za cijenu električne energije te 2,77% za cijenu dizelskog goriva.

4.1. Tehnički proračun kotla na prirodni plin

Sustav grijanja s kondenzacijskim kotlom na prirodni plin uzet je kao referenca za proračunavanje smanjenja energije i emisija drugih sustava, stoga je prvo potrebno odrediti potrošnju energije, cijenu energije i emisije CO₂ referentnog sustava.

- Godišnja potrošnja toplinske energije (1):

$$Q_g = A_k \cdot q_g \quad (1)$$

Pri čemu su:

Q_g – godišnja potrošnja toplinske energije [kWh]

A_k – površina objekta [m²]

q_g – specifična potrošnja toplinske energije [kWh/m²]

- Cijena potrošnje prirodnog plina (2):

$$C_{p,g} = Q_g \cdot C_p \quad (2)$$

Pri čemu su:

$C_{p,g}$ – godišnji troškovi potrošnje prirodnog plina [kn]

C_p – cijena prirodnog plina [kn/kWh]

- Emisije CO₂ (3):

$$T_{CO_2,g} = T_{CO_2,p} \cdot Q_g \quad (3)$$

Pri čemu su:

$T_{CO_2,g}$ – godišnje emisije CO₂ [tona]

$T_{CO_2,p}$ – emisije CO₂ prirodnog plina [tona/kWh]

- Potrošnja energije do 2050. godine (4):

$$Q_{50} = Q_g \cdot B_{50} \quad (4)$$

Pri čemu su:

Q_{50} – potrošnja energije do 2050. godine [kWh]

B_{50} – razlika 2050. i referentne godine

- Cijena potrošnje prirodnog plina do 2050. godine (5):

$$C_{50,p} = -FV(P_{pp}; B_{50}; C_{p,g}) \quad (5)$$

Pri čemu je:

$C_{50,p}$ – cijena potrošnje prirodnog plina do 2050. godine [kn]

$FV(\text{rate}; \text{nper}; \text{pmt})$ – funkcija buduće vrijednosti

FV je funkcija programa excel koja računa cijenu potrošnje prirodnog plina, odnosno smanjenje troškova, do 2050. godine uzimajući u obzir godišnje povećanje cijene energenta.

P_{pp} – godišnje povećanje cijene prirodnog plina [%]

- Emisije CO_2 do 2050. godine (6):

$$T_{50} = T_{\text{CO}_2,g} \cdot B_{50} \quad (6)$$

Pri čemu je:

T_{50} – emisije CO_2 do 2050. godine [tona]

4.2. Tehnički proračun solarnog sustava

Sve jednadžbe odnose se na smanjenje potrošnje energije, uštede u kunama i smanjenje emisija CO_2 zbog pripreme PTV-a solarnim sustavom. U konkretnom proračunu bit će definirano u kojoj mjeri, ovisno o godišnjem dobu, solarni sustav pokriva zahtjeve za PTV-om. Početna investicija je unaprijed određena [17], a u nju spada sva osnovna oprema sustava (solarni kolektori, cijevi, toplinski spremnik...) i troškovi radova.

- Energija potrebna za zagrijavanje vode (7):

$$Q_w = \frac{c_w \cdot V_l (T_2 - T_1)}{B_{sh}} \quad (7)$$

Pri čemu je:

Q_w – energija potrebna za zagrijavanje vode [kW]

c_w – specifični toplinski kapacitet vode [kJ/kgK]

V_1 – volumen vode [dm^3]

T_1 – ulazna temperatura vode [$^{\circ}\text{C}$]

T_2 – izlazna temperatura vode [$^{\circ}\text{C}$]

B_{sh} – broj sekundi u jednom satu

- Smanjenje energije po periodu (8):

$$Q = B \cdot Q_w \cdot B_{\text{god}/4} \cdot G \quad (8)$$

Pri čemu su:

Q – godišnje smanjenje energije [kWh]

B – broj osoba

G – faktor godišnjeg doba [0-1]

$B_{\text{god}/4}$ – broj dana u četvrtini godine

- Godišnje uštede u kunama (9):

$$C = Q \cdot C_p \quad (9)$$

Pri čemu je:

C – godišnje uštede [kn]

- Smanjenje emisija CO_2 (10):

$$T_{\text{CO}_2} = Q \cdot T_p \quad (10)$$

- Smanjenje potrošnje energije do 2050. godine (11):

$$Q_{50} = Q \cdot B_{50} \quad (11)$$

- Uštede u kunama do 2050. godine (12):

$$C_{50} = -FV(P_{pp}; B_{50}; I_{ss}); \quad (12)$$

Pri čemu je:

I_{ss} – investicija u solarni sustav [kn]

- Smanjenje emisija CO₂ do 2050. godine (13):

$$T_{50} = T_{CO_2} \cdot B_{50} \quad (13)$$

- Rok povrata investicije (14):

$$I_p = NPER(P_{pp}; C; -I_{ss}) \quad (14)$$

Pri čemu su:

I_p – rok povrata investicije [god]

$NPER(\text{rate}; \text{pmt}; \text{fv})$ – funkcija broja razdoblja

$NPER$ je funkcija programa excel koja računa rok povrata investicije uzimajući u obzir godišnje povećanje cijene energenta.

4.3. Tehnički proračun fotonaponskog sustava

Fotonaponski sustav, kada ne radi u kombinaciji s drugim sustavima, koristi se za zadovoljavanje cjelokupnih potreba za godišnjom energijom zgrade. U suprotnome, koristi se za zadovoljavanje samo godišnjih električnih potreba, uključujući i pogonske zahtjeve dizalice topline. Investiciju je potrebno izračunati jer ovisi o snazi fotonaponskog sustava, a u nju spada sva osnovna oprema (fotonaponski moduli, baterija, inverter...) i troškovi radova.

- Potrebna snaga fotonaponskog sustava (15):

$$P = \frac{A_k \cdot (e_g \cdot q_g)}{F \cdot S \cdot B_{god}} \quad (15)$$

Pri čemu je:

P – potrebna snaga fotonaponskog sustava [kW]

e_q – specifična potrošnja električne energije [kWh/m²]

q_g – specifična potrošnja toplinske energije [kWh/m²]

F – faktor pretvorbe

S – broj prosječnih sunčanih sati godišnje

B_{god} – broj dana u godini

- Potrebna snaga fotonaponskog sustava u kombinaciji s dizalicom topline (16):

$$P = \frac{(A_k \cdot q_g) \cdot B_p + A_k \cdot e_g}{F \cdot S \cdot B_{god}} \quad (16)$$

Pri čemu je:

B_p – jedna četvrtina koja se odnosi na pogonske zahtjeve dizalice topline

- Potrebna snaga fotonaponskog sustava u kombinaciji s dizalicom topline i solarnim sustavom (17):

$$P = \frac{(A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot B_p + A_k \cdot e_g}{F \cdot S \cdot B_{god}} \quad (17)$$

Pri čemu je:

Q_1 – smanjenje energije zbog korištenja solarnog sustava [kWh]

- Smanjenje potrošnje energije (18):

$$Q = A_k \cdot (e_g + q_g) \quad (18)$$

- Smanjenje potrošnje energije u kombinaciji s dizalicom topline (19):

$$Q = A_k \cdot e_g + (A_k \cdot q_g) \cdot B_p \quad (19)$$

- Smanjenje potrošnje energije u kombinaciji s dizalicom topline i solarnim sustavom (20):

$$Q = A_k \cdot e_g + (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot B_p \quad (20)$$

- Godišnje uštede u kunama zbog pokrivanja toplinskih potreba fotonaponskim sustavom (21):

$$C_1 = A_k \cdot q_g \cdot C_p \quad (21)$$

- Godišnje uštede u kunama zbog pokrivanja potreba za električnom energijom fotonaponskim sustavom (22):

$$C_2 = A_k \cdot e_g \cdot C_e \quad (22)$$

Pri čemu je:

C_e – cijena električne energije [kn]

- Godišnje uštede u kunama (23):

$$C = C_1 + C_2 \quad (23)$$

- Godišnje uštede u kunama u kombinaciji s dizalicom topline (24):

$$C = A_k \cdot e_g \cdot C_e + (A_k \cdot q_g) \cdot B_p \cdot C_e \quad (24)$$

- Godišnje uštede u kunama u kombinaciji s dizalicom topline i solarnim sustavom (25):

$$C = A_k \cdot e_g \cdot C_e + (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot B_p \cdot C_e \quad (25)$$

Pri čemu je:

- Smanjenje emisija CO₂ (26):

$$T_{CO_2} = A_k \cdot e_g \cdot T_{CO_2,e} + A_k \cdot q_g \cdot T_{CO_2,p} \quad (26)$$

- Smanjenje emisija CO₂ u kombinaciji s dizalicom topline (27):

$$T_{CO_2} = A_k \cdot e_g \cdot T_{CO_2,e} + (A_k \cdot q_g) \cdot B_p \cdot T_{CO_2,e} \quad (27)$$

- Smanjenje emisija CO₂ u kombinaciji s dizalicom topline i solarnim sustavom (28):

$$T_{CO_2} = A_k \cdot e_g \cdot T_{CO_2,e} + (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot B_p \cdot T_{CO_2,e} \quad (28)$$

Pri čemu je:

$T_{CO_2,e}$ – indirektna emisija CO₂ električne energije [tona/kWh]

- Cijena investicije (29):

$$I_{fs} = P \cdot B_i \quad (29)$$

Pri čemu je:

I_{fs} – cijena investicije u fotonaponski sustav [kn]

B_i – cijena investicije po kW snage fotonaponskog sustava [kn]

- Smanjenje potrošnje energije do 2050. godine (11):

$$Q_{50} = Q \cdot B_{50}$$

- Uštede u kunama do 2050. godine (30):

$$C_{50} = -FV_1(P_{pp}; B_{50}; C_1) - FV_2(P_{el}; B_{50}; C_2) \quad (30)$$

- Smanjenje emisija CO₂ do 2050. godine (13):

$$T_{50} = T_{CO_2} \cdot B_{50}$$

- Ekvivalentni postotak povećanja (31):

$$P_{eq} = RATE(B_{50}; C; -C_{50}) \quad (31)$$

P_{eq} – ekvivalentni postotak povećanja [%]

RATE(nper;pmt;fv) – funkcija kamatne stope

Kako funkcije FV i NPER koriste jedan postotak povećanja cijene energenta, u sustavima gdje se pojavljuju dva ili više potrebno ih je zamijeniti jednim ekvivalentnim. U tu svrhu koristimo funkciju RATE.

- Rok povrata investicije (14):

$$I_p = NPER(P_{eq}; C_2; -I_{fs})$$

4.4. Tehnički proračun električnog automobila kao spremnika energije

Proračun električnog automobila nadopuna je proračunu fotonaponskog sustava. Karakteristike električnog i dizelskog automobila izvučene su iz tehničkih specifikacija danih od strane proizvođača. Električni automobil puni se električnom energijom proizvedenom fotonaponskim sustavom. Investicija električnog automobila se ne uzima u proračunu.

- Cijena potrošnje dizel goriva (32):

$$C_d = D \cdot K_d \quad (32)$$

Pri čemu su:

C_d – cijena punjenja spremnika dizel gorivom [kn]

D – cijena dizel goriva [kn/l]

K_d – potrošnja dizel automobila [litara/100 km]

- Potrebna snaga fotonaponskog sustava (33):

$$P = \frac{A_k \cdot (e_g + q_g) + K_e \cdot \frac{B_{km}}{B_l}}{F \cdot S \cdot B_{god}} \quad (33)$$

Pri čemu su:

K_e – potrošnja električnog automobila [litara/100 km]

B_{km} – prosječni broj prijeđenih kilometara godišnje [km]

B_l – broj kilometara [km]

- Potrebna dodatna snaga fotonaponskog sustava zbog električnog automobila (34):

$$P = \frac{K_e \cdot \frac{B_{km}}{B_l}}{F \cdot S \cdot B_{god}} \quad (34)$$

- Smanjenje potrošnje energije (35):

$$Q = A_k \cdot (e_g + q_g) + K_d \cdot \frac{B_{km}}{B_l} \cdot B_d \quad (35)$$

Pri čemu je:

B_d – energetska vrijednost 1 litre dizelskog goriva [kWh]

- Smanjenje potrošnje energije zbog električnog automobila (36):

$$Q = K_d \cdot \frac{B_{km}}{B_l} \cdot B_d \quad (36)$$

- Uštede u kunama zbog pokrivanja toplinskih potreba fotonaponskim sustavom(21):

$$C_1 = A_k \cdot q_g \cdot C_p$$

- Uštede u kunama zbog pokrivanja potreba za električnom energijom fotonaponskim sustavom (22):

$$C_2 = A_k \cdot e_g \cdot C_e$$

- Uštede u kunama zbog zamjene dizelskog automobila električnim (37):

$$C_3 = K_d \cdot C_d \cdot \frac{B_{km}}{B_l} \quad (37)$$

- Uštede u kunama (38):

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (38)$$

- Smanjenje emisija CO₂ (39):

$$T_{CO_2} = A_k \cdot e_g \cdot T_{CO_2,e} + A_k \cdot q_g \cdot T_{CO_2,p} + T_{CO_2,d} \cdot \frac{B_{km}}{B_l} \quad (39)$$

Pri čemu je:

$T_{CO_2,d}$ – emisije CO₂ dizelskog motora [tona/100 km]

- Smanjenje emisija CO₂ zbog električnog automobila (40):

$$T_{CO_2} = T_{CO_2,d} \cdot \frac{B_{km}}{B_l} \quad (40)$$

- Smanjenje energije do 2050. godine (11):

$$Q_{50} = Q \cdot B_{50}$$

- Uštede u kunama do 2050. godine (41):

$$C_{50} = -FV_1(P_{pp}; B_{50}; C_1) - FV_2(P_{el}; B_{50}; C_2) - FV_3(P_d; B_{50}; C_3) \quad (41)$$

- Smanjenje emisija CO₂ do 2050. godine (13):

$$T_{50} = T_{CO_2} \cdot B_{50}$$

- Ekvivalentni postotak povećanja (31):

$$P_{eq} = RATE(B_{50}; C; -C_{50})$$

- Rok povrata investicije (14):

$$I_p = NPER(P_{eq}; C_2; -I_{fs})$$

4.5. Tehnički proračun dizalice topline

Za sve tipove proračuna, određeno je da dizalica topline za svaki uloženi kW električne snage daje 4 kW toplinske. Udio energije odvojen za hlađenje je varijabilan, jer ovisi o tipu zgrade. Za obrazovne ustanove uzet je udio u iznosu od 5 %, za vrtiće u iznosu od 10 %, a za ostale tipove iznosi 20 %. U situaciji kada dizalica topline radi u kombinaciji sa solarnim sustavom, udjele je potrebno preračunati, jer određeni dio energije za pripremu PTV-a tada pokriva solarni sustav. Početna investicija je unaprijed određena [17], a u nju spada sva osnovna oprema sustava i troškovi radova. Rok povrata investicije nije računat jer se ne ostvari do 2050. godine.

- Godišnje smanjenje potrošnje energije (42):

$$Q = A_k \cdot q_g - \frac{A_k \cdot q_g}{4} \quad (42)$$

- Godišnje smanjenje potrošnje energije u kombinaciji sa solarnim sustavom (43):

$$Q = (A_k \cdot q_g - Q_1) - (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot B_p \quad (43)$$

- Smanjenje emisija CO₂ (44):

$$T_{CO_2} = A_k \cdot q_g \cdot T_{CO_2,p} \cdot (1 - H) + A_k \cdot q_g \cdot T_{CO_2,e} \cdot H - A_k \cdot q_g \cdot T_{CO_2,e} \cdot B_p \quad (44)$$

Pri čemu je:

H – udio energije za hlađenje [0-1]

- Smanjenje emisija CO₂ u kombinaciji sa solarnim sustavom (45):

$$T_{CO_2} = (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot T_{CO_2,p} \cdot (1 - H) + (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot T_{CO_2,e} \cdot H - (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot T_{CO_2,e} \cdot B_p \quad (45)$$

- Preračun energije za hlađenje (46):

$$H = \frac{A_k \cdot q_g \cdot H_s}{A_k \cdot q_g - Q_1} \quad (46)$$

- Cijena investicije u kombinaciji s fotonaponskim i solarnim sustavom (47):

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (47)$$

Pri čemu su:

I_1 – cijena solarnog sustava [kn]

I_2 – cijena fotonaponskog sustava [kn]

I_3 – cijena sustava dizalice topline [kn]

- Smanjenje potrošnje energije do 2050. godine (12):

$$Q_{50} = Q \cdot B_{50}$$

- Uštede u kunama zbog grijanja dizalicom topline (48):

$$C_1 = A_k \cdot q_g \cdot C_p \cdot (1 - H) \quad (48)$$

- Uštede u kunama zbog hlađenja dizalicom topline (49):

$$C_2 = A_k \cdot e_g \cdot C_e \cdot H \quad (49)$$

- Pogonski troškovi dizalice topline (50)

$$C_3 = A_k \cdot q_g \cdot C_e \cdot B_p \quad (50)$$

- Uštede u kunama (51):

$$C = C_1 + C_2 - C_3 \quad (51)$$

- Uštede u kunama do 2050. godine (52):

$$C_{50} = FV_1(P_{pp}; B_{50}; -C_1) + FV_2(P_{el}; B_{50}; -C_2) - FV_3(P_d; B_{50}; -C_3) \quad (52)$$

- Godišnje uštede u kunama u kombinaciji sa solarnim sustavom (53):

$$C = (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot C_p \cdot (1 - H) + (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot C_e \cdot H - (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot C_e \cdot B_p \quad (53)$$

- Smanjenje emisija CO₂ do 2050. godine (13):

$$T_{50} = T_{CO_2} \cdot B_{50}$$

4.6. Tehnički proračun kotla na biomasu

Za zgrade površine 3 000 m² ili manje cijena biomase iznosi 0,4 kn/kWh, a za zgrade većih površina pretpostavljeno je da nabavljaju biomasu u većim količinama te stoga cijena iznosi 0,2 kn/kWh. Uštede energije nema, jer je jedan energent zamijenjen drugim. Početna investicija je unaprijed određena [17].

- Dodatni troškovi/uštede u kunama (54):

$$C_1 = A_k \cdot q_g \cdot (C_p - C_b) \quad (54)$$

Pri čemu je:

C_b – cijena peleta [kn/kWh]

- Cijena potrošnje prirodnog plina (2):

$$C_{p,g} = A_k \cdot q_g \cdot C_p$$

- Ušteda u kunama do 2050. godine (55):

$$C_{50} = -FV_1(P_{pp}; B_{50}; C_{p,g}) - A_k \cdot q_g \cdot C_b \quad (55)$$

- Smanjenje emisija CO₂ (56);

$$T_{CO_2} = A_k \cdot q_g \cdot (T_{CO_2,p} - T_{CO_2,b}) \quad (56)$$

Pri čemu je:

$T_{CO_2,b}$ – emisija CO₂ peleta [tona/kWh]

- Smanjenje emisija CO₂ do 2050. godine (13):

$$T_{50} = T_{CO_2} \cdot B_{50}$$

5. USPOREDBA I ANALIZA KORIŠTENJA RAZLIČITIH SUSTAVA ZA POKRIVANJE ENERGETSKIH POTREBA

U ovom poglavlju razrađeni su i uspoređeni različiti sustavi (dizalice topline, kotlovi na biomasu, kotlovi na plin, solarni kolektori i fotonaponski paneli) čija je svrha pokrivanje energetske potrebe u G0EZ uz korištenje sustava za skladištenje energije. Specifične vrijednosti toplinske i električne energije su upravo vrijednosti pronađene u tablici 24.

5.1. Prirodni plin

Prirodni plin kao energent pokriva 9,368,878 m² površine kućanstava Grada Zagreba odnosno 50 % ukupne površine, 278,410 m² površine obrazovnih institucija (33 % ukupne površine), 176,959 m² zdravstvenih institucija (55 % ukupne površine), 47 % ukupne površine zgrada gradske uprave i mjesne samouprave te gotovo 100 % površine kulturnih institucija. Zbog većinskog udjela u potrošnji energije, kotao na prirodni plin odabran je kao referentna točka za izračun smanjenja energije, emisije i troškova. Veliki nedostatak ovakve usporedbe je taj što je cijena prirodnog plina po kWh relativno niska, stoga će sve investicije imati veliki period povrata [7].

5.1.1. Primjer izračuna kotla na prirodni plin za obiteljsku kuću

- Godišnja potrošnja toplinske energije (1):

$$\begin{aligned} Q_g &= A_k \cdot q_g \\ &= 11\,250 \text{ kWh} \end{aligned}$$

- Cijena potrošnje prirodnog plina (2):

$$\begin{aligned} C_{p,g} &= Q_g \cdot C_p \\ &= 3\,712 \text{ kn} \end{aligned}$$

- Godišnje emisije CO₂ (3):

$$\begin{aligned} T_{CO_2,g} &= T_{CO_2,p} \cdot Q_g \\ &= 2,50 \text{ tona} \end{aligned}$$

- Potrošnja toplinske energije do 2050. godine (4):

$$\begin{aligned} Q_{50} &= Q_g \cdot B_{50} \\ &= 348\,750 \text{ kWh} \end{aligned}$$

- Cijena potrošnje prirodnog plina do 2050. godine (5):

$$\begin{aligned} C_{50,p} &= -FV(P_{pp}; B_{50}; C_{p,g}) \\ &= 150\,613 \text{ kn} \end{aligned}$$

- Emisije CO₂ do 2050. godine (6):

$$\begin{aligned} T_{50} &= T_{CO_2,g} \cdot B_{50} \\ &= 77,49 \text{ tona} \end{aligned}$$

Isti proračun vrijedi i za sve ostale tipove zgrada te su rezultati prikazani u tablici 25.

Tablica 25. Analiza korištenja kotla na prirodni plin

	Kvadratura objekta [m ²]	Godišnja potrošnja toplinske energije [kWh]	Cijena potrošnje prirodnog plina [kn]	godišnja emisija t CO ₂	Potrošnja do 2050.		emisije t CO ₂ do 2050.
					Energije [kWh]	[kn]	
Višestambena	14 000	1 050 000	346 500	233,31	32 550 000	14 057 214	7 232,61
Učenički dom	4 000	300 000	99 000	66,66	9 300 000	4 016 347	2 066,46
Dom za starije	8 100	607 500	200 475	134,99	18 832 500	8 133 102	4 184,58
Obiteljska Kuća	150	11 250	3 713	2,50	348 750	150 613	77,49
Gradska uprava	3 600	185 148	61 099	41,14	5 739 588	2 478 729	1 275,34
Mjesna samouprava	220	11 315	3 734	2,51	350 753	151 478	77,94
Poslovni prostor	60	3 086	1 018	0,69	95 660	41 312	21,26
Srednja škola	6 000	280 080	92 426	62,23	8 682 480	3 749 661	1 929,25
Osnovna škola	3 300	154 044	50 835	34,23	4 775 364	2 062 314	1 061,09
Vrtić	995	46 447	15 327	10,32	1 439 845	621 819	319,93
Bolnica	80 000	4 256 800	1 404 744	945,86	131 960 800	56 989 285	29 321,69
Hotel	10 000	699 800	230 934	155,50	21 693 800	9 368 798	4 820,36
Restoran	200	13 996	4 619	3,11	433 876	187 376	96,41
Sportska dvorana	7 800	1 020 942	336 911	226,85	31 649 202	13 668 191	7 032,45
Trgovina	980	81 732	26 972	18,16	2 533 692	1 094 214	562,99
Kulturna ustanova	1 500	112 500	37 125	25,00	3 487 500	1 506 130	774,92

5.2. Solarni kolektori

Sunčev toplovodni kolektor ili solarni kolektor dio je sunčevog toplovodnog sustava koji direktno pretvara sunčevu energiju u toplinsku energiju, a ona se u ovome slučaju koristi za zagrijavanje vode. Praksa je pokazala da solarni kolektor godišnje uštedi 750 kWh energije po 1 m², a ušteda na energiji ovisi o godišnjem periodu. Tako solarni kolektor u ljetnim mjesecima zadovolji potrebe za PTV-om u iznosu od 90-100 %, u prijelaznom periodu 50-70 % te zimi 10-25 % [18], [19].

5.2.1. Primjer izračuna solarnog sustava za obiteljsku kuću

U obiteljskoj kući 150 kvadrata borave 4 osobe. Pretpostavljena je dnevna potrošnja tople vode od 60 litara te savršeno izolirani spremnik. Ulazna temperatura vode je 10°C, a izlazna 45°C. Investicija je određena prema Akcijskom planu energetske održivosti razvitka Grada Zagreba [7]. Solarni kolektor pokriva 100 % potreba za toplom vodom tijekom ljetnih mjeseci, 60 % tijekom prijelaznog roka te 15 % zimi. Vijek trajanja sustava nije uzet u obzir.

- Energija potrebna za zagrijavanje vode (7):

$$Q_w = \frac{c_w \cdot V_l (T_2 - T_1)}{B_{sh}}$$

$$= 2,46 \text{ kW}$$

- Godišnje smanjenje potrošnje energije (8):

$$Q = B \cdot Q_w \cdot B_{god/4} \cdot G + 2 \cdot B \cdot Q_w \cdot B_{god/4} \cdot G + B \cdot Q_w \cdot B_{god/4} \cdot G$$

$$= 2 \text{ 110 kWh}$$

- Godišnje uštede u kunama (9):

$$C = Q \cdot C_p$$

$$= 696 \text{ kn}$$

- Godišnje smanjenje emisija CO₂ (10):

$$T_{CO_2} = Q \cdot T_p$$

$$= 0,47 \text{ tona CO}_2$$

- Smanjenje potrošnje energije do 2050. godine (11):

$$\begin{aligned} Q_{50} &= Q \cdot B_{50} \\ &= 65\,412 \text{ kWh} \end{aligned}$$

- Uštede u kunama do 2050. godine (12):

$$\begin{aligned} C_{50} &= -FV(P_{pp}; B_{50}; I_{ss}); \\ &= 28\,249 \text{ kn} \end{aligned}$$

- Smanjenje emisija CO₂ do 2050. godine (13):

$$\begin{aligned} T_{50} &= T_{CO_2} \cdot B_{50} \\ &= 14,4 \text{ tona} \end{aligned}$$

- Rok povrata investicije (14):

$$\begin{aligned} I_p &= NPER(P_{pp}; C; -I_{ss}) \\ &= 28,17 \text{ godina} \end{aligned}$$

Isti proračun vrijedi i za sve ostale tipove zgrada te su rezultati prikazani u tablici 26.

Tablica 26. Analiza korištenja solarnog sustava

	Kvadratura [m ²]	Investicija [kn]	Godišnje uštede			Rok povrata investicije u godinama	Uštede do 2050.		
			Energije [kWh]	[kn]	t CO ₂		Energije [kWh]	[kn]	t CO ₂
Višestambena	14 000	2 100 000	211 006	69 632	46,46	24,48	6 541 198	2 824 916	1 440,37
Učenički dom	4 000	380 000	34 289	11 315	7,55	26,71	1 062 945	459 049	234,06
Dom za starije	8 100	1 250 000	123 966	40 909	27,30	24,74	3 842 954	1 659 638	846,22
Obiteljska kuća	150	25 000	2 110	696	0,46	28,17	65 412	28 249	14,40
Gradska uprava	3 600	180 000	17 584	5 803	3,87	25,05	545 100	235 410	120,03
Mjesna samouprava	220	25 000	2 638	870	0,58	23,52	81 765	35 311	18,00
Poslovni prostor	60	10 000	264	87	0,06	63,77	8 184	3 534	1,80
Srednja škola	6 000	240 000	23 079	7 616	5,08	25,37	715 444	308 975	157,54
Osnovna škola	3 300	140 000	13 188	4 352	2,90	25,80	408 825	176 557	90,02
Vrtić	950	55 000	5 275	1 741	1,16	25,42	163 530	70 623	36,01
Bolnica	80 000	4 980 000	474 764	156 672	104,54	25,55	14 717 696	6 356 062	3 240,84
Hotel	10 000	1 400 000	142 429	47 002	31,36	24,23	4 415 309	1 906 819	972,25
Restoran	200	40 000	3 077	1 015	0,68	30,30	95 392	41 197	21,01
Sportska dvorana	7 800	730 000	61 544	20 309	13,55	28,19	1 907 850	823 934	420,11
Trgovina	980	100 000	8 792	2 901	1,94	27,27	272 550	117 705	60,02
Kulturna ustanova	1 500	46 000	3 956	1 306	0,87	27,75	122 647	52 967	27,01

Rok povrata investicije je relativno velik, jer je cijena plina po kWh relativno niska. Kada bi se PTV pripremala kotlom na loživo ulje ili električnom energijom, rok povrata investicije tada bi iznosio 15 godina za kotao na loživo ulje odnosno 7 godina za električnu energiju.

5.3. Fotonaponski sustavi

Fotonaponski sustavi mogu se podijeliti u dvije osnovne grupe. Prva grupa su samostalni ili otočni sustavi. Njihova karakteristika je da svu proizvedenu električnu energiju skladište na licu mjesta u baterije ili akumulatore, za razliku od druge skupine, mrežnih sustava, koji proizvedenu električnu energiju predaju u elektroenergetski sustav. Proračuni u ovome radu odnose se na samostalne sustave.

Prednost samostalnih sustava je mogućnost upotrebe pohranjene energije u bilo koje doba, što znači energetska neovisnost te izostanak plaćanja računa. Nedostatak proizlazi iz činjenice da je proizvedena električna energija ovisna o godišnjem dobu, odnosno o broju sunčanih sati, te će proizvodnja električne energije zimi biti manja nego ljeti [20].

5.3.1. Primjer izračuna fotonaponskog sustava za obiteljsku kuću

Odabrana je takva snaga fotonaponskog sustava da upravo proizvedena električna energija zadovoljava sve godišnje energetske potrebe zgrade. Troškovi investicije iznose 10 000 kuna po 1 kW snage. Pretpostavljena je savršena baterija te vijek trajanja sustava nije uzet u obzir.

- Potrebna snaga fotonaponskog sustava (15):

$$P = \frac{A_k \cdot (e_g \cdot q_g)}{F \cdot S \cdot B_{god}}$$

$$= 12,33 \text{ kW}$$

- Godišnje smanjenje potrošnje energije (18):

$$Q = A_k \cdot (e_g + q_g)$$

$$= 13\,500 \text{ kWh}$$

- Godišnje uštede u kunama zbog pokrivanja toplinskih potreba fotonaponskim sustavom (21):

$$C_1 = A_k \cdot q_g \cdot C_p$$

$$= 3\,713 \text{ kuna}$$

- Godišnje uštede u kunama zbog pokrivanja potreba za električnom energijom fotonaponskim sustavom (22):

$$C_2 = A_k \cdot e_g \cdot C_e$$

$$= 2\,700 \text{ kuna}$$

- Godišnje uštede u kunama (23):

$$C = C_1 + C_2$$

$$= 6\,413 \text{ kuna}$$

- Smanjenje emisija CO₂ (26):

$$T_{CO_2} = A_k \cdot e_g \cdot T_{CO_2,e} + A_k \cdot q_g \cdot T_{CO_2,p}$$

$$= 3,01 \text{ t CO}_2$$

- Cijena Investicije (29):

$$I_{fs} = P \cdot B_i$$

$$\sim 120\,000 \text{ kn}$$

- Smanjenje potrošnje energije do 2050. godine (12):

$$Q_{50} = Q \cdot B_{50}$$

$$= 418\,500 \text{ kWh}$$

- Uštede u kunama do 2050. godine (30):

$$C_{50} = -FV_1(P_{pp}; B_{50}; C_1) - FV_2(P_{el}; B_{50}; C_2)$$

$$= 268\,638 \text{ kn}$$

- Smanjenje emisija CO₂ do 2050. godine (13):

$$T_{50} = T_{CO_2} \cdot B_{50}$$

$$= 93,17 \text{ tona}$$

- Ekvivalentni postotak povećanja (31):

$$\begin{aligned}P_{eq} &= RATE(B_{50}; C; -C_{50}) \\ &= 1,9288 \%\end{aligned}$$

- Rok povrata investicije (14):

$$\begin{aligned}I_p &= NPER(P_{eq}; C_2; -I_{fs}) \\ &= 16,13 \text{ godina}\end{aligned}$$

Isti proračun vrijedi i za sve ostale tipove zgrada te su rezultati prikazani u tablici 27.

Tablica 27. Analiza korištenja fotonaponskog sustava

	Kvadratura [m ²]	Investicija [kn]	Godišnje uštede			Rok povrata investicije u godinama	Uštede do 2050.		
			Energije [kWh]	[kn]	t CO ₂		Energije [kWh]	[kn]	t CO ₂
Višestambena	14 000	11 400 000	1 260 000	598 500	280,52	16,38	39 060 000	25 072 875	8 696,12
Učenički dom	4 000	2 800 000	320 000	171 000	70,76	14,37	9 920 000	7 163 679	2 193,44
Dom za starije	8 100	6 190 000	729 000	346 275	162,30	15,51	22 599 000	14 506 449	5 031,33
Obiteljska kuća	150	120 000	13 500	6 413	3,01	16,13	418 500	268 638	93,17
Gradska uprava	3 600	1 800 000	203 148	82 699	45,00	18,45	6 297 588	3 422 928	1 394,88
Mjesna samouprava	220	115 000	12 415	5 054	2,75	19,16	384 853	209 179	85,24
Poslovni prostor	60	30 000	3 386	1 378	0,75	18,45	104 960	57 049	23,25
Srednja škola	6 000	2 857 000	310 080	128 426	68,72	18,78	9 612 480	5 323 327	2 130,26
Osnovna škola	3 300	1 570 000	170 544	70 635	37,79	18,77	5 286 864	2 927 830	1 171,64
Vrtić	950	520 000	58 596	21 297	13,11	20,31	1 816 476	882 785	406,44
Bolnica	80 000	40 000 000	4 656 800	1 884 744	1 031,27	18,07	144 360 800	77 971 497	31 969,41
Hotel	10 000	7 500 000	849 800	410 934	189,32	15,78	26 343 800	17 237 128	5 868,84
Restoran	200	140 000	14 996	5 819	3,32	20,12	464 876	239 831	102,82
Sportska dvorana	7 800	11 100 000	1 137 942	477 311	252,28	19,49	35 276 202	19 805 488	7 820,81
Trgovina	980	895 000	96 432	44 612	21,45	17,14	2 989 392	1 865 310	664,92
Kulturna ustanova	1 500	1 000 000	120 000	46 125	26,53	18,44	3 720 000	1 899 547	822,54

Rok povrata investicije vrlo je visok zbog uspoređivanja s relativno niskom cijenom prirodnog plina. Rok povrata investicije moguće je znatno smanjiti upotrebom prirodnog plina za grijanje, a ekvivalentnu energiju proizvedenu fotonaponskim sustavom predati u elektroenergetski sustav.

5.3.2. Električni automobili

Dizelski automobil ima potrošnju od 6 litara/100 km, cijena dizel goriva iznosi 9,5 kn/l, a emisije 101 g/km. Električni automobil troši 20 kWh/100 km, cijena punjenja je besplatna jer se koristi vlastiti fotonaponski sustav, te nema emisija CO₂. Prosječni broj prevaljenih kilometara godišnje dizelskog automobila iznosi 12,815 [21], [22].

- Potrebna snaga fotonaponskog sustava (33):

$$P = \frac{A_k \cdot (e_g + q_g) + K_e \cdot \frac{B_{km}}{B_l}}{F \cdot S \cdot B_{god}}$$

$$= 15 \text{ kW}$$

- Cijena investicije (29):

$$I_{fs} = P \cdot B_i$$

$$= 150 \text{ 000 kn}$$

- Smanjenje potrošnje energije (35):

$$Q = A_k \cdot (e_g + q_g) + K_d \cdot \frac{B_{km}}{B_l} \cdot B_d$$

$$= 21 \text{ 189 kWh}$$

- Uštede u kunama zbog pokrivanja toplinskih potreba fotonaponskim sustavom (21):

$$C_1 = A_k \cdot q_g \cdot C_p$$

$$= 3 \text{ 713 kn}$$

- Uštede u kunama zbog pokrivanja potreba za električnom energijom fotonaponskim sustavom (22):

$$C_2 = A_k \cdot e_g \cdot C_e$$

$$= 2\,700 \text{ kn}$$

- Uštede u kunama zbog zamjene dizelskog automobila električnim (37):

$$C_3 = K_d \cdot C_d \cdot \frac{B_{kn}}{B_l}$$

$$= 7\,304 \text{ kn}$$

- Uštede u kunama (38):

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

$$= 13\,717 \text{ kn}$$

- Smanjenje emisija CO₂ (39):

$$T_{CO_2} = A_k \cdot e_g \cdot T_{CO_2,e} + A_k \cdot q_g \cdot T_{CO_2,p} + T_{CO_2,d} \cdot \frac{B_{kn}}{B_l}$$

$$= 4,299 \text{ t CO}_2$$

- Uštede energije do 2050. godine (11):

$$Q_{50} = Q \cdot B_{50}$$

$$= 577\,406 \text{ kWh}$$

- Uštede u kunama do 2050. godine (41):

$$C_{50} = -FV_1(P_{pp}; B_{50}; C_1) - FV_2(P_{el}; B_{50}; C_2) - FV_3(P_d; B_{50}; C_3)$$

$$= 656\,859 \text{ kn}$$

- Smanjenje emisija CO₂ do 2050. godine (14):

$$T_{50} = T_{CO_2} \cdot B_{50}$$

$$= 133,16 \text{ t CO}_2$$

- Ekvivalentni postotak povećanja (31):

$$P_{eq} = RATE(B_{50}; C; -C_{50})$$

$$= 2,39\%$$

- Rok povrata investicije (14):

$$I_p = NPER(P_{eq}; C_2; -I_{fs})$$
$$= 9,45 \text{ godina}$$

Pretpostavljeno je da samo zgrade prikazane u tablici 28. imaju električne automobile te je proračun isti kao i u slučaju za obiteljsku kuću.

Tablica 28. Analiza zamjene dizelskog automobila električnim

	Broj automobila	Investicija	Godišnje uštede			Rok povrata investicije u godinama	Uštede do 2050.		
			Energije [kWh]	kn	t CO ₂		Energije [kWh]	kn	t CO ₂
Višestambena	20	11 868 000	1 413 780	744 591	306,41	13,89	43 827 180	32 101 541	9 498,60
Obiteljska Kuća	1	143 500	21 189	13 717	4,30	9,45	656 859	620 071	133,30
Gradska uprava	5	1 917 000	241 593	119 222	51,47	13,96	7 489 383	5 180 095	1 595,50
Mjesna samouprava	3	185 200	35 482	26 967	6,63	6,40	1 099 930	1 263 479	205,61
Poslovni prostor	2	76 800	18 764	15 987	3,34	4,58	581 678	759 915	103,50
Hotel	3	7 570 200	872 867	432 848	193,20	15,16	27 058 877	18 291 428	5 989,21
Trgovina	2	941 800	111 810	59 221	24,04	13,83	3 466 110	2 568 176	745,17

5.4. Dizalice topline

Dizalice topline sustavi su jeftinog i ekološki čistog načina grijanja. Rade na principu lijevokretnog Carnotovog procesa s ciljem izmjene topline između dva toplinska spremnika. Za dobivanje energije za grijanje, dizalica topline koristi energiju zemlje, vode ili zraka pritom trošeći 2-4 puta manje električne energije nego električni radijatori ili peći, a isti sustav se može koristiti i za hlađenje. Kako učinkovitost sustava ovisi o vanjskoj temperaturi, učinkovitost dizalice topline bit će manja u kontinentalnoj hrvatskoj. Veliki nedostatak ovih sustava je viša početna investicija i ovisnost rada o električnoj energiji [23].

5.4.1. Primjer izračuna dizalice topline za kuću:

Za proračun je odabrano da dizalica topline za svaki uloženi kW električne energije daje 4 kW toplinske energije. Od ukupne potrebne toplinske energije, 20 % odnosi se na hlađenje u svim tipovima zgrada osim u obrazovnim ustanovama, tamo je energija za hlađenje 5 %. To je bitno naglasiti jer klima uređaji koji hlade troše električnu energiju, a cijena struje je znatno viša nego cijena plina.

- Godišnje smanjenje energije (42):

$$Q = A_k \cdot q_g - \frac{A_k \cdot q_g}{4}$$

$$= 8\,438 \text{ kWh}$$

- Smanjenje emisija CO₂ (44):

$$T_{CO_2} = A_k \cdot q_g \cdot T_{CO_2,p} \cdot (1 - H) + A_k \cdot q_g \cdot T_{CO_2,e} \cdot H - A_k \cdot q_g \cdot T_{CO_2,e} \cdot B_p$$

$$= 1,85 \text{ tona CO}_2$$

- Uštede energije do 2050. godine (11):

$$Q_{50} = Q \cdot B_{50}$$

$$= 261\,578 \text{ kWh}$$

- Uštede u kunama zbog grijanja dizalicom topline (48):

$$C_1 = A_k \cdot q_g \cdot C_p \cdot (1 - H)$$

$$= 2\,970 \text{ kuna}$$

- Uštede u kunama zbog hlađenja dizalicom topline (49):

$$C_2 = A_k \cdot e_g \cdot C_e \cdot H$$

$$= 2\,700 \text{ kuna}$$

- Pogonski troškovi dizalice topline (50):

$$C_3 = A_k \cdot q_g \cdot C_e \cdot B_p$$

$$= 3\,375 \text{ kuna}$$

- Uštede u kunama zbog pokrivanja toplinskih zahtjeva (51):

$$C = C_1 + C_2 - C_3$$

$$= 2\,295 \text{ kuna}$$

- Uštede u kunama do 2050. godine (52):

$$C_{50} = -FV_1(P_{pp}; B_{50}; C_1) - FV_2(P_{el}; B_{50}; C_2) - FV_3(P_d; B_{50}; C_3)$$

$$= 90\,984 \text{ kn}$$

- Smanjenje emisija CO₂ do 2050. godine (13):

$$T_{50} = T_{CO_2} \cdot B_{50}$$

$$= 57,33 \text{ tona}$$

Isti proračun vrijedi i za sve ostale tipove zgrada te su rezultati prikazani u tablici 29.

Tablica 29. Analiza korištenja dizalice topline

	Kvadratura [m ²]	Investicija [kn]	Godišnje uštede			Uštede do 2050.		
			Energije [kWh]	[kn]	t CO ₂	Energije [kWh]	[kn]	t CO ₂
Višestambena	14 000	9 000 000	787 500	214 200	172,64	24 412 500	8 491 856	5 351,85
Učenički dom	4 000	2 500 000	225 000	61 200	49,33	6 975 000	2 426 245	1 529,10
Dom za starije	8 100	5 500 000	455 625	123 930	99,88	14 124 375	4 913 145	3 096,43
Obiteljska kuća	150	140 000	8 438	2 295	1,85	261 563	90 984	57,34
Gradska uprava	2 500	1 800 000	138 861	37 770	30,44	4 304 691	1 497 381	943,70
Mjesna samouprava	220	200 000	8 486	2 308	1,86	263 064	91 507	57,67
Poslovni prostor	60	90 000	2 314	630	0,51	71 745	24 956	15,73
Srednja škola	6 000	3 600 000	210 060	57 136	46,05	6 511 860	623 829	1 427,57
Osnovna škola	3 300	1 800 000	115 533	31 425	25,33	3 581 523	343 106	785,16
Vrtić	950	600 000	34 835	9 475	7,64	1 079 883	72 361	236,74
Bolnica	80 000	50 500 000	3 192 600	868 387	699,90	98 970 600	34 426 793	21 696,93
Hotel	10 000	6 500 000	524 850	142 759	115,06	16 270 350	5 659 620	3 566,88
Restoran	200	160 000	10 497	2 855	2,30	325 407	113 192	71,34
Sportska dvorana	7 800	10 000 000	765 707	208 272	167,86	23 736 902	8 256 850	5 203,75
Trgovina	980	900 000	61 299	16 673	13,44	1 900 269	661 006	416,59
Kulturna ustanova	1 500	1 000 000	84 375	22 950	18,50	2 615 625	909 842	573,41

5.5. Kotlovi na biomasu

Vrlo niska cijena peleta (2kn/kg) i emisije CO₂ (34,4 kg/MWh) čine biomasu jednim od najpoželjnijih energenta u borbi protiv globalnog zatopljenja. S cijenom grijanja od oko 0,4 kn/kWh te vrlo niskim investicijskim troškovima, kotao na biomasu efektivno je i jeftino rješenje za veliko i trajno smanjenje emisija CO₂. Nedostatak je taj što je cijena pelete viša od cijene plina, te ugradnjom takvog sustava povećavamo godišnje troškove, stoga s ekonomskog stajališta, takva investicija nije opravdana. Velika prednost kotla na pelete je ta što se biomasa ubraja u obnovljive izvore pa je njima moguće zadovoljiti potrebnih 30 % E_{prim} iz obnovljivih izvora, što se ne može postići kotlom na prirodni plin [24].

5.5.1. Primjer proračuna kotla na biomasu za obiteljsku kuću:

Investicija je određena prema Katalogu tipskih rješenja za primjenu alternativnih sustava za zgrade površine od 50 do 1 000 m² [17]. Za zgrade s površinom manjom od 3 000 m² cijena pelete iznosi 0,4 kn/kWh. Za sve ostale zgrade cijena pelete je 0,2 kn/kWh zbog pretpostavke da kupuju velike količine peleta.

- Dodatni troškovi (54):

$$\begin{aligned} C_1 &= A_k \cdot q_g \cdot (C_p - C_b) \\ &= -788 \text{ kn} \end{aligned}$$

- Cijena potrošnje prirodnog plina (2):

$$\begin{aligned} C_2 &= A_k \cdot q_g \cdot C_p \\ &= 3\,713 \text{ kuna} \end{aligned}$$

- Ušteda u kunama do 2050. godine (55):

$$\begin{aligned} C_{50} &= -FV_1(P_{pp}; B_{50}; C_2) - A_k \cdot q_g \cdot C_b \\ &= 11\,113 \text{ kuna} \end{aligned}$$

- Smanjenje emisija CO₂ (56):

$$T_{CO_2} = A_k \cdot q_g \cdot (T_{CO_2,p} - T_{CO_2,b})$$

$$= 2,09 \text{ tona CO}_2$$

Usporedbe radi, dizalicom topline emisije su smanjene za 1.85 tona za gotovo 6 puta veću investiciju.

- Smanjenje emisija CO₂ do 2050. godine (13):

$$T_{50} = T_{CO_2} \cdot B_{50}$$
$$= 64,8 \text{ tona CO}_2$$

Isti proračun vrijedi i za sve ostale tipove zgrada te su rezultati prikazani u tablici 30.

Tablica 30. Analiza korištenja kotla na biomasu

	Kvadratura [m ²]	Investicija	Godišnje uštede		Uštede do 2050.		Rok povrata investicije u godinama
			[kn]	t CO ₂	[kn]	t CO ₂	
Višestambena	14 000	300 000	136 500	195,09	7 547 214	6 047,79	2,18
Učenički dom	4 000	100 000	39 000	55,74	2 156 347	1 727,94	2,53
Dom za starije	8 100	190 000	78 975	112,87	4 366 602	3 499,08	2,38
Obiteljska kuća	150	25 000	-788	2,09	11 113	64,80	/
Gradska uprava	2 500	65 000	-12 960	34,40	182 893	1 066,42	/
Mjesna samouprava	220	23 000	-792	2,10	11 177	65,17	/
Poslovni prostor	60	20 000	-216	0,57	3 048	17,77	/
Srednja škola	6 000	120 000	36 410	52,04	2 013 165	1 613,20	3,23
Osnovna škola	3 300	60 000	20 026	28,62	1 107 241	887,26	2,95
Vrtić	950	40 000	-3 251	8,63	45 881	267,52	/
Bolnica	80 000	1 200 000	553 384	790,91	30 597 125	24 518,32	2,15
Hotel	10 000	230 000	90 974	130,02	5 030 038	4 030,71	2,50
Restoran	200	28 000	-980	2,60	13 826	80,61	/
Sportska dvorana	7 800	250 000	132 722	189,69	7 338 350	5 880,42	1,87
Trgovina	980	55 000	-5 721	15,19	80 737	470,76	/
Kulturna ustanova	1 500	45 000	-7 875	20,90	111 130	647,98	/

5.6. Usporedbe različitih sustava

Tablica 31. Usporedba korištenja različitih sustava po zgradama

	Uštede do 2050. godine											
	Solarni sustavi			Fotonaponski sustavi			Dizalice topline			Kotlovi na biomasi		
	Energije [kWh]	kn	t CO ₂	Energije [kWh]	kn	t CO ₂	Energije [kWh]	kn	t CO ₂	Energije [kWh]	kn	t CO ₂
Višestambena	6 541 198	2 824 916	1 440,37	39 060 000	25 072 875	8 696,12	24 412 500	8 491 856	5 351,85	/	7 547 214	6 047,79
Učenički dom	1 062 945	459 049	234,06	9 920 000	7 163 679	2 193,44	6 975 000	2 426 245	1 529,10	/	2 156 347	1 727,94
Dom za starije	3 842 954	1 659 638	846,22	22 599 000	14 506 449	5 031,33	14 124 375	4 913 145	3 096,43	/	4 366 602	3 499,08
Obiteljska Kuća	65 412	28 249	14,40	418 500	268 638	93,17	261 563	90 984	57,34	/	11 113	64,80
Gradska uprava	545 100	235 410	120,03	6 297 588	3 422 928	1 394,88	4 304 691	1 497 381	943,70	/	182 893	1 066,42
Mjesna samouprava	81 765	35 311	18,00	384 853	209 179	85,24	263 064	91 507	57,67	/	11 177	65,17
Poslovni prostor	8 184	3 534	1,80	104 960	57 049	23,25	71 745	24 956	15,73	/	3 048	17,77
Srednja škola	715 444	308 975	157,54	9 612 480	5 323 327	2 130,26	6 511 860	623 829	1 427,57	/	2 013 165	1 613,20
Osnovna škola	408 825	176 557	90,02	5 286 864	2 927 830	1 171,64	3 581 523	343 106	785,16	/	1 107 241	887,26
Vrtić	163 530	70 623	36,01	1 816 476	882 785	406,44	1 079 883	72 361	236,74	/	45 881	267,52
Bolnica	14 717 696	6 356 062	3 240,84	144 360 800	77 971 497	31 969,41	98 970 600	34 426 793	21 696,93	/	30 597 125	24 518,32
Hotel	4 415 309	1 906 819	972,25	26 343 800	17 237 128	5 868,84	16 270 350	5 659 620	3 566,88	/	5 030 038	4 030,71
Restoran	95 392	41 197	21,01	464 876	239 831	102,82	325 407	113 192	71,34	/	13 826	80,61
Sportska dvorana	1 907 850	823 934	420,11	35 276 202	19 805 488	7 820,81	23 736 902	8 256 850	5 203,75	/	7 338 350	5 880,42
Trgovina	272 550	117 705	60,02	2 989 392	1 865 310	664,92	1 900 269	661 006	416,59	/	80 737	470,76
Kulturna ustanova	122 647	52 967	27,01	3 720 000	1 899 547	822,54	2 615 625	909 842	573,41	/	111 130	647,98

Tablica 32. Usporedba omjera po zgradama

	Solarni sustavi			Fotonaponski sustavi			Dizalice topline			Kotlovi na biomasu		
	Investicija/ energija	Investicija/ uštete	Investicija/ t CO ₂	Investicija/ energija	Investicija/ uštete	Investicija/ t CO ₂	Investicija/ energija	Investicija/ uštete	Investicija/ t CO ₂	Investicija/ energija	Investicija/ uštete	Investicija/ t CO ₂
Višestambena	0,32	0,74	1 457,96	0,29	0,45	1 310,93	0,37	1,06	1 681,66	/	0,04	49,60
Učenički dom	0,36	0,83	1 623,51	0,28	0,39	1 276,53	0,36	1,03	1 634,95	/	0,05	57,87
Dom za starije	0,33	0,75	1 477,16	0,27	0,43	1 230,29	0,39	1,12	1 776,24	/	0,04	54,30
Obiteljska Kuća	0,38	0,88	1 735,66	0,29	0,45	1 287,93	0,54	1,54	2 441,52	/	2,25	385,82
Gradska uprava	0,33	0,76	1 499,61	0,29	0,53	1 290,43	0,42	1,20	1 907,39	/	0,36	60,95
Mjesna samouprava	0,31	0,71	1 388,53	0,30	0,55	1 349,09	0,76	2,19	3 467,97	/	2,06	352,92
Poslovni prostor	1,96	4,53	8 878,45	0,29	0,53	1 290,43	1,25	3,61	5 722,16	/	6,56	1 125,27
Srednja škola	0,34	0,78	1 523,42	0,30	0,54	1 341,15	0,55	5,77	2 521,77	/	0,06	74,39
Osnovna škola	0,34	0,79	1 555,15	0,30	0,54	1 340,00	0,50	5,25	2 292,52	/	0,05	67,62
Vrtić	0,34	0,78	1 527,38	0,29	0,59	1 279,40	0,56	8,29	2 534,44	/	0,87	149,52
Bolnica	0,34	0,78	1 536,64	0,28	0,51	1 251,20	0,51	1,47	2 327,52	/	0,04	48,94
Hotel	0,32	0,73	1 439,96	0,28	0,44	1 277,94	0,40	1,15	1 822,32	/	0,05	57,06
Restoran	0,42	0,97	1 904,27	0,30	0,58	1 361,62	0,49	1,41	2 242,85	/	2,03	347,33
Sportska dvorana	0,38	0,89	1 737,65	0,27	0,48	1 214,71	0,42	1,21	1 921,69	/	0,03	42,51
Trgovina	0,37	0,85	1 666,24	0,30	0,48	1 346,02	0,47	1,36	2 160,41	/	0,68	116,83
Kulturna ustanova	0,38	0,87	1 703,26	0,27	0,53	1 215,75	0,38	1,10	1 743,94	/	0,40	69,45

Ako cijena investicije nije bitna, odabiru se sustavi prema tablici 31. Ako je cijena investicije važna varijabla, sustavi se odabiru prema tablici 32. Omjeri prikazani u tablici daju uvid u isplativost sustava s obzirom na stajalište te bi oni trebali biti što manji.

Omjer investicija/energija pokazuje u kojem omjeru se štedi energija s obzirom na investiciju. Tako omjer za solarni sustav za obiteljsku kuću pokazuje da se do 2050. godine za svakih uloženi 0,38 kuna uštedi 1 kWh energije. Za fotonaponske sustave, taj omjer iznosi 0,29 odnosno trošak je manji za istu uštedu energije.

Omjer investicija/uštede pokazuje koliko novaca manje treba trošiti na godišnjoj bazi s obzirom na uloženo. Za hotel i fotonaponski sustav, taj omjer iznosi 0,44, što pokazuje da za svakih uloženi 0,44 kuna ušteda iznosi 1 kunu godišnje na troškovima do 2050. godine, dok za dizalice topline on iznosi 1,15, što pokazuje da je za istu investiciju ušteđeno manje novaca. Za obrazovne ustanove taj broj je dosta velik jer one imaju nisku potrošnju električne energije za hlađenje u odnosu na potrošnju toplinske energije.

Omjer investicija/t CO₂ pokazuje koliko se smanjila emisija CO₂ s obzirom na uloženo. Tako za vrtić za biomasu omjer iznosi 149,52, što pokazuje da do 2050. za uloženi 149,52 kune smanjena je emisija CO₂ za 1 tonu na godišnjoj bazi. Za isti tip zgrade za dizalicu topline iznos je 2 534,44, odnosno više treba uložiti za isto smanjenje emisija CO₂.

6. KOMBINACIJE SUSTAVA

U tablicama 33-48. dane su razne kombinacije ranije navedenih sustava. Omjeri „troškovi/kWh“, „troškovi/uštede“ i „troškovi/t CO₂“ trebaju biti što manji, odnosno tada kombinacija sustava postaje isplativija. Za razliku od situacije kada je promatran samostalni fotonaponski sustav koji je tada pokrivaio sve energetske potrebe, fotonaponski sustav u kombinaciji s drugim sustavima pokriva samo zahtjeve za električnom energijom, no ako se radi o kombinaciji sustava s dizalicom topline, tada on također pokriva i pogonske zahtjeve.

6.1. Primjer izračuna: obiteljska kuća/ solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobil

U kući 150 m² stanuju 4 osobe. Dnevna potrošnja potrošne tople vode temperature 45°C je 60 litara. Godišnja potrošnja toplinske energije iznosi 11 250 kWh, od čega je 20 % potrošeno na hlađenje, što daje specifičnu potrošnju od 75 kWh/m², te 2 250 kWh električne energije odnosno specifična potrošnja od 15 kWh/m². 20 % od ukupne godišnje potrošnje toplinske energije otpada na hlađenje objekta. Za fotonaponski sustav uzeta je investicija od 10 000 kuna po kW snage. Dizalica topline za uloženi 1 kW električne energije daje 4 kW toplinske. Broj prosječnih sunčanih dana godišnje je 4 a faktor pretvorbe fotonaponskog sustava 0,75. Solarni sustav pokriva 100 % potreba za toplom vodom ljeti, 60 % u prijelaznom periodu te 15 % zimi. Kada se ne može koristiti solarni sustav, za pripremu PTV-a koristi se dizalica topline. Pretpostavljeni su savršeni spremnici energije te uvijek trajanja nije uzet u obzir. Obitelj je također zamijenila dizelski automobil električnim. Električni automobil ima potrošnju od 20 kWh/100 km, a dizelski 6 litara/100 km.

- Energija potrebna za zagrijavanje vode (7):

$$Q_w = \frac{c_w \cdot V_l (T_2 - T_1)}{B_{sh}}$$

$$= 2,46 \text{ kW}$$

- Godišnje smanjenje energije zbog solarnog sustava (8):

$$Q_1 = B \cdot Q_w \cdot B_{god/4} \cdot G + 2 \cdot B \cdot Q_w \cdot B_{god/4} \cdot G + B \cdot Q_w \cdot B_{god/4} \cdot G$$

$$= 2 \text{ 110 kWh}$$

- Godišnje uštede u kunama zbog solarnog sustava (9):

$$C_1 = Q \cdot C_p$$

$$= 696 \text{ kn}$$

- Godišnje smanjenje emisija CO₂ zbog solarnog sustava (10):

$$T_{CO_2,1} = Q \cdot T_{CO_2,p}$$

$$= 0,47 \text{ tona CO}_2$$

- Potrebna dodatna snaga fotonaponskog sustava zbog električnog automobila (34):

$$P_1 = \frac{K_e \cdot \frac{B_{km}}{B_l}}{F \cdot S \cdot B_{god}}$$

$$= 2,34 \text{ kWh}$$

- Smanjenje potrošnje energije zbog električnog automobila (36):

$$Q_2 = K_d \cdot \frac{B_{km}}{B_l} \cdot B_d$$

$$= 7 \text{ 689 kWh}$$

- Uštede u kunama zbog električnog automobila (37):

$$C_2 = K_d \cdot C_d \cdot \frac{B_{km}}{B_l}$$

$$= 7 \text{ 304 kuna}$$

- Smanjenje emisija zbog električnog automobila (40):

$$T_{CO_2,2} = T_{CO_2,d} \cdot \frac{B_{km}}{B_l}$$

$$= 1.29 \text{ t CO}_2$$

- Preračun postotka energije za hlađenje (46):

$$H = \frac{A_k \cdot q_g \cdot H_s}{A_k \cdot q_g - Q_1}$$

$$= 0,246$$

- Potrebna snaga fotonaponskog sustava (17), (34):

$$P = \frac{(A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot B_p + A_k \cdot e_g}{F \cdot S \cdot B_{god}} + P_1$$

$$= 6,48 \text{ kW}$$

- Cijena investicije fotonaponskog sustava (29):

$$I_{fs} = P \cdot B_i$$

$$= 64 \text{ 800 kuna}$$

- Godišnje smanjenje energije zbog fotonaponskog sustava (20):

$$Q_3 = A_k \cdot e_g + (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot B_p$$

$$= 4 \text{ 535 kW}$$

- Godišnje uštede u kunama zbog fotonaponskog sustava (25):

$$C_3 = A_k \cdot e_g \cdot C_e + (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot B_p \cdot C_e$$

$$= 5 \text{ 442 kuna}$$

- Godišnje smanjenje emisija CO₂ zbog fotonaponskog sustava (28):

$$T_{CO_2,3} = A_k \cdot e_g \cdot T_{CO_2,e} + (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot B_p \cdot T_{CO_2,e}$$

$$= 1,065 \text{ t CO}_2$$

- Godišnje smanjenje potrošnje energije zbog dizalice topline (43):

$$Q_4 = (A_k \cdot q_g - Q_1) - (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot B_p$$

$$= 6 \text{ 855 kW}$$

- Godišnje smanjenje emisija CO₂ zbog dizalice topline (45):

$$T_{CO_2,4} = (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot T_{CO_2,p} (1 - H) + (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot T_{CO_2,e} \cdot H - (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot T_{CO_2,e} \cdot B_p$$

$$= 1,5 \text{ t CO}_2$$

- Troškovi (47):

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$= 229\,800 \text{ kuna}$$

- Godišnje uštede u kunama zbog dizalice topline (48), (49), (50):

$$C_4 = (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot C_p \cdot (1 - H) + (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot C_e \cdot H - (A_k \cdot q_g - Q_1) \cdot C_e \cdot B_p$$

$$= 2\,230 \text{ kuna}$$

- Godišnje smanjenje energije (8), (20), (36), (43):

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$= 18\,626 \text{ kWh}$$

- Godišnje uštede u kunama (9), (25), (37), (51):

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

$$= 15\,674 \text{ kuna}$$

- Smanjenje emisija CO₂ (10), (28), (40), (45):

$$T_{CO_2} = T_{CO_2,1} + T_{CO_2,2} + T_{CO_2,3} + T_{CO_2,4}$$

$$= 4,33 \text{ t CO}_2$$

Isti proračun vrijedi i za ostale tipove zgrada s jedinom razlikom proračuna električnog automobila, a rješenja su dana u tablicama 33-48.

Tablica 33. Kombinacije sustava za stanove

Višestambena	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	2 100 000	211 006	253 208	46,46	9,95	8,29	45 197
Solarni sustav + kotao na biomasu	2 350 000	211 006	389 708	202,35	11,14	6,03	11 614
Solarni sustav + dizalica topline	11 100 000	998 506	467 408	219,10	11,12	23,75	50 661
Fotonaponski sustav + kotao na plin	1 910 000	210 000	252 000	49,31	9,10	7,58	38 734
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	2 160 000	210 000	388 500	244,40	10,29	5,56	8 838
Fotonaponski sustav + dizalica topline	12 830 000	1 260 000	961 637	330,29	10,18	13,34	38 845
Fotonaponski sustav + električni automobili	2 378 000	363 780	996 591	75,20	6,54	2,39	31 624
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	4 010 000	421 006	505 208	95,77	9,52	7,94	41 870
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	4 260 000	421 006	641 708	251,66	10,12	6,64	16 928
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	12 844 000	1 260 000	961 637	330,29	10,19	13,36	38 888
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin + električni automobili	4 478 000	574 786	1 249 799	121,66	7,79	3,58	36 807
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu + električni automobili	4 728 000	574 786	1 386 299	277,55	8,23	3,41	17 035
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobili	13 312 000	1 413 780	1 706 228	356,17	9,42	7,80	37 375

Tablica 34. Kombinacije sustava za dom za starije i nemoćne

Dom za starije	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	1 250 000	123 966	148 760	27,30	10,08	8,40	45 792
Solarni sustav + kotao na biomasu	1 420 000	123 966	227 735	95,76	11,45	6,24	14 829
Solarni sustav + dizalica topline	6 750 000	579 591	272 690	127,18	11,65	24,75	53 073
Fotonaponski sustav + kotao na plin	1 109 000	121 500	145 800	28,53	9,13	7,61	38 872
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	1 279 000	121 500	224 775	141,40	10,53	5,69	9 045
Fotonaponski sustav + dizalica topline	7 616 000	729 000	564 952	197,44	10,45	13,48	38 573
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	2 359 000	245 466	294 560	55,83	9,61	8,01	42 256
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	2 529 000	245 466	373 535	124,29	10,30	6,77	20 348
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	8 960 000	729 000	564 952	197,44	12,29	15,86	45 381

Tablica 35. Kombinacije sustava za učenički dom

Učenički dom	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	380 000	34 289	41 146	7,55	11,08	9,24	50 329
Solarni sustav + kotao na biomasu	450 000	34 289	80 146	46,10	13,12	5,61	9 761
Solarni sustav + dizalica topline	2 880 000	259 289	102 346	56,88	11,11	28,14	50 636
Fotonaponski sustav + kotao na plin	548 000	60 000	72 000	14,09	9,13	7,61	38 897
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	618 000	60 000	111 000	69,83	10,30	5,57	8 850
Fotonaponski sustav + dizalica topline	3 733 000	320 000	257 699	88,30	11,67	14,49	42 274
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	928 000	94 289	113 146	21,64	9,84	8,20	42 886
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	998 000	94 289	152 146	60,19	10,58	6,56	16 581
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	4 035 000	320 000	257 699	88,30	12,61	15,66	45 694

Tablica 36. Kombinacije sustava za obiteljsku kuću

Obiteljska kuća	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	25 000	2 110	2 532	0,46	11,85	9,87	53 806
Solarni sustav + kotao na biomasu	50 000	2 110	1 727	1,77	23,70	28,96	28 327
Solarni sustav + dizalica topline	165 000	10 548	4 827	2,31	15,64	13,04	71 294
Fotonaponski sustav + kotao na plin	20 500	2 250	2 700	0,53	9,11	7,59	38 802
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	45 500	2 250	1 894	2,62	20,22	24,02	17 376
Fotonaponski sustav + dizalica topline	186 000	13 500	10 204	3,04	13,78	18,23	61 216
Fotonaponski sustav + električni automobil	44 000	9 939	10 005	1,82	4,43	4,40	24 141
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	45 500	4 360	5 232	0,99	10,44	8,70	45 823
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	70 500	4 360	4 427	2,29	16,17	15,93	30 740
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	206 400	13 500	8 369	3,04	15,29	24,66	67 895
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin + električni automobil	69 000	12 049	12 537	2,29	5,73	5,50	30 167
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu + električni automobil	94 000	12 049	11 731	3,59	7,80	8,01	26 200
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobil	229 900	21 189	15 674	4,33	10,85	14,67	53 042

Tablica 37. Kombinacije sustava za gradsku upravu

Gradska uprava	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	180 000	17 584	21 101	3,87	10,24	8,53	46 488
Solarni sustav + kotao na biomasu	245 000	17 584	45 170	28,29	13,93	5,42	8 659
Solarni sustav + dizalica topline	1 980 000	156 445	58 871	34,31	12,66	33,63	57 703
Fotonaponski sustav + kotao na plin	164 000	18 000	15 000	2,94	9,11	10,93	55 782
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	229 000	18 000	39 069	37,34	12,72	5,86	6 133
Fotonaponski sustav + dizalica topline	2 346 000	183 505	133 859	49,06	12,78	17,53	47 818
Fotonaponski sustav + električni automobili	281 000	56 445	51 523	9,41	4,98	5,45	29 857
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	344 000	35 584	36 101	6,81	9,67	9,53	50 499
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	409 000	35 584	60 170	31,23	11,49	6,80	13 094
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	2 520 000	183 505	133 859	49,06	13,73	18,83	51 364
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin + električni automobili	461 000	74 029	72 623	13,28	6,23	6,35	34 705
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu + električni automobili	526 000	74 029	96 693	37,71	7,11	5,44	13 950
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobili	2 637 000	221 950	170 382	55,53	11,88	15,48	47 485

Tablica 38. Kombinacije sustava za mjesnu samoupravu

Mjesna samouprava	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	25 000	2 638	3 165	0,58	9,48	7,90	43 044
Solarni sustav + kotao na biomasu	48 000	2 638	2 355	1,80	18,20	20,38	26 697
Solarni sustav + dizalica topline	225 000	11 124	5 473	2,44	20,23	16,86	92 170
Fotonaponski sustav + kotao na plin	10 000	1 100	1 320	0,26	9,09	7,58	38 716
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	33 000	1 100	510	2,36	30,00	64,73	13 980
Fotonaponski sustav + dizalica topline	236 000	12 415	9 206	2,90	19,01	25,64	81 407
Fotonaponski sustav + električni automobili	80 200	24 167	23 234	4,14	3,32	3,45	19 366
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	35 000	3 738	4 485	0,84	9,36	7,80	41 712
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	58 000	3 738	3 675	2,06	15,52	15,78	28 207
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	232 220	12 415	9 206	2,90	18,71	25,23	80 103
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin + električni automobili	105 200	26 805	26 399	4,72	3,92	3,99	22 279
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu + električni automobili	128 200	26 805	25 589	5,94	4,78	5,01	21 585
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobili	302 420	35 482	31 119	6,78	8,52	9,72	44 592

Tablica 39. Kombinacije sustava za poslovni prostor

Poslovni prostor	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	9 600	264	317	0,06	36,40	30,33	165 291
Solarni sustav + kotao na biomasu	29 600	264	96	0,47	112,22	309,80	62 940
Solarni sustav + dizalica topline	99 600	2 578	946	0,57	38,63	32,19	176 144
Fotonaponski sustav + kotao na plin	2 700	300	360	0,07	9,00	7,50	38 329
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	22 700	300	139	0,64	75,67	163,27	35 260
Fotonaponski sustav + dizalica topline	100 000	3 386	2 212	0,71	29,54	45,21	140 845
Fotonaponski sustav + električni automobili	49 500	15 678	14 969	2,66	3,16	3,31	18 616
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	12 300	564	677	0,13	21,82	18,18	95 703
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	32 300	564	456	0,54	57,29	70,90	59 734
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	105 700	3 650	2 212	0,71	28,96	47,79	148 873
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin + električni automobili	59 100	15 942	15 286	2,72	3,71	3,87	21 751
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu + električni automobili	79 100	15 942	15 065	3,13	4,96	5,25	25 277
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobili	152 500	19 028	16 821	3,30	8,01	9,07	46 231

Tablica 40. Kombinacije sustava za srednju školu

Srednja škola	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	240 000	23 079	27 695	5,08	10,40	8,67	47 226
Solarni sustav + kotao na biomasu	360 000	23 079	64 105	42,65	15,60	5,62	8 441
Solarni sustav + dizalica topline	3 840 000	233 139	84 831	51,13	16,47	45,27	75 099
Fotonaponski sustav + kotao na plin	274 000	30 000	36 000	7,04	9,13	7,61	38 920
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	394 000	30 000	72 410	59,08	13,13	5,44	6 669
Fotonaponski sustav + dizalica topline	4 514 000	310 080	159 685	73,54	14,56	28,27	61 383
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	514 000	53 079	63 695	12,12	9,68	8,07	42 402
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	634 000	53 079	100 105	49,69	11,94	6,33	12 760
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	4 466 000	310 080	159 685	73,54	14,40	27,97	60 730

Tablica 41. Kombinacije sustava za osnovnu školu

Osnovna škola	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	140 000	13 188	15 825	2,90	10,62	8,85	48 210
Solarni sustav + kotao na biomasu	200 000	13 188	35 851	23,48	15,17	5,58	8 519
Solarni sustav + dizalica topline	1 940 000	128 721	47 250	28,23	15,07	41,06	68 717
Fotonaponski sustav + kotao na plin	150 000	16 500	19 800	3,87	9,09	7,58	38 760
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	210 000	16 500	39 826	32,49	12,73	5,27	6 463
Fotonaponski sustav + dizalica topline	2 302 000	170 544	90 073	40,38	13,50	25,56	57 011
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	290 000	29 688	35 625	6,77	9,77	8,14	42 811
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	350 000	29 688	55 651	27,35	11,79	6,29	12 798
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	2 410 000	170 544	90 073	40,38	14,13	26,76	59 685

Tablica 42. Kombinacije sustava za vrtić

Vrtić	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	55 000	5 275	6 330	1,16	10,43	8,69	47 349
Solarni sustav + kotao na biomasu	95 000	5 275	3 155	6,82	18,01	30,11	13 922
Solarni sustav + dizalica topline	655 000	38 535	15 377	8,45	17,00	14,16	77 488
Fotonaponski sustav + kotao na plin	43 000	4 750	5 700	1,12	9,05	7,54	38 393
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	83 000	4 750	2 525	9,36	17,47	32,88	8 868
Fotonaponski sustav + dizalica topline	745 000	49 090	29 105	11,65	15,18	25,60	63 931
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	98 000	10 025	12 030	2,28	9,78	8,15	42 952
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	138 000	10 025	8 855	7,94	13,77	15,58	17 372
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	727 000	49 090	29 105	11,65	14,81	24,98	62 386

Tablica 43. Kombinacije sustava za bolnicu

Bolnica	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	4 980 000	474 764	569 717	104,54	10,49	8,74	47 636
Solarni sustav + kotao na biomasu	6 850 000	474 764	1 123 101	653,64	14,43	6,10	10 480
Solarni sustav + dizalica topline	55 480 000	3 667 364	1 438 104	804,44	15,13	38,58	68 967
Fotonaponski sustav + kotao na plin	3 650 000	400 000	480 000	93,92	9,13	7,60	38 861
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	5 520 000	400 000	1 033 384	884,84	13,80	5,34	6 238
Fotonaponski sustav + dizalica topline	63 872 000	4 656 800	3 107 220	1 150,64	13,72	20,56	55 510
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	8 630 000	874 764	1 049 717	198,47	9,87	8,22	43 483
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	10 500 000	874 764	1 603 101	747,56	12,00	6,55	14 046
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	67 760 000	4 656 800	3 107 220	1 150,64	14,55	21,81	58 889

Tablica 44. Kombinacije sustava za hotel

Hotel	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	1 400 000	142 429	170 915	31,36	9,83	8,19	44 639
Solarni sustav + kotao na biomasu	1 600 000	142 429	261 889	110,29	11,23	6,11	14 507
Solarni sustav + dizalica topline	8 100 000	667 279	404 648	146,42	12,14	20,02	55 319
Fotonaponski sustav + kotao na plin	456 000	150 000	181 500	35,22	3,04	2,51	12 947
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	656 000	150 000	272 474	165,24	4,37	2,41	3 970
Fotonaponski sustav + dizalica topline	9 468 000	849 800	654 136	222,72	11,14	14,47	42 510
Fotonaponski sustav + električni automobili	526 200	173 067	203 414	39,10	3,04	2,59	13 457
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	1 856 000	292 429	352 415	66,58	6,35	5,27	27 875
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	3 456 000	292 429	443 389	145,51	11,82	7,79	23 751
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	9 152 000	849 800	654 136	222,72	10,77	13,99	41 091
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin + električni automobili	1 926 200	315 496	374 329	70,47	6,11	5,15	27 335
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu + električni automobili	3 526 200	315 496	465 303	149,39	11,18	7,58	23 603
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobili	9 222 200	872 867	676 050	226,61	10,57	13,64	40 697

Tablica 45. Kombinacije sustava za restoran

Restoran	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	40 000	3 077	3 693	0,68	13,00	10,83	59 032
Solarni sustav + kotao na biomasu	68 000	3 077	2 690	2,22	22,10	25,27	30 688
Solarni sustav + dizalica topline	200 000	13 574	6 548	2,98	14,73	12,28	67 141
Fotonaponski sustav + kotao na plin	9 000	1 000	1 200	0,23	9,00	7,50	38 329
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	37 000	1 000	1 200	2,84	37,00	30,83	13 050
Fotonaponski sustav + dizalica topline	201 000	14 996	10 998	3,69	13,40	18,28	54 430
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	49 000	4 077	4 893	0,91	12,02	10,02	53 704
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	77 000	4 077	4 893	3,51	18,89	15,74	21 919
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	234 000	14 996	10 998	3,69	15,60	21,28	63 366

Tablica 46. Kombinacije sustava za sportsku dvoranu

Sportska dvorana	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	730 000	61 544	73 852	13,55	11,86	9,88	53 867
Solarni sustav + kotao na biomasu	910 000	61 544	206 575	154,46	14,79	4,41	5 891
Solarni sustav + dizalica topline	10 730 000	827 250	282 124	181,41	12,97	38,03	59 146
Fotonaponski sustav + kotao na plin	1 068 000	39 000	46 800	9,16	27,38	22,82	116 625
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	1 248 000	39 000	179 522	198,85	32,00	6,95	6 276
Fotonaponski sustav + dizalica topline	13 340 000	1 137 942	750 748	279,35	11,72	17,77	47 753
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	1 798 000	100 544	120 652	22,71	17,88	14,90	79 174
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	1 978 000	100 544	253 375	163,62	19,67	7,81	12 089
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	13 989 000	1 137 942	750 748	279,35	12,29	18,63	50 076

Tablica 47. Kombinacije sustava za trgovinu

Trgovina	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	100 000	8 792	10 550	1,94	11,37	9,48	51 653
Solarni sustav + kotao na biomasu	155 000	8 792	4 698	12,54	17,63	32,99	12 365
Solarni sustav + dizalica topline	1 000 000	70 091	27 244	15,37	14,27	11,89	65 044
Fotonaponski sustav + kotao na plin	130 000	14 700	17 640	3,45	8,84	7,37	37 663
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	185 000	14 700	11 787	18,64	12,59	15,69	9 926
Fotonaponski sustav + dizalica topline	1 191 000	96 432	61 624	20,94	12,35	19,33	56 886
Fotonaponski sustav + električni automobili	176 800	30 078	17 643	6,04	5,88	10,02	29 270
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	230 000	23 492	28 190	5,39	9,79	8,16	42 690
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	285 000	23 492	22 338	15,99	12,13	12,76	17 826
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	1 270 000	96 432	61 624	20,94	13,17	20,61	60 659
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin + električni automobili	276 800	38 870	28 193	7,98	7,12	9,82	34 703
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu + električni automobili	331 800	38 870	22 340	18,58	8,54	14,85	17 862
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobili	1 316 800	111 810	61 627	23,53	11,78	21,37	55 974

Tablica 48. Kombinacije sustava za kulturnu ustanovu

Kulturna ustanova	Troškovi [kn]	Uštede energije [kWh]	Uštede [kn]	Smanjenje t CO ₂	Troškovi/kWh	Troškovi/uštede	Troškovi/t CO ₂
Solarni sustav + kotao na plin	46 000	3 956	4 748	0,87	11,63	9,69	52 801
Solarni sustav + kotao na biomasu	91 000	3 956	-3 308	16,90	23,00	-27,51	5 386
Solarni sustav + dizalica topline	1 046 000	88 331	27 698	19,37	11,84	9,87	54 006
Fotonaponski sustav + kotao na plin	68 500	7 500	9 000	1,76	9,13	7,61	38 897
Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	113 500	7 500	944	22,66	15,13	120,20	5 008
Fotonaponski sustav + dizalica topline	1 325 000	120 000	74 445	28,46	11,04	17,80	46 565
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin	114 500	11 456	13 748	2,63	9,99	8,33	43 499
Solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na biomasu	159 500	11 456	5 692	23,53	13,92	28,02	6 777
Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline	1 361 000	120 000	74 445	28,46	11,34	18,28	47 830

Omjeri pokazuju koje kombinacije se najviše isplate s obzirom na kriterij, odnosno da su bolji oni sustavi s manjim omjerima.

Ako investicija nije važna, gledaju se apsolutne vrijednosti dane u tablicama 33-48. te se sustav odabire prema traženom ekonomskom i/ili ekološkom kriteriju. Ako je investicija bitna varijabla, tada se odabire sustave s najmanjim omjerima prema željenom kriteriju.

Za obiteljsku kuću, ako investicija nije bitna, odabire se kombinaciju sustava „fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobil“ za najveće uštede energije, troškova i smanjenje emisija CO₂. Ako je investicija važna, tada se odabire sustav prema omjerima ovisno o ekonomskom odnosno ekološkom stajalištu. Tako je kombinacija „fotonaponski sustav + kotao na biomasu“ najbolja za što veće smanjenje emisija CO₂ uz što nižu investiciju. S ekonomskog stajališta, može se odabrati kombinacija „fotonaponski sustav + električni automobil“ za najveće uštede energije uz najnižu investiciju ili kombinacija „solarni sustav + fotonaponski sustav + kotao na plin + električni automobil“ za nešto veću investiciju ali puno veće smanjenje energije na godišnjoj bazi. Isti princip odabira kombinacije sustava vrijedi i za sve ostale tipove zgrada.

7. ZAKLJUČAK

Tehnička analiza stanja zgrada Grada Zagreba ukazala je na vrlo nepovoljnu potrošnju energije i vrlo velike potencijalne uštede. Veliki broj zgrada ima vrlo nisku ili nikakvu toplinsku izolaciju što se očituje kroz veliku specifičnu potrošnju energije. Primjenom metoda navedenih u CoM-u moguće je potrošnju ukupne energije smanjiti i do nekoliko puta. Veliki nedostatak navedenih metoda je novčano opterećenje na građane. Uzimajući u obzir prosječnu plaću građana Republike Hrvatske, navedene subvencije u iznosu do maksimalno 40 % vjerojatno neće biti dovoljne za provedbu najskupljih mjera (toplinska izolacija vanjske ovojnice i krovšta, zamjena dotrajale stolarije), a upravo one omogućuju najveće smanjenje energije.

Ne obazirući se na najskuplje metode navedene u CoM-u, određeni sustavi iz kategorije OIE mogli bi biti isplativi, gotovo sigurno, uz državnu subvenciju. Solarni sustavi isplate se za većinu zgrada, osim za one gdje je vrlo niska potrošnja potrošne tople vode a objekt niske kvadrature te se grije na jeftini energent. U proračunu za poslovni prostor pretpostavljena je vrlo niska potrošnja potrošne tople vode te kao posljedica, rok povrata investicije izrazito je velik. Za takve objekte, čak i kao dopuna grijanju, solarni sustavi se ne isplate. Ako bi takav objekt vodu grijao električnom energijom, a subvenciju u iznosu 40 % pokrila država, tada bi rok povrata investicije iznosio 30 godina, što je i dalje vrlo visok period.

Fotonaponski sustavi isplate se za sve zgrade koje zadovoljavaju geometriju krova ili imaju odgovarajuću površinu. Rok povrata investicije u proračunu izrazito je velik, no to je zato što sva proizvedena energija ostavljena je na korištenje zgrade. Rok povrata investicije značajno bi se smanjio kada bi se grijali na prirodni plin ili biomasu, električnu energiju predali u elektroenergetski sustav te kada bi država subvencionirala mjeru.

Kotao na biomasu najjeftinije je i najlakše rješenje za značajno smanjenje emisija. Iako se ne isplati za zgrade koje koriste prirodni plin ili ako ne kupuju velike količine biomase, za zgrade koje se griju na loživo ulje ili električnu energiju takav sustav omogućio bi značajne godišnje uštede. Za zgrade manjih kvadratura koje se griju na prirodni plin takav sustav postaje isplativ kada se cijena peleta malo snizi, cijena prirodnog plina malo poveća ili kupnjom peleta u velikoj količini. S ekološkog stajališta, kotao na biomasu isplati se za sve zgrade.

Dizalica topline najskuplji je sustav obnovljivog izvora energije te je njezina isplativost dosta upitna bez subvencije. Za zgrade koje se griju na prirodni plin takav sustav se ne isplati, čak i uz subvenciju od 50 %, rok povrata iznosio bi minimalno 20 godina ovisno o tipu zgrade. Sustav postaje isplativ za zgrade koje koriste loživo ulje ili električnu energiju kao energent . Tada rok povrata iznosi minimalno 20 godina za grijanje na lož ulje odnosno 9 godina za grijanje na električnu energiju. Imajući na umu trend iseljavanja građana Republike Hrvatske, ugradnja dizalice topline u obiteljske kuće je vrlo riskantna investicija te je bolja solucija ugradnja kotla na biomasu ili prirodni plin.

Preporuke kombinacija sustava po tipu zgrada dane su u tablicama 49. i 50.

Tablica 49. prikazuje kombinacije sustava s najmanjim periodom povrata investicije. U većini zgrada najmanji period ima kombinacija s fotonaponskim sustavom. Investicija u električni automobil nije uračunata što znatno smanjuje rok povrata investicije. Kotao na biomasu isplativ je za zgrade koje biomasu kupuju na veliko. Tada je cijena peleta 0,2 kn/kWh što je znatno niže od cijene plina te se vrlo brzo pokriju troškovi investicije u kotao na biomasu. Za restoran, trgovinu i kulturnu ustanovu najmanji period povrata ima kombinacija fotonaponskog sustava i kotla na prirodni plin.

Tablica 49. Kombinacije sustava s najmanjim periodom povrata

	Kombinacija sustava	Period povrata [god]
Višestambena	Fotonaponski sustav + električni automobili	2,39
Učenički dom	Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	5,57
Dom za starije	Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	5,69
Obiteljska Kuća	Fotonaponski sustav + električni automobil	4,40
Gradska uprava	Solarni sustav + kotao na biomasu	5,44
Mjesna samouprava	Fotonaponski sustav + električni automobili	3,45
Poslovni prostor	Fotonaponski sustav + električni automobili	3,31
Srednja škola	Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	5,44
Osnovna škola	Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	5,27
Vrtić	Fotonaponski sustav + kotao na plin	7,54
Bolnica	Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	5,34
Hotel	Fotonaponski sustav + električni automobili	2,41
Restoran	Fotonaponski sustav + kotao na plin	7,50
Sportska dvorana	Fotonaponski sustav + kotao na biomasu	4,41
Trgovina	Fotonaponski sustav + kotao na plin	7,37
Kulturna ustanova	Fotonaponski sustav + kotao na plin	7,91

Tablica 50. prikazuje kombinacije sustava s najvećim smanjenjem potrošnje energije i emisija CO₂. Električni automobil kao spremnik energije te zamjena za dizelsko vozilo znatno povećava smanjenje potrošnje energije zbog velike efikasnosti motora. Zgrade za koje električni automobil nije računat najviše smanje potrošnju energije kombinacijom fotonaponskog sustava i dizalice topline upravo jer svu potrebnu energiju sustav sam proizvede. Iako takav sustav u kombinaciji sa solarnim sustavom ima iste uštede energije, u ovome radu bolja je opcija bez solarnih panela jer se tako smanjuje trošak investicije.

Tablica 50. Kombinacije sustava s najvećim smanjenjem potrošnje energije

	Kombinacija sustava	Smanjenje potrošnje energije [kWh]	Smanjenje emisija t CO ₂
Višestambena	Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobili	1 413 780	356,17
Učenički dom	Fotonaponski sustav + dizalica topline	320 000	88,3
Dom za starije	Fotonaponski sustav + dizalica topline	729 000	197,44
Obiteljska Kuća	Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobil	21 189	4,33
Gradska uprava	Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobili	221 950	55,53
Mjesna samouprava	Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobili	35 482	6,78
Poslovni prostor	Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobili	19 028	3,3
Srednja škola	Fotonaponski sustav + dizalica topline	310 080	73,54
Osnovna škola	Fotonaponski sustav + dizalica topline	170 544	40,38
Vrtić	Fotonaponski sustav + dizalica topline	49 090	11,65
Bolnica	Fotonaponski sustav + dizalica topline	4 656 800	1 150,64
Hotel	Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobil	872 867	226,61
Restoran	Fotonaponski sustav + dizalica topline	14 996	3,69
Sportska dvorana	Fotonaponski sustav + dizalica topline	1 137 942	279,35
Trgovina	Solarni sustav + fotonaponski sustav + dizalica topline + električni automobili	111 810	23,53
Kulturna ustanova	Fotonaponski sustav + dizalica topline	120 000	28,46

LITERATURA

- [1] Pasivne kuće, [Mrežno]. Available: <http://www.enu.fzoeu.hr/ee-savjeti/pasivne-i-niskoenergetske-kuce/pasivne-kuce>. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [2] PassREg pasivne kuće, [Mrežno]. Available: <https://passreg.eu/>. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [3] Nearly zero energy buildings definitions across europe, [Mrežno]. Available: http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/128/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [4] Overwiev of nZEB definitions, [Mrežno]. Available: http://www.epbd-ca.eu/wp-content/uploads/2016/01/Overview_of_NZEB_definitions.pdf. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [5] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, [Mrežno]. Available: <https://mgipu.gov.hr/pristup-informacijama/zakoni-i-ostali-propisi/podrucje-energetske-ucinkovitosti/3569>. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [6] Covenant of Mayors, [Mrežno]. Available: <https://www.covenantofmayors.eu/plans-and-actions/action-plans.html>. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [7] SEAP Grada Zagreba, [Mrežno]. Available: https://www.covenantofmayors.eu/about/covenant-community/signatories/action-plan.html?scity_id=2019. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [8] SEAP Karlovca, [Mrežno]. Available: https://www.covenantofmayors.eu/about/covenant-community/signatories/action-plan.html?scity_id=2943. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [9] SEAP Osijeka, [Mrežno]. Available: https://www.covenantofmayors.eu/about/covenant-community/signatories/action-plan.html?scity_id=5092. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [10] SEAP Rijeke, [Mrežno]. Available: https://www.covenantofmayors.eu/about/covenant-community/signatories/action-plan.html?scity_id=1815. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [11] SEAP Velike Gorice, [Mrežno]. Available: https://www.covenantofmayors.eu/about/covenant-community/signatories/action-plan.html?scity_id=3006. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].

- [12] SEAP Zadra, [Mrežno]. Available: https://www.covenantofmayors.eu/about/covenant-community/signatories/action-plan.html?scity_id=5710. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [13] SEAP Bjelovara, [Mrežno]. Available: https://www.covenantofmayors.eu/about/covenant-community/signatories/action-plan.html?scity_id=4586. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [14] Towards nearly zero energy buildings, [Mrežno]. Available: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/nzeb_full_report.pdf. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [15] Nearly zero energy buildings Romania, [Mrežno]. Available: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/romania_en_version.pdf. [Pokušaj pristupa 15. 2. 2019.].
- [16] Eurostat, [Mrežno]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat>. [Pokušaj pristupa 20. 2. 2019.].
- [17] Katalog tipskih rješenja za primjenu alternativnih sustava za zgrade površine od 50 do 1000 metara kvadratnih, [Mrežno]. Available: <https://mgipu.gov.hr/pristup-informacijama/zakoni-i-ostali-propisi/podrucje-energetske-ucinkovitosti/katalog-tipskih-rjesenja-za-primjenu-alternativnih-sustava-za-zgrade-povrsine-od-50-do-1000-m2/4270>. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [18] Priprema PTV solarnim kolektorima, [Mrežno]. Available: <http://www.enu.fzoeu.hr/ee-savjeti/priprema-potrosne-tople-vode/priprema-ptv-solarnim-kolektorima>. [Pokušaj pristupa 15. 2. 2019.].
- [19] Sunčev toplovodni kolektor, [Mrežno]. Available: https://hr.wikipedia.org/wiki/Sun%C4%8Dev_toplovodni_kolektor. [Pokušaj pristupa 14. 2. 2019.].
- [20] Fotonaponski sustavi, [Mrežno]. Available: https://hr.wikipedia.org/wiki/Fotonaponski_sustavi. [Pokušaj pristupa 14. 2. 2019.].
- [21] Električni automobili, [Mrežno]. Available: https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni_automobil. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [22] Electric vs gas cars, [Mrežno]. Available: <https://www.energysage.com/electric-vehicles/costs-and-benefits-evs/evs-vs-fossil-fuel-vehicles/>. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].

- [23] Dizalice topline, [Mrežno]. Available: <http://www.enu.fzoeu.hr/ee-savjeti/grijanje/dizalice-topline>. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].
- [24] Biomasa, [Mrežno]. Available: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Biomasa>. [Pokušaj pristupa 13. 2. 2019.].