

Provedba energetskeg pregleda i izrada energetskeg certifikata južne zgrade FSB-a

Jantol, Danijel

Master's thesis / Diplomski rad

2011

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:085219>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-06**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Danijel Jantol

Zagreb, 2011.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Damir Dović, dipl. ing.

Student:

Danijel Jantol

Zagreb, 2011.

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

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Damiru Doviću, dipl. ing. na pruženoj pomoći tijekom izrade ovog rada.

Danijel Jantol



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje
Datum 30-06-2011 trilog
Klasa: 602-04/11-6/7
Ur.broj: 15-1703-11-162

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Danijel Jantol** Mat. br.: 0035158208

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Provedba energetskog pregleda i izrada energetskog certifikata južne zgrade FSB-a**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Energy audit and energy performance certification of the southern building of the FSB**

Opis zadatka:

Potrebno je izraditi energetski certifikat južne zgrade FSB-a. U tu je svrhu potrebno prvo izraditi postupnik energetskog pregleda navedene zgrade u skladu s Metodologijom provođenja energetskog pregleda. Sukladno tome, potrebno je nakon prikupljanja podataka, provesti analizu toplinskih karakteristika vanjske ovojnice zgrade uz termografsko snimanje iste te analizu sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode. Rezultate je potrebno prikazati u odgovarajućem izvješću.

U nastavku je potrebno provesti proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje zgrade, godišnju potrebnu toplinsku energiju za zagrijavanje potrošne tople vode kao i proračun toplinskih gubitaka u odgovarajućim sustavima, kako bi se izračunala ukupna isporučena i primarna energija zgrade. Na temelju rezultata energetskog pregleda i obavljenih proračuna, potrebno je dati prijedlog mjera za poboljšanje energetskih svojstava zgrade koje su ekonomski opravdane te u konačnici izraditi energetski certifikat predmetne zgrade. Proračune je potrebno provesti prema normama i metodama specificiranim u Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada, NN 36/10. U radu prikazati tijek proračuna sa svim korištenim izrazima te ulaznim i izlaznim podacima.

Potrebno je navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

28. travnja 2011

Rok predaje rada:

30. lipnja 2011.

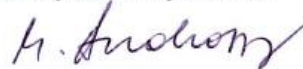
Predviđeni datum obrane:

06. – 08. srpnja 2011.

Zadatak zadao:


Doc.dr.sc. Damir Dović

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Mladen Andrassy

Referada za diplomske i završne ispite

Obrazac DS – 3A/PDS – 3A

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK	XI
1. UVOD	1
1.1. POTROŠNJA ENERGIJE U ZGRADARSTVU	1
1.2. ZAKONODAVNI OKVIR TOPLINSKE ZAŠTITE I ENERGETSKE UČINKOVITOSTI U RH	3
1.3. ENERGETSKI PREGLED I ENERGETSKA CERTIFIKACIJA ZGRADE FSB-A	4
2. ENERGETSKI PREGLED	6
2.1. UVOD	6
2.2. PREGLED INFRACRVENOM TERMOGRAFIJOM	6
2.2.1. Mjerenje	7
2.2.2. Rezultati mjerenja	8
2.3. PODACI O TERMOTEHNIČKOM SUSTAVU ZGRADE	10
2.4. PODACI PRIKUPLJENI ENERGETSKIM PREGLEDOM	13
2.5. PRELIMINARNI ZAKLJUČAK ENERGETSKOG PREGLEDA	15
3. PRORAČUN GODIŠNJE POTREBNE TOPLINSKE ENERGIJE	17
3.1. PRORAČUN POTREBNE TOPLINSKE ENERGIJE ZA KARAKTERISTIČNI MJESEC	26
3.1.1. Proračun koeficijenta transmisije i ventilacijske izmjene topline	26
3.1.2. Proračun toplinskih gubitaka	28
3.1.3. Proračun dobitaka topline	29
3.1.4. Potrebna toplinska energija	31
4. PRORAČUN GUBITAKA TOPLINE	33
4.1. PRORAČUN UČINKOVITOSTI SUSTAVA PREMA HRN EN 15316-1:2008	34
4.1.1. Primjer proračuna za karakteristični mjesec	35
4.2. PRORAČUN PODSUSTAVA PREDAJE TOPLINE PREMA HRN EN 15316-2-1:2008	35
4.2.1. Proračun za karakteristični mjesec	39
4.3. PRORAČUN PODSUSTAVA RAZVODA PREMA HRN EN 15316-2-3:2008	40
4.3.1. Proračun za karakteristični mjesec	45
4.4. PRORAČUN PODSUSTAVA PROIZVODNJE PREMA HRN EN 15316-4-5:2008	48
4.4.1. Proračun za karakteristični mjesec	50
5. PRORAČUN ISPORUČENE I PRIMARNE ENERGIJE	51

5.1.	PRORAČUN ISPORUČENE ENERGIJE	51
5.2.	PRORAČUN PRIMARNE ENERGIJE.....	51
5.3.	EMISIJA UGLJIČNOG DIOKSIDA	52
5.4.	PRORAČUN ISPORUČENE I PRIMARNE ENERGIJE ZA ZGRADU FSB-A	52
6.	REZULTATI PRORAČUNA.....	54
7.	ANALIZA REZULTATA I MJERE UŠTEDE ENERGIJE	56
7.1.	ANALIZA REZULTATA PRORAČUNA	56
7.2.	MJERE UŠTEDE ENERGIJE	58
8.	ZAVRŠNI IZVJEŠTAJ O ENERGETSKOM PREGLEDU	60
9.	ENERGETSKI CERTIFIKAT ZGRADE	62
10.	ZAKLJUČAK.....	65
	LITERATURA.....	66

POPIS SLIKA

Slika 1. Potrošnja isporučene energije po sektorima 2009. u RH

Slika 2. Struktura potrošnje energije u nestambenim zgradama/EIHP

Slika 3. Južna zgrada Fakulteta strojarstva i brodogradnje

Slika 4. Tipičan tlocrt etaže zgrade

Slika 5. Termogram južnog pročelja zgrade

Slika 6. Termogram sjevernog pročelja zgrade

Slika 7. Termogram sjevernog pročelja

Slika 8. Termogram bočne strane zgrade

Slika 9. Podjela podsustava termotehničkog sustava grijanja

Slika 10. Izmjenjivač topline u podsustavu proizvodnje

Slika 11. Dio razvoda u toplinskoj podstanici

Slika 12. Radijatori u podsustavu predaje topline

Slika 13. Energetski tokovi u zgradi s termotehničkim sustavom grijanja

Slika 14. Podjela termotehničkog sustava grijanja na podsustave

Slika 15. Rast potrošnje energije s obzirom na varijaciju ulaznih podataka

Slika 16. Ušteda energije ako se uvedu mjere energetske učinkovitosti

POPIS TABLICA

Tablica 1. Osnovni podaci o zgradi	13
Tablica 2. Osnovni podaci o veličini zgrade.....	14
Tablica 3. Stvarni klimatski podaci	14
Tablica 4. Podaci o karakteristikama prozirnih elemenata zgrade	14
Tablica 5. Podaci o karakteristikama građevnih elemenata.....	15
Tablica 6. Podaci o sustavu grijanja zgrade.....	15
Tablica 7. Ulazni podaci za proračun koeficijenta transmisijske izmjene topline zidova.....	26
Tablica 8. Ulazni podaci za proračun koeficijenta transmisijske izmjene topline s tlom.....	27
Tablica 9. Ulazni podaci za proračun koeficijenta ventilacijske izmjene topline.....	28
Tablica 10. Ulazni podaci u za proračun toplinskih gubitaka.....	28
Tablica 11. Ulazni podaci u proračun toplinskih dobitaka od sunčeva zračenja.....	30
Tablica 12. Podaci za proračun dobitaka topline od sunčevog zračenja.....	30
Tablica 13. Podaci za izračun potrebne toplinske energije za grijanje	31
Tablica 14. Ulazni podaci u proračun toplinske energije podsustava predaje.....	39
Tablica 15. Ostali podaci potrebni za proračun podsustava predaje.....	39
Tablica 16. Ulazni podaci za proračun podsustava razvoda	45
Tablica 17. Ostali podaci za proračun razvoda sustava grijanja	46
Tablica 18. Ulazni podaci za proračun podsustava proizvodnje.....	50
Tablica 19. Ukupni rezultati proračuna	54
Tablica 20. Pregled svih izlaznih veličina	55
Tablica 21. Opis varijacija ulaznih podataka	56
Tablica 22. Razlika potrošnje energije s obzirom na ulazne podatke.....	56
Tablica 23. Razlika potrošnje energije s obzirom na ulazne podatke (%).....	57
Tablica 24. Mjere uštede toplinske energije	58
Tablica 25. Ukupna godišnja potrošnja energije nakon primjene mjera uštede	58
Tablica 26. Ušteda energije primjenom mjera (%).....	59

POPIS OZNAKA

A	m^2	površina poda
a_H	-	bezdimenzijski numerički parametar koji uzima u obzir utjecaj toplinske inercije
$a_{H,0}$	-	faktor ovisan o računskom razdoblju (mjesec ili sezona)
A_i	m^2	površina i -tog građevinskog elementa ovojnice zgrade
A_p	m^2	ukupna površina prozora
$A_{sol,k}$	m^2	efektivna površina otvora k na koju upada sunčevo zračenje
$B_{H,gen}$	-	koefficient ovisan o tipu toplinske podstanice i razini izolacije
$b_{tr,l}$	-	faktor prilagodbe za susjedni negrijani prostor
$b_{tr,x}$	-	faktor prilagodbe za transmisiju
$b_{ve,k}$	-	faktor prilagodbe za ventilaciju
C_{el}	-	faktor pretvorbe za električnu energiju
C_m	Wh/K	toplinski kapacitet zgrade
c_p	J/kg K	specifični toplinski kapacitet zraka pri konstantnom tlaku
C_{p1}, C_{p2}	-	konstante
$C_{p,i}$	-	faktor pretvorbe za i -ti izvor energije
d	dan	broj dana u promatranom periodu
$D_{H,gen}$	-	koefficient ovisan o tipu toplinske podstanice
d_t	m	ekvivalentna debljina poda
e_{dis}	-	faktor energetskeg utroška
$E_{H,del}$	kWh	isporučena energija u sustav grijanja zgrade
$E_{H,prim}$	kWh	primarna energija sustava grijanja
e_p	-	koefficient utroška primarne energije
F_C	-	faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zračenja
f_c	-	korekcijski faktor ovisan o vrsti regulacije
F_F	-	udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora
F_{fin}	-	parcijalni faktor zasjenjenja zbog bočnih elemenata prozorskog otvora

$f_{G,PM}$	-	korekcijski faktor za generatore topline s integriranom pumpom
f_{HB}	-	korekcijski faktor hidrauličke ravnoteže mreže
F_{hor}	-	parcijalni faktor zasjenjenja zbog konfiguracije terena
f_{hydr}	-	faktor hidrauličke ravnoteže razvoda radnog medija
f_{im}	-	faktor intermitentnog rada
f_{NET}	-	korekcijski faktor hidrauličke mreže
F_{ov}	-	parcijalni faktor zasjenjenja zbog gornjih elemenata prozorskog okvira
f_p	-	faktor primarne energije
$f_{p,el}$	-	faktor primarne energije za električnu energiju
$F_{r,k}$	-	faktor oblika između otvora k i neba
f_{rad}	-	faktor utjecaja zračenja
$F_{sh,ob,k}$	-	faktor zasjenjenja od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja
F_W	-	faktor smanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja
g^\top	-	stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje
H_A	W/K	koeficijent transmisije izmjene topline prema susjednim zgradama
H_D	W/K	koeficijent transmisije izmjene topline izravno prema vanjskom okolišu
H_g	W/K	stacionarni koeficijent transmisije izmjene topline prema tlu
$H_{g,m}$	W/K	koeficijent transmisije izmjene topline s tlom
$H_{H,gen}$	kWh/K a	koeficijent izmjene topline toplinske podstanice
h_{lev}	m	visina kata
H_{pe}	W/K	periodički koeficijent transmisije izmjene topline prema tlu
$H_{tr,adj}$	W/K	koeficijent transmisije izmjene topline
H_U	W/K	koeficijent transmisije izmjene topline kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$H_{ve,adj}$	W/K	koeficijent ventilacijske izmjene topline
H_X	W/K	općeniti izraz za koeficijent transmisije izmjene topline
$I_{sol,k}$	W/m ²	srednji toplinski tok od sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela k za mjesečni proračun
k	-	udio iskoristivih gubitaka u ukupnim

k_1	-	udio iskoristivih gubitaka u ukupnim za pojedinu dionicu cjevovoda u ovisnosti o vrsti prostorije
k_2	-	udio iskoristivih gubitaka u ukupnim za pojedinu dionicu cjevovoda u ovisnosti o načinu ugradnje
L_A	m	spojni cjevovodi s ogrjevnim tijelima
l_c	m	za dvocjevni sustav = 10 m
L_k	m	duljina k -tog linearnog toplinskog mosta
L_L	m	najveća razvijena duljina zgrade ili zone
L_{max}	m	najveća duljina kruga grijanja
L_S	m	cjevovodi vertikalala
L_V	m	cjevovodi između generatora i vertikalala
L_W	m	najveća razvijena širina zgrade ili zone
L_j	m	duljina pojedine dionice cjevovoda
n_{fan}	-	broj ventilatora
N_{lev}	-	broj katova
n_{min}	h^{-1}	minimalni broj izmjena zraka
n_{pmp}	-	broj dodatnih pumpi
P	m	izloženi opseg poda
P_{crt}	W	električna snaga sustava regulacije
$P_{el,pmp}$	W	nazivna električna snaga pumpe
P_{fan}	W	nazivna potrošnja električne energije
$P_{hydr,des}$	W	projektna hidraulička snaga
P_{pmp}	W	nazivna potrošnja električne energije za dodatne pumpe
$Q_{em,aux,rbl}$	kWh	iskoristiva pomoćna energija u podsustavu predaje
$Q_{em,aux,rvd}$	kWh	vraćena pomoćna energija
$Q_{em,aux,rvd}$	kWh	vraćena pomoćna energija u podsustavu predaje
$Q_{em,ls}$	kWh	toplinski gubici podsustava predaje
$Q_{em,out}$	kWh	toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje
$Q_{em,rbl}$	kWh	iskoristivi toplinskki gubici u podsustavu predaje
$Q_{H,dis,aux,rbl}$	kWh	iskoristiva pomoćna energija za podsustav razvoda
$Q_{H,dis,aux,rvd}$	kWh	vraćena pomoćna energija za podsustav razvoda
$Q_{H,dis,ls}$	kWh	ukupni toplinski gubici u podsustavu razvoda
$Q_{H,dis,ls,rbl}$	kWh	iskoristivi toplinski gubici podsustava razvoda
$Q_{H,dis,out}$	kWh	toplinska energija na izlazu iz podsustava razvoda

$Q_{H,gen,aux,rvd}$	kWh	vraćena pomoćna energija u podsustav proizvodnje
$Q_{H,gen,ls}$	kWh	ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje
$Q_{H,gen,ls,rbl}$	kWh	povrativi toplinski gubici podsustava proizvodnje
$Q_{H,gen,out}$	kWh	toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje
$Q_{H,gn}$	kWh	ukupni toplinski dobici zgrade
$Q_{H,nd}$	kWh	potrebna toplinska energija za grijanje
Q_{int}	kWh	unutarnji toplinski dobici u proračunskom razdoblju
$Q_{ls,rvd,i}$	kWh	zbroj svih iskorištenih toplinskih gubitaka sustava grijanja i pripreme PTV-a
$Q_{rbl,i}$	kWh	pojedini iskoristivi gubitak
Q_{sol}	kWh	toplinski dobici od sunčeva zračenja u proračunskom razdoblju
Q_{tr}	kWh	transmisijski toplinski gubici
Q_{ve}	kWh	ventilacijski toplinski gubici
$q_{ve,k,m}$	m ³ /s	vremenski osrednjeni protok zraka za pojedini tip strujanja zraka
R_f	m ² K/W	toplinski otpor podne konstrukcije
R_{se}	m ² K/W	toplinski otpor s vanjske strane
R_{si}	m ² K/W	toplinski otpor s unutarnje strane
t	h	broj sati u proračunskom razdoblju
t_{rad}	h	vrijeme rada u promatranom periodu
t_{uk}	h	broj sati u promatranom periodu
U	W/ m ² K	koeficijent prolaza topline između vanjskog i unutarnjeg protora
U_i	W/m ² K	koeficijent prolaza topline i -tog građevinskog elementa
\dot{V}_{des}	m ³ /h	projektni volumni protok
V_e	m ³	obujam grijanog dijela zgrade
V_{int}	m ³	unutarnji volumen prostora
w	m	ukupna debljina zida
W_{aux}	kWh	zbroj svih pomoćnih energija svih podsustava
W_{crt}	kWh	pomoćna energija sustava regulacije
$W_{H,gen,aux}$	kWh	pomoćna energija podsustava proizvodnje
W_{others}	kWh	pomoćna energija za ventilatore i dodatne pumpe

x	Wh/m ³ K	konstanta
χ_j	W/K	koeficijent prolaza topline j -tog točkastog toplinskog mosta
γ_H	-	omjer toplinskih dobitaka i gubitaka
Δp_{des}	kPa	projektni pad tlaka
Δp_{FH}	kPa	dodatni pad tlaka za sustave podnog grijanja
Δp_G	kPa	pad tlaka generatora topline
$\Delta \theta_{dis,des}$	K	projektna razlika temperatura
η_{emb}	-	učinkovitost predaje uslijed specifičnih gubitaka kroz vanjske površine
η_{rvd}	-	stupanj iskorištenja iskoristivih gubitaka
η_{str}	-	učinkovitost predaje uslijed vertikalne raspodjele temperatura
θ_{amb}	°C	unutarnja temperatura toplinske podstanice
θ_d	°C	projektna temperatura sustava razvoda
θ_e	°C	srednja vanjska temperatura
$\theta_{e,m}$	°C	srednja vanjska temperatura za proračunski mjesec
$\bar{\theta}_e$	°C	srednja godišnja vanjska temperatura
$\theta_{H,gen}$	°C	prosječna temperatura toplinske podstanice
$\theta_{H,gen,in}$	°C	prosječna temperatura ogrjevnog medija primarnog (ulaznog) kruga toplinske podstanice
$\theta_{H,gen,out}$	°C	prosječna temperatura ogrjevnog medija sekundarnog kruga toplinske podstanice
θ_i	°C	temperatura prostorije
$\theta_{i,j}$	°C	temperatura okolišnog zraka pojedine dionice
$\theta_{int,h}$	°C	unutarnja projektna temperatura
$\bar{\theta}_i$	°C	srednja godišnja unutarnja temperatura
θ_m	°C	prosječna temperatura ogrjevnog medija
$\theta_{r,des}$	°C	projektna temperatura povrata ogrjevnog medija
$\theta_{s,des}$	°C	projektna temperatura polaza ogrjevnog medija
λ	W/m K	koeficijent toplinske vodljivosti tla
ρ	kg/m ³	gustoća zraka
τ	h	vremenska konstanta zgrade
$\tau_{H,0}$	h	referentna mjesečna konstanta za grijanje
ψ_g	W/m K	duljinski koeficijent prolaza topline za spoj zida i poda

ψ_j	W/m K	koeficijent toplinskih gubitaka pojedine dionice cjevovoda
ψ_k	W/m K	dužinski koeficijent prolaza topline k -tog linearnog toplinskog mosta
$\Phi_{m,mn,k}$	kW	prosječni toplinski tok k -tog unutarnjeg izvora topline u grijanom prostoru
$\Phi_{int,mn,u,i}$	kW	prosječni toplinski tok l -tog unutarnjeg izvora topline u susjednom negrijanom prostoru
Φ_{mt}	W	toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec
$\Phi_{r,,k}$	W	toplinski tok zračenjem od površine otvora k prema nebu
$\Phi_{sol,k}$	kW	prosječni toplinski tok od sunčevog toplinskog izvora kroz k -ti građevni dio
$\Phi_{sol,mn,k}$	kW	prosječni toplinski tok sunčeva izvora topline kroz k -ti građevni dio u grijani prostor
$\Phi_{sol,mn,u,i}$	kW	prosječni toplinski tok sunčeva izvora topline kroz k -ti građevni dio u susjedni negrijani prostor

SAŽETAK

U radu su pokazani rezultati provedenog energetskeg pregleda i energetske certifikacije južne zgrade Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Energetski pregled je proveden u skladu s nacionalnom Metodologijom provođenja energetskeg pregleda zgrada. U sklopu energetskeg pregleda napravljena je i termografska analiza toplinskih karakteristika vanjske ovojnice zgrade.

Uz pomoć prikupljenih podataka prilikom energetskeg pregleda, izračunata je godišnja potrebna toplinska energija za grijanje. Također, izračunati su i svi gubici sustava grijanja prema Algoritmu za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama.

Kao skup svih rezultata, napravljen je Završni izvještaj o provedenom energetskeg pregledu kako ga definira Metodologija provođenja energetskeg pregleda zgrada. Rezultati energetske certifikacije, s podacima definiranim Pravilnikom o energetskeg certificiranju zgrada (NN 36/10), dani su u Energetskeg certifikatu zgrade.

Na kraju, predložene su mjere za za poboljšanje energetskeg svojstava zgrade.

1. UVOD

„Sustainable development seeks to meet the needs and aspirations of the present without compromising the ability to meet those of the future“. [1]

Gro Harlem Brundtland, 1987.

Potrošnja energije omogućuje udobnost života i tehnološki napredak. Istovremeno, potrošnja energije znatno utječe na okoliš. Utjecaj se očituje kroz povećanu emisiju stakleničkih plinova i drugih zagađivača zraka, povećano stvaranje otpada i s tim povezane klimatske promjene. Izgaranjem fosilnih goriva, najznačajnijeg primarnog izvora energije, stvaramo ugljični dioksid i ostale stakleničke plinove čija koncentracija u atmosferi raste i uzrokuje globalno povećanje temperature. Ipak, uvođenjem raznih mjera, emisija stakleničkih plinova se postupno smanjuje.

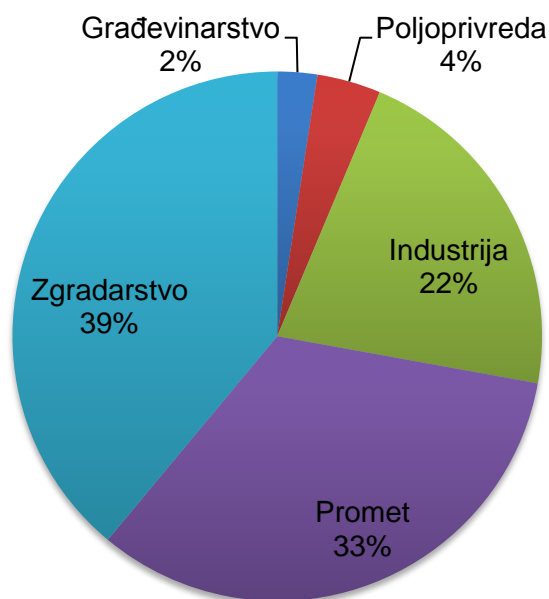
Također, s obzirom da još uvijek većinu primarnih izvora energije čine neobnovljivi izvori, potrebno je voditi računa i o konačnosti tih izvora. U prijašnjim energetske krizama se pokazalo kako je i dostupnost energije također vrlo važan parametar.

Svjesni velike potrošnje energije, razvijenije zemlje zapada i Europa, a time i Hrvatska, uvode određene mjere kako bi se potrošnja smanjila.

Iako se mjere uvode u sve sektore djelatnosti, za potrebe ovog rada, detaljnije će biti obrađene mjere učinkovitog korištenja energije u zgradarstvu kao vrlo velikom potrošaču energije.

1.1. Potrošnja energije u zgradarstvu

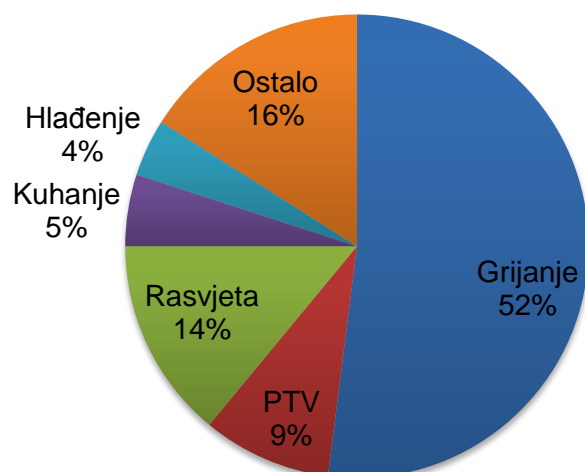
Zgradarstvo (kućanstva) su najveći pojedinačni potrošač energije u hrvatskoj. U 2009. godini udio zgradarstva u ukupnoj potrošnji isporučene energije u Hrvatskoj iznosio je 40 %, Slika 1. [2]



Slika 1. Potrošnja isporučene energije po sektorima 2009. u RH

S obzirom na tako velik udio u potrošnji energije, nameće se zaključak da se u zgradarstvu mogu ostvariti i velike uštede energije.

Što se tiče strukture udjela potrošača u zgradarstvu, najviše se energije troši na grijanje objekta.



Slika 2. Struktura potrošnje energije u nestambenim zgradama/EIHP

Iako su zgrade općenito najveći potrošač energije, postoje značajne razlike u potrošnji s obzirom na period izgradnje zgrada. Tako su najveći potrošači energije, zgrade građene prije donošenja propisa o toplinskoj zaštiti. Dakle, zgrade građene u razdoblju od 1950. do 1980., su najveći potrošači energije za grijanje s prosječnom potrošnjom od preko 200 kWh/m². [3]

S ciljem smanjenja potrošnje energije uvode se mjere energetske učinkovitosti kojima se nastoji smanjiti potrošnja energije. U hrvatskom zakonodavstvu mjere energetske učinkovitosti se provode i definiraju kroz veći broj zakona, pravilnika i propisa. Kako bi se potrošnja energije u zgradama mogla uspoređivati, uvodi se energetska certifikacija zgrada, koja osim toga ima za cilj potaknuti primjenu mjera povećanja učinkovitog korištenja energije u zgradama. U sklopu energetske certifikacije provodi se i energetski pregled zgrade koji podrazumijeva analizu toplinskih karakteristika i energetskih sustava zgrade.

Pregled zakonskog okvira energetske učinkovitosti dan je u nastavku.

1.2. Zakonodavni okvir toplinske zaštite i energetske učinkovitosti u RH

Obvezna energetska certifikacija za nove i postojeće zgrade uvodi se implementacijom EU Direktive 2002/91/EC i njene novelacije pod nazivom *DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*, u hrvatsko zakonodavstvo.

Provođenje implementacije ove direktive u RH je u nadležnosti dvaju ministarstava. Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva koje je donijelo Zakon o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji (NN 152/08) i Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva sa Zakonom o prostornom uređenju i gradnji (NN 76/07, 38/09 i 55/11). [4]

Implementacija se provodi i kroz druge tehničke propise i pravilnike, od kojih su do sada usvojeni:

- Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada (NN 110/08 i 89/09) [5]

- Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada (NN 110/08) [6]
- Pravilnik o energetsom certificiranju zgrada (NN 36/10) [7]
- Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetske certificiranje zgrada (NN 113/08 i 89/09)
- Metodologija provođenja energetskog pregleda zgrada [8]

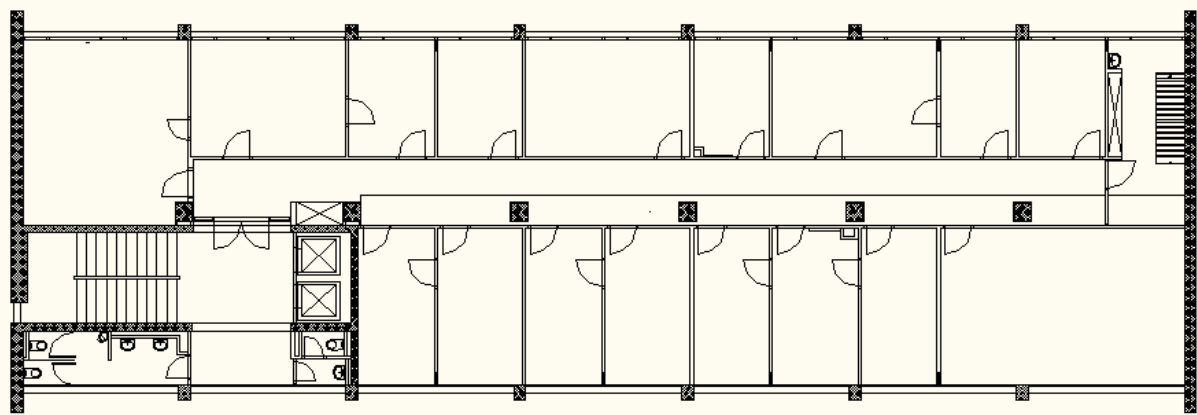
1.3. Energetski pregled i energetska certifikacija zgrade FSB-a

U sklopu ovog rada, provest će se energetski pregled i energetska certifikacija južne zgrade Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, Slika 3.



Slika 3. Južna zgrada Fakulteta strojarstva i brodogradnje

Zgrada se sastoji od dvanaest etaža jednakih površina i podjednake rasporeda prostorija, Slika 4.



Slika 4. Tipičan tlocrt etaže zgrade

Zgrada je građena prije donošenja propisa o toplinskoj zaštiti pa se očekuje velika potrošnja energije, kao i u ostalim zgradama građanim u tom periodu.

U sklopu rada je napravljen energetska pregled zgrade, kao i dodatni pregled metodom kvantitativne infracrvene termografije. Izračunata je potrebna godišnja toplinska energija za grijanje kao i svi gubici u sustavu grijanja zgrade. Na kraju su dane moguće mjere uštede toplinske energije.

2. ENERGETSKI PREGLED

2.1. Uvod

U svrhu izdavanja certifikata zgrade, prema Pravilniku [7], potrebno je provesti energetski pregled zgrade. Energetski pregled zgrade obuhvaća analizu toplinskih karakteristika ovojnice i energetskih sustava zgrade. Energetskim se pregledom, između ostalog, i utvrđuje način korištenja energije i otkrivaju mjesta povećane potrošnje energije. Energetski pregled zgrade definiran je nacionalnom Metodologijom provođenja energetskog pregleda zgrada [8].

Osnovni ciljevi energetskog pregleda su:

- analiza stanja i mogućnosti primjene mjera poboljšanja energetskih svojstava zgrade i povećanja energetske učinkovitosti
- prikupljanje svih potrebnih podataka za određivanje razreda potrošnje energije u energetskej certifikaciji zgrada.

Metodologija [8] definira nekoliko obveznih točaka koje energetski pregled mora obuhvatiti a na prvom mjestu je analiza toplinskih karakteristika vanjske ovojnice zgrade. S obzirom da se projektirano i izvedeno stanje ovojnice mogu razlikovati, Metodologija [8] predviđa i dodatne metode pregleda. U ovom će se radu u tu svrhu metoda infracrvene termografije.

U nastavku će biti pokazani rezultati pregleda infacrvenom termografijom i rezultati općeg energetskog pregleda.

2.2. Pregled infracrvenom termografijom

Analiza stanja ovojnice metodom infracrvene termografije definirana je normom HRN EN 13187.

Infracrvena termografija je bezkontaktna metoda mjerenja i bilježenja infracrvenog (toplinskog) zračenja koje dolazi s površine nekog objekta. Osnovna prednost ove metode je mogućnost mjerenja na daljinu i bez utjecaja na objekt mjerenja. Također, prednost

termografije se očituje i kroz mogućnost pohrane i naknadne obrade rezultata mjerenja - termograma. Termografija se u zgradarstvu koristi za detekciju toplinskih mostova, transporta mase (propuštanja), mjesta povećanog nakupljanja vlage, nehomogenosti materijala zida, nepostojanja toplinske izolacije i dr.

2.2.1. Mjerenje

Termografsko snimanje ovojnice zgrade provedeno je 28. siječnja 2011. godine u razdoblju od 10:00 do 15:00 sati. Temperatura vanjskog zraka iznosila je $-2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, vlažnost 75 %. Unutarnja temperatura iznosila je između $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Brzina zraka bila je ispod 1 m/s. Snimanju je prethodilo dulje razdoblje potpune oblačnosti i bez padalina, a takvi su uvjeti vladali i tijekom snimanja. S obzirom na navedene uvjete može se zaključiti da su postignuti potrebni uvjeti kako za kvalitativnu tako i za kvantitativnu termografsku analizu objekta.

Mjerna oprema:

- termografska kamera tipa Fluke Ti25

spektralno područje	7,5 do 14 μm
mjerno područje temperature	-20 do $350\text{ }^{\circ}\text{C}$
temperaturna razlučivost (kod $30\text{ }^{\circ}\text{C}$)	$\leq 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$
prostorna razlučivost	2,5 mrad
točnost	$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ili 2 %
minimalna frekvencija obnove slike	9 Hz

- univerzalni multifunkcijski instrument za mjerenje temperature, brzine i tlaka

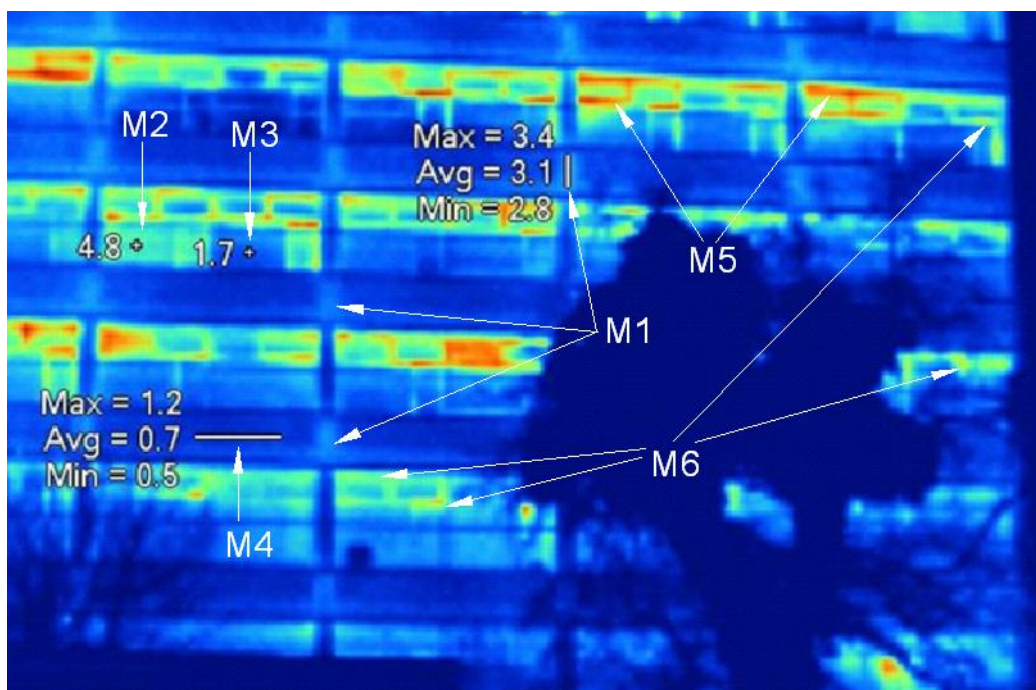
tip S.A. 9/760 France

Snimanje zgrade je provedeno tako da je zgrada podijeljena u sekcije. Kako bi se omogućila kvantifikacija rezultata, prije snimanja je određen emisijski faktor površine jednog dijela zida te prividna reflektirana temperatura. Emisijski faktor iznosi 0,95 a prividna reflektirana temperatura – $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

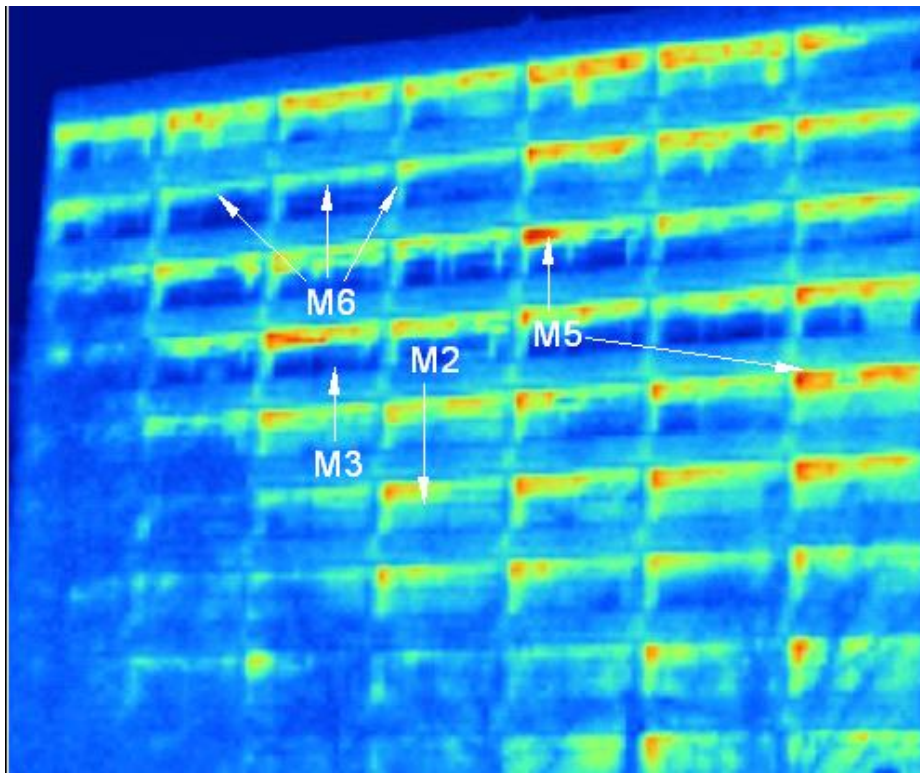
2.2.2. Rezultati mjerenja

Termografska analiza ovojnice je potvrdila pretpostavljeno loše stanje vanjske ovojnice zgrade. Na ovojnici se vidi neujednačenost temperaturne raspodjele. Također su jasno vidljivi i horizontalni i vertikalni toplinski mostovi. S obzirom da staklene površine imaju nizak emisijski faktor te zbog toga nisu pogodje za kvantitativnu termografsku analizu, potrebno je napomenuti da je ovdje kvantifikacija ipak moguća zbog velike zaprljanosti prozora što povisuje emisijski faktor.

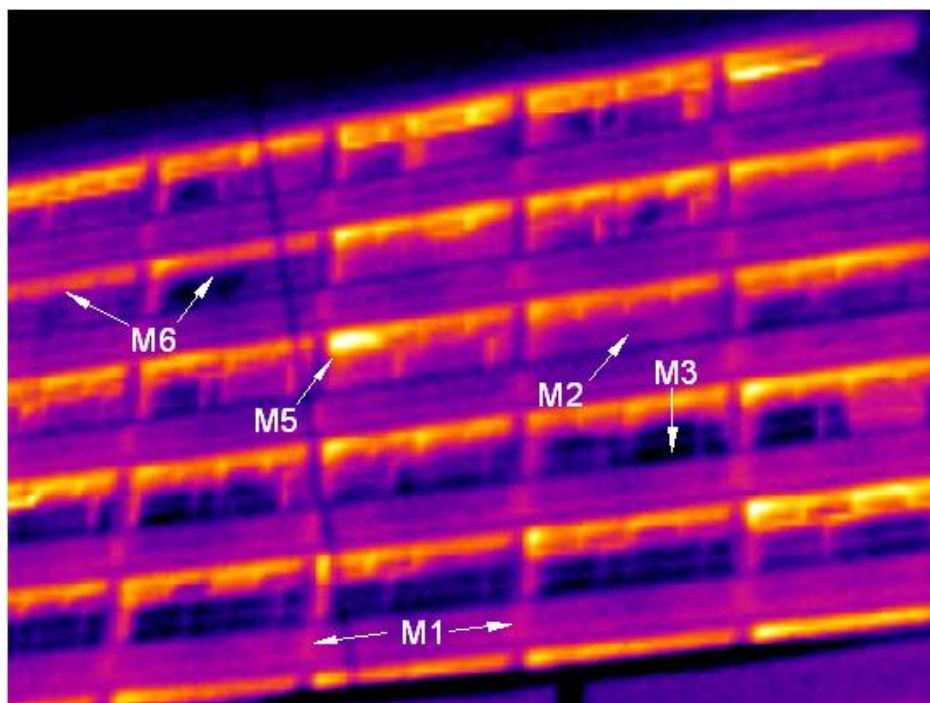
Na termogramima, Slika 5. - Slika 7., je moguće uočiti vertikalne toplinske mostove (M1) te povećane toplinske gubitke kroz okvir prozora (M6). Temperatura na mjestu toplinskog mosta (M1) je prosječno 2,4 °C viša od temperature ostatka zida (M4). Posebno zanimljivo je na termogramima uočiti znatno nižu temperaturu prozora ukoliko je s unutarnje strane spuštена roleta (M3), za razliku od temperature prozora na mjestu gdje to nije učinjeno (M2). Na termogramima se mogu uočiti izrazito povišene temperature na gornjim dijelovima prozora (M5), najčešće zbog toga jer su prozori djelomično otvoreni.



Slika 5. Termogram južnog pročelja zgrade

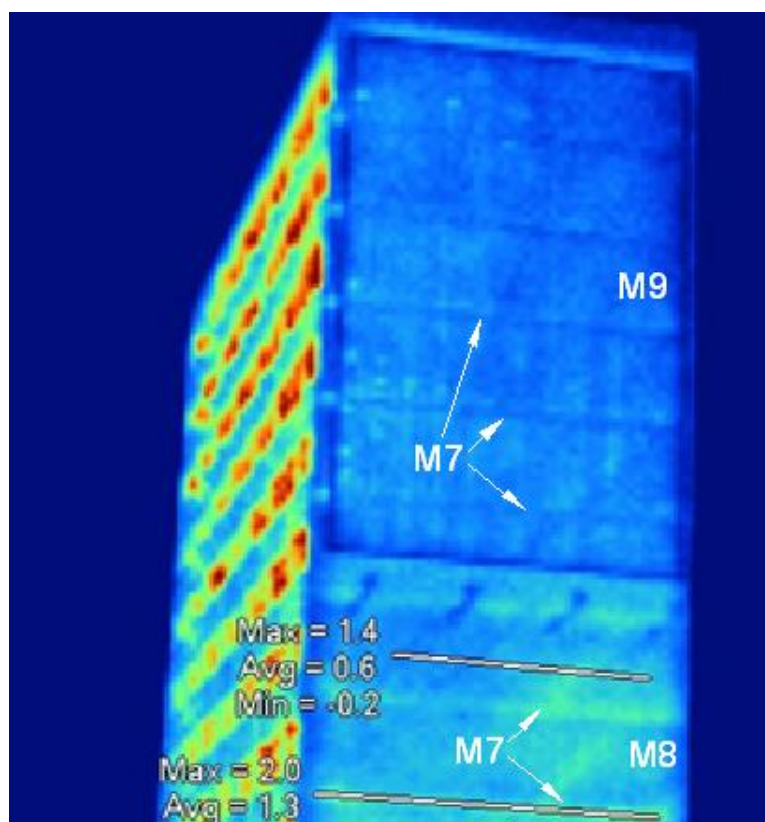


Slika 6. Termogram sjevernog pročelja zgrade



Slika 7. Termogram sjevernog pročelja

S bočnih strana zgrade, jasno su vidljivi horizontalni toplinski mostovi (M7), Slika 8. Temperature toplinskih mostova su prosječno 0,7 °C više od temperature ostatka zida. Ovi toplinski mostovi spadaju u konstrukcijske toplinske mostove, zbog prodiranja međukatne konstrukcije u vanjski zid. Toplinske gubitke kroz te toplinske mostove je moguće značajno umanjiti postavljanjem toplinske izolacije. Treba napomenuti da je gornji dio zgrade (M9) samo prividno hladniji od donjeg dijela (M8) zbog reklamnog plakata koji ima niži emisijski faktor i reflektira temperaturu ambijenta koja je niža.

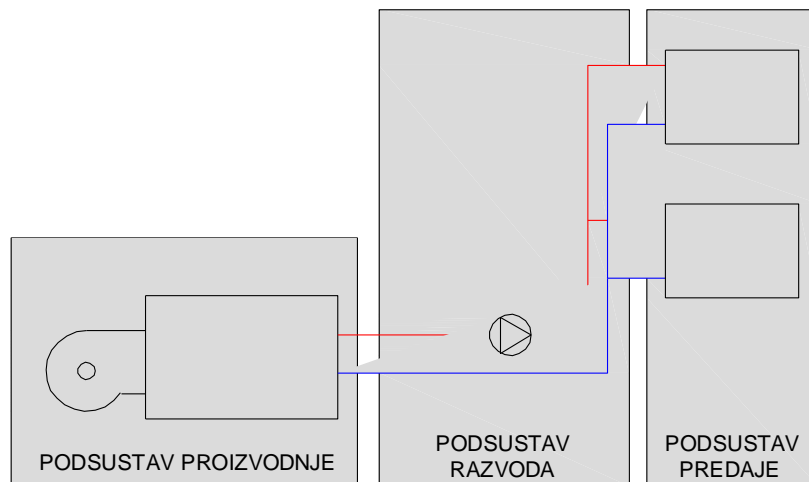


Slika 8. Termogram bočne strane zgrade

2.3. Podaci o termotehničkom sustavu zgrade

Kako u zgradi ne postoji mehanička ventilacija, hlađenje niti priprema potrošne tople vode, jedini termotehnički sustav je sustav grijanja.

Termotehnički sustav grijanja se dijeli u tri podsustava: podsustav predaje topline u prostor, podsustav razvoda i podsustav proizvodnje, Slika 9.



Slika 9. Podjela podsustava termotehničkog sustava grijanja

Podsustav proizvodnje

Podsustav proizvodnje obuhvaća *shell and tube* izmjenjivač topline koji se nalazi u toplinskoj podstanici zgrade, slika. Radni medij je topla voda koja se priprema u daljinskom sustavu grijanja. Temperatura vode u primarnom krugu je 130/70 °C a u sekundarnom 70/55 °C. Nazivni toplinski učin podstanice je 582 kW.



Slika 10. Izmjenjivač topline u podsustavu proizvodnje

Kako je vidljivo na priloženo slici, izmjenjivač je samo djelomično izoliran i u izuzetno lošem stanju. Na izmjenjivaču postoje zakrpe od ranijih popravaka zbog propuštanja, te i u

trenutku energetskeg pregleda postoji propuštanje kroz plašt izmjenjivača. U sustavu ne postoji priprema napojne vode te se u slučaju potrebe za dodatnom vodom ona nadomješta direktno iz vodovodnog sustava.

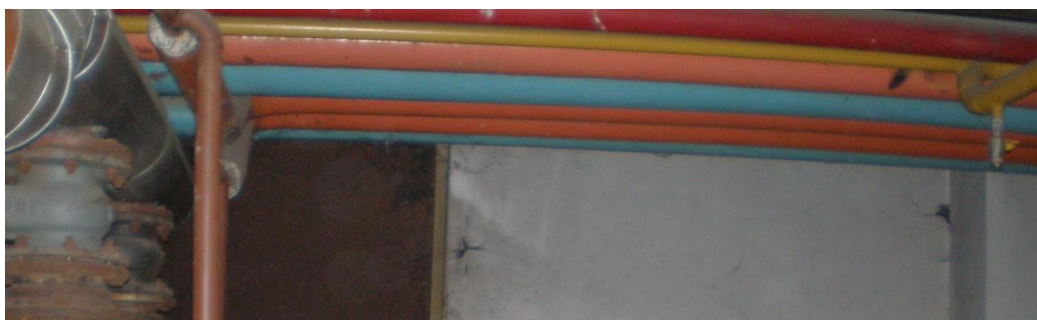
Na strani daljinskog grijanja je moguće regulirati protok vode čime se postiže željena temperatura polaza prema potrošačima. Kako ne postoji automatska regulacija, protok se regulira ručno bez definirane funkcijske ovisnosti vanjske temperature i temperature polaza/povrata.

Podsustav razvoda

Razvod sustava grijanja je dvocijevni donji (polaz i povrat se nalaze ispod stropa najniže etaže), zatvoreni (ekspanzijska posuda se nalazi u toplinskoj podstanici), s prisilnom cirkulacijom radnog medija.

Razvod se sastoji od devet vertikala, od čega četiri na južnoj i pet na sjevernoj strani zgrade.

U toplinskoj podstanici može se vidjeti da razvod nije izoliran, Slika 11.



Slika 11. Dio razvoda u toplinskoj podstanici

Podustav predaje

Podsustav predaje topline u prostor sastoji se od člankastih ogrjevnih tijela od lijevanog željeza – radijatora, Slika 12. Radijatori su smješteni ispod prozora (parapet). Veličine radijatora su od 4 do 32 članka nazivnog toplinskog učinka 74 W po članku, pri temperaturnom režimu 70/55°C. Ukupni nazivni učin za sve radijatore je oko 551 kW.



Slika 12. Radijatori u podsustavu predaje topline

2.4. Podaci prikupljeni energetske pregledom

Podaci koje je potrebno prikupiti energetske pregledom definirani su Upitnikom za prikupljanje podataka o energetske svojstvima nestambenih zgrada, prema Metodologiji [8]. Podaci su prikazani u sljedećim tablicama:

Datum energetske pregleda	28.01.2011.
----------------------------------	--------------------

Tablica 1. Osnovni podaci o zgradi

Osnovni podaci o zgradi	
Naziv i vrsta zgrade	Fakultet strojarstva i brodogradnje, nestambena uredska zgrada
Adresa	Ivana Lučića 5, Zagreb
Namjena zgrade	Zgrada javne namjene
Godina izgradnje	1966. POSTOJEĆA
Opće napomene o zatečenom stanju	Zgrada nema toplinsku izolaciju, prozori su dotrajali, ostakljenje je s dva jednostruka stakla.
Izvedba zgrade	Samostojeća zgrada

Tablica 2. Osnovni podaci o veličini zgrade

Osnovni podaci	
Ukupni broj etaža	12
Ukupna ploština podne neto površine m ²	5345
Ukupna ploština bruto podne površine m ²	6320
Ploština korisne površine grijanog prostora zgrade m ²	5024
Obujam grijanog dijela zgrade m ³	21173
Visina etaže m	3,3
Vrsta konstrukcije	masivna
Podaci o radu zgrade	
Rad tijekom godine	Zgrada radi tijekom cijele godine
Broj radnih dana tjedno	6
Broj radnih sati dnevno	16

Tablica 3. Stvarni klimatski podaci

Stvarni klimatski podaci	
Lokacija	Zagreb-Maksimir
Broj stupanj dana grijanja SD (Kd/a)	3045,2
Srednja vanjska temperatura u sezoni grijanja θ_e (°C)	4,9
Broj dana sezone grijanja Z (d)	184,5
Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja θ_i (°C)	20

Tablica 4. Podaci o karakteristikama prozirnih elemenata zgrade

Orijentacija	Površina m ²	Koeficijent prolaza topline U (W/m ² K)	Zaštita od sunca
Sjever	847	4,5	S unutrašnje strane i između stakla
Jug	929	4,5	S unutrašnje strane i između stakla
Zapad	38	4,5	Bez zaštite
Istok	0	-	-

Tablica 5. Podaci o karakteristikama građevnih elemenata

Karakteristike građevnog elementa	Materijal	Ukupna debljina (cm)	Debljina sloja toplinske izolacije (cm)	Površina konstrukcije (m ²)	Koeficijent prolaza topline U (W/m ² K)
Zid sjever	Puna opeka	33	0	409	1,79
Zid jug	Puna opeka	33	0	402	1,79
Zid zapad	Armirani beton	40	0	364	2,9
Zid istok	Armirani beton	43	0	393	3,0
Ravni krov	Beton	20	15	506	0,24
Pod na tlu	Beton	20	0	506	3,94

Zgrada nema sustav hlađenja, klimatizacije, ventilacije i pripreme potrošne tople vode.

Tablica 6. Podaci o sustavu grijanja zgrade

Podaci o sustavu grijanja	
Način grijanja	Centralno grijanje iz toplane
Vrsta izvora energije za grijanje	Fosilno gorivo
Instalirana snaga toplinske podstanice (kW)	582
Broj ogrijevnih tijela / radijatori	316
Automatska regulacija temperature	ne postoji
Temperatura grijanih prostorija	20-24 °C
Dnevno trajanje grijanja	24 sata

2.5. Preliminarni zaključak energetskog pregleda

Energetski pregled zgrade upućuje na to da je zgrada velik potrošač energije, s obzirom da zgrada nema toplinsku izolaciju. Vizualno se može utvrditi dotrajalost stolarije zgrade, što je pregledom infracrvenom termografijom i potvrđeno. Važno je napomenuti da su temperature izmjerene u nekoliko prostorija bile između 20 i 24 °C što je više od projektne temperature za sezonu grijanja. Razlog je nepostojanje automatske regulacije temperature.

Pregledom infracrvenom termografijom utvrđeni su brojni konstrukcijski toplinski mostovi kao i povećani toplinski gubici kroz stolariju zgrade. Iz termograma je vidljiva znatno niža temperatura prozora s vanjske strane ukoliko su spuštene rolete, što upućuje na korištenje roleta kao mjera smanjenja toplinskih gubitaka.

Završni izvještaj o provedenom energetsom pregledu bit će dan na kraju (poglavlje 8.), nakon provedenog proračuna toplinskih gubitaka u podsustavima termotehničkog sustava grijanja zgrade.

3. PRORAČUN GODIŠNJE POTREBNE TOPLINSKE ENERGIJE

U svrhu energetske certificiranja provodi se proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje prema ISO 13790. Iako je prema trenutnim propisima u energetske certifikat potrebno unijeti samo taj podatak, opcijski se mogu unijeti i ostali podaci što će u ovom radu i biti učinjeno.

Potrebna toplinska energija za grijanje, za određeno razdoblje, računa se prema izrazu

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

Gdje je:

$Q_{H,ht}$	ukupni toplinski gubici zgrade u proračunskom razdoblju	[kWh]
$\eta_{H,gn}$	faktor iskorištenja toplinskih dobitaka	[-]
$Q_{H,gn}$	ukupni toplinski dobitci zgrade u proračunskom razdoblju	[kWh]

Ukupni toplinski gubici zgrade, za promatrano razdoblje, računaju se prema izrazu

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad [\text{kWh}] \quad (2)$$

Gdje je:

Q_{tr}	transmisijski toplinski gubici	[kWh]
Q_{ve}	ventilacijski toplinski gubici	[kWh]

Toplinski gubici transmisijom prema vanjskom okolišu računaju se prema izrazu

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,H} - \theta_e) \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (3)$$

Gdje je:

$H_{tr,adj}$	koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka	[W/K]
$\theta_{int,H}$	unutarnja projektna temperatura	[°C]
θ_e	srednja vanjska temperatura za proračunski period (mjesec)	[°C]
t	broj sati u proračunskom razdoblju	[h]

Gubici topline ventilacijom, računaju se prema izrazu

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,H} - \theta_e) \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (4)$$

Gdje je:

$H_{ve,adj}$	koeficijent toplinskog gubitka provjetranjem	[W/K]
--------------	--	-------

Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka sveden na razliku temperatura unutarnjeg i vanjskog zraka određuje se iz sljedećeg izraza

$$H_{tr,adj} = H_D + H_{g,m} + H_U + H_A \quad [\text{W/K}] \quad (5)$$

Gdje je:

H_D	koeficijent transmisijske izmjene topline izravno prema vanjskom okolišu	[W/K]
$H_{g,m}$	koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu, određen za svaki proračunski mjesec	[W/K]
H_U	koeficijent transmisijske izmjene topline kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu	[W/K]
H_A	koeficijent transmisijske izmjene topline prema susjednim zgradama	[W/K]

Općeniti izraz za proračun koeficijenta transmisijskog toplinskog gubitka sastoji se od tri dijela i može se napisati kao

$$H_x = b_{r,x} \left[\sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k + \sum_j \chi_j \right] \quad [\text{W/K}] \quad (6)$$

Gdje je:

$b_{r,x}$	faktor prilagodbe, $b_{r,x} \neq 1$, ako je temperatura s druge strane građevinskog elementa različita od vanjske	$[-]$
A_i	površina i -tog građevinskog elementa ovojnice zgrade	$[\text{m}^2]$
U_i	koeficijent prolaza topline i -tog građevinskog elementa	$[\text{W/m}^2 \text{ K}]$
l_k	duljina k -tog linearnog toplinskog mosta	$[\text{m}]$
ψ_k	dužinski koeficijent prolaza topline k -tog linearnog toplinskog mosta	$[\text{W/m K}]$
χ_j	koeficijent prolaza topline j -tog točkastog toplinskog mosta	$[\text{W/K}]$

Izmjena topline prema tlu

Zbog velike toplinske tromosti tla, proračun koeficijenta transmisivske izmjene topline s tlom se vrši na mjesečnoj bazi.

Koeficijent transmisivskog toplinskog gubitka prema tlu za proračunski mjesec iznosi

$$H_{g,m} = \frac{\Phi_{m,t}}{\theta_{i,m} - \theta_{e,m}} \quad [\text{W/K}] \quad (7)$$

Gdje je:

$\Phi_{m,t}$	toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec	$[\text{W}]$
$\theta_{i,m}$	unutarnja temperatura za proračunski mjesec	$[\text{°C}]$
$\theta_{e,m}$	srednja vanjska temperatura za proračunski mjesec	$[\text{°C}]$

Uz poznate srednje mjesečne temperature vanjskog zraka, toplinski tok prema tlu za proračunski mjesec, može se izračunati iz izraza

$$\Phi_{m,t} = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) + H_{pe} (\bar{\theta}_e - \theta_{e,m}) \quad [\text{W}] \quad (8)$$

Gdje je:

H_g	stacionarni koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu	[W/K]
H_{pe}	periodički koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu	[W/K]
$\bar{\theta}_i$	srednja godišnja unutarnja temperatura	[°C]
$\bar{\theta}_e$	srednja godišnja vanjska temperatura	[°C]
$\theta_{e,m}$	srednja vanjska temperatura za proračunski mjesec	[°C]

Stacionarni koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu, računa se prema

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \psi_g \quad [\text{W/K}] \quad (9)$$

Gdje je:

A	površina poda	[m ²]
U	koeficijent prolaza topline između vanjskog i unutarnjeg protora	[W/m ² K]
P	izloženi opseg poda	[m]
ψ_g	duljinski koeficijent prolaza topline za spoj zida i poda	[W/m K]

Za proračun koeficijenta prolaza topline potrebno je prethodno izračunati karakterističnu dimenziju poda prema

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad [\text{m}] \quad (10)$$

Koeficijent prolaza topline za pod na tlu računa se različito u ovisnosti o veličini d_t

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad [\text{m}] \quad (11)$$

Gdje je:

w	ukupna debljina zida	$[\text{m}]$
λ	koeficijent toplinske vodljivosti tla	$[\text{W/m K}]$
R_{si}	toplinski otpor s unutarnje strane	$[\text{m}^2 \text{K/W}]$
R_f	toplinski otpor podne konstrukcije	$[\text{m}^2 \text{K/W}]$
R_{se}	toplinski otpor s vanjske strane	$[\text{m}^2 \text{K/W}]$

Periodički koeficijent transmisivne izmjene topline prema tlu, za pod na tlu, izračunava se prema sljedećem izrazu

$$H_{pe} = 0,37 \cdot P \cdot \lambda \cdot \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{K}}\right] \quad (12)$$

Gdje je:

δ	periodička dubina prodiranja ovisna o tipu tla	$[\text{m}]$
----------	--	--------------

Koeficijent toplinskog gubitka provjetranjem

Koeficijent ventilacijske izmjene topline (izmejna toplina ventilacijom je bolji izra) određuje se prema normi HRN EN 13789 iz sljedećeg izraza

$$H_{ve,adj} = \rho \cdot c_p \cdot \sum_k (b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,nn}) \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{K}}\right] \quad (13)$$

Gdje je:

ρ	gustoća zraka	$[\text{kg/m}^3]$
c_p	specifični toplinski kapacitet zraka pri	$[\text{J/kg K}]$

	konstantnom tlaku	
$b_{ve,k}$	faktor prilagodbe, $b_{ve,k} \neq 1$, ako je temperatura ulaznog zraka različita od vanjske temperature	$[-]$
$q_{ve,k,mn}$	vremenski osrednjeni protok zraka za pojedini tip strujanja zraka	$[m^3/s]$

Kod prirodne ventilacije s dobavom vanjskog zraka, vremenski osrednjeni protok zraka, predstavlja minimalni volumni protok zraka, kako slijedi

$$q_{ve,k,mn} = \dot{V}_{\min,i} = n_{\min} \cdot V_{\text{int}} \quad [m^3/s] \quad (14)$$

Gdje je:

n_{\min}	minimalni broj izmjena zraka ovisan o tipu prostorije	$[h^{-1}]$
V_{int}	unutarnji volumen prostora	$[m^3]$

Toplinski dobici u režimu grijanja

Toplinski dobici za proračunsko razdoblje računaju se prema

$$Q_{H,gn} = Q_{\text{int}} + Q_{\text{sol}} \quad [kWh] \quad (15)$$

Gdje je:

Q_{int}	unutarnji toplinski dobici u proračunskom razdoblju	$[kWh]$
Q_{sol}	toplinski dobici od sunčeva zračenja u proračunskom razdoblju	$[kWh]$

Unutarnji toplinski dobici

Unutarnji toplinski dobici za proračunsko razdoblje, računaju se prema

$$Q_{\text{int}} = \left(\sum_k \Phi_{\text{int},mn,k} \right) \cdot t + \left(\sum_l (1 - b_{tr,l}) \cdot \Phi_{\text{int},mn,u,l} \right) \cdot t \quad [kWh] \quad (16)$$

Gdje je:

$\Phi_{int,mn,k}$	prosječni toplinski tok k -tog unutarnjeg izvora topline u grijanom prostoru	[kW]
$\Phi_{int,mn,u,i}$	prosječni toplinski tok l -tog unutarnjeg izvora topline u susjednom negrijanom prostoru	[kW]
$b_{tr,l}$	faktor prilagodbe za susjedni negrijani prostor	[-]
t	proračunsko razdoblje	[h]

Toplinski dobici od Sunčeva zračenja

Toplinski dobici od Sunčeva zračenja, za proračunsko razdoblje, računaju se prema izrazu

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t + \left(\sum_l (1 - b_{tr,l}) \cdot \Phi_{sol,mn,u,l} \right) \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (17)$$

Gdje je:

$\Phi_{sol,mn,k}$	prosječni toplinski tok sunčeva izvora topline kroz k -ti građevni dio u grijani prostor	[kW]
$\Phi_{sol,mn,u,i}$	prosječni toplinski tok sunčeva izvora topline kroz k -ti građevni dio u susjedni negrijani prostor	[kW]

Općeniti izraz za prosječni toplinski tok sunčevog zračenja kroz k -ti građevni dio

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k} \quad [\text{kW}] \quad (18)$$

Gdje je:

$F_{sh,ob,k}$	faktor zasjenjenja od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja	[-]
$A_{sol,k}$	efektivna površina otvora k na koju upada sunčevo zračenje	[m ²]
$I_{sol,k}$	srednji toplinski tok od sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela k	[W/m ²]
$F_{r,k}$	faktor oblika između otvora k i neba	[-]

$\Phi_{r,k}$	toplinski tok zračenjem od površine otvora k prema nebu	[W]
--------------	---	-----

Efektivna površina otvora se računa prema izrazu

$$A_{sol,k} = F_C \cdot g_{\perp} \cdot F_W (1 - F_F) \cdot A_p \quad [m^2] \quad (19)$$

Gdje je:

F_C	faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zračenja	[-]
g_{\perp}	stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje	[-]
F_W	faktor smanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja	[-]
F_F	udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora	[-]
A_p	ukupna površina prozora	[m ²]

Faktor zasjenjenja od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja uzima u obzir konfiguraciju terena, prevjese, ostale elemente na istoj zgradi, a izračunava se prema izrazu

$$F_{sh,ob} = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin} \quad [-] \quad (20)$$

Gdje je:

F_{hor}	parcijalni faktor zasjenjenja zbog konfiguracije terena	[-]
F_{ov}	parcijalni faktor zasjenjenja zbog gornjih elemenata prozorskog okvira	[-]
F_{fin}	parcijalni faktor zasjenjenja zbog bočnih elemenata prozorskog otvora	[-]

Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje

Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje funkcija je omjera toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline u režimu grijanja te toplinske inercije zgrade. Računa se prema sljedećim izrazima

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \text{ za } \gamma_H > 0 \text{ i } \gamma_H \neq 1 \quad [-] \quad (21)$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \text{ za } \gamma_H = 1 \quad [-] \quad (22)$$

Gdje je:

$$a_H \quad \text{bezdimenzijski numerički parametar koji uzima u obzir utjecaj toplinske inercije} \quad [-]$$

$$\gamma_H \quad \text{omjer toplinskih dobitaka i gubitaka} \quad [-]$$

Omjer toplinskih dobitaka i gubitaka računa se prema izrazu

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad [-] \quad (23)$$

Bezdimenzijski numerički parametar koji uzima u obzir utjecaj toplinske inercije računa se iz izraza

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad [-] \quad (24)$$

Gdje je:

$$a_{H,0} \quad \text{faktor ovisan o računskom razdoblju (mjesec ili sezona)} \quad [-]$$

$$\tau_{H,0} \quad \text{referentna mjesečna konstanta za grijanje} \quad [h]$$

$$\tau \quad \text{vremenska konstanta zgrade} \quad [h]$$

Vremenska konstanta zgrade računa se prema izrazu

$$\tau = \frac{C_m}{H_{tr} + H_{ve}} \quad [h] \quad (25)$$

Gdje je:

C_m toplinski kapacitet zgrade [Wh/K]

Toplinski kapacitet zgrade može se izračunati prema izrazu

$$C_m = x \cdot V_e \quad [\text{Wh/K}] \quad (26)$$

Gdje je:

x konstanta (prema Tehničkom propisu [5]) [Wh/m³ K]

V_e obujam grijanog dijela zgrade [m³]

3.1. Proračun potrebne toplinske energije za karakteristični mjesec

Ovdje će biti napravljen mjesečni proračun potrebne toplinske energije za grijanje za siječanj.

3.1.1. Proračun koeficijenta transmisije i ventilacijske izmjene topline

Koeficijent transmisije izmjene topline kroz zidove

Ulazni podaci potrebni za proračun dani su u sljedećoj tablici

Tablica 7. Ulazni podaci za proračun koeficijenta transmisije izmjene topline zidova

$t = 744$ h	broj sati u siječnju
$b_{tr,x} = 1$	zato jer je temperatura s druge strane građevinskog elementa uvijek jednaka vanjskoj temperaturi
U_i	koeficijenti prolaza topline – prema podacima iz energetskog pregleda
$\Delta U_{TM} = 0,1$ W/m ² K	odatak za približni proračun toplinskog mosta - prema Tehničkom propisu [5]
A_i	površine građevnih dijelova – prema energetskom pregledu

Koristeći vrijednosti koeficijenata prolaza topline dobivene energetske pregledom, prema jednadžbi (6), može se izračunati koeficijent transmisivnog toplinskog gubitka s time da se dodaci za toplinske mostove ne računaju već se uzimaju paušalne vrijednosti $\Delta U_{TM} = 0,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, pa je

$$H_x = b_{tr,x} \left[\sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k + \sum_j \chi_j \right] = b_{tr,x} \left[\sum_i A_i (U_i + \Delta U_i) \right] = 1 \cdot [12176] = 12176 \text{ W/K}$$

Taj koeficijent ne uključuje koeficijent transmisivne izmjene topline za pod na tlu jer se on računa na mjesečnoj bazi prema normi HRN EN ISO 13370.

Koeficijent transmisivne izmjene topline s tлом

Ulazni podaci potrebni za proračun ovog koeficijenta dani su u sljedećoj tablici

Tablica 8. Ulazni podaci za proračun koeficijenta transmisivne izmjene topline s tлом

$P = 105,8 \text{ m}$	prema podacima iz tehničke dokumentacije
$U = 0,47 \text{ W/m}^2 \text{ K}$	korigirani koeficijent prolaza topline prema podacima iz energetske pregleda i proračuna prema HRN EN ISO 13370:2008
$w = 0,3 \text{ m}$	prema podacima iz tehničke dokumentacije
$\lambda = 2 \text{ W/m K}$	prema Priručniku [3]
$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \text{ K/W}$	plošni otpor prijelazu topline naniže, prema Priručniku [3]
$R_{se} = 0 \text{ m}^2 \text{ K/W}$	za dijelove koji graniče s tлом, prema Priručniku [3]
$\delta = 2,2 \text{ m}$	za sastav tla, prema Priručniku [3]
$\psi_g = 0,55 \text{ W/m K}$	prema podacima iz norme HRN EN ISO 13370

Stacionarni koeficijent transmisivne izmjene topline prema tlu, prema jednadžbi (9), iznosi

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \psi_g = 507 \cdot 0,47 + 105,8 \cdot 0,55 = 298 \text{ W/K}$$

Toplinski tok prema tlu za siječanj, računa se iz jednadžbe (8) i iznosi

$$\Phi_{m,t} = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) + H_{pe} (\bar{\theta}_e - \theta_{e,m}) = 298 \cdot (20 - 10,3) + 103 \cdot (10,3 - (-0,6)) = 4016 \text{ W}$$

Iz čega, prema jednadžbi (7), koeficijent transmisivne izmjene topline prema tlu, za siječanj, iznosi

$$H_{g,m} = \frac{4016}{20 - (-0,6)} = 194,97 \text{ W/K}$$

Koeficijent toplinskog gubitka provjetravanjem

Ulazni podaci u proračun dobiveni su energetske pregledom. Ostali podaci prikazani su u sljedećoj tablici

Tablica 9. Ulazni podaci za proračun koeficijenta ventilacijske izmjene topline

$\rho \cdot c_p = 1200 \text{ J/m}^3 \text{ K}$	približna vrijednost za praktične proračune, prema Priručniku [3]
$b_{ve,k} = 1$	temperatura ulaznog zraka je jednaka vanjskoj temperaturi
$n_{min} = 1 \text{ h}^{-1}$	okvirni broj izmjena zraka za uredske prostore

Vremenski osrednjeni protok zraka, prema jednadžbi (14), iznosi

$$q_{ve,k,min} = n_{min} \cdot V_{int} = 1 \cdot 16938 = 16938 \text{ m}^3/\text{h}$$

Iz čega slijedi koeficijent ventilacijskog toplinskog gubitka prema jednadžbi (13)

$$H_{ve,adj} = \rho \cdot c_p \cdot \sum_k (b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,min}) = 1200 \cdot 1 \cdot \frac{16938}{3600} = 5646 \text{ W/K}$$

3.1.2. Proračun toplinskih gubitaka

Ukupni gubici topline se sastoje od transmisivskih i ventilacijskih gubitaka. Za proračun toplinskih gubitaka koriste se podaci iz energetske pregleda i sljedeće tablice

Tablica 10. Ulazni podaci u za proračun toplinskih gubitaka

$\theta_{int,H} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	za nestambene zgrade, prema Tehničkom propisu [5]
$\theta_e = -0,6 \text{ }^\circ\text{C}$	prema Prilogu E, Tehničkom propisa [5]
$\theta_{e,m} = \theta_e = -0,6 \text{ }^\circ\text{C}$	prema Prilogu E, Tehničkom propisa [5]

Toplinski gubici transmisijom prema vanjskom okolišu, iz jednadžbe (3) iznose

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,H} - \theta_e) \cdot t = (H_x + H_{g,m}) \cdot (\theta_{int,H} - \theta_e) \cdot t$$

$$Q_{tr} = (12176 + 194,97) \cdot (20 - (-0,6)) \cdot 744 = 189596 \text{ kWh}$$

Toplinski gubici ventilacijom prema vanjskom okolišu, iz jednadžbe (4) iznose

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,H} - \theta_e) \cdot t = 5646 \cdot (20 - (-0,6)) \cdot 744 = 86533 \text{ kWh}$$

Ukupni toplinski gubici, prema jednadžbi (2), za siječanj iznose

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} = 189596 + 86533 = 276129 \text{ kWh}$$

3.1.3. Proračun dobitaka topline

Unutarnji toplinski dobitci

Unutarnji toplinski dobitci se prema Tehničkom propisu [5] računaju paušalno tako da se uzme 6 W/m^2 korisne površine (za uredske zgrade)

$$\Phi_{int,mm,k} = 6 \cdot A_k = 6 \cdot 5024 = 30143 \text{ W}$$

Unutarnji dobitci topline za siječanj, prema jednadžbi (16), iznose

$$Q_{int} = \Phi_{int,mm,k} \cdot t = 30143 \cdot 744 = 22426 \text{ kWh}$$

Toplinski dobitci od sunčeva zračenja

Toplinski dobitci od sunčeva zračenja računaju se samo za prozirne površine. Proračun je potrebno izvršiti ovisno o orijentaciji ploha. Ulazni podaci potrebni za proračun su dani u sljedećoj tablici

Tablica 11. Ulazni podaci u proračun toplinskih dobitaka od sunčeva zračenja

$F_C = 0,8$	iz Priloga C, Tehničkog propisa [5]
$g_{\perp} = 0,87$	iz Priloga C, Tehničkog propisa [5]
$F_W = 0,9$	iz Tehničkog propisa [5]
$F_F = 0,3$	prema Priručniku [3]
A_p	površine prozora – iz energetskog pregleda
$F_{hor} = 1$	za 45° S.Z.Š. i kut horizonta 0°, iz Priručnika [3]
F_{ov}	ovisno o orijentaciji površine, vrijednosti prema Priručniku [3]
$F_{fin} = 1$	za 45° S.Z.Š. i kut 0°, iz Priručnika [3]
$I_{sol,k}$	globalno sunčevo zračenje na vert. plohu, prema Prilogu 8. Pravilnika [7]

Prema jednadžbi (19), efektivna površina otvora iznosi

$$A_{sol,k} = F_C \cdot g_{\perp} \cdot F_W (1 - F_F) \cdot A_p = 0,8 \cdot 0,87 \cdot 0,9 \cdot (1 - 0,3) \cdot A_p = 0,438 \cdot A_p$$

Budući da je potrebno izračunati efektivne površine ovisno o orijentaciji prozora, rezultati su prikazani tablično

Tablica 12. Podaci za proračun dobitaka topline od sunčevog zračenja

Orijentacija	A_p	$A_{sol,k}$	F_{ov}	$F_{sh,ob}$	$I_{sol,k}$	$I_{sol,k}$
	m ²	m ²	-	-	MJ/m ²	W/m ²
Sjever	847	371,2	0,8	0,8	51	19,04
Jug	929	407,3	0,74	0,74	157	58,62
Zapad	38	20,9	0,76	0,76	85	31,74

Prema gornjim podacima, moguće je iz jednadžbe (18) izračunati prosječni toplinski tok sunčevog zračenja

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k} = 0,8 \cdot 371,2 \cdot 19,04 + 0,74 \cdot 407,3 \cdot 58,62 + 0,76 \cdot 20,9 \cdot 31,74$$

$$\Phi_{sol,k} = 23826 \text{ W}$$

Toplinski dobici od sunčeva zračenja za siječanj, prema jednadžbi (17) iznose

$$Q_{sol} = \Phi_{sol,k} \cdot t = 23826 \cdot 744 = 17726 \text{ kWh}$$

Ukupni toplinski dobitci za siječanj, prema jednadžbi (15), iznose

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} = 276129 + 17726 = 40152 \text{ kWh}$$

3.1.4. Potrebna toplinska energija

Ostali podaci potrebni za proračun potrebne toplinske energije za grijanje dani su u sljedećoj tablici

Tablica 13. Podaci za izračun potrebne toplinske energije za grijanje

$a_{H,0} = 1$	vrijednost za mjesečni proračun, prema Priručniku [3]
$\tau_{H,0} = 15$	vrijednost za mjesečni proračun, prema Priručniku [3]
$x = 50 \text{ Wh/m}^3 \text{ K}$	prema Tehničkom propisu [5]
$A_k = 5024 \text{ m}^2$	ploština korisne površine zgrade – iz projektnih podloga

Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje

Omjer toplinskih dobitaka i gubitaka za siječanj, prema jednadžbi (23) iznosi

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} = \frac{40152}{276129} = 0,145$$

Toplinski kapacitet zgrade, prema jednadžbi (26) iznosi

$$C_m = x \cdot V_e = 50 \cdot 21173 = 1058628 \text{ Wh/K}$$

Vremenska konstanta zgrade, prema jednadžbi (25) iznosi

$$\tau = \frac{C_m}{H_{tr} + H_{ve}} = \frac{1058628}{12473 + 5646} = 58 \text{ h}$$

Bezdimenzijski numerički parametar, prema jednadžbi (24) iznosi

$$a_H = 1 + \frac{58}{15} = 4,9$$

S obzirom da je $\gamma_H > 0$ i $\gamma_H \neq 1$, faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za siječanj se računa prema jednadžbi (21) i iznosi

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H + 1}} = \frac{1 - 0,145^{4,9}}{1 - 0,145^{4,9+1}} = 1,00$$

Potrebna toplinska energija za grijanje

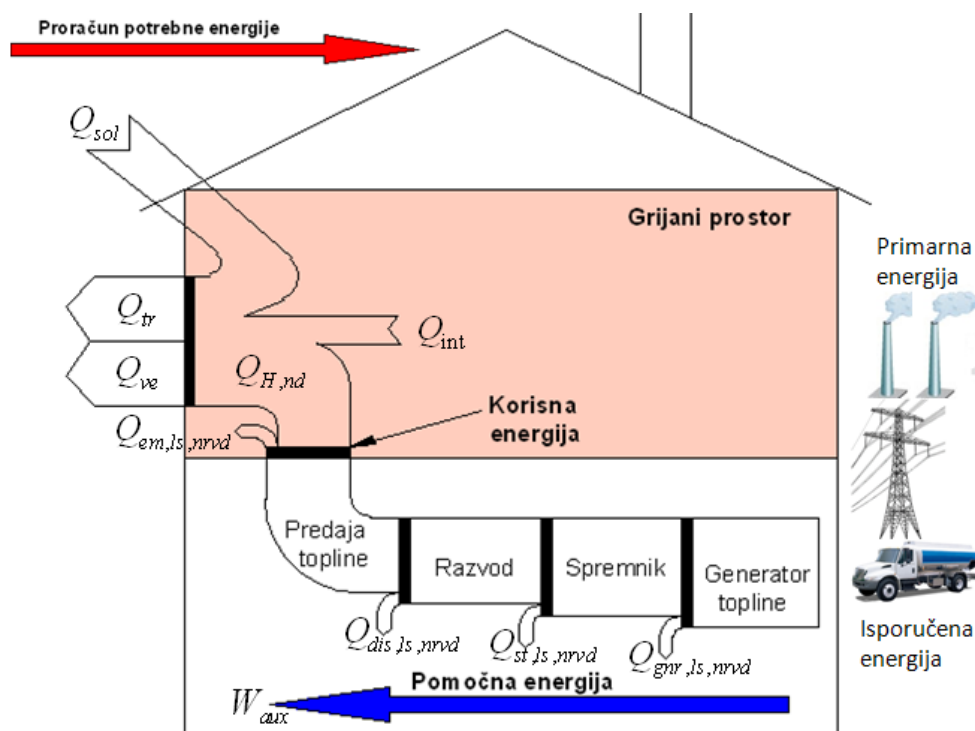
Konačno, prema jednadžbi (1), moguće je izračunati potrebnu toplinsku energiju, koja za siječanj iznosi

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} = 276129 - 1 \cdot 40152 = 235980 \text{ kWh}$$

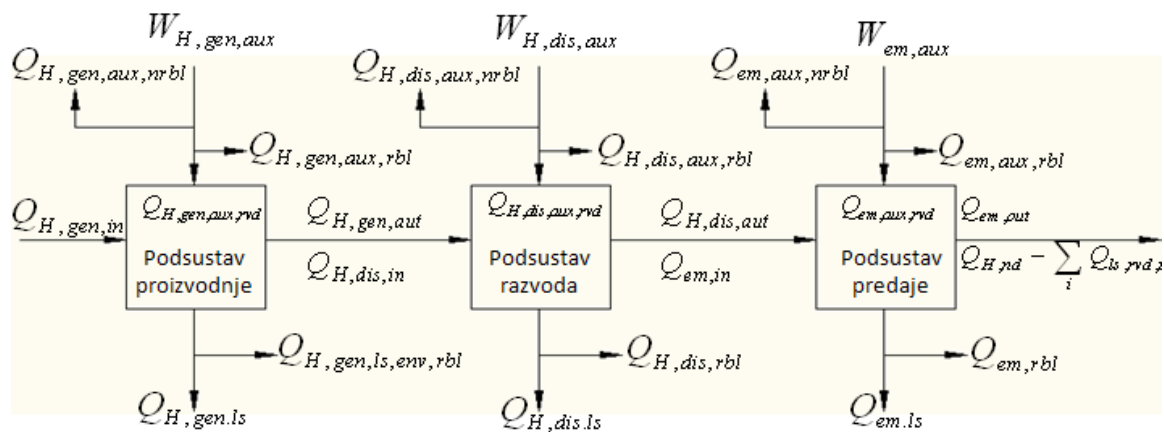
Rezultati za cijelu sezonu grijanja prikazani su u poglavlju 6.

4. PRORAČUN GUBITAKA TOPLINE

S obzirom da zgrada nema sustav pripreme PTV-a, napravljen je samo proračun gubitaka u sustavu grijanja zgrade. Proračun potrebne toplinske energije ide u smjeru suprotnom od smjera energetskih tokova kroz zgradu u termotehničkom sustavu grijanja, Slika 13. Gubici u sustavu grijanja dijele se na tri podsustava: podsustav predaje, podsustav razvoda i podsustav proizvodnje, Slika 14. U nastavku je dan proračun svakog od tih sustava.



Slika 13. Energetski tokovi u zgradi s termotehničkim sustavom grijanja



Slika 14. Podjela termotehničkog sustava grijanja na podsustave

4.1. Proračun učinkovitosti sustava prema HRN EN 15316-1:2008

Ulazna veličina u proračun je toplinska energija koju je podsustavom predaje topline potrebno predati u prostor, a računa se prema

$$Q_{em,out} = Q_{H,nd} - \sum Q_{ls,rvd,i} \quad [\text{kWh}] \quad (27)$$

Gdje je:

$Q_{H,nd}$	potrebna toplinska energija za grijanje	[kWh]
$\sum_i Q_{ls,rvd,i}$	zbroj svih iskorištenih toplinskih gubitaka sustava grijanja i pripreme PTV-a	[kWh]

Iskorišteni gubici predstavljaju stvarno iskorišteni dio iskoristivih gubitaka prema

$$Q_{ls,rvd,i} = \eta_{rvd} \cdot Q_{rbl,i} \quad [\text{kWh}] \quad (28)$$

Gdje je:

η_{rvd}	stupanj iskorištenja iskoristivih gubitaka	[-]
$Q_{rbl,i}$	pojedini iskoristivi gubitak	[kWh]

Stupanj iskorištenja iskoristivih gubitaka, računa se prema

$$\eta_{rvd} = 0,8 \cdot \eta_{H,gn} \quad [\text{kWh}] \quad (29)$$

Zbroj svih iskoristivih toplinskih gubitaka sustava grijanja i pripreme PTV-a predstavlja zbroj iskoristivih toplinskih gubitaka pojedinog sustava (koji se izračunavaju kasnije) prema

$$\sum Q_{rbl,i} = \left(\sum_i Q_{ls,rbl,i} + \sum_i Q_{aux,rbl,i} \right) \quad [\text{kWh}] \quad (30)$$

Ovaj je proračun iterativan. Postupak proračuna započinje tako da se na početku uzme da je $Q_{em,out} = Q_{H,nd}$ kako bi se izračunala $\sum_i Q_{rbl,i}$. U narednim koracima se $Q_{em,out}$ računa prema jednadžbi (27).

4.1.1. Primjer proračuna za karakteristični mjesec

Stupanj iskorištenja iskoristivih gubitaka, prema jednadžbi (29), moguće je izračunati nakon izračunatog iskorištenja $\eta_{H,gn}$ u prethodnom poglavlju, prema ISO 13790

$$\eta_{rvd} = 0,8 \cdot \eta_{H,gn} = 0,8 \cdot 1 = 0,8$$

Nakon provedenog iteriranja, iskoristive gubitke se dobije prema jednadžbi (30)

$$\sum Q_{rbl,i} = 7623,69 \text{ kWh}$$

Iskorištene gubitke se dobije proračunom prema jednadžbi (28)

$$Q_{ls,rvd,i} = \eta_{rvd} \cdot Q_{rbl,i} = 0,8 \cdot 7322 = 5857 \text{ kWh}$$

Iz izračunate potrebne toplinske energije za siječanj, nakon provedenog iteriranja, dobije se konačna vrijednost toplinske energije koju je potrebno sustavom predaje predati u prostor

$$Q_{em,out} = Q_{H,nd} - \sum_i Q_{ls,rvd,i} = 235980 - 6099 = 229881 \text{ kWh}$$

4.2. Proračun podsustava predaje topline prema HRN EN 15316-2-1:2008

Toplinska energija koju je potrebno dovesti podsustavom predaje u grijani prostor računa se prema

$$Q_{em,in} = Q_{em,out} - Q_{em,aux,rvd} + Q_{em,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (31)$$

Gdje je:

$Q_{em,out}$	toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje	[kWh]
$Q_{em,aux,rvd}$	vraćena pomoćna energija	[kWh]
$Q_{em,ls}$	toplinski gubici podsustava predaje	[kWh]

Metoda s korištenjem učinkovitosti

Toplinski gubici podsustava predaje iznose

$$Q_{em,ls} = \left(\frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) \cdot Q_{H,nd} \quad [\text{kWh}] \quad (32)$$

Gdje je:

f_{hydr}	faktor hidrauličke ravnoteže razvoda radnog medija	[-]
f_{im}	faktor intermitentnog rada	[-]
f_{rad}	faktor utjecaja zračenja	[-]
η_{em}	ukupna učinkovitost	[-]
$Q_{H,nd}$	potrebna toplinska energija za grijanje	[kWh]

Ukupna učinkovitost sustava računa se prema jednadžbi

$$\eta_{em} = \frac{1}{4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})} \quad [-] \quad (33)$$

Gdje je:

η_{str}	učinkovitost predaje uslijed vertikalne raspodjele temperatura	[-]
η_{ctr}	učinkovitost predaje uslijed djelovanja regulacije temperature prostorije	[-]
η_{emb}	učinkovitost predaje uslijed specifičnih gubitaka kroz vanjske površine	[-]

Srednja vrijednost učinkovitosti uslijed vertikalne raspodjele računa se prema

$$\eta_{str} = \frac{\eta_{str1} + \eta_{str2}}{2} \quad [-] \quad (34)$$

Srednja vrijednost učinkovitosti uslijed specifičnih gubitaka kroz vanjske površine računa se prema

$$\eta_{emb} = \frac{\eta_{emb1} + \eta_{emb2}}{2} \quad [-] \quad (35)$$

Proračun pomoćne energije

Ukupna pomoćna energija za podsustav predaje računa se kao

$$W_{em,aux} = W_{crt} + W_{others} \quad [\text{kWh}] \quad (36)$$

Gdje je:

$$W_{crt} \quad \text{pomoćna energija sustava regulacije} \quad [\text{kWh}]$$

$$W_{others} \quad \text{pomoćna energija za ventilatore i dodatne pumpe} \quad [\text{kWh}]$$

Pomoćna energija sustava regulacije računa se prema

$$W_{crt} = \frac{P_{crt} \cdot d \cdot 24}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (37)$$

Gdje je:

$$P_{crt} \quad \text{električna snaga sustava regulacije} \quad [\text{W}]$$

$$d \quad \text{broj dana u promatranom periodu} \quad [\text{dan}]$$

Pomoćna energija za ventilatore i dodatne pume

$$W_{others} = \frac{(P_{fan} \cdot n_{fan} + P_{pmp} \cdot n_{pmp}) \cdot t_{rad}}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (38)$$

Gdje je:

$$P_{fan} \quad \text{nazivna potrošnja električne energije} \quad [\text{W}]$$

n_{fan}	broj ventilatora	[-]
P_{pmp}	nazivna potrošnja električne energije za dodatne pumpe	[W]
n_{pmp}	broj dodatnih pumpi	[-]
t_{rad}	vrijeme rada u promatranom periodu	[h]

Vrijeme rada u promatranom periodu

$$t_{rad} = \frac{Q_{em,out}}{\Phi_{em}} \quad [h] \quad (39)$$

Gdje je:

$$\Phi_{em} \quad \text{nazivna snaga instaliranih ogrjevnih tijela} \quad [kW]$$

Proračun vraćene pomoćne energije

$$Q_{em,aux,rvd} = 0,75 \cdot W_{others} \quad [kWh] \quad (40)$$

Proračun iskoristive pomoćne energije

$$Q_{em,aux,rbl} = 0,25 \cdot W_{others} + W_{crt} \quad [kWh] \quad (41)$$

Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka

$$Q_{em,rbl} = 0 \quad [kWh] \quad (42)$$

Toplinska energija na ulazu u podsustav predaje jednaka je toplinskoj energiji na izlazu iz podsustava razvoda (distribucije)

$$Q_{em,in} = Q_{H,dis,out} \quad [kWh] \quad (43)$$

4.2.1. Proračun za karakteristični mjesec

Zbog preglednosti rada ovdje će biti prikazan proračun za jedan mjesec (siječanj).

Vrijednosti ulaznih podataka u sljedećoj tablici su očitane iz Algoritma [9] (tablica 2.1.-2.6.)

Tablica 14. Ulazni podaci u proračun toplinske energije podsustava predaje

$f_{hydr} = 1,03$	ne-uravnoteženi sustavi
$f_{im} = 1$	kontinuirani rad
$f_{rad} = 1$	ne uzima se u obzir
$\eta_{str1} = 0,93$	za temperaturu prostorije 20 °C i temperaturu polaza/povrata 70/55 °C (nadtemperatura 42,5 K)
$\eta_{str2} = 0,88$	ogrjevno tijelo smješteno uz vanjski zid, staklena površina sa zaštitom od zračenja
$\eta_{ctr} = 0,8$	neregulirana temperatura prostora, s centralnom regulacijom temperature polaza
$\eta_{emb} = 1$	ogrjevno tijelo smješteno uz vanjski zid, staklena površina sa zaštitom od zračenja

Tablica 15. Ostali podaci potrebni za proračun podsustava predaje

$Q_{H,nd} = 235980$ kWh	potrebna toplinska energija za grijanje za siječanj
$P_{crt} = 0$	snaga sustava regulacije - nema sustava regulacije
$n_{fan} = 0$	nema dodatnih ventilatora
$n_{pmp} = 0$	nema dodatnih pumpi
$\Phi_{em} = 582$ kW	nazivna snaga instaliranih ogrjevnih tijela prema HRN EN 12831
$Q_{em,out} = 229881$ kWh	toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje

Iz gornjih vrijednosti i jednadžbi (37) i (38) slijedi vrijednost pomoćne energije sustava regulacije i energije za pogon ventilatora i dodatnih pumpi

$$W_{crt} = 0 \text{ kWh}$$

$$W_{others} = 0 \text{ kWh}$$

Stoga je ukupna pomoćna energija za podsustav predaje topline u promatranom periodu

$$W_{em,aux} = W_{crt} + W_{others} = 0 \text{ kWh}$$

Sada je moguće izračunati vraćenu pomoćnu energiju radnom mediju

$$Q_{em,aux,rvd} = 0,75 \cdot W_{others} = 0 \text{ kWh}$$

Iskoristiva pomoćna energija koja se vraća u prostor u promatranom periodu je također jednaka nuli

$$Q_{em,aux,rbl} = 0,25 \cdot W_{others} + W_{crt} = 0 \text{ kWh}$$

Iskoristivi toplinski gubici koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu

$$Q_{em,rbl} = 0$$

Iz jednadžbi (34) i (35) i gornjih podataka slijede vrijednosti učinkovitosti predaje

$$\eta_{str} = \frac{\eta_{str1} + \eta_{str2}}{2} = \frac{0,93 + 0,88}{2} = 0,905 \quad \eta_{emb} = \frac{\eta_{emb1} + \eta_{emb2}}{2} = \eta_{emb} = 1$$

Iz jednadžbe (33) i prema gornjim podacima moguće je izračunati ukupnu učinkovitost

$$\eta_{em} = \frac{1}{4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})} = \frac{1}{4 - (0,905 + 0,8 + 1)} = 0,772$$

Također, moguće je prema jednadžbi (32) izračunati toplinske gubitke podsustava predaje

$$Q_{em,ls} = \left(\frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) \cdot Q_{H,nd} = \left(\frac{1,03 \cdot 1 \cdot 1}{0,7722} - 1 \right) \cdot 231773 = 78782 \text{ kWh}$$

Konačno, toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu predaje prema jednadžbi (31) iznosi

$$Q_{em,in} = Q_{em,out} - Q_{em,aux,rvd} + Q_{em,ls} = 225942 - 0 + 77377 = 308663 \text{ kWh}$$

Prema jednadžbi (43) ta je energija jednaka energiji na izlazu iz podsustava razvoda

$$Q_{em,in} = Q_{H,dis,out} = 308663 \text{ kWh}$$

Vrijednosti za sezonu grijanja dane su u poglavlju 6.

4.3. Proračun podsustava razvoda prema HRN EN 15316-2-3:2008

Toplinski gubici svih dionica cjevovoda računaju se prema

$$Q_{H,dis,ls} = \sum_j \psi_j \cdot (\theta_m - \theta_{ij}) \cdot L_j \cdot \beta_{dis} \cdot \frac{t_{uk}}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (44)$$

Gdje je

L_j	duljina pojedine dionice cjevovoda	[m]
ψ_j	koeficijent toplinskih gubitaka pojedine dionice cjevovoda	[W/m K]
θ_m	prosječna temperatura ogrjevnog medija	[°C]
$\theta_{i,j}$	temperatura okolišnog zraka pojedine dionice	[°C]
t_{uk}	broj sati u promatranom periodu	[h]

Faktor opterećenja iznosi

$$\beta_{dis} = \frac{Q_{H,dis,out}}{\Phi_{em} \cdot t_{uk}} \quad [-] \quad (45)$$

Gdje je

$Q_{H,dis,out}$	toplinska energija na izlazu iz podsustava razvoda	[kWh]
Φ_{em}	nazivna snaga instaliranih ogrjevnih tijela	[W]

Cjevovodi u sustavu razvoda se dijele u tri kategorije

L_V	cjevovodi između generatora i vertikalala	[m]
L_S	cjevovodi vertikalala	[m]
L_A	spojni cjevovodi s ogrjevnim tijelima	[m]

Proračun prosječne temperature ogrjevnog medija

$$\Delta\theta_{des} = \frac{\theta_{s,des} + \theta_{r,des}}{2} - \theta_i \quad [°C] \quad (46)$$

Gdje je

$\theta_{s,des}$	projektana temperatura polaza ogrjevnog medija	[°C]
$\theta_{r,des}$	projektana temperatura povrata ogrjevnog medija	[°C]
θ_i	temperatura prostorije	[°C]

Prosječna temperatura vode u sustavu kod regulacije u ovisnosti o vanjskoj temperaturi računa se prema

$$\theta_m = \theta_d + f_c (\theta_i - \theta_d) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (47)$$

Gdje je

θ_d	projektana temperatura sustava razvoda	[$^{\circ}\text{C}$]
f_c	korekcijski faktor ovisan o vrsti regulacije	[$^{\circ}\text{C}$]

Iskoristivi toplinski gubici podsustava razvoda koji se vraćaju u grijani prostor

$$Q_{H,dis,ls,rbl} = \sum_j k_1 \cdot k_2 \cdot \psi_j \cdot (\theta_m - \theta_{i,j}) \cdot L_j \cdot \beta_{dis} \cdot \frac{t_{uk}}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (48)$$

Gdje je

k_1	udio iskoristivih gubitaka u ukupnim za pojedinu dionicu cjevovoda u ovisnosti o vrsti prostorije	[–]
k_2	udio iskoristivih gubitaka u ukupnim za pojedinu dionicu cjevovoda u ovisnosti o načinu ugradnje	[–]

Proračun pomoćne energije

$$W_{H,dis,aux} = \frac{P_{hydr,des}}{1000} \cdot \beta_{dis} \cdot t_{uk} \cdot f_{NET} \cdot f_{HB} \cdot f_{G,PM} \cdot e_{dis} \quad [\text{kWh}] \quad (49)$$

Gdje je

$P_{hydr,des}$	projektana hidraulička snaga	[W]
e_{dis}	faktor energetskeg utroška	[–]
f_{NET}	korekcijski faktor hidrauličke mreže	[–]
f_{HB}	korekcijski faktor hidrauličke ravnoteže mreže	[–]
$f_{G,PM}$	korekcijski faktor za generatore topline s integriranom pumpom	[–]

Najveća duljina kruga grijanja u promatranoj zoni (aproksimacija)

$$L_{max} = 2 \cdot \left(L_L + \frac{L_W}{2} + N_{lev} \cdot h_{lev} + l_c \right) \quad [\text{m}] \quad (50)$$

Gdje je

L_L	najveća razvijena duljina zgrade ili zone	[m]
L_W	najveća razvijena širina zgrade ili zone	[m]
N_{lev}	broj katova	[-]
h_{lev}	visina kata	[m]
l_c	za dvocjevni sustav = 10 m	[m]

Projekttni pad tlaka za primarne i sekundarne krugove (aproksimacija)

$$\Delta p_{des} = 0,13 \cdot L_{max} + 2 + \Delta p_{FH} + \Delta p_G \quad [\text{kPa}] \quad (51)$$

Gdje je

Δp_{FH}	dodatni pad tlaka za sustave podnog grijanja	[kPa]
Δp_G	pad tlaka generatora topline	[kPa]

Projekttni volumni protok

$$\dot{V}_{des} = \frac{\Phi_{em,out}}{1,15 \cdot \Delta \theta_{dis,des}} \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (52)$$

Gdje je

$\Phi_{em,out}$	nazivna snaga generatora topline	[kW]
$\Delta \theta_{dis,des}$	projekttna razlika temperatura	[kPa]

Projekttna razlika temperatura

$$\Delta \theta_{dis,des} = \theta_{s,des} - \theta_{r,des} \quad [\text{K}] \quad (53)$$

Gdje je

$\theta_{s,des}$ projektna temperatura polaza ogrjevnog medija [°C]

$\theta_{r,des}$ projektna temperatura povrata ogrjevnog medija [°C]

Projektna hidraulička snaga

$$P_{hydr,des} = 0,2778 \cdot \Delta p_{des} \cdot \dot{V}_{des} \quad [\text{W}] \quad (54)$$

Faktor učinkovitosti

$$f_e = \frac{P_{el,pmpe}}{P_{hydr,des}} \quad [-] \quad (55)$$

Gdje je

$P_{el,pmpe}$ nazivna električna snaga pumpe [W]

Faktor energetskog utroška

$$e_{dis} = f_e \left(\frac{C_{p1} + C_{p2}}{\beta_{dis}} \right) \quad [-] \quad (56)$$

Gdje je

C_{p1}, C_{p2} konstante [-]

Proračun vraćene pomoćne energije radnom mediju u promatranom periodu za podsustav razvoda

$$Q_{H,dis,aux,rvd} = 0,75 \cdot W_{H,dis,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (57)$$

Proračun iskoristive pomoćne energije koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav razvoda

$$Q_{H,dis,aux,rbl} = k \cdot 0,25 \cdot W_{H,dis,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (58)$$

Gdje je

k udio iskoristivih gubitaka u ukupnim $[-]$

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja

$$Q_{H,dis,in} = Q_{H,gen,out} = Q_{H,dis,out} - Q_{H,dis,aux,rvd} + Q_{H,dis,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (59)$$

4.3.1. Proračun za karakteristični mjesec

Ovdje će biti prikazan proračun toplinskih gubitaka podsustava razvoda za siječanj. Ulazni podaci za proračun očitani su iz tablica 3.1-3.9 Algoritma[9]. Podaci su prikazani u sljedećoj tablici

Tablica 16. Ulazni podaci za proračun podsustava razvoda

$\psi = 2 \text{ W/m K}$	vrijednost za neizolirane cijevi i površinu etaže manju od 500 i veću od 200 m ² – vidi tablicu
$\theta_d = 50 \text{ °C}$	projektna temperatura sustava razvoda prema podacima za srednjetermperaturni razvod
$k_1 = 1$	udio iskoristivih gubitaka ako dionica prolazi kroz grijani prostor
$k_2 = 1 (0,6)$	udio iskoristivih gubitaka ako dionica prolazi kroz unutrašnji (vanjski neizolirani) zid
$f_{NET} = 1$	korekcijski faktor hidrauličke mreže za dvocijevni sustav
$f_{HB} = 1,15$	korekcijski faktor hidrauličke ravnoteže mreže za nebalansirane mreže
$f_{G,PM} = 1$	korekcijski faktor za standardni generator reguliran prema vanjskoj temperaturi
$l_c = 10 \text{ m}$	vrijednost za dvocijevni sustav
$\Delta_{p_{FH}} = 0 \text{ kPa}$	zbog toga jer nema podnog grijanja
$\Delta_{p_G} = 80 \text{ kPa}$	pad tlaka generatora topline za sustav sa sadržajem vode $\leq 0,3 \text{ Lit/kW}$ i $\Phi_{em,out,max} = \Phi_{em} \geq 35 \text{ kW}$
$C_{p1} = 0,25$	za nereguliranu pumpu (konstantna brzina vrtnje)
$C_{p2} = 0,75$	za nereguliranu pumpu (konstantna brzina vrtnje)
$k = 0,5$	udio iskoristivih gubitaka pomoćne energije ako je komponenta smještena u negrijanoj zoni
$f_c = \frac{\theta_e - \theta_{e,design}}{\theta_i - \theta_{e,design}}$	korekcijski faktor za regulaciju s promjenjivom temperaturom (regulacija protoka)

Ostali podaci potrebni za proračun prikazani u Tablici 17. su dobiveni energetske pregledom ili uvidom u projektnu dokumentaciju.

Tablica 17. Ostali podaci za proračun razvoda sustava grijanja

L_j	$L_V = 80$ m $L_S = 360$ m $L_A = 158$ m	duljine pojedinih dionica cjevovoda (iz projektne dokumentacije)
$L_L = 39,6$ m	najveća razvijena duljina zgrade – iz projektne dokumentacije	
$L_w = 13,3$ m	najveća razvijena širina zgrade – iz projektne dokumentacije	
$h_{lev} = 3$ m	visina kata – iz projektne dokumentacije	
$N_{lev} = 12$	broj katova (etaža)	
$\theta_{s,des} = 70$ °C	projektna temperatura polaza ogrjevnog medija	
$\theta_{r,des} = 55$ °C	projektna temperatura povrata ogrjevnog medija	
$\theta_e = -0,6$ °C	vanjska temperatura zraka za siječanj za referentne klimatske podatke	
$\theta_{e,design} = -15$ °C	vanjska projektna temperatura za sezonu grijanja	
$\theta_i = 20$ °C	unutarnja temperatura zraka	
$P_{el,pmp} = 1660$ W	električna snaga pumpe očitana pri energetske pregledu	

Najveća duljina kruga grijanja u promatranoj zoni prema jednadžbi (50) iznosi

$$L_{\max} = 2 \cdot \left(L_L + \frac{L_w}{2} + N_{lev} \cdot h_{lev} + l_c \right) = 2 \cdot \left(39,6 + \frac{13,3}{2} + 12 + 3 + 10 \right) = 172,5 \text{ m}$$

Približna vrijednost projektne pada tlaka računa se prema jednadžbi (51)

$$\Delta p_{des} = 0,13 \cdot L_{\max} + 2 + \Delta p_{FH} + \Delta p_G = 0,13 \cdot 172,5 + 2 + 0 + 80 = 104,4 \text{ kPa}$$

Projektne razlika temperatura polaza i povrata prema jednadžbi (53) iznosi

$$\Delta \theta_{dis,des} = \theta_{s,des} - \theta_{r,des} = 70 - 55 = 15 \text{ °C}$$

Projektne volumne protok prema jednadžbi (52) iznosi

$$\dot{V}_{des} = \frac{\Phi_{em,out}}{1,15 \cdot \Delta \theta_{dis,des}} = \frac{575}{1,15 \cdot 15} = 31,93 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Projektne hidrauličke snage prema jednadžbi (54) iznosi

$$P_{hydr,des} = 0,2778 \cdot \Delta p_{des} \cdot \dot{V}_{des} = 0,2778 \cdot 104,4 \cdot 31,93 = 926 \text{ W}$$

Faktor učinkovitosti može se proračunati iz jednadžbe (55) i gornjih podataka

$$f_e = \frac{P_{el,pmp}}{P_{hydr,des}} = \frac{1600}{926} = 1,79$$

Korekcijski faktor koji uzima u obzir vrstu regulacije, za siječanj, iznosi

$$f_c = \frac{\theta_e - \theta_{e,design}}{\theta_i - \theta_{e,design}} = \frac{-0,6 - (-15)}{20 - (-15)} = 0,41$$

Sada je moguće izračunati prosječnu temperaturu vode u sustavu prema jednadžbi (47)

$$\theta_m = \theta_d + f_c (\theta_i - \theta_d) = 50 + 0,41 \cdot (20 - 50) = 37,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Faktor opterećenja prema jednadžbi (45) iznosi

$$\beta_{dis} = \frac{Q_{H,dis,out}}{\Phi_{em} \cdot t_{uk}} = \frac{308663}{582 \cdot 744} = 0,71$$

Faktor energetskog utroška prema jednadžbi (56) iznosi

$$e_{dis} = f_e \left(\frac{C_{p1} + C_{p2}}{\beta_{dis}} \right) = 1,79 \cdot \left(\frac{0,25 + 0,75}{0,71} \right) = 2,52$$

Iz ovih rezultata i ostalih ulaznih podataka navedenih u tablicama 3. i 4. te prema jednadžbi (49) moguće je izračunati pomoćnu energiju za pogon pumpi u promatranom periodu (siječanj)

$$W_{H,dis,aux} = \frac{P_{hydr,des}}{1000} \cdot \beta_{dis} \cdot t_{uk} \cdot f_{NET} \cdot f_{HB} \cdot f_{G,PM} \cdot e_{dis} = \frac{926}{1000} \cdot 0,71 \cdot 744 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 2,52 = 1238 \text{ kWh}$$

Vraćena pomoćna energija prema jednadžbi (57) iznosi

$$Q_{H,dis,aux,rvd} = 0,75 \cdot W_{H,dis,aux} = 0,75 \cdot 1238 = 929 \text{ kWh}$$

Iskoristiva pomoćna energija prema jednadžbi (58) iznosi

$$Q_{H,dis,aux,rbl} = k \cdot 0,25 \cdot W_{H,dis,aux} = 0,5 \cdot 0,25 \cdot 1238 = 310 \text{ kWh}$$

Iskoristivi toplinski gubici podsustava razvoda koji se vraćaju u prostor, prema jednadžbi (48) iznose

$$Q_{H,dis,ls,rbl} = \sum_j k_1 \cdot k_2 \cdot \psi_j \cdot (\theta_m - \theta_{i,j}) \cdot L_j \cdot \beta_{dis} \cdot \frac{t_{uk}}{1000}$$

$$Q_{H,dis,ls,rbl} = 1 \cdot 1 \cdot 2 \cdot (37,7 - 20) \cdot 80 \cdot 0,71 \cdot \frac{744}{1000} + 1 \cdot 0,6 \cdot 2 \cdot (37,7 - 20) \cdot (360 + 158) \cdot 0,71 \cdot \frac{744}{1000}$$

$$Q_{H,dis,ls,rbl} = 7314 \text{ kWh}$$

Toplinski gubici svih dionica cjevovoda, izračunati prema jednadžbi (44) iznose

$$Q_{H,dis,ls} = \sum_j \psi_j \cdot (\theta_m - \theta_{ij}) \cdot L_j \cdot \beta_{dis} \cdot \frac{t_{uk}}{1000}$$

$$Q_{H,dis,ls} = 2 \cdot (37,7 - 20) \cdot (80 + 360 + 158) \cdot 0,71 \cdot \frac{744}{1000}$$

$$Q_{H,dis,ls} = 11192 \text{ kWh}$$

Konačno, toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja, prema jednadžbi (59) iznosi

$$Q_{H,dis,in} = Q_{H,dis,out} - Q_{H,dis,aux,rvd} + Q_{H,dis,ls} = 308663 - 929 + 11192 = 318926 \text{ kWh}$$

Ta je energija jednaka energiji na izlazu iz podsustava proizvodnje topline

$$Q_{H,dis,in} = Q_{H,gen,out} = 318926 \text{ kWh}$$

Ukupni rezultati za sezonu grijanja dani su u poglavlju 6.

4.4. Proračun podsustava proizvodnje prema HRN EN 15316-4-5:2008

Toplinska energija na ulazu u podsustav proizvodnje računa se kao

$$Q_{H,gen,in} = Q_{H,gen,out} - Q_{H,gen,aux,rvd} + Q_{H,gen,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (60)$$

Gdje je

$Q_{H,gen,out}$	toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje (jednaka toplinskoj energiji na ulazu u podsustav razvoda)	[kWh]
$Q_{H,gen,aux,rvd}$	vraćena pomoćna energija u podsustav proizvodnje	[kWh]
$Q_{H,gen,ls}$	ukupni toplinski gubici podsustava	[kWh]

Gubici podsustava proizvodnje obuhvaćeni ovim proračunom odnose se na toplinske gubitke toplinske podstanice u zgradi

$$Q_{H,gen,ls} = H_{H,gen} \cdot (\theta_{H,gen} - \theta_{amb}) \quad [\text{kWh}] \quad (61)$$

Gdje je

$H_{H,gen}$	koeficijent izmjene topline toplinske podstanice	$\left[\frac{\text{kWh}}{\text{K a}} \right]$
$\theta_{H,gen}$	prosječna temperatura toplinske podstanice	$[\text{°C}]$
θ_{amb}	unutarnja temperatura toplinske podstanice	$[\text{°C}]$

Koeficijent izmjene topline toplinske podstanice iznosi

$$H_{H,gen} = B_{H,gen} \Phi_{H,gen}^{\frac{1}{3}} \quad \left[\frac{\text{kWh}}{\text{K}} \right] \quad (62)$$

Gdje je

$B_{H,gen}$	koeficijent ovisan o tipu toplinske podstanice i razini izolacije	$[-]$
$\Phi_{H,gen}$	nazivni toplinski učin podstanice	$[\text{kW}]$

$$\theta_{H,gen} = D_{H,gen} \cdot \theta_{H,gen,in} + (1 - D_{H,gen}) \cdot \theta_{H,gen,out} \quad [\text{°C}] \quad (63)$$

Gdje je

$D_{H,gen}$	koeficijent ovisan o tipu toplinske podstanice	$[-]$
$\theta_{H,gen,in}$	prosječna temperatura ogrjevnog medija primarnog (ulaznog) kruga toplinske podstanice	$[\text{°C}]$
$\theta_{H,gen,out}$	prosječna temperatura ogrjevnog medija sekundarnog (izlaznog) kruga toplinske podstanice $\frac{\theta_{s,des} - \theta_{r,des}}{2}$	$[\text{°C}]$

Pomoćna energija se zanemaruje

$$W_{H,gen,aux} = 0 \quad [\text{kWh}] \quad (64)$$

Za toplinsku podstanicu smještenu u negrijanom prostoru, niti jedan dio toplinskih gubitaka se nemože povratiti

$$Q_{H,gen,ls,rbl} = 0 \quad [\text{kWh}] \quad (65)$$

4.4.1. Proračun za karakteristični mjesec

Ulazni podaci su očitani iz norme HRN EN 15316-4-5:2008.

Tablica 18. Ulazni podaci za proračun podsustava proizvodnje

$B_{H,gen} = 4,4$	vrijednost koeficijenta očitana za neizolirani sekundarni krug i toplovodni niskotemperaturni primarni krug
$\theta_{H,gen,in} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$	za toplovodni niskotemperaturni primarni krug
$D_{H,gen} = 0,6$	za $\theta_{H,gen,in} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$
$\theta_{amb} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$	aproksimativna vrijednost unutarnje temperature toplinske podstanice (negrijani prostor)

Prosječna temperatura ogrjevnog medija sekundarnog kruga može se izračunati prema

$$\theta_{H,gen,out} = \frac{\theta_{s,des} - \theta_{r,des}}{2} = \frac{70 - 55}{2} = 62,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Prosječna temperatura toplinske podstanice prema jednadžbi (63) iznosi

$$\theta_{H,gen} = D_{H,gen} \cdot \theta_{H,gen,in} + (1 - D_{H,gen}) \cdot \theta_{H,gen,out} = 0,6 \cdot 105 + (1 - 0,6) \cdot 62,5 = 88 \text{ }^\circ\text{C}$$

Koeficijent izmjene topline toplinske podstanice prema jednadžbi (62) iznosi

$$H_{H,gen} = B_{H,gen} \Phi_{H,gen}^{\frac{1}{3}} = 4,4 \cdot 582^{\frac{1}{3}} = 36,7 \frac{\text{kWh}}{\text{K a}}$$

Gubici podsustava proizvodnje prema jednadžbi (61) iznose

$$Q_{H,gen,ls} = H_{H,gen} \cdot (\theta_{H,gen} - \theta_{amb}) = 36,7 \cdot (88 - 0) = 3234 \text{ kWh}$$

Toplinska energija na ulazu u podsustav proizvodnje računa se prema jednadžbi (60) i iznosi

$$Q_{H,gen,in} = Q_{H,gen,out} - Q_{H,gen,aux,rvd} + Q_{H,gen,ls} = 318926 - 0 + 3234 = 322160 \text{ kWh}$$

Ukupni rezultati proračuna za sezonu grijanja dani su u poglavlju 6.

5. PRORAČUN ISPORUČENE I PRIMARNE ENERGIJE

5.1. Proračun isporučene energije

Isporučena energija u sustav grijanja zgrade

$$E_{H,del} = Q_{H,gen,in} + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) \quad [\text{kWh}] \quad (66)$$

Isporučena energija u sustav pripreme potrošne tople vode

$$E_{W,del} = Q_{W,gen,in} + (W_{W,dis,aux} + W_{W,gen,aux}) \quad [\text{kWh}] \quad (67)$$

Ukupno isporučena energija u termotehnički sustav zgrade jednaka je zbroju energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode

$$E_{del} = E_{H,del} + E_{W,del} \quad [\text{kWh}] \quad (68)$$

5.2. Proračun primarne energije

Primarna energija za sustav grijanja s jednim generatorom topline jednaka je

$$E_{H,prim} = Q_{H,gen,in} \cdot f_p + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (69)$$

Primarna energija za sustav pripreme PTV-a s jednim generatorom

$$E_{W,prim} = Q_{W,gen,in} \cdot f_p + (W_{W,dis,aux} + W_{W,gen,aux}) \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (70)$$

Gdje je

$$f_p \quad \text{faktor primarne energije} \quad [-]$$

$$f_{p,el} \quad \text{faktor primarne energije za električnu energiju} \quad [-]$$

Ukupna primarna energija za termotehnički sustav zgrade jednaka je

$$E_{prim} = E_{H,prim} + E_{W,prim} \quad [\text{kWh}] \quad (71)$$

Koeficijent utroška primarne energije

$$e_p = \frac{E_{prim}}{Q_{H,nd} + Q_W} \quad [-] \quad (72)$$

5.3. Emisija ugljičnog dioksida

$$CO_2 = (Q_{H,gen,in} + Q_{W,gen,in}) \cdot C_{p,i} + (W_{aux}) \cdot C_{el} \quad [kg] \quad (73)$$

Gdje je

$C_{p,i}$	faktor pretvorbe za i -ti izvor energije	$[-]$
C_{el}	faktor pretvorbe za električnu energiju	$[-]$
W_{aux}	$W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux} + W_{W,dis,aux} + W_{W,gen,aux}$	$[kWh]$

5.4. Proračun isporučene i primarne energije za zgradu FSB-a

Proračun isporučene energije

S obzirom da zgrada nema sustav zagrijavanja potrošne tople vode, ukupna isporučena energija je jednaka isporučenoj energiji u sustav grijanja prema jednadžbi (66)

$$E_{H,del} = Q_{H,gen,in} + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) = 1402933 + (0 + 10907 + 0) = 1413839 \text{ kWh}$$

Za proračun primarne energije, prema Pravilniku [7], faktori primarne energije su

$$f_p = 0,7 \quad - \text{ za lokalnu/danjinsku toplinu iz TO-TE}$$

$$f_{p,el} = 3,0 \quad - \text{ za električnu energiju}$$

Proračun primarne energije

Ukupna primarna energija je jednaka primarnoj energiji za sustav grijanja (s jednim generatorom), prema jednadžbi (69)

$$E_{H,prim} = Q_{H,gen,in} \cdot f_p + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) \cdot f_{p,el} = 1402933 \cdot 0,7 + 10907 \cdot 3 = 1014773 \text{ kWh}$$

Koeficijent utroška primarne energije, prema jednadžbi (72), iznosi

$$e_p = \frac{E_{prim}}{Q_{H,nd} + Q_W} = \frac{1014773}{1023593 + 0} = 0,991$$

Proračun godišnje emisije ugljičnog dioksida

Za proračun emisije ugljičnog dioksida, prema Pravilniku [7], faktori pretvorbe iznose

$C_{p,i} = 0,33$ kg/kWh – za daljinsko grijanje

$C_{el} = 0,53$ kg/kWh – za električnu energiju

Godišnja emisija ugljičnog dioksida, prema jednadžbi (73), iznosi

$$CO_2 = (Q_{H,gen,in} + Q_{W,gen,in}) \cdot C_{p,i} + (W_{aux}) \cdot C_{el} = (1402933) \cdot 0,33 + (10907) \cdot 0,53 = 468748 \text{ kg}$$

6. REZULTATI PRORAČUNA

U sljedećoj su tablici prikazani ukupni rezultati proračuna za sezonu grijanja.

Tablica 19. Ukupni rezultati proračuna

	Oznaka	kWh/a
Ukupna potrebna toplinska energija	$Q_{H,nd}$	1023593
Ukupni gubici topline	$\sum Q_{H,ls,i}$	409973
Vraćena pomoćna energija	$\sum Q_{H,aux,rvd,i}$	8180
Iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja	$\sum Q_{H,aux,rbl,i}$	2727
Iskorišteni toplinski gubici	$\sum Q_{H,ls,rvd,i}$	22454
Pomoćna energija	$\sum W_{H,aux,i}$	10907
Isporučena toplinska energija generatoru	$Q_{H,gen,in}$	1402933
Isporučena energija	$E_{H,del}$	1413839
Primarna energija	$E_{H,prim}$	1014773
Koeficijent utroška primarne energije	$e_{H,p}$	0,991
Emisija ugljičnog dioksida [kg/a]	CO ₂	468748

Pregled svih izlaznih veličina iz proračuna, za sezonu grijanja, prikazani su u sljedećoj tablici.

Tablica 20. Pregled svih izlaznih veličina

Podsustav predaje	kWh
$Q_{em,out} = Q_{H,nd} - \sum Q_{ls,rvd,i}$	1001140
$Q_{em,ls}$	341727
$W_{em,aux}$	0
$Q_{em,aux,rvd}$	0
$Q_{em,aux,rbl}$	0
$Q_{em,in}$	1342866
Podsustav razvoda	kWh
$Q_{H,dis,out} = Q_{em,in}$	1342866
$Q_{H,dis,ls}$	39144
$Q_{H,dis,rbl}$	25581
$W_{H,dis,aux}$	10907
$Q_{H,dis,aux,rvd}$	8180
$Q_{H,dis,aux,rbl}$	2727
$Q_{H,dis,in}$	1373831
Podsustav proizvodnje	kWh
$Q_{H,gen,out} = Q_{H,dis,in}$	1373831
$Q_{H,gen,ls}$	29102
$W_{H,gen,aux}$	0
$Q_{H,gen,aux,rvd}$	0
$Q_{H,gen,aux,rbl}$	0
$Q_{H,gen,in}$	1402933

7. ANALIZA REZULTATA I MJERE UŠTEDE ENERGIJE

7.1. Analiza rezultata proračuna

Iz rezultata proračuna, vidljivo je da analizirana zgrada troši mnogo energije. Također, vrlo je važno napomenuti da zgrada troši i više energije nego što je dobiveno ovom analizom. Budući da su kao ulazni podaci u proračun korištene veličine preporučene Tehničkim propisom [5], Pravilnikom [7] i Priručnikom [3], dok stvarne vrijednosti ponekad znatno odstupaju od navedenih, prvo će biti prikazani rezultati na godišnjoj razini za stvarne ulazne podatke. Pod stvarnim ulaznim podacima se misli na vrijednosti dobivene prilikom energetskeg pregleda.

Energetskim je pregledom utvrđeno da temperatura zraka u prostorijama iznosi od 20 °C do 24 °C. Iz tog razloga, napravit će se proračun za unutarnju temperaturu zraka 23 °C. Nadalje, s obzirom na topliju odjeću tijekom zimskog razdoblja, ova je temperatura za korisnike previsoka. Budući da ne postoji regulacija, jedini način snižavanja sobne temperature jest otvaranje prozora što dovodi do većih gubitaka topline ventilacijom (infiltracijom).

Rezultati će biti prikazani tablično, za varijacije ulaznih podataka prikazane u tablici 21.

Tablica 21. Opis varijacija ulaznih podataka

I	Unutarnja temperatura zraka	$\theta_i = 23 \text{ }^\circ\text{C}$
II	Broj izmjena zraka	$n = 2 \text{ h}^{-1}$
III	Uključuje I i II	$\theta_i = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ i $n = 2 \text{ h}^{-1}$

Tablica 22. Razlika potrošnje energije s obzirom na ulazne podatke

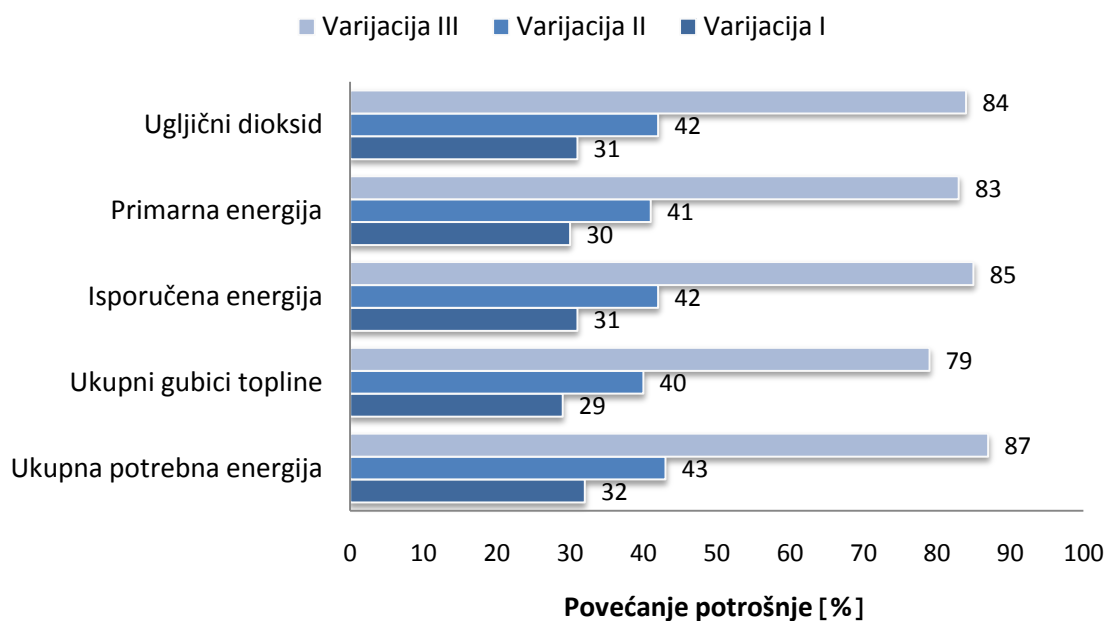
	Oznaka	kWh/a	I	II	III
Ukupna potrebna energija	$Q_{H,nd}$	1023593	1349297	1465653	1911963
Ukupni gubici topline	$\sum_i Q_{H,ls,i}$	409973	527943	573382	734850
Isporučena energija	$E_{H,del}$	1413839	1852573	2011015	2612189
Primarna energija	$E_{H,prim}$	1014773	1321887	1432796	1853618
Ugljični dioksid [kg/a]	CO ₂	468748	613531	665816	864204

U tablici 23. su ove potrošnje prikazane u postocima (u odnosu na vrijednosti izračunate u prvom proračunu).

Tablica 23. Razlika potrošnje energije s obzirom na ulazne podatke (%)

	Oznaka	kWh/a	I	II	III
Ukupna potrebna energija	$Q_{H,nd}$	1023593	+32	+43	+87
Ukupni gubici topline	$\sum_i Q_{H,ls,i}$	409973	+29	+40	+79
Isporučena energija	$E_{H,del}$	1413839	+31	+42	+85
Primarna energija	$E_{H,prim}$	1014773	+30	+41	+83
Ugljični dioksid [kg/a]	CO ₂	468748	+31	+42	+84

Također je dan i dijagramski prikaz ušteda s obzirom na varijaciju ulaznih podataka (prema tablici 21.), Slika 15.



Slika 15. Rast potrošnje energije s obzirom na varijaciju ulaznih podataka

Iz rezultata je vidljivo da automatska regulacija (npr. ugradnja termostatskog ventila) može smanjiti potrebnu toplinsku energiju za 32 %, odnosno ukoliko se uz to izmjeni i stolarija, ušteda može biti i 87 %. Ugradnjom termostatskih ventila smanjuju se gubici u podsustavu razvoda za 9234 kWh godišnje.

7.2. Mjere uštede energije

S obzirom na podatke iz energetskog pregleda, moguće je predložiti nekoliko mjera kojima bi se postigla ušteda energije. Mjere su podjeljene u nekoliko grupa i prikazane u tablici 24.

Tablica 24. Mjere uštede toplinske energije

A	Izolacija zgrade kako bi se postigle najveće dopuštene vrijednosti koeficijenata prolaza topline definirane Tehničkim propisom [5]	$U_{\text{zidovi}} = 0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
B	Izmjena stolarije kako bi se smanjila infiltracija (gubici topline ventilacijom) i transmisijska izmjena topline (zbog manjeg koeficijenta prolaza topline)	$n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ $U_{\text{prozori}} = 1,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
C	Uključuje A i B	$U_{\text{zidovi}} = 0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ $U_{\text{prozori}} = 1,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$

U tablici 25. su prikazane vrijednosti potrošnje energije kada se primjene mjere uštede prema tablici 24.

Tablica 25. Ukupna godišnja potrošnja energije nakon primjene mjera uštede

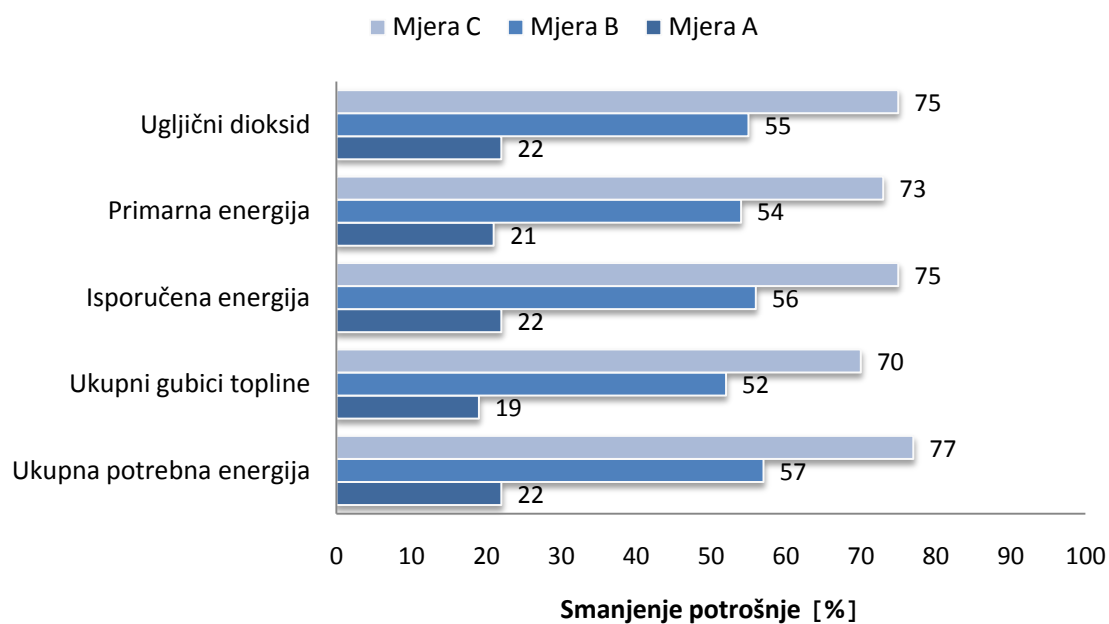
	Oznaka	kWh/a	A	B	C
Ukupna potrebna energija	$Q_{H,nd}$	1023593	795090	442625	237504
Ukupni gubici topline	$\sum_i Q_{H,ls,i}$	409973	330128	198710	121320
Isporučena energija	$E_{H,del}$	1413839	1106422	629125	350137
Primarna energija	$E_{H,prim}$	1014773	799581	465473	270181
Ugljični dioksid [kg/a]	CO ₂	468748	367300	209793	117727

U tablici 26. su ove potrošnje prikazane u postocima (u odnosu na vrijednosti izračunate u prvom proračunu prema tehničkoj regulativi).

Tablica 26. Ušteda energije primjenom mjera (%)

	Oznaka	kWh/a	A	B	C
Ukupna potrebna energija	$Q_{H,nd}$	1023593	-22	-57	-77
Ukupni gubici topline	$\sum_i Q_{H,ls,i}$	409973	-19	-52	-70
Isporučena energija	$E_{H,del}$	1413839	-22	-56	-75
Primarna energija	$E_{H,prim}$	1014773	-21	-54	-73
Ugljični dioksid [kg/a]	CO ₂	468748	-22	-55	-75

Postoci uštede s obzirom na primjenu mjera prikazane su i dijagramski, Slika 16.



Slika 16. Ušteda energije ako se uvedu mjere energetske učinkovitosti

8. ZAVRŠNI IZVJEŠTAJ O ENERGETSKOM PREGLEDU



Ovdje je prikazan Završni izvještaj o energetsom pregledu, prema Metodologiji [8].

Opći podaci o zgradi		
Naziv zgrade	Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Vrsta zgrade prema namjeni	Nestambena, uredska zgrada	
Lokacija zgrade	Ivana Lučića 5, Zagreb	
Godina završetka izgradnje	1966.	
Podaci o zgradi		
Ploština korisne površine zgrade	$A_k \text{ [m}^2\text{]}$	5024
Obujam grijanog dijela zgrade	$V_e \text{ [m}^3\text{]}$	21173
Faktor oblika	$f_0 \text{ [m}^{-1}\text{]}$	0,25
Koeficijent transmisivnog toplinskog gubitka (po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade)	$H'_{tr,adj} \text{ [W/m}^2\text{K]}$	2,35
Klimatski podaci		
Broj stupanj dana grijanja	$SD \text{ [Kd/a]}$	3045,2
Broj dana sezone grijanja	$Z \text{ [d]}$	184,5
Srednja vanjska temperatura u sezoni grijanja	$\theta_e \text{ [}^\circ\text{C]}$	4,9
Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja	$\theta_i \text{ [}^\circ\text{C]}$	20
Podaci o tehničkim sustavima zgrade		
Način grijanja i pripreme PTV (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor)	Centralno	
Izvori energije koji se koriste za grijanje	Daljinska toplina iz TO-TE	
Vrsta ventilacije (prirodna, prisilna bez povrata topline, prisilna s povratom topline)	Prirodana ventilacija	
Udio obnovljivih izvora energije u potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje [%]	0	


Podaci o potrebnoj energiji		
	kWh/a	kWh/m ² a
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$	1023593	204
Godišnji toplinski gubici sustava grijanja $Q_{H,ls}$	387519	77
Godišnja isporučena energija E_{del}	1413839	281
Godišnja primarna energija E_{prim}	1014773	202
Godišnja emisija CO ₂ za stvarne klimatske podatke	kg/a	kg/m ² a
	468748	93
Koeficijenti prolaza topline za pojedine građevne dijelove zgrade		
Građevni dio	Stvarni	Maksimalno dopušteni
	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]
Zid sjever	1,79	0,45
Zid jug	1,79	0,45
Zid zapad	2,9	0,45
Zid istok	3,0	0,45
Krov	0,24	0,3
Pod	3,94	0,5
Prozori	4,5	1,8
Redosljed prioriternih mjera za poboljšanje energetske svojstava		
Uvođenje automatske regulacije temperature.		
Toplinska izolacija zgrade.		
Izmjena stolarije.		

9. ENERGETSKI CERTIFIKAT ZGRADE

Sadržaj i izgled energetskeg certifikata definiran je Pravilnikom [7].

 <p>prema Direktivi 2002/91/EC</p>	Zgrada		<input type="checkbox"/> nova	<input checked="" type="checkbox"/> postojeća
	Vrsta zgrade		Nestambena	
	K.č. k.o.			
	Adresa		Ivana Lučića 5	
	Mjesto		Zagreb	
	Vlasnik/Investitor			
	Izvođač			
	Godina izgradnje		1966.	
Energetski certifikat za nestambene zgrade	$Q_{H,nd,rel}$	%	Izračun 280	
	A+	≤ 15		
	A	≤ 25		
	B	≤ 50		
	C	≤ 100		
	D	≤ 150		
	E	≤ 200		
	F	≤ 250		
	G	> 250		
	Podaci o osobi koja je izdala energetske certifikat			
Ovlaštena fizička osoba				
Ovlaštena pravna osoba				
Imenovana osoba		Danijel Jantol		
Registarski broj ovlaštene osobe				
Broj energetskeg certifikata				
Datum izdavanja/rok važenja		08.07.2011.		
Potpis				
Podaci o zgradi				
A_k [m ²]		5024		
V_e [m ³]		21173		
f_0 [m ⁻¹]		25		
$H'_{tr,adj}$ [W/(m ² K)]		2,35		
$Q''_{H,nd,ref}$ [kWh/(m ² a)]		204		


Klimatski podaci	
Klimatski podaci (kontinentalna ili primorska hrvatska)	Kontinentalna
Broj stupanj dana grijanja SD [KD/a]	2939,5
Broj dana sezone grijanja Z [d]	178,9
Srednja vanjska temperatura u sezoni grijanja Θ_e [°C]	4,9
Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja Θ_i [°C]	20,0



Podaci o termotehničkim sustavima zgrade	
Način grijanja zgrade (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor)	daljinski izvor
Izvori energije koji se koriste za grijanje i pripremu potrošne tople vode	
Način hlađenja (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor)	
Izvori energije koji se koriste za hlađenje	
Vrsta ventilacije (prirodna, prisilna bez ili s povratom topline)	prirodna
Vrsta i način korištenja sustava s obnovljivim izvorima energije	
Udio obnovljivih izvora energije u potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje [%]	0,00

Energetske potrebe						
	Za referentne klimatske podatke		Za stvarne klimatske podatke		Zahtjev	
	Ukupno [kWh/a]	Specifično [kWh/(m ² a)]	Ukupno [kWh/a]	Specifično [kWh/(m ² a)]	Dopušteno [kWh/(m ² a)]	Ispunjeno DA / NE
$Q_{H,nd}$	1023593	203,7	1058418	210,7		
Q_W	-	-				
$Q_{H,ls}$	387519	77,1				
$Q_{W,ls}$	-	-				
Q_H	1411113	280,9				
$Q_{C,nd}$	-	-				
$Q_{C,ls}$	-	-				
Q_C	-	-				
Q_{Ve}	-	-				
E_L	-	-				
E_{del}	1413839	281,4				
E_{prim}	1014773	202,0				
CO ₂ [kg/a]	468748	93,3				
$Q'_{H,nd}$ [kWh/(m ³ a)]	1023593 [kWh/a]	48,35 [kWh/(m ³ a)]	1058418 [kWh/a]	50,0 [kWh/(m ³ a)]	17,5 [kWh/(m ³ a)]	NE

Građevni dio zgrade	U [W/(m ² K)]	U_{max} [W/(m ² K)]	Ispunjeno DA / NE
Vanjski zidovi, zidovi prema garaži, tavanu	3,0	0,45	NE
Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora, stropovi prema tavanu	0,24	0,30	DA
Zidovi prema tlu, podovi prema tlu	3,94	0,5	NE
Stropovi iznad vanjskog zraka, stropovi iznad garaža			
Zidovi i stropovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temperature više od 0°C			
Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozirni elementi pročelja	4,5	1,8	NE
Vanjska vrata s neprozirnim vratnim krilom			

Prijedlog mjera / Preporuke		
Za postojeće zgrade:	prijedlog mjera za poboljšanje energetske svojstava zgrade koje su ekonomski opravdane	
Za nove zgrade:	preporuke za korištenje zgrade vezano na ispunjenje bitnog zahtjeva uštede energije i toplinske zaštite i ispunjenosti energetske svojstava zgrade	
1. Uvođenje automatske regulacije temperature. Prilikom proračuna uzeta je u obzir unutarnja temperatura 23 °C. Moguća ušteda 307114 kWh/a primarne energije.		
2. Toplinska izolacija zgrade. Ušteda 215192 kWh/a primarne energije za unutarnju temperaturu 20 °C, odnosno 1054037 kWh/a primarne energije ako je unutarnja temperatura 23 °C.		
3. Izmjena stolarije. Ušteda 549300 kWh/a primarne energije za unutarnju temperaturu 20 °C, odnosno 1388145 kWh/a primarne energije ako je unutarnja temperatura 23 °C.		
4. Uvođenje automatske regulacije uz izmjenu stolarije. Smanjenje unutarnje temperature sa 23 °C na 20 °C i broja izmjena zraka sa 2 h ⁻¹ na 0,5 h ⁻¹ . Ušteda 1388145 kWh/a primarne energije.		

10. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani rezultati energetskeg pregleda i energetske certifikacije južne zgrade Fakulteta strojarstva i brodogradnje.

Energetski pregled je proveden u svrhu prikupljanja podataka za provedbu proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje i proračuna toplinskih gubitaka sustava grijanja te isporučene i primarne energije.

Energetskim pregledom je utvrđeno da niti jedan građevni dio zgrade, osim krova koji je rekonstruiran, ne zadovoljava najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaza topline utvrđene Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada (NN 110/08). Također, provedenim termografskim pregledom ovojnice, utvrđeni su mnogi toplinski mostovi, kao i znatna propuštanja topline kroz stolariju zgrade. Mjerenjem temperatura u prostorijama, utvrđene su vrijednosti i do 4 °C više od projektnih vrijednosti za sezonu grijanja. Iz navedenog, moglo se zaključiti da zgrada troši znatne količine toplinske energije, što je provedenim proračunom i potvrđeno.

Provedenim proračunom godišnje potrebne toplinske energije za grijanje, s ulaznim podacima prema trenutnoj zakonskoj regulativi, izračunata je potrošnja od 1023593 kWh godišnje (204 kWh/m²). Prema energetskeom certifikatu za nestambene zgrade, utvrđen je energetski razred G.

Uvođenjem mjera poboljšanja energetskeih svojstava (toplinska izolacija i izmjena stolarije) moguće je uštedjeti i do 77 % godišnje toplinske energije za grijanje te postići energetski razred C.

Posebno treba napomenuti kako ulazni podaci prema tehničkoj regulativi ne odgovaraju stvarnim vrijednostima, tako da stvarna potrošnja energije može biti i do 87 % viša od one dobivene energetskeim certificiranjem. U skladu s tim, uvođenje automatske regulacije može uštedjeti 32 % stvarne potrebe za toplinskeom energijom a uz izmjenu stolarije i do 87 %.

LITERATURA

- [1] United Nations: Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development, 1987.
- [2] Vuk, B., i drugi: Energija u Hrvatskoj, Godišnji energetske pregled, MGRP, Zagreb, 2009.
- [3] Hrs Borković, Ž., Zidar, M. i drugi: Energetska učinkovitost u zgradarstvu, Vodič za sudionike u projektiranju, gradnji, rekonstrukciji i održavanju zgrada, EIHP, Zagreb, 2007.
- [4] Andrassy, M., Balen, I., i drugi: Priručnik za energetske certificiranje zgrada, UNDP, Zagreb, 2010.
- [5] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinske zaštiti zgrada (NN 110/08)
- [6] Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada (NN 110/08)
- [7] Pravilnik o energetske certificiranju zgrada (36/10)
- [8] Metodologija provođenja energetske pregleda zgrada, EIHP, MZOPUG, Zagreb, 2009.
- [9] Dović, D., Rodić, A., Soldo, V., Švaić, S.: Algoritam za određivanje energetske zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama, Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode, Zagreb, 2011.