

Stambena građevina s nultim emisijama CO2

Čulig-Tokić, Dario

Undergraduate thesis / Završni rad

2012

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:235:596608>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-25**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Dario Čulig-Tokić

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

STAMBENA GRAĐEVINA S NULTIM
EMISIJAMA CO₂

Mentor:
Prof. dr. sc. Željko Bogdan, dipl. ing.

Student:
Dario Čulig-Tokić

Zagreb, 2012.

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

Zahvaljujem se svome mentoru prof.dr.sc. Željku Bogdanu, a posebno asistentu dr.sc. Mislavu Čehilu na brojnim savjetima tijekom izrade rada.

Dario Čulig-Tokić



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 **Dario Čulig-Tokić** Mat. br.: 0119000087

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Stambena građevina s nultim emisijama CO₂**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Residential building with zero emissions of CO₂**

Opis zadatka:

Od 2019. godine u Europskoj uniji stambene građevine morat će imati nulte emisije CO₂ u okoliš promatrano na godišnjoj razini. Time će građevine postati proizvođači električne energije. U okviru završnog rada potrebno je:

1. Napraviti toplinski proračun višestambene građevine. Odrediti potrebne debljine toplinske izolacije koja bi omogućila nulte emisije.
2. Za tri klimatska podneblja: kontinentalno, gorsko i primorsko, odrediti potrebe i mogućnosti korištenja obnovljivih izvora električne i toplinske energije kako bi se zadovoljili kriteriji nultih emisija.
3. Simulirati rad takvih postrojenja unutar godine dana za poznate vremenske uvjete.
4. Napraviti analizu isplativosti takvih građevina.

Svi potrebni dodatni ulazni podaci za proračun nalaze se kod mentora.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualnu pomoć tokom izrade.

Zadatak zadan:
14. studenog 2011.

Rok predaje rada:
 1. rok: **10. veljače 2012.**
 2. rok: **06. srpnja 2012.**
 3. rok: **14. rujna 2012**

Predviđeni datumi obrane:
 1. rok: **15. – 17. veljače 2012.**
 2. rok: **09. – 11. srpnja 2012.**
 3. rok: **19 – 21. rujna 2012.**

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Željko Bogdan

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zvonimir Guzović

Referada za diplomske i završne ispite

Obrazac DS – 3A/PDS – 3A

SADRŽAJ

SADRŽAJ	II
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK	VIII
1. UVOD	1
2. TOPLINSKI PRORAČUN	3
2.1. HRN EN 12831 Sustavi grijanja u građevinama--Postupak proračuna normiranoga toplinskog opterećenja	4
2.1.1. Toplinsko opterećenje	4
2.1.1.1. Projektni transmisijski gubitci	4
2.1.1.2. Projektni ventilacijski gubitci	11
2.1.1.3. Dodatni toplinski učinak potreban za zagrijavanje grijanog prostora kod intermitentnog načina grijanja	13
2.1.2. Iznosi toplinskog opterećenje za tri klimatska podneblja (kontinentalno, primorsko i gorsko)	13
2.2. HRN EN 832 Toplinske značajke zgrada -- Proračun potrebne energije za grijanje – Stambene zgrade	14
2.2.1. HRN EN 832 Zagreb	14
2.2.2. HRN EN 832 Split	19
2.2.3. HRN EN 832 Gospić	20
2.2.4. HRN EN 832 Usporedba rezultata proračuna	21
2.3. Potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne tople vode	25
3. IZVORI TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE	26
3.1. Izvori toplinske energije	26
3.2. Izvori električne energije	27

4. EKONOMSKA ANALIZA.....	31
4.1. Ekonomska analiza toplinske izolacije.....	31
4.2. Ekonomska analiza rekuperatora.....	33
4.3. Ekonomska analiza fotonaponskog sustava.....	33
5. ZAKLJUČAK.....	34
PRILOZI.....	35
LITERATURA.....	36

POPIS SLIKA

- Slika 1. Dijagram ukupnih toplinskih gubitaka Q_l , toplinskih dobitaka Q_g , iskoristivih toplinskih dobitaka $\eta_g Q_g$ i potrebne toplinske energije za grijanje Q_h tijekom godine za grad Zagreb
- Slika 2. Dijagram ukupnih toplinskih gubitaka Q_l , toplinskih dobitaka Q_g , iskoristivih toplinskih dobitaka $\eta_g Q_g$ i potrebne toplinske energije za grijanje Q_h tijekom godine za grad Split
- Slika 3. Dijagram ukupnih toplinskih gubitaka Q_l , toplinskih dobitaka Q_g , iskoristivih toplinskih dobitaka $\eta_g Q_g$ i potrebne toplinske energije za grijanje Q_h tijekom godine za grad Gospić
- Slika 4. Dijagram srednje vanjske mjesečne temperature tijekom godine
- Slika 5. Dijagram ukupnih toplinskih gubitaka tijekom godine
- Slika 6. Dijagram toplinskih dobitaka tijekom godine
- Slika 7. Dijagram omjera toplinskih dobitaka i gubitaka tijekom godine
- Slika 8. Dijagram faktora iskoristivosti toplinskih dobitaka tijekom godine
- Slika 9. Dijagram iskoristivih toplinskih dobitaka tijekom godine
- Slika 10. Dijagram potrebne toplinske energije za grijanje tijekom godine
- Slika 11. Dijagram potrošnje i proizvodnje električne energije zgrade u Zagrebu tijekom godine
- Slika 12. Dijagram potrošnje i proizvodnje električne energije zgrade u Splitu tijekom godine
- Slika 13. Dijagram potrošnje i proizvodnje električne energije zgrade u Gospiću tijekom godine
- Slika 14. Dijagram ovisnosti potrebne toplinske energije za grijanje o debljini izolacije

POPIS TABLICA

Tablica 1. Vanjske dimenzije stambene građevine

Tablica 2. Broj, orijentacija i dimenzije prozora

Tablica 3. Debljine i koeficijenti toplinske provodnosti građevinskih elemenata vanjskoga zida

Tablica 4. Debljine i koeficijenti toplinske provodnosti građevinskih elemenata krova

Tablica 5. Proračun koeficijenta transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora prema vanjskom okolišu

Tablica 6. Debljine i koeficijenti toplinske provodnosti građevinskih elemenata poda prema podrumu

Tablica 7. Proračun koeficijenta transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani podrumski prostor prema vanjskom okolišu

Tablica 8. Vrijednosti efektivnih površina ostakljenih dijelova

Tablica 9. Vrijednosti globalnog sunčevog zračenja

Tablica 10. Toplinski dobitci od sunčevog zračenja

Tablica 11. Potrebna toplinska energija za grijanje ZAGREB

Tablica 12. Potrebna toplinska energija za grijanje SPLIT

Tablica 13. Potrebna toplinska energija za grijanje GOSPIĆ

Tablica 14. Usporedba vrijednosti pojedinih parametara toplinskog proračuna

Tablica 15. Usporedba specifične cijene biomase i prirodnog plina

Tablica 16. Usporedba ukupno potrebne toplinske energije dobivene od goriva i cijene goriva

Tablica 17. Globalno sunčevo zračenje za nagib 30° prema jugu

Tablica 18. Električna energija proizvedena fotonaponskim sustavom tijekom godine

Tablica 19. Vrijednosti potrebne toplinske energije za grijanje u ovisnosti o debljini izolacije

Tablica 20. Vrijednosti godišnjih ušteda i vremena povrata investicije za toplinsku izolaciju

Tablica 21. Vrijednosti godišnjih ušteda i vremena povrata investicije za rekuperator

Tablica 22. Vrijednost investicije, godišnje proizvodnje električne energije, otkupne vrijednosti električne energije i vremenskog povrata investicije fotonaponskog sustava

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
L_z	m	Dužina zgrade
W_z	m	Širina zgrade
H_z	m	Visina zgrade
N_e	-	Broj etaža zgrade
l_p	m	Dužina prozora
w_p	m	Širina prozora
h_p	m	Visina prozora
$A_{p,i}$	m ²	Površina prozora i-te strane svijeta
$A_{p,uk}$	m ²	Ukupna površina prozora
N_p	-	Broj prozora
A_{kpp}	m ²	Korisna površina poda
Φ_{HL}	W	Projektno toplinsko opterećenje zgrade
$\Phi_{T,i}$	W	Projektni transmisivski gubitak, i-te prostorije
$\Phi_{V,i}$	W	Projektni ventilacijski gubitci, i-te prostorije
$\Phi_{RH,i}$	W	Dodatni toplinski učinak potreban za zagrijavanje grijanog prostora kod intermitentnog načina grijanja, i-te prostorije
Φ_T	W	Projektni transmisivski gubitak zgrade
Φ_V	W	Projektni ventilacijski gubitci zgrade
Φ_{RH}	W	Dodatni toplinski učinak potreban za zagrijavanje grijanog prostora kod intermitentnog načina grijanja zgrade
H_T	W/K	Koeficijent transmisivskih gubitaka
$H_{T,ie}$	W/K	Koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
$H_{T,iue}$	W/K	Koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$H_{T,ig}$	W/K	Koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
$H_{T,ij}$	W/K	Koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom prostoru grijanom na nižu temperaturu
ϑ_{int}	°C	Unutarnja projektna temperatura grijanog prostora
ϑ_e	°C	Vanjska projektna temperatura
l_k	m	Dužina/širina k-te plohe kroz koju prolazi toplina
h_k	m	Visina/širina k-te plohe kroz koju prolazi toplina
A_k	m ²	Površina k-te plohe kroz koju prolazi toplina
U_k	W/(m ² K)	Koeficijent prolaza topline za k-ti građevinski element
e_k	-	Korekcijski faktor izloženosti koji uzima u obzir klimatske utjecaje kao temperaturu, vlažnost i brzinu vjetra
Ψ_l	W/(mK)	Linijski koeficijent prolaza topline l-tog linijskog toplinskog mosta

l_l	m	Dužina l-tog linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije
e_l	-	Korekcijski faktor izloženosti koji uzima u obzir klimatske utjecaje kao temperaturu, vlažnost i brzinu vjetra
α_u	W/(m ² K)	Koeficijent prijelaza topline na unutrašnjoj strani
α_v	W/(m ² K)	Koeficijent prijelaza topline na vanjskoj strani
δ_k	m	Debljina k-tog građevinskog elementa
λ_k	W/(mK)	Toplinska provodnost i-tog građevinskog elementa
U_i	W/(m ² K)	Koeficijent prolaza topline k-tog građevinskog elementa
U_{vz}	W/(m ² K)	Koeficijent prolaza topline vanjskog zida
U_{kr}	W/(m ² K)	Koeficijent prolaza topline krova
D_{vz}	m	Ukupna debljina vanjskog zida
D_{kr}	m	Ukupna debljina krova
b_u	-	Faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir temperaturu negrijanog prostora i vanjsku projektnu temperaturu
U_{pp}	W/(m ² K)	Koeficijent prolaza topline poda prema podrumu
D_{pp}	m	Ukupna debljina poda prema podrumu
H_V	W/K	Koeficijent ventilacijskih gubitaka
V_z	m ³ /h	Protok zraka u grijani prostor
ρ_z	kg/m ³	Gustoća zraka
$c_{p,z}$	J/(kgK)	Specifični toplinski kapacitet zraka
V_{inf}	m ³ /h	Protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije zraka kroz zazore
η_r	-	Faktor korisnosti rekuperatora
V_{su}	m ³ /h	Protok zraka doveden sustavom mehaničke ventilacije
$V_{mech,inf}$	m ³ /h	Višak odvedenog zraka iz prostorije
V_{int}	m ³	Obujam grijanog zraka
n_{50}	h ⁻¹	Broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka 50 Pa
e_i	-	Koeficijent zaštićenosti koji uzima u obzir utjecaj vjetra odnosno zaštićenost i broj otvora prema vanjskom okolišu
ε_i	-	Korekcijski faktor za visinu, uzima u obzir različit iznos tlakova s povećanjem visine iznad zemlje
n_{min}	h ⁻¹	Minimalni broj izmjena zraka
V_{min}	m ³ /h	Minimalni higijenski protok zraka
V_{ex}	m ³ /h	Protok zraka odveden sustavom mehaničke ventilacije
A_i	m ²	Ukupna površina poda
f_{RH}	-	Korekcijski faktor za noćni prekid grijanja
Q_{int}	kWh	Unutarnji toplinski dobitci
Q_{sol}	kWh	Toplinski dobitci od sunčevog zračenja
$A_{sol,i}$	m ²	Efektivna površina ostakljenog elementa i-te strane svijeta
$H_{sol,i}$	MJ/m ²	Globalno sunčevo zračenje po mjesecima
F_s	-	Faktor zasjenjenja

F_c	-	Faktor umanjenja naprave za zaštitu od sunčevog zračenja
F_F	-	Faktor djelomičnog zasjenjenja za bočne zaslone
g_{tot}	-	Stupanj propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje
F_h	-	Faktor djelomičnog zasjenjenja za obzor
F_o	-	Faktor djelomičnog zasjenjenja za nadstrešnice
F_f	-	Faktor djelomičnog zasjenjenja za bočne zaslone
F_w	-	Faktor umanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja
g_o	-	Faktor propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje za slučaj okomitog upada sunčevog zračenja
t	h	Vremenski period
Q_h	kWh	Potrebna toplinska energija za grijanje
γ	-	Omjer toplinskih dobitaka i gubitaka
Q_l	kWh	Ukupni toplinski gubitak tijekom perioda t
ϑ_{es}	°C	Srednja vanjska temperatura tijekom perioda t
Q_g	kWh	Toplinski dobitci
η_g	-	Faktor iskoristivosti toplinskih dobitaka
a	-	Numerički parametar
τ_0	h	Referentna vremenska konstanta
τ	h	Vremenska konstanta
Q_w	kWh	Potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne tople vode
V_w	m ³	Godišnja potrošnja tople vode
ρ_w	kg/m ³	Gustoća vode
c_w	J/(kgK)	Specifični toplinski kapacitet vode
ϑ_{wt}	°C	Temperatura tople vode
ϑ_{wh}	°C	Temperatura hladne vode
Q_H	kWh	Ukupno potrebna toplinska energija
η_{cr}	-	Stupanj korisnosti cijevnog razvoda
η_k	-	Stupanj korisnosti kotla
$E_{el,g}$	kWh	Godišnja potrošnja električne energije
$E_{el,fs}$	kWh	Električna energija proizvedena fotonaponskim sustavom
η_{fs}	-	Stupanj iskoristivosti fotonaponskog sustava
PI	god.	Vrijeme povrata investicije
I	kn	Investicija
GU	kn/god	Godišnja ušteda
E_s	kWh/m ²	Specifična godišnja potrošnja toplinske energije za grijanje

SAŽETAK

U radu je modelirana i analizirana stambena građevina s nultim emisijama CO₂. Toplinski proračun proveden je prema normi HRN EN 12831. Određeni su koeficijenti transmisivnih i ventilacijskih gubitaka i projektno toplinsko opterećenje stambene građevine. Kako bi se utvrdile razlike za pojedina klimatska podneblja, proračun se provodi za Zagreb, Split i Gospić. Proračunom stambene građevine prema normi HRN EN 832 određena je godišnja potrebna toplinska energija za grijanje. Izračunata je također i potrebna energija za zagrijavanje potrošne tople vode.

Nakon navedenih proračuna, sukladno uvjetu nultih emisija CO₂, za izvor toplinske energije odabran je kotao na biomasu, a za izvor električne energije fotonaponski sustav.

Provođenjem ekonomske analize određene su vrijednosti vremena povrata investicije za toplinsku izolaciju građevine, sustav mehaničke ventilacije s povratom topline i fotonaponski sustav.

1. UVOD

Od 31.12.2020. godine u Europskoj uniji nove stambene građevine morati će imati skoro nulte emisije CO₂ u okoliš, promatrano na godišnjoj razini.[7] Time će građevine postati proizvođači električne energije.

Globalno povećanje emisija CO₂ uzrokuje veliku zabrinutost zbog klimatskih promjena s kojima je povezano. Kako bi se smanjio štetan utjecaj na okoliš, već se dugi niz godina stanje pokušava poboljšati primjenom novih tehnologija, te novim, strožim propisima i normama. Važeći propis u RH o specifičnoj godišnjoj potrošnji toplinske energije za grijanje od 80 kWh/m² iz 2005. godine ne zadovoljava preko 85% građevina.[8] U ovom području potrebne su velike promjene.

Preko 80% energije u kućanstvima potroši se na grijanje i toplu vodu. Ova potrošnja može se znatno smanjiti upotrebom odgovarajućih mjera.[8]

Energetska efikasnost stambene građevine može se poboljšati pravilnim smještajem i orijentacijom na parceli. Građevina bi trebala imati stambene prostorije, poput dnevnog boravka, blagovaonice i spavaćih soba, orijentirane na jug, istok i zapad, otvorene prema jugu velikim prozorima. Sjeverno pročelje potrebno je što manje otvarati, stoga bi na ovoj strani građevine trebale biti smještene servisne prostorije: kuhinja, kupaona i wc. Ovakvom organizacijom tlocrta smanjujemo toplinske gubitke preko hladnije, neosunčane sjeverne strane, a povećavamo toplinske dobitke preko ostakljenja na južnoj strani. Kako bi se zaštitili od pregrijavanja ljeti, treba koristiti zaštitu od sunca, poput strehe ili raznih vrsta sjenila, smještenih na vanjskoj strani prozora, ugrađenih pod kutom da smanjuju ulazak sunčevog zračenja ljeti, a omogućuje ulazak zimi.

Izolacija stambene građevine izuzetno je važna, tako da već i manje debljine toplinske izolacije znatno smanjuju troškove grijanja te povisuju toplinsku efikasnost građevine. Kvalitetniji prozori drugi su korak u smanjivanju toplinskih gubitaka. Ugradnjom sustava mehaničke ventilacije s povratom topline moguće je ostvariti daljnje smanjenje troškova za grijanje i hlađenje. Navedenim mjerama potrebna toplinska energija za grijanje može biti smanjena za više od 90%.

Osim ovakvim konkretnim mjerama, potrošnju možemo smanjiti i podizanjem svijesti građana o energiji i njejoj potrošnji, pa iako je navike teško mijenjati, konstantnim informiranjem i obrazovanjem mogu se ostvariti znatni uspjesi.

Da bi bio zadovoljen uvjet nultih emisija CO₂, stambena građevina mora proizvesti toliko energije iz obnovljivih izvora energije koliko ukupno potroši za vlastite potrebe na razini godine dana. Kako bi to bilo ostvareno potrebno je kao izvor električne energije ugraditi primjerice fotonaponski sustav, koji pravilnim smještajem može pokrivati veći dio potreba za električnom energijom tijekom cijele godine. Kao izvor toplinske energije za grijanje i potrošnju tople vode moguće je koristiti kotao na biomasu čije korištenje je neutralno sa stanovišta emisija CO₂.

Smanjenje potrošnje energije, a ujedno i emisija CO₂, najčešće zahtjeva veliku početnu investiciju kojom se mogu postići znatne uštede energije, ali i povećanje kvalitete života u stambenim građevinama. Životni vijek stambenih građevina iznosi oko 50 godina što predstavlja dug period tijekom kojega se mogu ostvariti značajne uštede energije.

2. TOPLINSKI PRORAČUN

Toplinski proračun proveden je prema normi HRN EN 12831 i HRN EN 832, za tri klimatska podneblja: kontinentalno, gorsko i primorsko, odnosno za Zagreb, Gospić i Split kao veće gradove u tim podnebljima.[1][2]

Vanjske dimenzije stambene građevine (zgrade) za koju je proveden proračun nalaze se u Tablici 1.

Tablica 1. Vanjske dimenzije stambene građevine

Dužina zgrade	$L_z=$	20,6 m
Širina zgrade	$W_z=$	14,5 m
Visina zgrade	$H_z=$	10 m

Zgrada je samostojeća, sastoji se od tri etaže ($N_e = 3$) sa po tri stana na svakoj od etaža. Broj stanara zgrade procijenjen je na 30. Zbog pojednostavljenja toplinski proračun proveden je kao da se radi o jedinstvenom prostoru odnosno jednoj prostoriji. Zgrada izmjenjuje toplinu s vanjskim okolišem putem krova, vanjskih zidova i prozora. Izmjena topline od grijanog prostora preko negrijanog u vanjski okoliš prisutna je kroz površinu poda prema podrumu.

U zgradu su ugrađeni prozori prema rasporedu prikazanom u Tablici 2.

Tablica 2. Broj, orijentacija i dimenzije prozora

N_p	Strana svijeta	Dužina prozora l_p (m)	Visina prozora h_p (m)	Površina prozora $A_{p,i}$ (m ²)
2	S	0,5	1	3
1	J	20,6	2,8	173,04
3	I	2	1,8	32,4
3	Z	2	1,8	32,4

Površina prozora za i-tu stranu svijeta izračunata je prema izrazu (1) pri čemu je N_p broj prozora.

$$A_{p,i} = N_p l_p h_p. \quad (1)$$

Ukupna površina prozora izračunata je prema izrazu:

$$A_{p,uk} = \sum A_{p,i} = 240,84 \text{ m}^2, \quad (2)$$

a korisna površina poda prema izrazu:

$$A_{kpp} = 0.8 N_e L_z W_z = 716,88 \text{ m}^2. \quad (3)$$

2.1. HRN EN 12831 Sustavi grijanja u građevinama - Postupak proračuna normiranoga toplinskog opterećenja

2.1.1. Toplinsko opterećenje

Toplinsko opterećenje zgrade određuje se prema izrazu:

$$\Phi_{HL} = \sum \Phi_{T,i} + \sum \Phi_{V,i} + \sum \Phi_{RH,i}, \quad (4)$$

gdje je $\sum \Phi_{T,i}$ projektni transmisijski gubitak *i*-te prostorije, $\sum \Phi_{V,i}$ projektni ventilacijski gubitak *i*-te prostorije, a $\sum \Phi_{RH,i}$ dodatni toplinski učinak potreban za zagrijavanje grijanog prostora kod intermitentnog načina grijanja *i*-te prostorije.

Toplinsko opterećenje prema izrazu (4) računa se za svaku prostoriju odvojeno, zbog pojednostavljenja toplinski proračun stambene građevine proveden je kao da se radi o jedinstvenom prostoru odnosno jednoj prostoriji.

Tada se jednadžba (4) svodi na:

$$\Phi_{HL} = \Phi_T + \Phi_V + \Phi_{RH}. \quad (5)$$

2.1.1.1. Projektni transmisijski gubici

Projektni transmisijski gubici računaju se prema izrazu:

$$\Phi_T = H_T (\vartheta_{int} - \vartheta_e) = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij})(\vartheta_{int} - \vartheta_e), \quad (6)$$

gdje je H_T ukupni transmisijski gubitak, ϑ_{int} unutarnja temperatura grijanog prostora, ϑ_e vanjska projektna temperatura, $H_{T,ie}$ koeficijent transmisijskog gubitka grijanog prostora prema vanjskom okolišu, $H_{T,iue}$ koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu, $H_{T,ig}$ koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu, a $H_{T,ij}$ koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom prostoru grijanom na nižu temperaturu.

Unutarnja temperatura grijanog prostora sukladno normi za stambene zgrade iznosi 20°C. A iznos vanjske projektne temperature ovisno o gradu ili mjestu te prema normi iznosi -15 °C za Zagreb, -4 °C za Split i -24 °C za Gospić.

Koeficijent transmisijskog gubitka grijanog prostora prema vanjskom okolišu određuje se prema izrazu:

$$H_{T,ie} = \sum A_k U_k e_k + \sum \Psi_l l e_l, \quad (7)$$

gdje je A_k površina k-te plohe kroz koju prolazi toplina, U_k koeficijent prolaza topline za k-ti građevinski element, e_k korekcijski faktor izloženosti koji uzima u obzir klimatske utjecaje kao temperaturu, vlažnost i brzinu vjetra, Ψ_l linijski koeficijent prolaza topline l-tog linijskog toplinskog mosta, l_l dužina l-tog linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije, a e_l korekcijski faktor izloženosti koji uzima u obzir klimatske utjecaje kao temperaturu, vlažnost i brzinu vjetra.

Zbog pojednostavljenja proračuna zanemarujemo gubitke uzrokovane toplinskim mostovima.

Izraz (7) svodi se stoga na:

$$H_{T,ie} = \sum A_k U_k e_k. \quad (8)$$

Korekcijski faktor izloženosti e_k nije određen za Hrvatsku pa se njegov iznos uzima jednak jedinici.

Površina k-te plohe kroz koju prolazi toplina A_k određuje se prema sljedećim izrazima:

Za prozore vrijedi izraz:

$$A_k = A_{p,i} = N_p l_p h_p, \quad (9)$$

gdje je $A_{p,i}$ površina prozora i-te strane svijeta.

Površina vanjskih zidova za pojedinu stranu svijeta izračunava se prema izrazu:

$$A_k = l_k h_k - A_{p,i}, \quad (10)$$

gdje je l_k dužina/širina, a h_k visina pojedinog zida ovisno o orijentaciji.

Površina krova određuje se prema sljedećem izrazu:

$$A_k = l_k h_k, \quad (11)$$

gdje je l_k dužina krova, a h_k širina krova.

Za izračunavanje koeficijenta prolaza topline i-tog građevinskog dijela korišten je izraz:

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \sum_{k=1}^k \frac{\delta_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_v}}, \quad (12)$$

gdje je α_u koeficijent prijelaza topline na unutrašnjoj strani, δ_k debljina k-tog građevinskog elementa, λ_k koeficijent toplinske provodnosti k-tog građevinskog elementa, a α_v koeficijent prijelaza topline na vanjskoj strani.

Vanjski zidovi sastoje se od građevinskih elemenata navedenih u Tablici 3.

Koeficijenti toplinske provodnosti odabrani su prema tehničkom propisu o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama [3]

Tablica 3. Debljine i koeficijenti toplinske provodnosti građevinskih elemenata vanjskoga zida

Koeficijent prijelaza topline na unutrašnjoj strani α_u (W/(m ² K))	$\alpha_u =$	7,69
Debljina unutarnje gipsane žbuke δ_1 (m)	$\delta_1 =$	0,02
Toplinska provodnost unutarnje gipsane žbuke λ_1 (W/(mK))	$\lambda_1 =$	0,43
Debljina šupljih blokova od gline δ_2 (m)	$\delta_2 =$	0,25
Toplinska provodnost šupljih blokova od gline λ_2 (W/(mK))	$\lambda_2 =$	0,48
Debljina polimerne hidroizolacije δ_3 (m)	$\delta_3 =$	0,003
Toplinska provodnost polimerne hidroizolacije λ_3 (W/(mK))	$\lambda_3 =$	0,14
Debljina izolacije (EPS) δ_4 (m)	$\delta_4 =$	0,25
Toplinska provodnost izolacije (EPS) λ_4 (W/(mK))	$\lambda_4 =$	0,035
Debljina vanjske vapneno cementne žbuke δ_5 (m)	$\delta_5 =$	0,05
Toplinska provodnost vanjske vapneno cementne žbuke λ_5 (W/(mK))	$\lambda_5 =$	1
Koeficijent prijelaza topline na vanjskoj strani α_v (W/(m ² K))	$\alpha_v =$	20

Koeficijent prolaza topline za vanjske zidove izračunat prema izrazu (12) iznosi:

$$U_{vz} = 0,1256 \text{ W/(m}^2\text{K)}. \quad (13)$$

Ukupna debljina vanjskoga zida iznosi:

$$D_{vz} = 0,573 \text{ m}. \quad (14)$$

Krov se sastoji od građevinskih elemenata navedenih u Tablici 4.

Koeficijenti toplinske provodnosti odabrani su prema tehničkom propisu o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. [3]

Tablica 4. Debljine i koeficijenti toplinske provodnosti građevinskih elemenata krova

Koeficijent prijelaza topline na unutrašnjoj strani α_u (W/(m ² K))	$\alpha_u=$	6
Debljina unutarnje gipsane žbuke δ_1 (m)	$\delta_1=$	0,015
Toplinska provodnost unutarnje gipsane žbuke λ_1 (W/(mK))	$\lambda_1=$	0,43
Debljina armirano betonske ploče δ_2 (m)	$\delta_2=$	0,25
Toplinska provodnost armirano betonske ploče λ_2 (W/(mK))	$\lambda_2=$	2,6
Debljina polimerne bitumenske hidroizolacije δ_3 (m)	$\delta_3=$	0,01
Toplinska provodnost polimerne bitumenske iz. λ_3 (W/(mK))	$\lambda_3=$	0,23
Debljina izolacije (XPS) δ_4 (m)	$\delta_4=$	0,25
Toplinska provodnost izolacije (XPS) λ_4 (W/(mK))	$\lambda_4=$	0,03
Debljina geotekstila (polipropilenski) δ_5 (m)	$\delta_5=$	0,01
Toplinska provodnost geotekstila (polipr.) λ_5 (W/(mK))	$\lambda_5=$	1,13
Debljina šljunka δ_6 (m)	$\delta_6=$	0,08
Toplinska provodnost šljunka λ_6 (W/(mK))	$\lambda_6=$	0,81
Debljina kamenih ploča δ_7 (m)	$\delta_7=$	0,05
Toplinska provodnost kamenih ploča λ_7 (W/(mK))	$\lambda_7=$	2,8
Koeficijent prijelaza topline na vanjskoj strani α_v (W/(m ² K))	$\alpha_v=$	20

Koeficijent prolaza topline krova izračunat prema izrazu (12) iznosi:

$$U_{kr} = 0,1130 \text{ W/(m}^2\text{K)}. \quad (15)$$

Ukupna debljina krova iznosi:

$$D_{kr} = 0,665 \text{ m}. \quad (16)$$

Sada su poznati koeficijenti prolaza topline i površine vanjskih zidova, krova i prozora.

Proračun koeficijenta transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora prema vanjskom okolišu nalazi se u Tablici 5.

Tablica 5. Proračun koeficijenta transmisivnog gubitka topline od grijanog prostora prema vanjskom okolišu

Građevinski element	Strana svijeta	Dužina/Širina l_k (m)	Visina/Širina h_k (m)	Površina A_k (m ²)	U_k (W/(m ² K))	e_k	$A_k U_k e_k$ (W/K)
Zid vanjski	S	20,6	10	203	0,1256	1	25,50
Zid vanjski	J	20,6	10	32,96	0,1256	1	4,14
Zid vanjski	I	14,5	10	112,6	0,1256	1	14,14
Zid vanjski	Z	14,5	10	112,6	0,1256	1	14,14
Krov		20,6	14,5	298,7	0,1130	1	33,75
Prozori	S	0,5	1	3	0,9	1	2,70
Prozori	J	20,6	2,8	173,04	0,9	1	155,74
Prozori	I	2	1,8	32,4	0,9	1	29,16
Prozori	Z	2	1,8	32,4	0,9	1	29,16

Ukupna vrijednost koeficijenta transmisivnog gubitka topline kroz grijane prostore prema vanjskom okolišu iznosi:

$$H_{T,ie} = \sum A_k U_k e_k = 308,43 \text{ W/K.} \quad (17)$$

Koeficijent transmisivnog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu određuje se prema izrazu:

$$H_{T,iue} = \sum A_k U_k b_u + \sum \Psi_l l b_u, \quad (18)$$

gdje je A_k površina k-te plohe kroz koju prolazi toplina, U_k koeficijent prolaza topline za k-ti građevinski element, Ψ_l linijski koeficijent prolaza topline l-tog linijskog toplinskog mosta, l_l dužina l-tog linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije, a b_u faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir temperaturu negrijanog prostora i vanjsku projektnu temperaturu. Faktor b_u odabran je sukladno normi za podrum bez prozora i bez vanjskih vrata i iznosi 0,5.

Zbog pojednostavljenja proračuna zanemarujemo gubitke uzrokovane toplinskim mostovima.

Izraz (18) svodi se stoga na:

$$H_{T,iue} = \sum A_k U_k b_u. \quad (19)$$

Površina poda prema podrumu određena je izrazom:

$$A_k = l_k h_k, \quad (20)$$

gdje je l_k dužina podruma, a h_k širina podruma.

Pod prema podrumu sastoji se od građevinskih elemenata navedenih u Tablici 6.

Koeficijenti toplinske provodnosti odabrani su prema tehničkom propisu o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. [3]

Tablica 6. Debljine i koeficijenti toplinske provodnosti građevinskih elemenata poda prema podrumu

Koeficijent prijelaza topline na unutrašnjoj strani α_u (W/(m ² K))	$\alpha_u =$	6
Debljina parketa δ_1 (m)	$\delta_1 =$	0,025
Toplinska provodnost parketa λ_1 (W/(mK))	$\lambda_1 =$	0,15
Debljina lijepila δ_2 (m)	$\delta_2 =$	0,01
Toplinska provodnost lijepila λ_2 (W/(mK))	$\lambda_2 =$	1
Debljina lagano armirani cementni namaz δ_3 (m)	$\delta_3 =$	0,04
Toplinska provodnost armirano cementnog namaza λ_3 (W/(mK))	$\lambda_3 =$	1,6
Debljina izolacije (EEPS) δ_4 (m)	$\delta_4 =$	0,25
Toplinska provodnost izolacije (EEPS) λ_4 (W/(mK))	$\lambda_4 =$	0,035
Debljina armirano betonska ploča δ_5 (m)	$\delta_5 =$	0,2
Toplinska provodnost armirano betonske ploče λ_5 (W/(mK))	$\lambda_5 =$	2,6
Debljina kompozitne ploče δ_6 (m)	$\delta_6 =$	0,05
Toplinska provodnost kompozitne ploče λ_6 (W/(mK))	$\lambda_6 =$	0,039
Koeficijent prijelaza topline na vanjskoj strani α_v (W/(m ² K))	$\alpha_v =$	10,5

Koeficijent prolaza topline poda prema podrumu izračunat prema izrazu (12) iznosi:

$$U_{pp} = 0,1115 \text{ W/(m}^2\text{K)}. \quad (21)$$

Ukupna debljina poda prema podrumu iznosi:

$$D_{pp} = 0,575 \text{ m}. \quad (22)$$

Sada je poznat koeficijent prolaza topline i površina poda prema podrumu.

Proračun koeficijenta transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu nalazi se u Tablici 7. Proračun je primijenjen za negrijani podrumski prostor.

Tablica 7. Proračun koeficijenta transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani podrumski prostor prema vanjskom okolišu

Građevinski element	Dužina/Širina l_k (m)	Visina/Širina h_k (m)	Površina A_k (m ²)	U_k (W/(m ² K))	b_u	$A_k U_k b_u$ (W/K)
Podrum	20,6	14,5	298,7	0,1115	0,5	16,66

Vrijednost koeficijenta transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu iznosi:

$$H_{T,iue} = \sum A_k U_k b_u = 16,66 \text{ W/K.} \quad (23)$$

Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu $H_{T,ig}$ i koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom prostoru, grijanom na nižu temperaturu $H_{T,ij}$ jednaki su nuli stoga što zgrada ima negrijani podrum te je samostojeća. Tada koeficijent transmisijskih gubitaka H_T iznosi:

$$H_T = H_{T,ie} + H_{T,iue} = 308,43 \text{ W/K} + 16,66 \text{ W/K} = 325,09 \text{ W/K.} \quad (24)$$

Proračunom pomoću izraza (6) dobivene su sljedeće vrijednosti projektnih transmisijskih gubitaka ovisno o gradu:

$$\Phi_T = 11378 \text{ W} \quad \text{za Zagreb,} \quad (25)$$

$$\Phi_T = 7802 \text{ W} \quad \text{za Split,} \quad (26)$$

$$\Phi_T = 14303 \text{ W} \quad \text{za Gospić.} \quad (27)$$

2.1.1.2. Projektni ventilacijski gubitci

Projektni ventilacijski gubitci određeni su izrazom:

$$\Phi_V = H_V (\vartheta_{\text{int}} - \vartheta_e), \quad (28)$$

gdje je H_V koeficijent ventilacijskih gubitaka, ϑ_{int} unutarnja temperatura grijanog prostora, a ϑ_e vanjska projektna temperatura.

Koeficijent ventilacijskih gubitaka određen je sljedećim izrazom:

$$H_V = V_z \rho_z c_{p,z}, \quad (29)$$

gdje je V_z protok zraka u grijani prostor, ρ_z gustoća zraka, a $c_{p,z}$ specifični toplinski kapacitet zraka. Ako je zgrada opremljena sustavom mehaničke ventilacije s povratom topline odnosno rekuperatorom s faktorom korisnosti $\eta_r = 0,75$ protok zraka u grijani prostor određuje se prema sljedećem izrazu:

$$V_z = 0,5V_{\text{inf}} + (1 - \eta_r)V_{\text{su}} + V_{\text{meh,inf}}, \quad (30)$$

gdje je V_{inf} protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazole, η_r faktor korisnosti rekuperatora, V_{su} protok zraka doveden mehaničkom ventilacijom, a $V_{\text{meh,inf}}$ višak odvedenog zraka iz prostorije koji predstavlja razliku između odvedenog i dovedenog protoka zraka u grijani prostor, a čija se minimalna vrijednost uzima jednaka nuli.

Protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazole računa se prema sljedećem izrazu:

$$V_{\text{inf}} = 2V_{\text{int}} n_{50} e_i \varepsilon_i, \quad (31)$$

gdje je V_{int} obujam grijanog zraka, n_{50} broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka 50 Pa, e_i koeficijent zaštićenosti koji uzima u obzir utjecaj vjetrova, odnosno zaštićenost i broj otvora prema vanjskom okolišu, a ε_i korekcijski faktor za visinu, koji uzima u obzir promjenu tlaka s povećanjem visine.

Prema tehničkom propisu o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama [3] obujam grijanog zraka računa se prema izrazu:

$$V_{\text{int}} = 0,76 L_z W_z H_z = 2270 \text{ m}^3, \quad (32)$$

gdje je L_z dužina zgrade, W_z širina zgrade i H_z visina zgrade.

Broj izmjena zraka, pri razlici tlaka od 50 Pa, odabran je sukladno normi i iznosi $n_{50}=1,5$ za visoki stupanj zabrtvljenosti.

Faktor e_i odabran je sukladno normi i iznosi 0,03 za srednje zaštićenu građevinu (građevine okružene drvećem i drugim građevinama) te grijani prostor s više od jednog vanjskog otvora.

Faktor ε_i odabran je sukladno normi i iznosi 1,2 za građevine više od 10 m.

Protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazoru izračunat prema izrazu (31) iznosi:

$$V_{\text{inf}} = 245 \text{ m}^3/\text{h}. \quad (33)$$

Protok zraka doveden mehaničkom ventilacijom V_{su} odabire se prema broju ljudi koji koriste prostoriju te namjeni prostorije. Sukladno normi minimalni broj izmjena zraka n_{min} prostora za boravak ljudi iznosi 0,5. Minimalni higijenski protok zraka tada iznosi:

$$V_{\text{min}} = n_{\text{min}} V_{\text{int}} = 1135 \text{ m}^3/\text{h}, \quad (34)$$

na temelju toga odabrane su vrijednosti: $V_{\text{su}} = 2000 \text{ m}^3/\text{h}$ i $V_{\text{ex}} = 2050 \text{ m}^3/\text{h}$, gdje je V_{ex} protok zraka odveden sustavom mehaničke ventilacije.

Višak odvedenog zraka iz prostorije predstavlja razlika između odvedenog i dovedenog protoka zraka u grijani prostor, stoga se može odrediti sljedećim izrazom:

$$V_{\text{meh,inf}} = V_{\text{ex}} - V_{\text{su}} = 50 \text{ m}^3/\text{h}. \quad (35)$$

Protok zraka u grijani prostor iznosi:

$$V_z = 0,5V_{\text{inf}} + (1 - \eta_r)V_{\text{su}} + V_{\text{meh,inf}} = 673 \text{ m}^3/\text{h}, \quad (36)$$

koeficijent ventilacijskih gubitaka tada iznosi:

$$H_V = V_z \rho_z c_{p,z} = 223,36 \text{ W/K}, \quad (37)$$

uz pretpostavku gustoće zraka ρ_z iznosa 1.188 kg/m^3 i specifičnog toplinskog kapaciteta $c_{p,z}$ iznosa 1006 J/(kgK) .

Proračunom prema izrazu (28) dobiveni su sljedeći projektni ventilacijski gubitci ovisno o gradu:

$$\Phi_V = 7802 \text{ W} \quad \text{za Zagreb}, \quad (38)$$

$$\Phi_V = 5360 \text{ W} \quad \text{za Split}, \quad (39)$$

$$\Phi_V = 9827 \text{ W} \quad \text{za Gospić}. \quad (40)$$

2.1.1.3. Dodatni toplinski učinak potreban za zagrijavanje grijanog prostora kod intermitentnog načina grijanja

Prostori s prekidom grijanja zahtijevaju dodatnu toplinu za zagrijavanje do projektne unutarnje temperature grijanog prostora. Dodatni toplinski učinak određuje se prema izrazu:

$$\Phi_{RH} = Ai f_{RH}, \quad (41)$$

gdje je Ai ukupna površina poda, a f_{RH} korekcijski faktor za noćni prekid grijanja. Faktor f_{RH} sukladno normi iznosi 4 za stambenu građevinu s noćnim prekidom grijanja od 8 sati i padom temperature od 1 K.

Ukupna površina poda iznosi:

$$Ai = N_e L_z W_z = 896 \text{ m}^2, \quad (42)$$

gdje je N_e broj etaža, L_z dužina zgrade i W_z širina zgrade.

Dodatni toplinski učinak potreban za zagrijavanje grijanog prostora kod intermitentnog načina grijanja onda iznosi:

$$\Phi_{RH} = Ai f_{RH} = 3584 \text{ W}. \quad (43)$$

2.1.2. Iznosi toplinskog opterećenja za tri klimatska podneblja (kontinentalno, primorsko i gorsko)

Toplinski proračun proveden je za tri klimatska podneblja kontinentalno, gorsko i primorsko, odnosno za Zagreb, Gospić i Split kao veće gradove u tim podnebljima. Vrijednosti prema izrazu (5) za navedene gradove sljedeći su:

$$\Phi_{HL} = 22780 \text{ W} \quad \text{za Zagreb}, \quad (44)$$

$$\Phi_{HL} = 16747 \text{ W} \quad \text{za Split}, \quad (45)$$

$$\Phi_{HL} = 27716 \text{ W} \quad \text{za Gospić}. \quad (46)$$

Razlika za pojedine gradove može biti i do 10969 W, to predstavlja bitnu razliku prilikom dimenzioniranja opreme i cijene same opreme.

2.2. HRN EN 832 Toplinske značajke zgrada -- Proračun potrebne energije za grijanje -- Stambene zgrade

Toplinski proračun proveden je za tri klimatska podneblja: kontinentalno, gorsko i primorsko. Odnosno za Zagreb, Gospić i Split kao veće gradove u tim podnebljima.

2.2.1. EN 832 Zagreb

Potrebna toplinska energija za grijanje određena je izrazom:

$$Q_h = Q_l - \eta_g Q_g, \quad (47)$$

gdje je Q_l ukupni toplinski gubitak tijekom perioda t , η_g faktor iskoristivosti toplinskih dobitaka, a Q_g toplinski dobitak.

Ukupni toplinski gubitci tijekom vremenskog perioda t iznose:

$$Q_l = (H_T + H_V) (\vartheta_{\text{int}} - \vartheta_{\text{es}}) t, \quad (48)$$

gdje je H_T koeficijent transmisijskog gubitka, H_V koeficijent ventilacijskog gubitka, ϑ_{int} unutarnja temperatura grijanog prostora koja iznosi 20 °C, ϑ_{es} srednja vanjska temperatura tijekom perioda t . Proveden je mjesečni toplinski proračun tako da vremenski period t predstavlja period od jednog mjeseca.

Faktor iskoristivosti toplinskih dobitaka određuje se prema izrazu:

$$\eta_g = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}}, \quad (49)$$

gdje je γ omjer toplinskih dobitaka i gubitaka, a a numerički parametar.

Omjer toplinskih dobitaka i gubitaka određen je izrazom:

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_l}, \quad (50)$$

a numerički parametar:

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0}. \quad (51)$$

Vrijednost parametra a_0 iznosi 1, a vrijednost referentne vremenske konstante τ_0 iznosi 16 h za mjesečnu metodu proračuna sukladno normi.

Vremenska konstanta određuje se prema izrazu:

$$\tau = \frac{C}{H_T + H_V}, \quad (52)$$

gdje je C efektivni toplinski kapacitet, H_T koeficijent transmisivskih gubitaka, a H_V koeficijent ventilacijskih gubitaka. Efektivni toplinski kapacitet izračunat je sukladno normi i njegova vrijednost iznosi 180904700 J/K.

Vremenska konstanta izračunata prema izrazu (52) onda iznosi:

$$\tau = 91,62 \text{ h}, \quad (53)$$

a numerički parametar izračunat prema izrazu (51) iznosi:

$$a = 6,73. \quad (54)$$

Toplinski dobitci određuju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_g = Q_i + Q_{sol}, \quad (55)$$

gdje su Q_i unutarnji toplinski dobitci, a Q_{sol} toplinski dobitci od sunčevog zračenja.

Unutarnji toplinski dobitci određeni su izrazom:

$$Q_i = 2,5 A_{kpp} \text{ (W)} \quad (56)$$

gdje je A_{kpp} korisna površina poda. Energija dobivena tijekom mjesec dana od unutarnjih izvora energije iznosi:

$$Q_i = 1308 \text{ kWh/mj.} \quad (57)$$

Toplinski dobitci od sunčevog zračenja određeni su sljedećim izrazom:

$$Q_{sol} = A_{sol,i} H_{sol,i}, \quad (58)$$

gdje je $A_{sol,i}$ efektivna površina ostakljenog dijela i -te strane svijeta, a $H_{sol,i}$ globalno sunčevo zračenje i -te strane svijeta.

Efektivna površina ostakljenog dijela i -te strane svijeta određuje se prema izrazu:

$$A_{sol,i} = A_{p,i} F_s F_c F_F g_{tot}, \quad (59)$$

gdje je $A_{p,i}$ površina prozora na i -toj strani svijeta, F_s faktor zasjenjenja, F_c faktor umanjenja naprave za zaštitu od sunčevog zračenja, F_F faktor okvira, a g_{tot} stupanj propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje.

Faktor zasjenjenja određen je izrazom:

$$F_s = F_h F_o F_f, \quad (60)$$

gdje je F_h faktor djelomičnog zasjenjenja za obzor, F_o faktor djelomičnog zasjenjenja za nadstrešnice, a F_f faktor djelomičnog zasjenjenja za bočne zaslone. Sukladno normi faktor djelomičnog zasjenjenja za obzor pretpostavljen je u iznosu od 0,7, faktor djelomičnog zasjenjenja za nadstrešnice pretpostavljen je u iznosu od 1 i faktor djelomičnog zasjenjenja za bočne zaslone pretpostavljen je u iznosu od 1. Time je dobivena vrijednost faktor zasjenjenja prema izrazu (60) u iznosu od:

$$F_s = 0,7. \quad (61)$$

Faktor umanjenja naprave za zaštitu od sunčevog zračenja sukladno normi za prostor bez naprave za zaštitu od sunčevog zračenja iznosi:

$$F_c = 1. \quad (62)$$

Faktor okvira sukladno normi iznosi:

$$F_F = 0,9. \quad (63)$$

Stupanj propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje određuje se prema izrazu:

$$g_{\text{tot}} = F_w g_o, \quad (64)$$

gdje je F_w faktor umanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja, a g_o faktor propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje za slučaj okomitog upada sunčevog zračenja.

Faktor umanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja iznosi 0,9 sukladno normi. Faktor propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje za slučaj okomitog upada sunčevog zračenja iznosi 0.5 prema tehničkom propisu o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. [3] Stupanj propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje tada iznosi:

$$g_{\text{tot}} = 0,45. \quad (65)$$

Vrijednosti efektivne površine ostakljenog dijela i -te strane svijeta izračunati prema izrazu (59) nalaze se u Tablici 8.

Tablica 8. Vrijednosti efektivnih površina ostakljenih dijelova

Strana svijeta	Sjever	Jug	Istok	Zapad
$A_{\text{sol},i}$	0,79 m ²	49,06 m ²	8,50 m ²	8,50 m ²

Vrijednosti globalnog sunčevog zračenja i-te strane svijeta, prema tehničkom propisu o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (prilog E), navedene su u Tablici 9.[3]

Tablica 9. Vrijednosti globalnog sunčevog zračenja

Mjesec	Globalno sunčevo zračenje $H_{sol,i}$ (MJ/m ²)			
	nagib 90° S	nagib 90° J	nagib 90° I	nagib 90° Z
1	51	166	87	87
2	73	227	136	136
3	125	307	238	238
4	163	309	319	319
5	206	315	396	396
6	214	299	410	410
7	214	324	435	435
8	186	339	383	383
9	135	349	295	295
10	96	324	201	201
11	56	180	97	97
12	41	119	64	64
Suma	1560	3258	3061	3061

Toplinski dobitci od sunčevog zračenja izračunati prema izrazu (58) navedeni su u Tablici 10.

Tablica 10. Toplinski dobitci od sunčevog zračenja

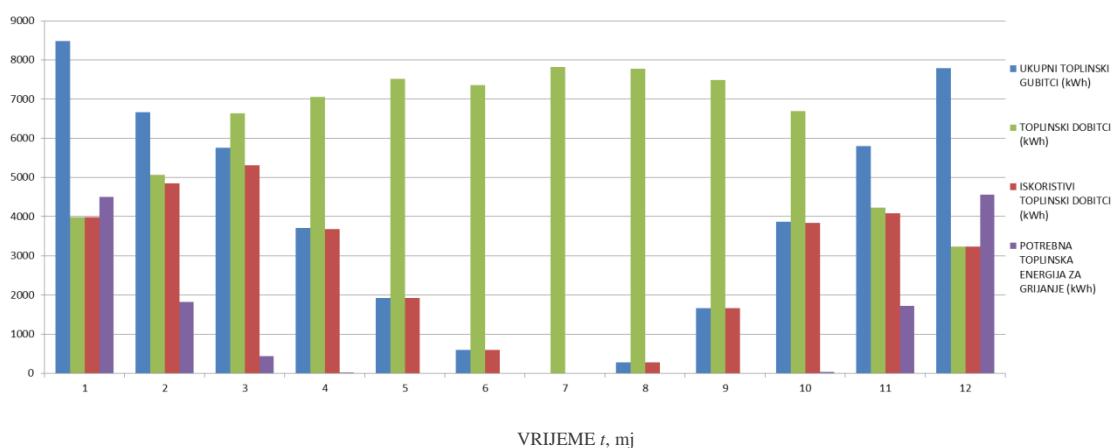
Mjesec	Toplinski dobitci od sunčevog zračenja Q_{sol} (MJ)				Ukupno (MJ)	Ukupno (kWh)
	nagib 90° S	nagib 90° J	nagib 90° I	nagib 90° Z		
1	40	8143	738	738	9660	2683
2	57	11136	1154	1154	13502	3750
3	98	15060	2020	2020	19199	5332
4	128	15159	2707	2707	20702	5750
5	162	15453	3361	3361	22337	6204
6	168	14668	3480	3480	21796	6054
7	168	15894	3692	3692	23447	6512
8	146	16630	3251	3251	23278	6466
9	106	17121	2504	2504	22234	6176
10	75	15894	1706	1706	19382	5383
11	44	8830	823	823	10521	2922
12	32	5838	543	543	6956	1932
Suma	1226	159827	25980	25980	213012	59170

Vrijednosti potrebne toplinske energije za grijanje izračunate prema izrazu (47) nalaze se u Tablici 11.

Tablica 11. Potrebna toplinska energija za grijanje ZAGREB

Mjesec	Broj dana u mj.	Srednja mj. temperatura (°C)	Q_1 (kWh)	Q_g (kWh)	γ	η_g	$\eta_g Q_g$	Q_h (kWh)
1	31	-0,80	8487	3992	0,47	1,00	3978	4509
2	28	1,90	6671	5059	0,76	0,96	4843	1828
3	31	5,90	5753	6641	1,15	0,80	5316	437
4	30	10,60	3712	7059	1,90	0,52	3688	24
5	31	15,30	1918	7513	3,92	0,26	1918	0
6	30	18,50	592	7363	12,43	0,08	592	0
7	31	20,10	0	7821	0	0	0	0
8	31	19,30	286	7774	27,22	0,04	286	0
9	30	15,80	1659	7485	4,51	0,22	1658	0
10	31	10,50	3876	6692	1,73	0,57	3834	42
11	30	5,30	5805	4231	0,73	0,96	4081	1724
12	31	0,90	7794	3241	0,42	1,00	3235	4558
	Suma	10,28	46553	74870			33431	13121

Grafički prikaz rezultata iz Tablice 11. nalazi se na Slici 1. Dijagrami pojedinih vrijednosti u usporedbi s drugim gradovima mogu se vidjeti u dijelu 2.2.4.



Slika 1. Dijagram ukupnih toplinskih gubitaka Q_1 , toplinskih dobitaka Q_g , iskoristivih toplinskih dobitaka $\eta_g Q_g$ i potrebne toplinske energije za grijanje Q_h tijekom godine za grad Zagreb

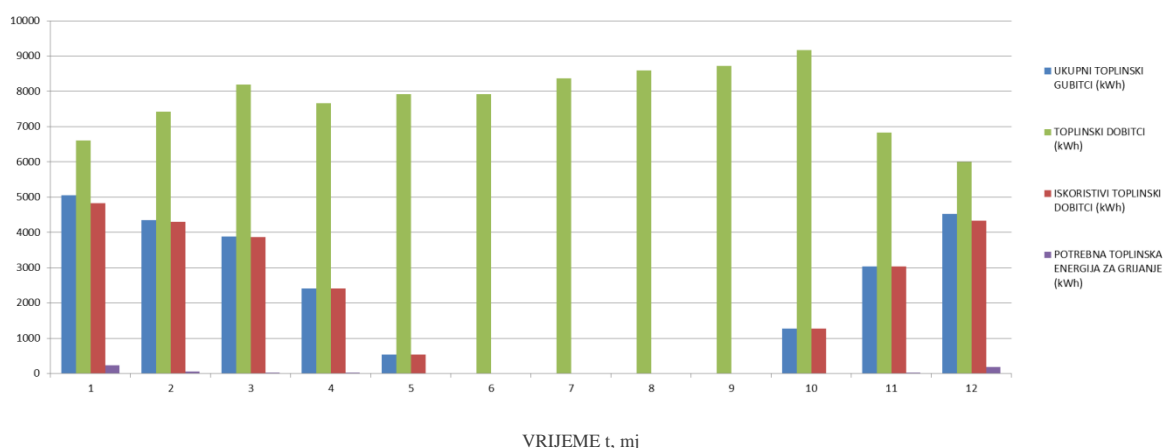
2.2.2. EN 832 Split

Za Split se provodi identičan proračun kao za grad Zagreb pa je ovdje prikazan samo krajnji rezultat u obliku Tablice 12.

Tablica 12. Potrebna toplinska energija za grijanje SPLIT

Mjesec	Broj dana u mj.	Srednja mj. temperatura (°C)	Q_l (kWh)	Q_g (kWh)	γ	η_g	$\eta_g Q_g$	Q_h (kWh)
1	31	7,60	5060	6609	1,31	0,73	4834	225
2	28	8,20	4349	7426	1,71	0,58	4299	50
3	31	10,50	3876	8185	2,11	0,47	3863	13
4	30	13,90	2409	7662	3,18	0,31	2408	0,7
5	31	18,70	530	7925	14,94	0,07	530	0
6	30	22,50	0	7924	0	0	0	0
7	31	25,40	0	8373	0	0	0	0
8	31	24,90	0	8585	0	0	0	0
9	30	21,40	0	8718	0	0	0	0
10	31	16,90	1265	9165	7,23	0,14	1265	0
11	30	12,30	3041	6830	2,25	0,44	3033	7
12	31	8,90	4529	5990	1,32	0,72	4339	190
	Suma	15,93	25059	93392			24572	487

Grafički prikaz rezultata iz Tablice 12. nalazi se na Slici 2. Dijagrami pojedinih vrijednosti u usporedbi s drugim gradovima mogu se vidjeti u dijelu 2.2.4.



Slika 2. Dijagram ukupnih toplinskih gubitaka Q_l , toplinskih dobitaka Q_g , iskoristivih toplinskih dobitaka $\eta_g Q_g$ i potrebne toplinske energije za grijanje Q_h tijekom godine za grad Split

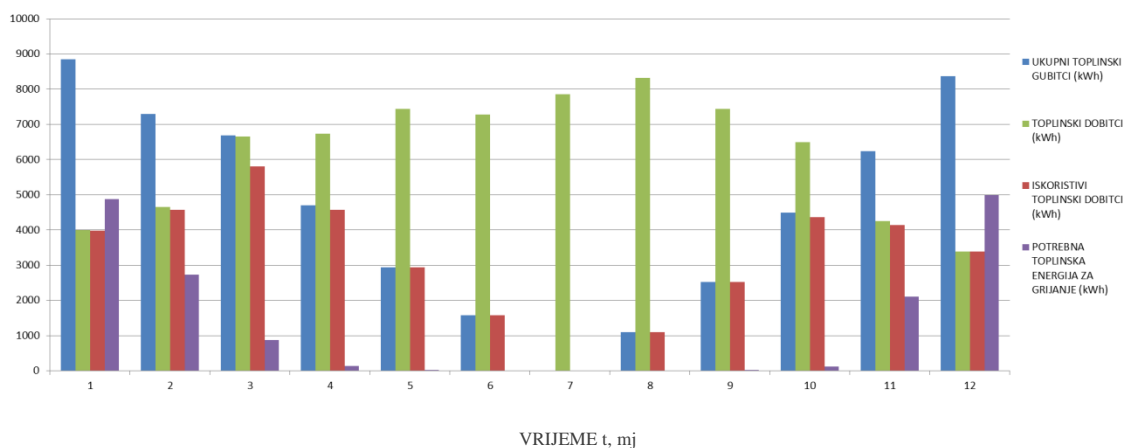
2.2.3. EN 832 Gospić

Za Gospić se provodi identičan proračun kao za grad Zagreb pa je ovdje prikazan samo krajnji rezultat u obliku Tablice 13.

Tablica 13. Potrebna toplinska energija za grijanje GOSPIĆ

Mjesec	Broj dana u mj.	Srednja mj. temperatura (°C)	Q_l (kWh)	Q_g (kWh)	γ	η_g	$\eta_g Q_g$	Q_h (kWh)
1	31	-1,70	8855	3988	0,45	1,00	3978	4876
2	28	0,20	7297	4658	0,64	0,98	4573	2724
3	31	3,60	6692	6661	0,99	0,87	5812	879
4	30	8,10	4699	6734	1,43	0,68	4564	134
5	31	12,80	2938	7441	2,53	0,39	2934	3
6	30	16,00	1580	7285	4,61	0,22	1579	0
7	31	18,10	0	7850	0	0	0	0
8	31	17,30	1102	8322	7,55	0,13	1102	0
9	30	13,60	2527	7435	2,94	0,34	2526	1
10	31	9,00	4489	6492	1,45	0,67	4366	122
11	30	4,20	6239	4245	0,68	0,97	4138	2101
12	31	-0,50	8365	3388	0,41	1,00	3383	4981
	Suma	8,39	54782	74499			38956	15825

Grafički prikaz rezultata iz Tablice 13. nalazi se na Slici 3. Dijagrami pojedinih vrijednosti u usporedbi s drugim gradovima mogu se vidjeti u dijelu 2.2.4.

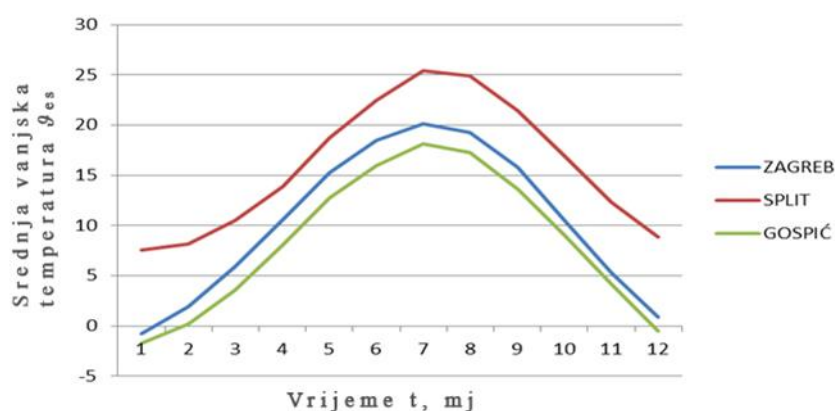


Slika 3. Dijagram ukupnih toplinskih gubitaka Q_l , toplinskih dobitaka Q_g , iskoristivih toplinskih dobitaka $\eta_g Q_g$ i potrebne toplinske energije za grijanje Q_h tijekom godine za grad Gospić

2.2.4. EN 832 Usporedba rezultata proračuna

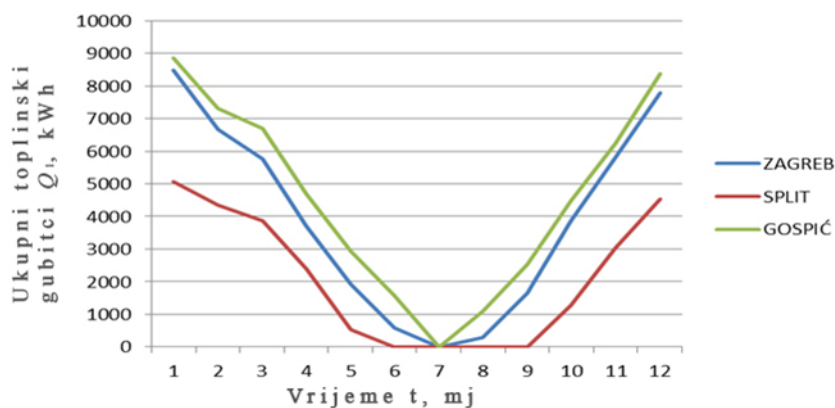
Dobiveni rezultati proračuna, iz poglavlja 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3. uspoređeni su dijagramima i tablicama za tri podneblja Hrvatske: kontinentalno, gorsko i primorsko, odnosno za Zagreb, Gospić i Split kao veće gradove u tim podnebljima.

Kao što se vidi na Slici 4. srednje mjesečne temperature bitno se razlikuju za navedene gradove, a o njima direktno ovisi konačna vrijednost potrebne toplinske energije za grijanje. Tijekom prosinca, siječnja i veljače srednja vanjska temperatura u Splitu ne opada tako naglo kao u Zagrebu i Gospiću te se zadržava na višim vrijednostima.



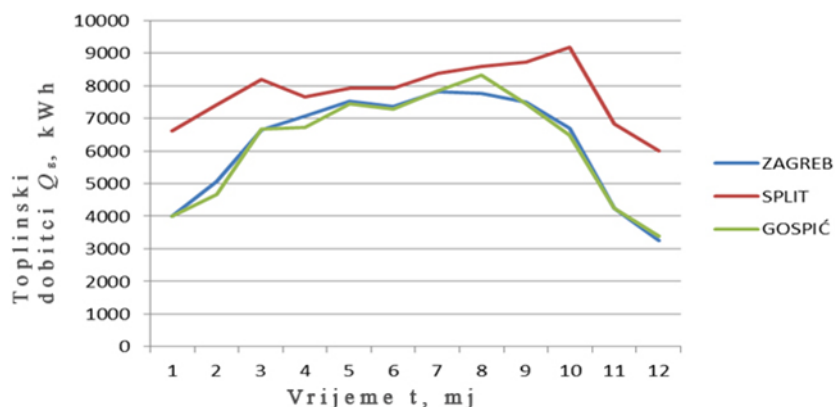
Slika 4. Dijagram srednje vanjske mjesečne temperature tijekom godine

Na Slici 5. prikazana je razlika između ukupnih toplinskih gubitaka za navedene gradove. Vidljivo je povećanje razlike ukupnih toplinskih gubitaka između Splita i druga dva grada tijekom prosinca, siječnja i veljače. Razlog tome su više srednje vanjske temperature.



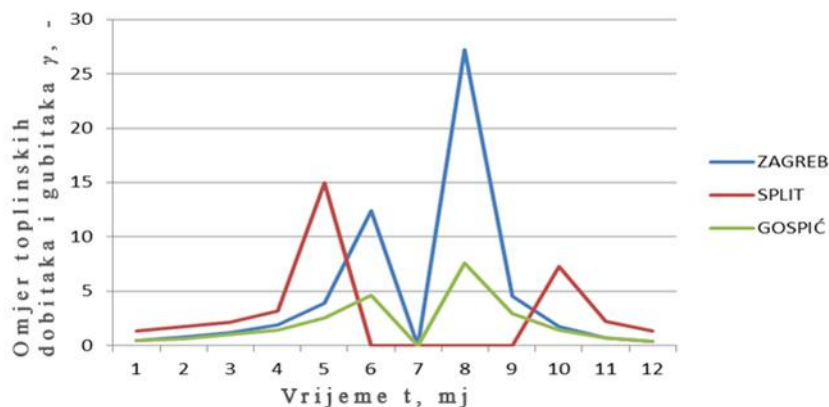
Slika 5. Dijagram ukupnih toplinskih gubitaka tijekom godine

Dijagram na Slici 6. prikazuje mjesečne toplinske dobitke za navedene gradove tijekom godine. Toplinski dobitci u Splitu, naspram Zagreba i Gospića, značajno su veći pogotovo u prosincu, siječnju i veljači što je posljedica intenzivnijeg globalnog sunčevog zračenja.



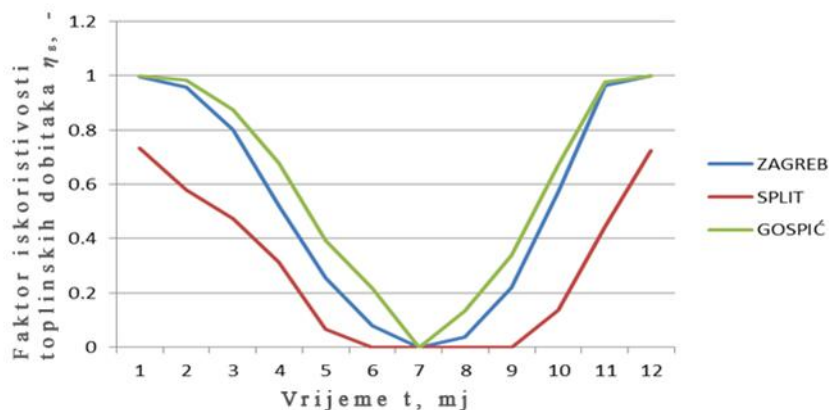
Slika 6. Dijagram toplinskih dobitaka tijekom godine

Dijagram na Slici 7. prikazuje omjer mjesečnih toplinskih dobitaka i gubitaka tijekom godine. Zbog malih ukupnih toplinskih gubitaka, a razmjerno velikih toplinskih dobitaka nastaju vrhovi u dijagramu za grad Zagreb. U Splitu ih nema jer su ukupni toplinski gubitci jednaki nuli, odnosno nema grijanja. Za dijagram grada Gospića vrhovi nisu toliko izraženi zbog manjeg omjera toplinskih dobitaka i gubitaka odnosno većih potreba za grijanjem.



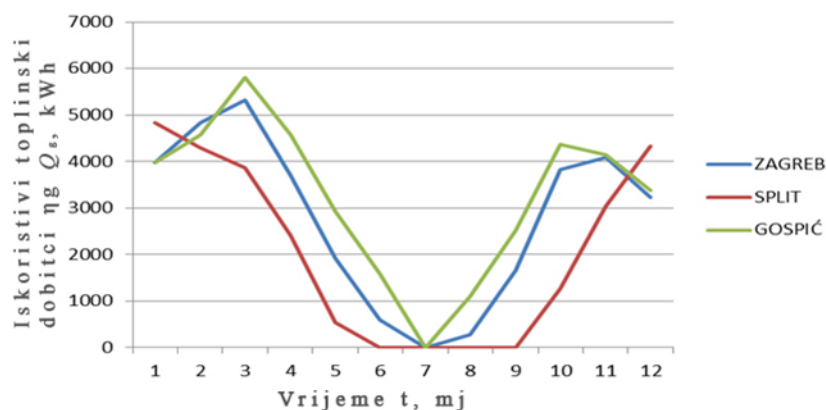
Slika 7. Dijagram omjera toplinskih dobitaka i gubitaka tijekom godine

Vrijednosti faktora iskoristivosti toplinskih dobitaka nalaze se na Slici 8. Na ovom se dijagramu vidi da u Splitu ni u najhladnijim mjesecima (prosinac, siječanj, veljača) nisu iskorišteni svi toplinski dobitci. Razlog tomu je što čak i u najhladnijim mjesecima toplinski dobitci premašuju ukupne toplinske gubitke, odnosno $\gamma > 1$ što se vidi iz Tablice 12.



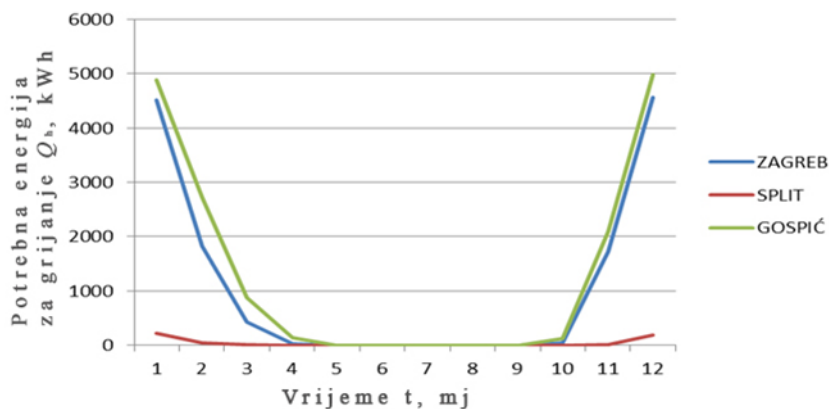
Slika 8. Dijagram faktora iskoristivosti toplinskih dobitaka tijekom godine

Dijagram na Slici 9. prikazuje umnožak toplinskih dobitaka i faktora iskoristivosti toplinskih dobitaka tijekom godine. U Zagrebu i Gospiću tijekom najhladnijih mjeseci dolazi do pada vrijednosti ukupno iskorištenih toplinskih dobitaka stoga što je vrijednost toplinskih dobitaka mala. U Splitu, unatoč tome što je faktor iskoristivosti toplinskih dobitaka niži od ostala dva grada, ukupno se iskoristi više toplinskih dobitaka tijekom prosinca, siječnja i veljače. Razlog tomu jest viša vrijednost globalnog sunčevog zračenja, pogotovo u prethodno navedenim mjesecima, naspram ostala dva grada.



Slika 9. Dijagram iskoristivih toplinskih dobitaka u ovisnosti tijekom godine

Dijagram na Slici 10. prikazuje potrebnu toplinsku energiju za grijanje u navedenim gradovima tijekom godine. Razlika potrebne toplinske energije za grijanje je velika između Splita i druga dva grada. Posljedica toga razlike su u temperaturi i globalnom sunčevom zračenju naspram ostala dva grada.



Slika 10. Dijagram potrebne toplinske energije za grijanje tijekom godine

Tablica 14. prikazuje usporedbu vrijednosti pojedinih parametara toplinskog proračuna na razini godine dana za navedene gradove.

Tablica 14. Usporedba vrijednosti pojedinih parametara toplinskog proračuna

	ZAGREB	SPLIT	GOSPIĆ
Srednja vanjska temperatura tijekom perioda $t_{g_{es}}$	10.28 °C	15.93 °C	8.39 °C
Ukupni toplinski gubitci Q_l	46552 kWh	25059 kWh	54782 kWh
Toplinski dobitci Q_g	74869 kWh	93392 kWh	74498 kWh
Iskoristivi toplinski dobitci $\eta_g Q_g$	33431 kWh	24571 kWh	38956 kWh
Omjer toplinskih dobitaka i gubitaka γ	1,61	3,73	1,36
Potrebna toplinska energija za grijanje Q_h	13121 kWh	487 kWh	15826 kWh
Specifična potrošnja energije za grijanje E_s	18,3 kWh/m ²	0.7 kWh/m ²	22,8 kWh/m ²

2.3. Potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne tople vode

Potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne tople vode određuje se prema izrazu:

$$Q_w = V_w \rho_w c_w (\vartheta_{wt} - \vartheta_{wh}), \quad (66)$$

gdje je V_w godišnja potrošnja tople vode, ρ_w gustoća vode, c_w specifični toplinski kapacitet tople vode, ϑ_{wt} temperatura tople vode, ϑ_{wh} temperatura hladne vode. Ako se pretpostavi da dnevno jedna osoba potroši oko 40 l tople vode tada godišnja potrošnja za stambenu građevinu u proračunu u kojoj stanuje 30 osoba iznosi:

$$V_w = 438 \text{ m}^3. \quad (67)$$

Uz pretpostavku temperature hladne vode od 10°C, a tople vode 60°C i toplinskog kapaciteta vode 4187 J/kgK, iznos godišnje potrebne toplinske energije za zagrijavanje potrošne tople vode je:

$$Q_w = 25428 \text{ kWh}. \quad (68)$$

3. IZVORI TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

U sljedećim poglavljima prikazana je analiza pojedinog izvora toplinske, odnosno električne energije stambene građevine.

3.1. Izvori toplinske energije

Ukupno potrebna toplinska energija dobivena od goriva može se uz pretpostavku centralnog grijanja stambene građevine odrediti prema izrazu:

$$Q_H = \frac{Q_h + Q_w}{\eta_{cr} \eta_k}, \quad (69)$$

gdje je Q_h potrebna toplinska energija za grijanje, Q_w potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošene tople vode, η_{cr} stupanj korisnosti cijevnog razvoda, a η_k stupanj korisnosti kotla. Vrijednost stupnja korisnosti cijevnog razvoda iznosi 90%, a stupanj iskoristivosti kotla ovisi o odabranom kotlu. Kao izvor toplinske energije, zbog uvjeta nultih emisija CO₂, odabran je kotao na biomasu, a za usporedbu proveden je i proračun s kondenzacijskim plinskim kotlom. Vrijednosti pojedinih uspoređenih parametara poput cijene kotla prema [8,12], specifične cijene goriva prema [10,11] i stupnja iskoristivosti kotla, određenog prema donjoj ogrjevnoj vrijednosti [13], nalaze se u Tablici 15. Vrijednosti ukupno potrebne toplinske energije dobivene od goriva, određene prema izrazu (69), nalaze se u Tablici 16. Ovakva postrojenja mogu osigurati toplinu za grijanje i potrošnju tople vode tijekom cijele godine bez obzira na vanjske uvijete.

Tablica 15. Usporedba specifične cijene biomase i prirodnog plina

	Biomasa	Prirodni plin
Cijena kotla C_k	30000 kn	20295 kn
Specifična cijena C_s	0.326 kn/kWh	0.276 kn/kWh
Stupanj iskoristivosti kotla η_k	90%	108%

Tablica 16. Usporedba ukupno potrebne toplinske energije dobivene od goriva i cijene goriva

	Biomasa			Prirodni plin		
	Zagreb	Split	Gospić	Zagreb	Split	Gospić
Ukupno potrebna toplinska energija Q_H (kWh)	47460	31906	50790	39550	26588	42325
Cijena goriva C_f (kn)	15483	10409	16570	10915	7338	11681

3.2. Izvori električne energije

Prosječna godišnja potrošnja električne energije kućanstva u Hrvatskoj iznosi 4374 kWh, a broj osoba kućanstva iznosi 3.[4]

Procijenjeno je da će kućanstva u ovakvoj zgradi trošiti manje električne energije nego prosječno hrvatsko kućanstvo, zbog nepostojanja potrebe za električnim grijalicama, smanjenju potreba za hlađenjem radi rekuperatora, efikasnoj rasvjeti itd., pa je stoga upotrijebljen faktor u iznosu od 0,8.

Za stambenu građevinu u proračunu, uz faktor 0,8, dobivamo godišnju potrošnju električne energije:

$$E_{el,g} = 34992 \text{ kWh.} \quad (70)$$

Iz izraza (70) vidi se da je potrebno proizvesti 34992 kWh električne energije da se zadovolji uvjet nultih emisija CO₂. To se može ostvariti putem fotonaponskih ćelija odnosno fotonaponskim sustavom kako je prikazano u Tablici 17.

Električna energija proizvedena fotonaponskim sustavom određena je izrazom:

$$E_{el,fs} = H_{sol} \eta_{fs}, \quad (71)$$

gdje je H_{sol} globalno sunčevo zračenje, a η_{fs} ukupni stupanj korisnosti fotonaponskog sustava.

Vrijednost ukupnog stupnja korisnosti fotonaponskog sustava prema [5] iznosi:

$$\eta_{fs} = 13\%. \quad (72)$$

Na krovu je instalirano 240 m² fotonaponskih modula nazivne snage 35 kW. [5] Električna energija koju proizvode moduli ovisi prema izrazu (71) o vrijednosti globalnog sunčevog zračenja. Vrijednosti globalnog sunčevog zračenja navedene su u Tablici 17. prema tehničkom propisu o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (prilog E). [3] Vrijednosti električne energije koju proizvode fotonaponski moduli tijekom godine navedene su u Tablici 18. Električna energija proizvedena fotonaponskim sustavom tijekom godine dana, u sva je tri grada veća od godišnje potrošnje električne energije zgrade, time je uvjet nultih emisija CO₂ za ovaj izvor energije zadovoljen.

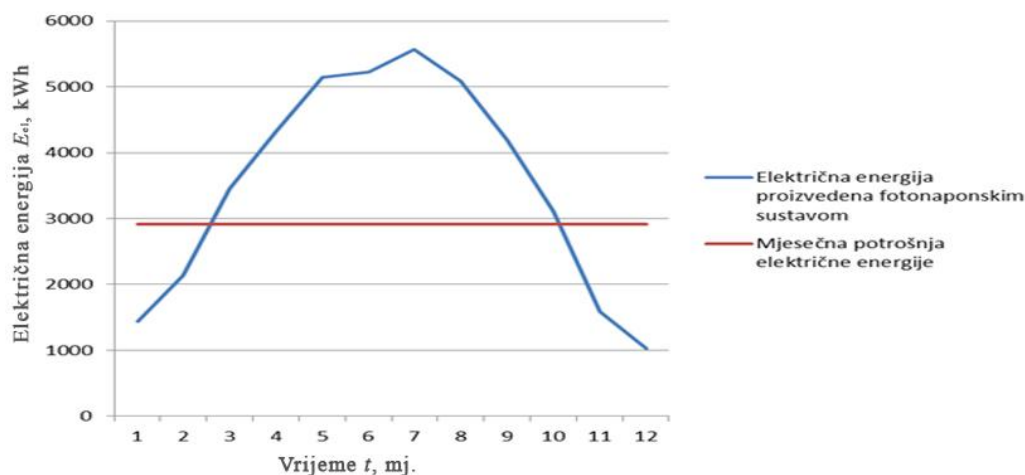
Tablica 17. Globalno sunčevo zračenje za nagib 30° prema jugu

Globalno sunčevo zračenje H_{sol} (MJ/m ²)			
	Zagreb	Split	Gospić
	nagib 30° J	nagib 30° J	nagib 30° J
1	166	309	153
2	246	390	210
3	398	518	386
4	498	565	468
5	593	657	597
6	603	699	611
7	642	738	666
8	587	685	646
9	484	591	468
10	359	520	327
11	183	328	171
12	119	268	118
Suma	4878	6268	4821

Tablica 18. Električna energija proizvedena fotonaponskim sustavom tijekom godine

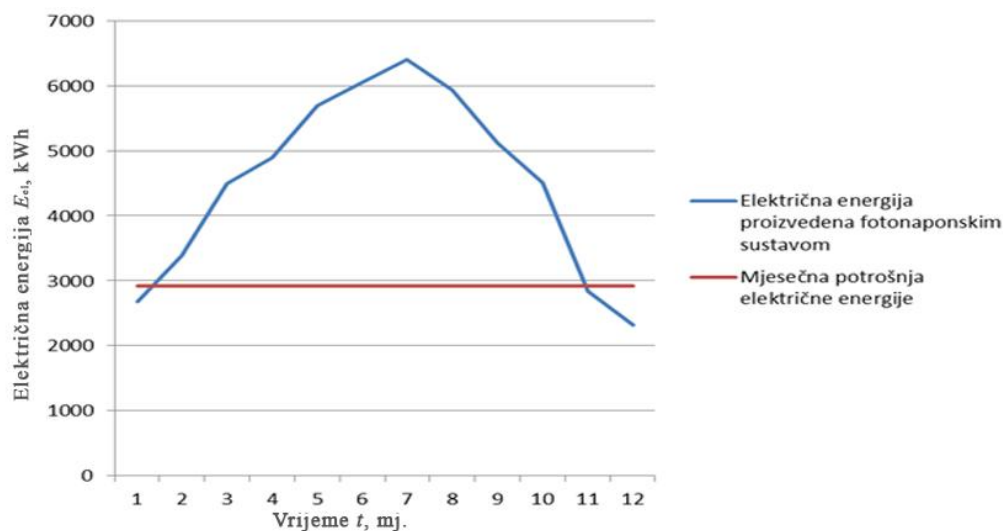
Električna energija proizvedena fotonaponskim sustavom $E_{el,fs}$ (kWh)			
	Zagreb	Split	Gospić
	nagib 30° J	nagib 30° J	nagib 30° J
1	1439	2678	1326
2	2132	3381	1820
3	3450	4490	3346
4	4317	4898	4057
5	5140	5695	5175
6	5227	6059	5297
7	5565	6398	5773
8	5088	5938	5600
9	4196	5123	4057
10	3112	4508	2834
11	1586	2843	1482
12	1031	2323	1022
Suma	42289	54340	41795

Dijagram na Slici 11. prikazuje razliku između potrošnje i proizvodnje električne energije zgrade u gradu Zagrebu. Kao što se vidi iz dijagrama od kraja 10-og mjeseca do sredine 2-og mjeseca potrošnja je veća nego mogućnost proizvodnje električne energije.



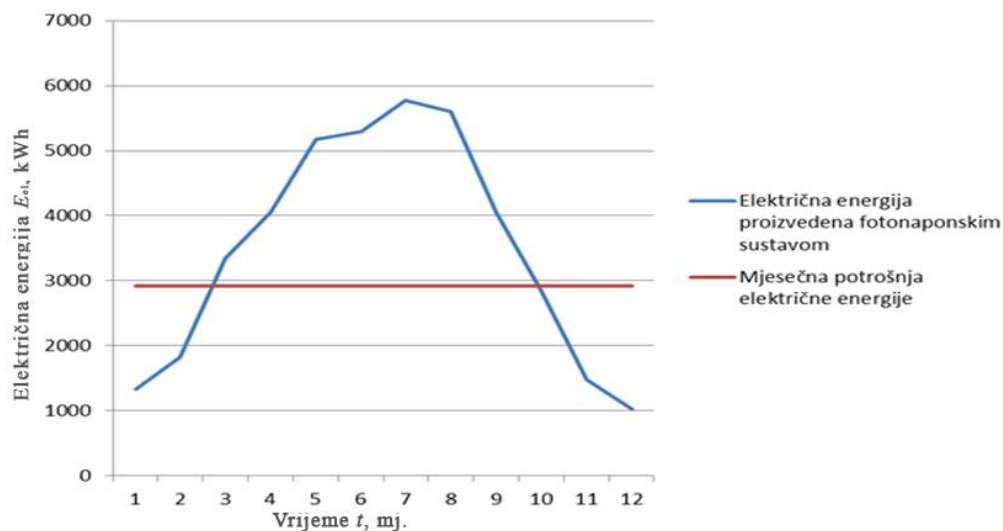
Slika 11. Dijagram potrošnje i proizvodnje električne energije zgrade u Zagrebu tijekom godine

Dijagram na Slici 12. prikazuje razliku između potrošnje i proizvodnje električne energije zgrade u gradu Splitu. Samo tijekom studenog, prosinca i siječnja električna energija proizvedena fotonaponskim sustavom nije dovoljna da pokrije potrošnju električne energije.



Slika 12. Dijagram potrošnje i proizvodnje električne energije zgrade u Splitu tijekom godine

Dijagram na Slici 13. prikazuje razliku između potrošnje i proizvodnje električne energije zgrade u gradu Gospiću. Kao što se vidi iz dijagrama od kraja 10-og mjeseca do sredine 2-og mjeseca potrošnja je veća nego mogućnost proizvodnje električne energije.



Slika 13. Dijagram potrošnje i proizvodnje električne energije zgrade u Gospiću tijekom godine

4. EKONOMSKA ANALIZA

Vrijeme povrata investicije izračunato je na najjednostavniji način kao omjer investicijskih troškova i godišnjih ušteda ostvarenih investicijom. Odnosno prema izrazu:

$$PI = \frac{I}{GU} \quad (73)$$

gdje je PI vrijeme povrata investicije, I investicija, a GU godišnja ušteda ostvarena investicijom.

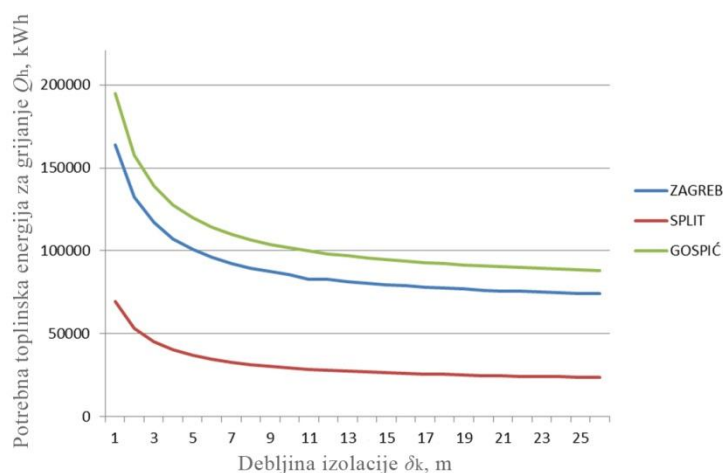
4.1. Ekonomska analiza toplinske izolacije

Pri ekonomskoj analizi toplinske izolacije proračun je proveden bez rekuperatora i s normalnim prozorima, koeficijenta prolaza topline u iznosu od 2 W/m²K. Za taj slučaj iznos potrebne toplinske energije za grijanje u ovisnosti o debljini izolacije prikazan je u Tablici 19.

Tablica 19. Vrijednosti potrebne toplinske energije za grijanje u ovisnosti o debljini izolacije

	Zagreb	Split	Gospić		Zagreb	Split	Gospić
δ_k (m)	Q_h (kWh)			δ_k (m)	Q_h (kWh)		
0	163940	69536	194824	0,13	80463	26877	95709
0,01	132568	53253	157579	0,14	79574	26440	94653
0,02	116893	45200	138966	0,15	78785	26054	93718
0,03	107327	40325	127606	0,16	78082	25710	92883
0,04	100834	37037	119897	0,17	77450	25401	92133
0,05	96123	34664	114302	0,18	76880	25123	91456
0,06	92540	32868	110048	0,19	76362	24870	90842
0,07	89720	31460	106700	0,20	75890	24641	90281
0,08	87442	30326	103995	0,21	75458	24430	89769
0,09	85561	29392	101761	0,22	75061	24237	89297
0,10	82635	28611	99886	0,23	74695	24060	88863
0,11	82635	27946	98288	0,24	74357	23895	88461
0,12	81474	27374	96910	0,25	74042	23743	88088

Vrijednosti u Tablici 19. prikazane grafički izgledaju ovako:



Slika 14. Dijagram ovisnosti potrebne toplinske energije za grijanje o debljini izolacije

Povećanjem debljine toplinske izolacije potrebna toplina za grijanje se smanjuje ali konvergira ka nekoj vrijednosti većoj od nule. Razlog tomu je što tada dominantni iznos toplinskih gubitaka uzrokuje ventilacija i prolaz topline kroz prozore.

Specifična cijena izolacije iznosi 300 kn/m² a ukupna površina postavljene izolacije iznosi 1060 m². Investicija za izolaciju tada iznosi 317 568 kn. Godišnju uštedu može se izračunati na temelju vrijednosti iz Tablice 19. a njene vrijednosti nalaze se u Tablici 20. za pojedine gradove. Vrijednosti vremena povrata investicije za gradove u proračunu nalaze se u Tablici 20.

Tablica 20. Vrijednosti godišnjih ušteda i vremena povrata investicije za toplinsku izolaciju

	Zagreb	Split	Gospić
<i>I</i>	317568 kn	317568 kn	317568 kn
<i>GU</i>	32588 kn	16600 kn	38692 kn
<i>PI</i>	9.8 god	19.1 god	8.2 god

4.2. Ekonomska analiza rekuperatora

U zgradu je ugrađena mehanička ventilacija s povratom topline odnosno rekuperatorom sa stupnjem iskoristivosti 75%. Cijena i postavljanje rekuperatora koji omogućuje protok od 2000m³/h iznosi 60000 kn. [9] Nazivna snaga rekuperatora je 1 kW, što predstavlja godišnju potrošnju električne energije od 8760 kWh, cijena te električne energije je 6866 kn uz pretpostavku dvotarifnog sustava. Vrijednosti godišnjih ušteda i vremena povrata investicije navedene su u Tablici 21.

Tablica 21. Vrijednosti godišnjih ušteda i vremena povrata investicije za rekuperator

	Zagreb	Split	Gospić
Investicija	60000 kn	60000 kn	60000 kn
Potrebna top. energija za grijanje u slučaju bez rekuperatora	46607 kWh	11068 kWh	55548 kWh
Potrebna top. energija za grijanje u slučaju ugrađenog rekuperatora	13121 kWh	487 kWh	15826 kWh
Cijena električne energije koju potroši rekuperator u godini dana	6866 kn	6867 kn	6867 kn
Godišnja ušteda	4058 kn	-3415 kn	6093 kn
Vrijeme povrata investicije	14 god	-	8 god

Za Split godišnja ušteda je negativna zbog toga što je cijena potrošne električne energije veća od cijene uštede goriva, ali proračunom nije obuhvaćena potrebna energija za hlađenje gdje bi se mogle ostvariti dodatne uštede.

4.3. Ekonomska analiza fotonaponskog sustava

Na krov zgrade postavljen je fotonaponski sustav nazivne snage 35 kW, ukupne površine 240 m². Specifična cijena sustava iznosi 26250 kn/kW.[5] Investicija za takav sustav iznosi 918750 kn. Cijena otkupa električne energije iznosi 2,1 kn/kWh prema [6]. Električna energija proizvedena fotonaponskim sustavom, njena otkupna vrijednost i vrijeme povrata investicije prikazani su u Tablici 22. za navedene gradove.

Tablica 22. Vrijednost investicije, godišnje proizvodnje električne energije, otkupne vrijednosti električne energije i vremenskog povrata investicije fotonaponskog sustava

	Zagreb	Split	Gospić
Investicija	918750 kn	918750 kn	918750 kn
Električna energija proizvedena fotonaponskim sustavom	39646 kWh	50944 kWh	39183 kWh
Otkupna vrijednost električne energije	83257 kn	106982 kn	82285 kn
Vrijeme povrata investicije	11,0 god	8,6 god	11,2 god

5. Zaključak

Prosječna kuća u Hrvatskoj ima specifičnu godišnju potrošnju toplinske energije za grijanje od 140 kWh/m² [8]. Proračun pokazuje da su iznosi specifične godišnje potrošnje toplinske energije za grijanje stambene građevine s 25 cm toplinske izolacije, prozorima s trostrukim ostakljenjem i sustavom mehaničke ventilacije s povratom topline, 18,3 kWh/m² za Zagreb, 0,7 kWh/m² za Split i 22,8 kWh/m² za Gospić.

Uvjet nultih emisija CO₂ stambene građevine ostvaren je ugradnjom kotla na biomasu, te ugradnjom fotonaponskog sustava. Fotonaponski sustav postavljen je na krov s orijentacijom na jug, pod nagibom 30°, nazivne snage 35 kW i površine 240 m². Kotao na biomasu može zadovoljiti potrebe za toplinskom energijom za grijanje i potrebnom toplinskom energijom za zagrijavanje potrošne tople vode tijekom cijele godine, bez obzira na vanjske uvijete. Električna energija proizvedena fotonaponskim sustavom ovisna je o iznosu intermitentnog globalnog sunčevog zračenja, no na godišnjoj razini zadovoljava potrošnju električne energije stambene građevine.

Proračunom dobivene vrijednosti vremena povrata investicije iznose 9 godina za toplinsku izolaciju u Zagrebu i Gospiću, a 19 godina u Splitu, ukoliko se radi o debljini toplinske izolacije od 25 cm. Odabirom manje debljine toplinske izolacije moglo bi se postići kraće vrijeme povrata investicije za grad Split. Iz dijagrama na Slici 14. vidi se da bi debljina toplinske izolacije od oko 15 cm bila dovoljna, nakon tog iznosa smanjenje ukupne potrebne toplinske energije za grijanje teži nuli.

Vrijeme povrata investicije za ventilaciju s povratom topline iznosi 14 godina za Zagreb, 8 godina za Gospić. U Splitu je sistem neisplativ što se tiče ušteda ukupne toplinske energije za grijanje, ali proračunom nije obuhvaćena potrebna energija za hlađenje gdje bi se mogle ostvariti dodatne uštede.

Kod fotonaponskih sistema vrijeme povrata investicije značajno ovisi o podneblju, odnosno iznosu globalnog sunčevog zračenja za pojedini grad, a također i o cijeni otkupa električne energije prema tarifnom sustavu za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije.[6] Vrijednost vremena povrata investicije fotonaponskog sistema za pojedini grad iznosi oko 11 godina za Zagreb i Gospić te oko 9 godina za Split.

PRILOZI

CD-R disc

LITERATURA

- [1] Sustavi grijanja u građevinama -- Postupak proračuna normiranoga toplinskog opterećenja (EN 12831:2003)
- [2] Toplinske značajke zgrada -- Proračun potrebne energije za grijanje -- Stambene zgrade (EN 832:1998)
- [3] MINISTARSTVO ZAŠTITE OKOLIŠA, PROSTORNOG UREĐENJA I GRADITELJSTVA: Tehnički Propis o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama
- [4] Državni zavod za statistiku: Hrvatska u brojkama 2011
- [5] Majdandžić Lj.: Fotonaponski sustavi, http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf
- [6] Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije
- [7] DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings
- [8] www.energetska-efikasnost.undp.hr
- [9] TOSHIBA: Air to Air Heat exchanger Type Databook, <http://www.toshiba-klima.at/pdf/en/anwendungshandbuch/Applications%20Handbook%20VN.pdf>
- [10] <http://www.hep.hr/plin/kupci/cijena.aspx>
- [11] Švaić S.: Proizvodnja toplinske energije iz drvne biomase, <http://zoor.fsb.hr/prez/10a-Toplinska%20energija%20iz%20drvne%20mase.pdf>
- [12] <http://obnovljivi-izvori.hr/lanci/efikasno-grijanje-na-biomasu>
- [13] <http://www.ies-grupa.eu/kotlovi-na-pelete>