

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Ivan Grgić

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Damir Dović

Student:

Ivan Grgić

Zagreb, 2015.

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

Zahvaljujem se dr. sc. Damiru Doviću, dipl.ing. te asistentu Ivanu Horvatu, mag.ing. na pruženoj pomoći tijekom izrade ovoga rada.

Posebno se zahvaljujem obitelji i djevojci na podršci tijekom studija.

Ivan Grgić



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, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum: 24. 11. 2015.	Prilog
Klasa: 602-04/15-6/3	
Ur.broj: 15-1703-15-375	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ivan Grgić**

Mat. br.: 0035184502

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Troškovno optimalna analiza energetske učinkovitosti stambene zgrade**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Cost-optimal analysis of residential building energy efficiency**

Opis zadatka:

Potrebno je izraditi računalni program za proračun toplinskih gubitaka složenog termotehničkog sustava za grijanje i pripremu potrošne tople vode (PTV) uz izradu numeričkih primjera za odabranu stambenu zgradu. Osnovni dijelovi sustava u odabranoj zgradi su:

- podsustav predaje
- podsustav razvoda
- podsustav proizvodnje sa spremnikom toplinske energije

Proračun je potrebno provesti za odabranu zgradu pri dvije različite razine potrebne godišnje toplinske energije za grijanje, i to od 10 kWh/m^2 i 70 kWh/m^2 stambene površine. Dimenzije i kapacitet sustava prilagoditi veličini i toplinskim potrebama zgrade.

Proračune je potrebno provesti za klimatska područja Zagreba i Splita.

Temeljem izračunatih vrijednosti toplinskih gubitaka potrebno je:

- izračunati ukupno isporučenu i primarnu energiju zgrade
- usporediti rezultate proračuna dobivene mjesečnom i satnom metodom
- odrediti troškovno optimalnu razinu energetske učinkovitosti termotehničkog sustava, pri čemu je potrebno razmotriti korištenje najmanje dva alternativna sustava kao što su sunčani toplovodni sustav i toplovodni kotao na biomasu
- dati popis mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti termotehničkog sustava uz izražene uštede na primarnoj energiji

Za navedene proračune koristiti nove prijedloge normi iz serije prEN 15316.

Potrebno je navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

24. rujna 2015.

26. studenog 2015.

2., 3. i 4. prosinca 2015.

Zadatak zadao:

Predsjednica Povjerenstva:

Prof.dr.sc. Damir Dović

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS DIJAGRAMA	V
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK.....	XIV
SUMMARY	XV
1. UVOD	1
1.1. Definicija energetske učinkovitosti.....	1
1.2. Potrošnja energije u zgradarstvu i EU direktive.....	2
2. SKUPINA NORMI EN 15316.....	4
2.1. Postupak proračuna	5
3. PRORAČUN PREMA SERIJI NORMI prEN 15316.....	8
3.1. Ulazni podaci.....	8
3.2. prEN 15316-2:2015 Sustavi za grijanje prostora zračenjem topline.....	11
3.2.1. Proračun prema prEN 15316-2:2015 [8].....	11
3.2.2. Rezultati prema prEN 15316-2:2015	13
3.3. prEN 15316-3:2015 Sustavi razvoda za grijanje i PTV	15
3.3.1. Proračun prema prEN 15316-3:2015 [9].....	15
3.3.2. Rezultati prema prEN 15316-3:2015	20
3.4. prEN 15316-4-1:2014 Sustavi proizvodnje topline izgaranjem za grijanje i PTV	22
3.4.1. Proračun prema prEN 15316-4-1:2014 [10]	22
3.4.2. Rezultati prema prEN 15316-4-1:2014	26
3.5. prEN 15316-5:2014 Spremnici topline za grijanje i PTV.....	29
3.5.1. Satni proračun prema prEN 15316-5:2014 [11].....	29
3.5.2. Rezultati proračuna prema prEN 15316-5:2014	32

3.6. prEN 15316-4-3:2014 Toplinski sustavi sunčevog zračenja i fotonaponski sustavi	34
3.6.1. Satni proračun sustava sunčevog zračenja prema prEN 15316-4-3:2014 [12]	34
3.6.2. Rezultati satnog proračuna prEN 15316-4-3:2014.....	36
3.6.3. Mjesečni proračun spremnika i sustava sunčevog zračenja prema prEN 15316-4-3:2014 [12].....	38
3.6.4. Usporedba mjesečnog i satnog proračuna spremnika i sustava sunčevog zračenja....	42
4. PRORAČUN ISPORUČENE I PRIMARNE ENERGIJE.....	44
4.1. Isporučena energija [4].....	44
4.2. Primarna energija [4].....	44
4.3. Emisija CO ₂ [4]	45
5. UKUPNI REZULTATI PRORAČUNA	46
6. MJERE UŠTEDE ENERGIJE I ANALIZA TROŠKOVA	51
6.1. Proračun troškova [13].....	51
6.2. Mjere uštede i rezultati analize troškova.....	53
6.2.1. Usporedba podsustava proizvodnje topline.....	53
6.2.2. Utjecaji razne opreme na sustav s kondenzacijskim kotlom sa solarnim sustavom ...	60
7. ZAKLJUČAK	61
LITERATURA.....	62
PRILOZI.....	64

POPIS SLIKA

Slika 1. Prosječna potrošnja energije u zgradarstvu u Europskoj uniji [2]	2
Slika 2. Struktura potrošnje energije u kućanstvima u Hrvatskoj [1]	2
Slika 3. Energetski tokovi u zgradi s termotehničkim sustavom za grijanje [4]	4
Slika 4. Podjela termotehničkog sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode na podsustave s prikazom ulazno/izlaznih veličina [4]	5
Slika 5. Energetski tokovi u termotehničkom sustavu za grijanje i pripremu potrošne tople vode [4]	6

POPIS TABLICA

Tablica 1. Rezultati prema prEN 15316-2:2015 satnoj metodi.....	14
Tablica 2. Rezultati prema prEN 15316-3:2015 mjesečnoj metodi.....	21
Tablica 3. Rezultati prema prEN 15316-4-1:2014 satnoj metodi	27
Tablica 4. Rezultati prema prEN 15316-4-1:2014 mjesečnoj metodi.....	27
Tablica 5. Rezultati satnog proračuna prema prEN 15316-5:2014.....	33
Tablica 6. Rezultati satnog proračuna prema prEN 15316-4-3:2014.....	37
Tablica 7. Faktori primarne energije [4]	45
Tablica 8. Faktori emisije CO ₂ po jedinici isporučene energije [4]	45
Tablica 9. Pregled izračunatih energija za klimatsko područje Zagreba i zadani Q _{H,nd} =70 kWh/m ²	46
Tablica 10. Pregled izračunatih energija za klimatsko područje Zagreba i zadani Q _{H,nd} =10 kWh/m ²	47
Tablica 11. Pregled izračunatih energija za klimatsko područje Splita i zadani Q _{H,nd} =70 kWh/m ²	48
Tablica 12. Pregled izračunatih energija za klimatsko područje Splita i zadani Q _{H,nd} =10 kWh/m ²	49
Tablica 13. Trenutne cijene energenata [14, 15].....	52
Tablica 14. Promjena cijene energenata kroz 30 godine za godišnji porast cijene energenta od 2,8%	52
Tablica 15. Cijene investicija i troškovi održavanja opreme [16, 17].....	53
Tablica 16. Cijene investicija i troškovi održavanja odabranih podsustava proizvodnje [16, 17]	53
Tablica 17. Brojčani prikaz rezultata troškovno optimalne analize ene. učinkovitosti za Zagreb, Q _{H,nd} =70 kWh/m ²	57
Tablica 18. Brojčani prikaz rezultata troškovno optimalne analize ene. učinkovitosti za Split, Q _{H,nd} = 10 kWh/m ²	59
Tablica 19. Utjecaji na godišnju primarnu, isporučenu i pomoćnu energiju	60
Tablica 20. Utjecaji na troškove pogona nakon 30 godina	60

POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 1. Satna raspodjela potrebne energije za grijanje u karakterističnom danu siječnja za klimatsko područje Zagreba i zadanu godišnju potrebu od 70 kWh/m ²	8
Dijagram 2. Satna raspodjela potrebne energije za grijanje u karakterističnom danu siječnja za klimatsko područje Splita i zadanu godišnju potrebu od 10 kWh/m ²	8
Dijagram 3. Satna raspodjela toplinske energije potrebne za pripremu PTV-a u danu	9
Dijagram 4. Mjesečna raspodjela toplinske energije potrebne za pripremu PTV-a u godini	9
Dijagram 5. Primjer mjesečne raspodjele toplinske energije koju je podsustavom predaje potrebno predati u grijani prostor – za zadanu godišnju potrebu $Q_{H,nd}$ 70 kWh/m ² i klimatsko područje Splita.....	10
Dijagram 6. Usporedba potrebne toplinske energije na ulazu u podsustav predaje dobivene satnim i mjesečnim proračunom za klimatsko područje Zagreba te za zadani godišnji $Q_{H,nd}$ =70 kWh/m ²	13
Dijagram 7. Rezultati satnog i mjesečnog proračuna $Q_{W,dis,in}$ prema prEN 15316-3:2015.....	20
Dijagram 8. Rezultati satnog i mjesečnog proračuna $Q_{H,dis,in}$ za klimatsko područje Splita i zadani $Q_{H,nd}$ =70 kWh/m ²	20
Dijagram 9. Rezultati satnog i mjesečnog proračuna prema prEN 15316-4-1:2014 za klimatsko područje Zagreba i zadani $Q_{H,nd}$ =70 kWh/m ² - grijanje	26
Dijagram 10. Rezultati satnog i mjesečnog proračuna prema prEN 15316-4-1:2014 za klimatsko područje Zagreba i zadani $Q_{H,nd}$ =70 kWh/m ² - PTV.....	26
Dijagram 11. Rezultati temperature u spremniku te podrške kotla i solarnog sustava za karakteristični dan 1. mjeseca klimatskog područja Zagreba.....	32
Dijagram 12. Rezultati temperature u spremniku te podrške kotla i solarnog sustava za karakteristični dan 8. mjeseca klimatskog područja Zagreba.....	32
Dijagram 13. Satna raspodjela toplinske energije na izlazu iz solarne petlje za karakteristične dane siječnja i lipnja klimatskih područja Zagreba i Splita	36
Dijagram 14. Rezultati isporučene energije sustava sunčevog zračenja prema satnoj i mjesečnoj metodi za klimatsko područje Zagreba	42
Dijagram 15. Rezultati potrebne toplinske energije pomoćnog grijača (kotla) prema satnoj i mjesečnoj metodi za klimatsko područje Zagreba	43
Dijagram 16. Rezultati primarne i isporučene energije za razne podsustave proizvodnje - klimatsko područje Zagreba, $Q_{H,nd}$ =70 kWh/m ²	54
Dijagram 17. Rezultati ukupne pomoćne energije za razne podsustave proizvodnje - klimatsko područje Zagreba, $Q_{H,nd}$ =70 kWh/m ²	54

Dijagram 18. Rezultati primarne i isporučene energije za razne podsustave proizvodnje - klimatsko područje Splita, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$	55
Dijagram 19. Rezultati ukupne pomoćne energije za razne podsustave proizvodnje - klimatsko područje Splita, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$	55
Dijagram 20. Ukupni troškovi kroz 30 godina - klimatsko područje Zagreba, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$	56
Dijagram 21. Troškovno optimalna analiza energetske učinkovitosti - klimatsko područje Zagreba, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$	56
Dijagram 22. Ukupni troškovi kroz 30 godina - klimatsko područje Splita, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$..	58
Dijagram 23. Troškovno optimalna analiza energetske učinkovitosti - klimatsko područje Splita, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$	58

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
a, b, c, d, e, f	-	konstante
a_1	W/(m ² K)	koeficijent toplinskih gubitaka prvog reda
a_2	W/(m ² K ²)	koeficijent toplinskih gubitaka drugog reda
A_{sol}	m ²	ukupna instalirana površina kolektora
$A_{sol,m}$	m ²	ukupna instalirana površina kolektora
$A_{sol;mod}$	m ²	referentna površina kolektorskog modula
c_1, c_2, c_3, c_4	-	koeficijenti za proračun učinkovitosti kotla
c_5, c_6	-	koeficijenti za proračun učinkovitosti kotla
c_7, c_8	-	koeficijenti za proračun potrebne energije za pogon pomoćnih uređaja
C_{el}	-	faktor pretvorbe za električnu energiju
C_{el}	kn/kWh	cijena električne energije
$C_{el,i-1}$	kn/kWh	cijena električne energije za prethodnu godinu
$C_{gas/bio}$	kn/kWh	cijena plina ili biomase
$C_{gas/bio,i-1}$	kn/kWh	cijena plina za prethodnu godinu
C_i	-	eksponent
CO ₂	kg	emisija CO ₂
$C_{odr,i-1}$	kn	troškovi održavanja za prethodnu godinu
c_p	kWh/kgK	specifični toplinski kapacitet cijevi
$C_{p,i}$	-	faktor pretvorbe za i -ti izvor energije
$C_{p,w}$	kWh/kgK	specifični toplinski kapacitet vode
C_{P1}	-	konstanta ovisna o regulaciji pumpe
C_{P2}	-	konstanta ovisna o regulaciji pumpe
c_w	kWh/kgK	specifični toplinski kapacitet vode
E_{del}	kWh	ukupno isporučena energija u termotehnički sustav zgrade
EEI	-	indeks energetske učinkovitosti
$E_{gen;in}$	kWh	toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje
$E_{H,del}$	kWh	isporučena energija za sustav grijanja
$E_{H,prim}$	kWh	primarna energija za sustav grijanja
e_p	-	koeficijent utroška primarne energije
E_{prim}	kWh	ukupna primarna energija za termotehnički sustav zgrade
$E_{W,del}$	kWh	isporučena energija za sustav pripreme PTV-a
$E_{W,prim}$	kWh	primarna energija za sustav pripreme PTV-a
f_{app}	-	korekcijski faktor
f_{aux}	-	udio zapremnine spremnika koji se koristi za zagrijavanje kotlom
f_{brm}	-	faktor redukcije temperature

f_{bu}	-	koeficijent koji uzima u obzir regulaciju dodatnog grijača (kotla)
$f_{bu;ins}$	-	faktor koji uzima u obzir izolaciju primarne cirkulacije
f_c	-	korekcijski faktor koji uzima u obzir vrstu regulacije
f_{comp}	-	faktor otpora
$f_{corr,Pint}$	-	korekcijski faktor
$f_{corr,Pn}$	-	korekcijski faktor
f_{env}	-	faktor toplinskih gubitaka kroz ovojnicu kotla
$f_{gen;ls;P0}$	-	faktor gubitka topline za stanje pripravnosti
$f_{HCW,corr}$	-	korekcijski faktor za posebne uvjete
$f_{HCW,e}$	-	faktor učinkovitosti
$f_{Hs/Hi}$	-	faktor pretvorbe za isporučenu energiju
$f_{p,el}$	-	faktor primarne energije za električnu energiju
$f_{p,i}$	-	faktor primarne energije za i -ti izvor energije
f_{rbl}	-	udio toplinskih gubitaka odaslanih prostoriji
$f_{rbl,dis}$	-	faktor iskoristive pomoćne energije
$f_{sto,m}$	-	korekcijski koeficijent kapaciteta spremnika
$f_{sto;bac;acc}$	-	faktora gubitaka topline za stanje pripravnosti
$f_{sto;dis;ls}$	-	faktor gubitaka topline razvoda spojenog s spremnikom
$f_{sto;rm}$	-	udio toplinskih gubitaka odaslanih prostoriji
$f_{tmp,m}$	-	procjenjeni solarni udio u zadovoljavanju potreba za PTV
H_{exh}	W/K	koeficijent izmjene topline izmjenjivača topline
H_{loop}	W/K	koeficijent toplinskih gubitaka solarnog kruga
$H_{sol;loop}$	W/K	koeficijent toplinskih gubitaka solarnog kruga
$H_{sto;ls}$	W/K	koeficijent izmjene topline za stanje pripravnosti
$H_{sto;ls;tot}$	W/K	koeficijent toplinskih gubitaka spremnika
$I_{sol,h}$	W/m ²	sunčevo zračenje na kolektorsku ploču
$I_{sol,m}$	W/m ²	prosječno mjesečno sunčevo zračenje na kolektorsku ploču
j	-	indeks za zonu
$K_{hem}(50^\circ)$	-	faktor promjene kuta upadnog zračenja
L	m	duljina cijevi u zoni
L_{equi}	m	ekvivalentna duljina ventila
L_{max}	m	najveća duljina kruga grijanja ili PTV-a
m_p	kg	masa cijevi
\dot{m}_{sol}	kg/s	maseni protok solarne petlje
$\dot{m}_{W,dis,stub}$	kg/h	protok vode kroz sustav razvoda izvan cirkulacijske petlje u vremenskom koraku
N_{col}	-	broj kolektora
n_{fan}	-	broj ventilatora
$n_{tap,j}$	1/h	broj puštanja slavine po zoni u vremenskom koraku
p	%	godišnji porast cijene energenta

$P_{aux;Px}$	kW	potrebna pomoćna energija kotla za sva tri stanja opterećenja
P_{fan}	W	nazivna potrošnja električne energije za ventilatore
$P_{HCW,hydr,des}$	kW	projektna hidraulička snaga
$P_{HW;aux;Px}$	kW	potrebna srednja pomoćna energija kotla
$P_{HW;gen;ls;P0;corr}$	kW	korrigirani toplinski gubitak pri opterećenju od 0 %
$P_{HW;gen;ls;Pint;corr}$	kW	korrigirani toplinski gubitak pri djelomičnom opterećenju
$P_{HW;gen;ls;Pn;corr}$	kW	korrigirani toplinski gubitak kotla pri punom opterećenju
$P_{HW;gen;ls;Px}$	kW	toplinski gubitak kotla pri specifičnom faktoru opterećenja i snazi
P_n	kW	nazivna snaga kotla
$P_{sol;ctr}$	W	električna snaga sustava regulacije
$P_{sol;pmp}$	W	snaga pumpe solarnog kruga
$Q_{bu;dis;ls,m}$	kWh	gubici topline primarne cirkulacije između kotla i spremnika
$Q_{bu;sto;ls,m}$	kWh	gubici topline spremnika za dio koji je namijenjen zagrijavanju pomoću dodatnog grijača
$Q_{em,in}$	kWh	toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu predaje
$Q_{em,ls}$	kWh	toplinski gubici podsustava predaje
$Q_{em,out}$	kWh	toplinska energija koju je podsustavom predaje potrebno predati u grijani prostor
Q_{exh}	kWh	izmijenjena toplina putem izmjenjivača topline
$Q_{gen,in}$	kWh	isporučena toplinska energija generatoru
$Q_{H,nd}$	kWh	potrebna toplinska energija za grijanje
$Q_{H;sto;bu;in;tmp}$	kWh	potrebna toplinska energija iz kotla
$Q_{HCW,dis,ls}$	kWh	gubitak topline za sustav razvoda za grijanje i sustav razvoda za PTV (dio s cirkulacijom)
$Q_{HCW,dis,ls,con..}$	kWh	dio gubitaka topline sustava razvoda za cijevi unutar grijanog prostora
$Q_{HCW,dis,rbl}$	kWh	iskoristivi toplinski gubici sustava razvoda
$Q_{HW,dis,aux,rbl}$	kWh	iskoristiva pomoćna energija sustava razvoda
$Q_{HW,dis,aux,rvd}$	kWh	iskorištena pomoćna energija sustava razvoda
$Q_{HW,dis,in}$	kWh	toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda
$Q_{HW,dis,out}$	kWh	toplinska energija na izlazu iz podsustava razvoda
$Q_{HW;gen;aux;rbl}$	kWh	iskoristiva pomoćna energija kotla
$Q_{HW;gen;aux;rvd}$	kWh	iskorištena pomoćna energija kotla
$Q_{HW;gen;ls}$	kWh	ukupni toplinski gubitak kotla
$Q_{HW;gen;ls;env;rbl}$	kWh	iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnici kotla
q_i	W/m	toplinski tok po metru cijevi
$Q_{ls,rvd,i}$	kWh	iskorišteni gubitak topline
$Q_{rbl,i}$	kWh	iskoristivi gubitak topline
$Q_{sol;loop;ls,h}$	kWh	gubici solarne petlje

$Q_{sol;loop;out,h}$	kWh	toplinska energija na izlazu iz solarne petlje
$Q_{sol;loop;rbl,h}$	kWh	iskoristivi gubici topline solarne petlje
$Q_{sol;ls;rbl,m}$	kWh	ukupni iskoristivi gubici topline spremnika i sustava sunčevog zračenja
$Q_{sol;ls;us}$	kWh	zahtjev za toplinskom energijom iz solarnog sustava
$Q_{sol;out,h}$	kWh	toplinska energija na izlazu iz kolektora
$Q_{sol;out,m}$	kWh	isporučena energija solarnog sustava
$Q_{sol;sto;in}$	kWh	ograničena toplinska energija dobivena iz solarnog sustava
$Q_{sol;sto;ls,m}$	kWh	gubici topline spremnika za dio koji je namijenjen zagrijavanju pomoću solarnog sustava
$Q_{sol;tmp,m}$	kWh	procijenjena isporučena solarna energija u sustav
$Q_{sto;aux;rbl}$	kWh	iskoristiva pomoćna energija spremnika
$Q_{sto;aux;rvd}$	kWh	iskorištena pomoćna energija spremnika
$Q_{sto;ls;tot}$	kWh	toplinski gubici spremnika topline
$Q_{sto;rbl;env}$	kWh	iskoristivi gubici topline spremnika
$Q_{W,dis,nom}$	kWh	gubitak topline cirkulacijske petlje izvan rada cirkulacijske pumpe
$Q_{W,dis,stub}$	kWh	dodatni gubitak topline za sustav razvoda PTV-a izvan cirkulacijske petlje
$Q_{W;sol;us;m}$	kWh	energija potrebna za PTV (na ulazu u distribuciju)
$Q_{W;sto;out}$	kWh	energija iz spremnika, isporučena za potrebe PTV-a
$R_{HCW,max}$	kPa/m	pad tlaka po metru cijevi
t_{atap}	h	vrijeme između puštanja slavine
t_{aux}	h	godišnji broj sati rada kolektorske pumpe
$t_{aux,m}$	h	broj sati rada kolektorske pumpe u mjesecu
t_{ci}	h	vremenski korak proračuna
$t_{ci,m}$	h	broj sati u mjesecu
T_{el}	kn	godišnji troškovi potrošnje električne energije
$T_{gas/bio}$	kn	godišnji troškovi potrošnje plina ili biomase
T_h^*	Km ² /W	reducirana temperaturna razlika kolektora
$t_{h,rL}$	h	vrijeme rada u promatranom periodu
$t_{HW,use}$	h	proračunski period
$T_{odr,uk}$	kn	ukupni troškovi održavanja
$t_{sto;aux}$	h	vrijeme rada cirkulacijske pumpe primarne cirkulacije
T_{uk}	kn	ukupni troškovi električne energije i plina (biomase)
V	m ³	volumen cijevi sustava razvoda PTV-a izvan cirkulacijske petlje
$\dot{V}_{HCW,des}$	m ³ /h	projektni volumni protok
V_i	m ³	volumen cijevi dionice i
$V_{sto;bu}$	L	zapremnina dijela spremnika između vrha spremnika i donjeg dijela dodatnog grijaćeg elementa
$V_{sto;sol}$	L	zapremnina spremnika namijenjena solarnoj podršci

$V_{sto,tot}$	L	volumen spremnika topline
$V_{sto,tot}$	L	zapremnina spremnika
W_{aux}	kWh	pomoćna energija
$W_{em,ls,aux}$	kWh	pomoćna energija podsustava predaje
W_{fan}	kWh	energija potrebna za pogon ventilatora
$W_{HCW,dis}$	kWh	potrebna pomoćna energija sustava razvoda
$W_{HCW,dis,hydr}$	kWh	potrebna hidraulička energija sustava razvoda
$W_{HW;gen}$	kWh	ukupna pomoćna energija za kotao
$W_{sol;aux,h}$	kWh	potrebna pomoćna energija solarnog sustava
$W_{sol;aux,m}$	kWh	potrebna pomoćna energija solarnog sustava
$W_{sto;aux}$	kWh	potrebna pomoćna energija spremnika
X_m	-	faktor
Y_m	-	faktor
$\beta_{HCW,dis}$	-	faktor opterećenja
$\beta_{HW;gen}$	-	faktor opterećenja kotla
$\Delta \vartheta_{exh}$	°C	razlika temperature uslijed postojanja izmjenjivača topline
$\Delta p_{HCW,add}$	kPa	pad tlaka zbog dodatnih otpora
$\Delta p_{HCW,des}$	kPa	projektirani pad tlaka
$\Delta \theta_{ctr}$	K	temperaturna promjena uslijed djelovanja regulacije temperature prostorije
$\Delta \theta_{emb}$	K	temperaturna promjena uslijed dodatnih gubitaka ugrađenih sustava
$\Delta \theta_{emb,1}$	K	promjena temperature uslijed karakteristike sustava
$\Delta \theta_{emb,2}$	K	promjena temperature uslijed toplinskih gubitaka kroz prilježću površinu
$\Delta \vartheta_{gen;test;P0}$	°C	razlika između prosječne temperature kotla i temperature prostorije u kojoj se nalazi kotao
$\Delta \theta_{hydr}$	K	temperaturna promjena uslijed hidrauličke ravnoteže razvoda
$\Delta \theta_{im}$	K	temperaturna promjena uslijed intermitentnog rada
$\Delta \theta_{im,ctr}$	K	temperaturna promjena uslijed intermitentnog rada regulacije
$\Delta \theta_{im,emt}$	K	temperaturna promjena uslijed intermitentnog rada određenog tipa sustava emisije
$\Delta \theta_{rad}$	K	temperaturna promjena uslijed utjecaja zračenja
$\Delta \theta_{roomaut}$	K	temperaturna promjena uslijed sobne automatizacije
$\Delta \theta_{str}$	K	prostorna promjena temperature zbog stratifikacije
$\Delta \vartheta_W$	°C	pad temperature na povratu cirkulacije PTV-a
η_0	-	vršna učinkovitost kolektora
$\eta_{col,h}$	-	učinkovitost kolektora
$\eta_{gen,Pint}$	-	učinkovitost kotla pri djelomičnom opterećenju
$\eta_{gen,Pn}$	-	učinkovitost kotla pri punom opterećenju

$\eta_{H,gn}$	-	faktor iskorištenja toplinskih dobitaka (unutarnji i solarni)
$\eta_{HW;gen;Pint;corr}$	-	korrigirana učinkovitost pri djelomičnom opterećenju
$\eta_{HW;gen;Pn;corr}$	-	korrigirana učinkovitost pri punom opterećenju
η_{loop}	-	faktor učinkovitosti koji uzima u obzir utjecaj izmjenjivača topline
η_{rvd}	-	stupanj iskorištenja iskoristivih gubitaka
ϑ_{amb}	°C	unutarnja temperatura prostorije u kojoj je spremnik smješten
ϑ_{brm}	°C	unutarnja temperatura prostorije u kojoj je kotao smješten
$\vartheta_{bu;set}$	°C	postavna temperatura na koju dodani grijač treba zagrijati vodu kada se upali
$\vartheta_{col;avg,h}$	°C	srednja temperatura u kolektoru
θ_d	°C	projektna temperatura sustava razvoda
θ_e	°C	vanjska temperatura u promatranom periodu
$\theta_{e,avg}$	°C	prosječna vanjska temperatura na satnoj ili mjesečnoj razini
$\theta_{e,design}$	°C	vanjska projektna temperatura
$\vartheta_{e;h}$	°C	vanjska temperatura
$\vartheta_{e;m}$	°C	prosječna vanjska temperatura u mjesecu
$\vartheta_{gen;test;Pn}$	°C	prosječna temperatura vode u kotlu na ispitnim temperaturama pri punom opterećenju
$\vartheta_{HC,in}$	°C	temperatura polaza sustava distribucije za grijanje
$\vartheta_{HC,mean}$	°C	srednja temperatura sustava distribucije za grijanje
$\vartheta_{HC,out}$	°C	temperatura povrata sustava distribucije za grijanje
$\vartheta_{HCW,ah,j}$	°C	temperatura u zoni
ϑ_{high}	°C	temperatura PTV-a
$\vartheta_{HW,mn}$	°C	srednja temperatura vode u kotlu pri radnim uvjetima
$\vartheta_{HW,RT}$	°C	prosječna temperatura vode na povratku u kotao
θ_i	°C	temperatura prostorije
$\theta_{int,inc}$	°C	ekvivalentna unutarnja temperatura
$\theta_{int,ini}$	°C	početna unutarnja temperatura
ϑ_{low}	°C	mjesečna prosječna temperatura hladne vode
θ_m	°C	proračunata srednja temperatura sustava distribucije za grijanje
$\vartheta_{ref,m}$	°C	referentna temperatura
$\vartheta_{sol/sto;amb;m}$	°C	temperatura ambijenta u kojem se nalazi solarna petlja i spremnik
$\vartheta_{sol;amb;h}$	°C	temperatura ambijenta u kojem se nalazi solarna petlja
$\vartheta_{sol;loop;in,h}$	°C	ulazna temperatura u solarnu petlju iz spremnika za tekući sat
$\vartheta_{sto;H}$	°C	konačna temperatura spremnika za promatrani sat
$\vartheta_{sto;H;0}$	°C	početna temperatura spremnika u satu

$\mathcal{I}_{sto;H;tmp1}$	°C	temperatura u spremniku nakon korištenja PTV-a
$\mathcal{I}_{sto;set}$	°C	zadana maksimalna temperatura spremnika za kotao
$\mathcal{I}_{sto;set;sol}$	°C	maksimalna temperatura u spremniku
$\mathcal{I}_{sto;vol;in;h}$	°C	temperatura najnižeg volumena spremnika
$\mathcal{I}_{sto;W;min}$	°C	minimalno potrebna temperatura vode za PTV
\mathcal{I}_W	°C	temperatura tople vode PTV-a
$\mathcal{I}_{W,avg}$	°C	srednja temperatura u sustavu cirkulacije izvan vremena rada cirk. pumpe
$\mathcal{I}_{W,dis,atap}$	°C	temperatura PTV-a nakon puštanja slavine izvan vremena rada cirk. pumpe
$\mathcal{I}_{W,mean}$	°C	srednja temperatura sustava distribucije za PTV
$\mathcal{I}_{W,cw;m}$	°C	temperatura hladne vode
$\mathcal{I}_{W,srv}$	°C	temperatura vode na slavini
ρ_W	kg/m ³	gustoća vode
Φ_{em}	kW	nazivna snaga instaliranih ogrjevnih tijela
$\Phi_{sto;pmp;bu}$	kW	snaga pumpe primarne cirkulacije
$\Phi_{X;sto;in}$	kW	potencijalni toplinski dobitak
Ψ_j	W/mK	koeficijent toplinskih gubitaka pojedine dionice cjevovoda

SAŽETAK

U ovome radu prikazani su proračuni toplinskih gubitaka termotehničkog sustava za grijanje i pripremu potrošne tople vode prema novim prijedlozima normi iz serije prEN 15316. Prikazani su proračuni za podsustav predaje, podsustav razvoda, podsustav proizvodnje sa spremnikom toplinske energije i solarnim toplovodnim sustavom te na kraju proračun isporučene i primarne energije.

Proračun je proveden za referentnu hrvatsku kuću prema mjesečnoj i satnoj (satna raspodjela za karakterističan dan svakog mjeseca) metodi. Rezultati proračuna dobiveni mjesečnom i satnom metodom uspoređeni su za svaki dio sustava. Također su prikazani i uspoređeni rezultati za klimatska područja Zagreba i Splita za zadanu potrebnu godišnju energiju za grijanje od 10 kWh/m² i 70 kWh/m².

Na kraju rada, prikazane su moguće mjere uštede na primarnoj energiji te je izrađena troškovno optimalna analiza za period korištenja od 30 godina.

Ključne riječi: energetska učinkovitost, novi prijedlozi normi prEN 15316, primarna energija, isporučena energija

SUMMARY

In this thesis the procedure for calculating heat losses of space heating and domestic hot water system according to draft standard series prEN 15316 is given. Calculations for emission, distribution generation, storage and solar sub-system are shown, as also the calculation of delivery and primary energy.

Calculation example is given for a referent Croatian dwelling located in Zagreb and Split area with the defined energy need for heating of 10 kWh/m² and 70 kWh/m². Calculations are carried out on hourly and monthly basis and the obtained results of each sub-system are compared.

At the end, possible measures of energy efficiency improvement are evaluated and cost-optimal analysis for period of 30 years is made.

Key words: energy efficiency, draft standard series prEN 15316, primary energy, delivery energy

1. UVOD

Svakodnevna uporaba pojma energija intuitivno nam je jasna te izjava da je energija pokretač života, nije nimalo pretjerana. U svakodnevnom životu energiju koristimo za vlastite aktivnosti (tu energiju dobivamo kemijskom pretvorbom iz hrane), za pripremu hrane, za zagrijavanje vode, za grijanje ili hlađenje, za pogon naših prijevoznih sredstava, itd. Energija doduše nije besplatna, na nju se troši dio kućnog (ili poslovnog) budžeta – svaki mjesec nam dolaze računi za električnu energiju, prirodni plin, toplinsku energiju iz gradske toplinske mreže, vodu. Kada se tome dodaju i troškovi goriva za vozila, mjesečni iznos može biti veoma značajan, stoga je jasno da smanjenja potrošnje energije uslijed njezine učinkovitije uporabe donosi i proporcionalne novčane uštede. [1] Nepobitna je činjenica da je pristup energiji po prihvatljivim cijenama ključan preduvjet gospodarskog i socijalnog razvoja svakog društva. No, proizvodnja energije i njezina uporaba značajno utječu na okoliš, uzrokujući zagađenja lokalnog i regionalnog karaktera (smog, kisele kiše i sl.), ali i globalne probleme poput globalnog zagrijavanja i rezultirajućih klimatskih promjena. Naime, energija se još uvijek većinom proizvodi iz fosilnih goriva: ugljena, nafte i naftnih derivata te prirodnog plina. Njihovim sagorijevanjem u atmosferu se ispuštaju razni polutanti koji, osim njihovog potencijalno štetnog djelovanja na zdravlje, utječu na zakiseljavanje atmosfere, stvaranje štetnog prizemnog ozona te utječu na globalno zatopljenje. [1]

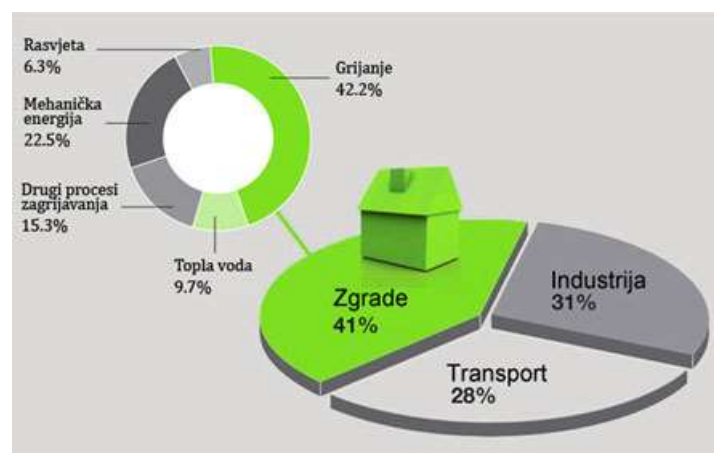
1.1. Definicija energetske učinkovitosti

Pod pojmom energetska učinkovitost podrazumijevamo učinkovitu uporabu energije u svim sektorima krajnje potrošnje energije: industriji, prometu, uslužnim djelatnostima, poljoprivredi i u kućanstvima. To je suma isplaniranih i provedenih mjera čiji je cilj korištenje minimalno moguće količine energije tako da razina udobnosti i stopa proizvodnje ostanu sačuvane. Pojednostavljeno, energetska učinkovitost znači uporabiti manju količinu energije (energenata) za obavljanje istog posla (grijanje ili hlađenje prostora, rasvjetu, proizvodnju raznih proizvoda, pogon vozila i sl.). Važno je istaknuti da se energetska učinkovitost nikako ne smije promatrati kao štednja energije. Naime štednja uvijek podrazumijeva određenja odricanja, dok učinkovita uporaba energije nikada ne narušava uvjete rada i življenja. [1]

1.2. Potrošnja energije u zgradarstvu i EU direktive

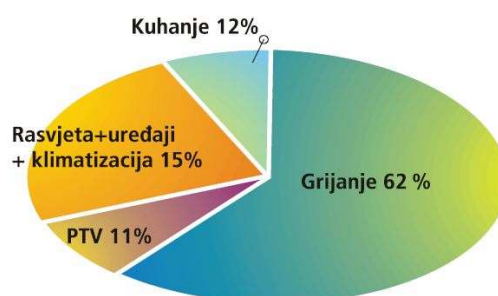
Energetska učinkovitost u zgradama i održiva gradnja te primjena obnovljivih izvora energije, danas postaje apsolutni prioritet svih aktivnosti u području energetike i gradnje u Europskoj uniji. Akcijski plan za energetska učinkovitost, niz direktiva i poticajnih mehanizama, te obvezna energetska certifikacija zgrada, jasno upućuju na hitnu potrebu smanjenja potrošnje energije u sektoru zgradarstva kao najvećem energetsom potrošaču. [1]

U Europskoj uniji se oko 41 % energije troši u zgradarstvu, slijedi industrija s udjelom od 31 %, a na trećem mjestu s udjelom od 28% nalazi se transport (Slika 1.). [2]



Slika 1. Prosječna potrošnja energije u zgradarstvu u Europskoj uniji [2]

U Republici Hrvatskoj više od 83 % naseljenih zgrada ima nezadovoljavajuću toplinsku zaštitu, s prosječnom potrošnjom za grijanje prostora od 150 do 200 kWh/m², pa tako udio energije koji se potroši u zgradama čini 41,3 % ukupne finalne potrošnje energije te je u stalnom porastu. Osnovna karakteristika postojeće izgradnje u Hrvatskoj je neracionalno velika potrošnja svih tipova energije, prvenstveno energije za grijanje, a porastom standarda sve više i za hlađenje zgrada. Energetska potrošnja namijenjena za grijanje, pripremu tople vode i kondicioniranje zraka predstavlja najznačajniji dio energetske potrošnje u zgradama (Slika 2). [1]



Slika 2. Struktura potrošnje energije u kućanstvima u Hrvatskoj [1]

Povećanje učinkovitog korištenja energije i korištenje obnovljivih izvora energije, važan je dio svih strategija na globalnoj i nacionalnoj razini. Sadašnje stanje potrošnje energije u zgradarstvu je realan potencijal za povećanje učinkovitosti, korištenje obnovljivih izvora energije i alternativnih energetske sustava. Cijene energije i energenata će, zbog globalnih i lokalnih razloga, u narednom razdoblju rasti – što će utjecati na porast troškova stanovanja i poslovanja. Zato je potrebno dobro poznavati vlastitu energetiku u smislu tehničkih mogućnosti i troškova te biti u stanju njome upravljati. Zbog velike potrošnje energije u zgradama, koja u ukupnoj energetske bilanci konstantno raste, a istovremeno i najvećeg potencijala energetske i ekološke ušteda, energetska učinkovitost danas postaje prioritet suvremene arhitekture i energetike. Ovo je područje prepoznato kao područje koje ima najveći potencijal za smanjenje ukupne potrošnje energije na nacionalnoj razini, čime se direktno utječe na ugodniji i kvalitetniji boravak u zgradi, duži životni vijek zgrade te doprinosi zaštiti okoliša.[3]

Važne direktive Europske unije koje reguliraju područje energetske učinkovitosti su sljedeće:

- Direktiva 2002/91/EC o energetske svojstvima zgrada
- Direktiva 89/106/EEC o usklađivanju zakonskih i upravnih propisa država članica o građevnim proizvodima
- Direktiva 2006/32/EC o energetske učinkovitosti i energetske uslugama
- Direktiva 2005/32/EC o uspostavi okvira za utvrđivanje zahtjeva za ekološki dizajn proizvoda koji koriste energiju
- Direktiva 2004/8/EC o promociji kogeneracije bazirane na korisnim toplinske potrebama na unutrašnjem tržištu energije
- Direktiva 92/75/EEC o obveznom označavanju energetske učinkovitosti kućanskih uređaja
- Direktiva 93/76/EEC o ograničavanju emisija ugljičnog dioksida kroz povećanje energetske učinkovitosti
- Direktiva 2003/87/EC o uspostavi sustava trgovanja dozvolama za emitiranje stakleničkih plinova unutar EU
- Direktiva 2004/101/EC o uspostavi sustava trgovanja dozvolama za emitiranje stakleničkih plinova, s obzirom na primjenu mehanizama Protokola iz Kyota [3]

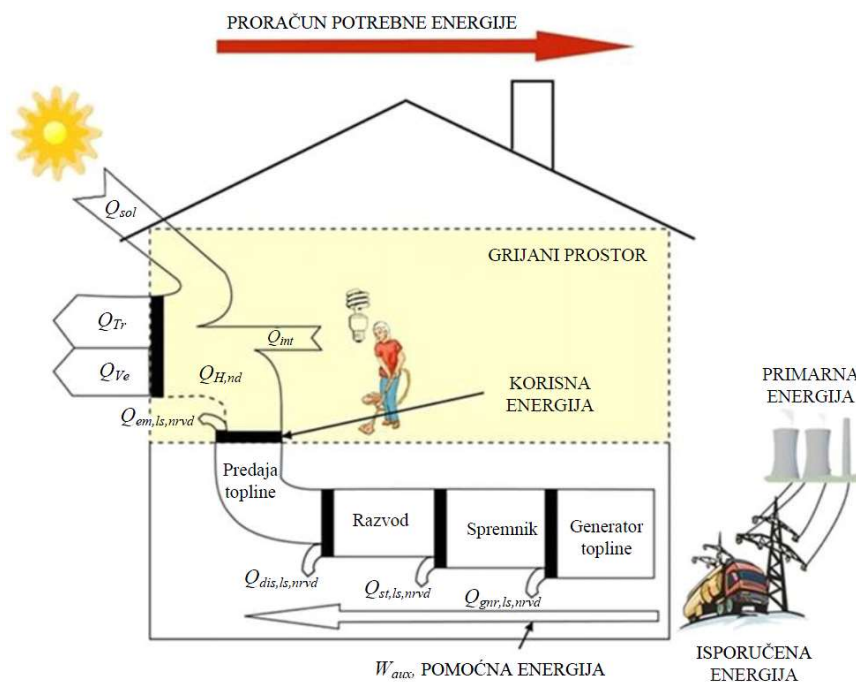
2. SKUPINA NORMI EN 15316

Norme iz skupine EN 15316 su norme vezane za proračun finalne energije. Serija normi EN 15316, uz serije EN 15243, EN 15377, EN 15241, EN 15232 i EN 15193, predstavljaju poveznicu između energetske potrebe zgrade i ukupne finalne energije isporučene zgradi za grijanje, hlađenje, ventilaciju, potrošnu toplu vodu i rasvjetu. [3]

Metoda proračuna skupine normi EN 15316 temelji se na određivanju toplinskih gubitaka i energije za pogon pomoćnih uređaja u slijedećim podsustavima na koje se dijeli promatrani termotehnički sustav:

- podsustav predaje toplinske energije u prostor (ogrjevna tijela), uključujući regulaciju
- podsustav razvoda ogrjevnog medija i potrošne tople vode, uključujući regulaciju
- podsustav proizvodnje toplinske energije, uključujući spremnik i cjevovode primarne cirkulacije do generatora topline (kotla) te regulaciju [4]

Proračun se provodi u svrhu određivanja energetske potrebe u zgradi kako bi se izračunala isporučena i primarna energija zgrade za zadanu korisnu toplinsku energiju koju je potrebno isporučiti zgradi (Slika 3.). [4]



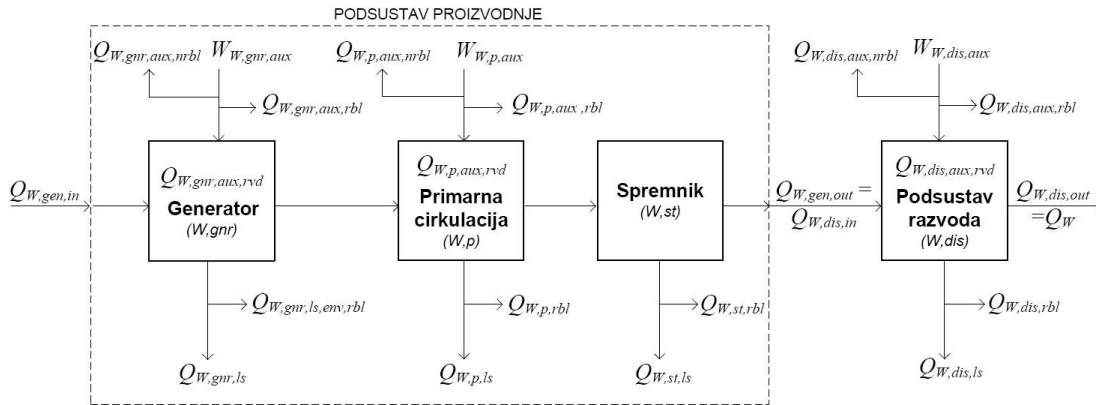
Slika 3. Energetski tokovi u zgradi s termotehničkim sustavom za grijanje [4]

Za potrebe ovoga rada korišteni su novi prijedlozi normi iz serije prEN 15316. Korištene norme iz serije prEN 15316 su: prEN 15316-1:2015, prEN 15316-2:2015, prEN 15316-3:2015, prEN 15316-4-1:2014, prEN 15316-4-3:2014 i prEN 15316-5:2014 te će one biti prikazane u nastavku ovoga rada.

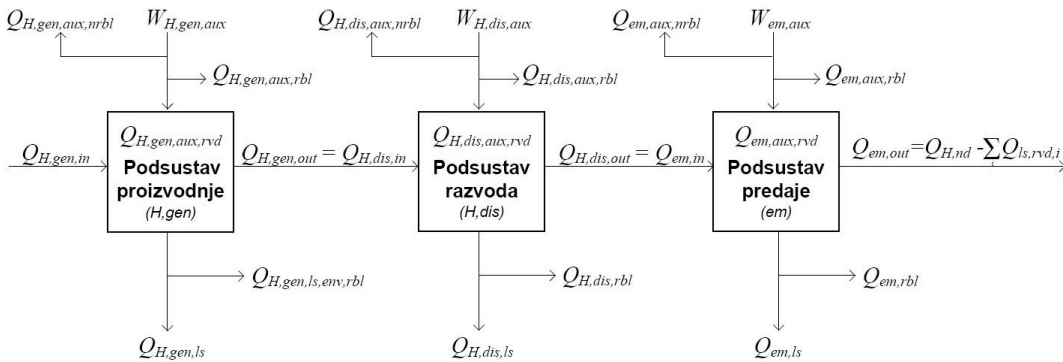
2.1. Postupak proračuna

Shematski prikaz podjele termotehničkog sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode (PTV) na podsustave dan je na Slici 4. [4]

PRIPREMA PTV-a



GRIJANJE



Slika 4. Podjela termotehničkog sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode na podsustave s prikazom ulazno/izlaznih veličina [4]

Ulazna veličina u proračun je toplinska energija $Q_{em,out}$ koju je podsustavom predaje tj. ogrjevnim tijelima potrebno predati u grijani prostor, a računa se iterativno prema

$$Q_{em,out} = Q_{H,nd} - \sum_i Q_{ls,rvd,i} \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

$\sum_i Q_{ls,rvd,i}$ - zbroj svih iskorištenih toplinskih gubitaka sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode (kWh) pri čemu iskorišteni gubitak $Q_{ls,rvd,i}$ predstavlja stvarno iskorišteni dio pojedinog iskoristivog gubitka $Q_{rbl,i}$, odnosno

$$Q_{ls,rvd,i} = \eta_{rvd} \cdot Q_{rbl,i} \quad [\text{kWh}] \quad (2)$$

gdje je stupanj iskorištenja iskoristivih gubitaka

$$\eta_{rvd} = 0,8 \cdot \eta_{H,gn} \quad [-] \quad (3)$$

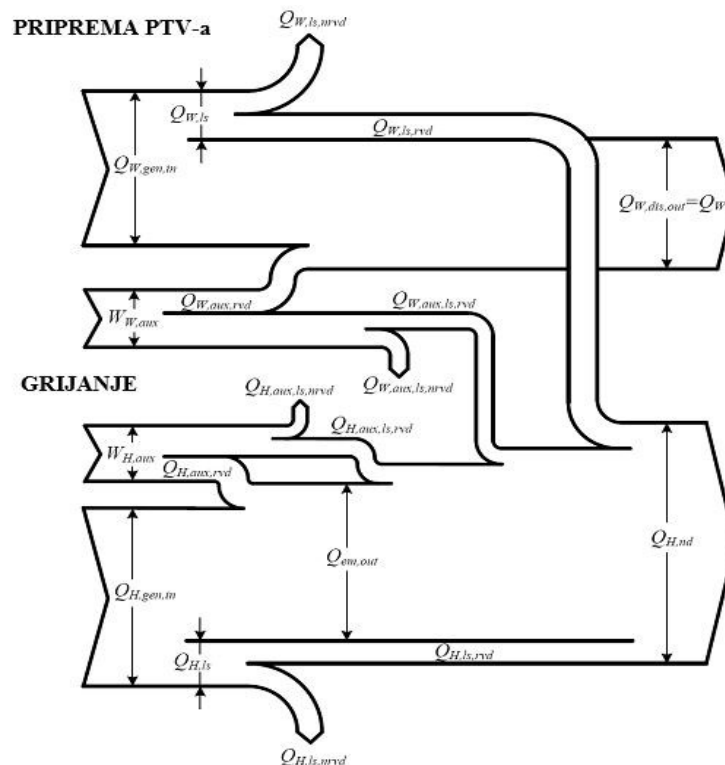
Postupak proračuna započinje tako da se na početku uzme da je $Q_{em,out} = Q_{H,nd}$, a nakon što se temeljem toga izračuna $\sum_i Q_{rbl,i}$, u narednim koracima se $Q_{em,out}$ računa prema jednadžbi (1), sve dok razlika vrijednosti $Q_{em,out}$ iz posljednja dva koraka ne bude manja od 1%. [4]

Ukupni toplinski gubici (indeks ls) dijele se na:

- iskoristive gubitke (indeks rbl) – toplinski gubici dijelova sustava koji se mogu vratiti u grijani prostor tijekom sezone grijanja i smanjiti toplinsku energiju $Q_{em,out}$ koje je ogrjevnim tijelima potrebno predati u grijani prostor
- neiskoristive gubitke (indeks nrb) – toplinski gubici koji se ne mogu iskoristiti za grijanje prostora, a predstavljaju razliku ukupnih i iskoristivih toplinskih gubitaka
- iskorištene gubitke (indeks ls,rvd) – predstavljaju stvarno iskorišteni dio iskoristivih gubitaka za smanjenje $Q_{em,out}$
- neiskorištene gubitke (indeks $ls,nrvd$) – predstavljaju u konačnici neiskorišteni dio ukupnih gubitaka koji se nije iskoristio za smanjenje $Q_{em,out}$ [4]

Vraćena pomoćna energija (indeks rvd) je onaj dio energije potrebne za pogon pojedinog pomoćnog uređaja koja se direktno vraća radnom mediju i zraku za izgaranje. Preostali dio pomoćne energije se predaje u okolinu kao iskoristivi i/ili neiskoristivi toplinski gubitak. [4]

Način određivanja isporučene energije u termotehnički sustav za zadanu toplinsku potrebu, za izračunate iskorištene i neiskorištene toplinske gubitke te vraćene pomoćne energije u pojedinim dijelovima sustava prikazan je na Slici 5. [4]



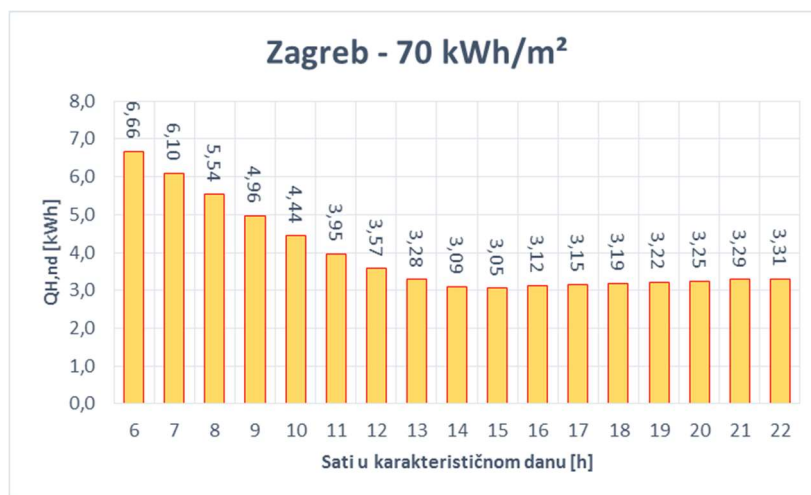
Slika 5. Energetski tokovi u termotehničkom sustavu za grijanje i pripremu potrošne tople vode [4]

Cijeli postupak proračuna opisan u ovome poglavlju preuzet je iz norme HRN EN 15316-1:2008 iz [4]. Naime, novi prijedlog norme prEN 15316-1 iz [5], pod nazivom „prEN15316-1:2015 Sustavi grijanja i hlađenja na bazi vode u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – 1. dio: Opći izrazi i izrazi za energetske učinkovitost“ ne sadrži dovoljno detaljan opis spajanja energetskih potreba zgrade s naknadnim proračunima iz serije prEN 15316 te mu nedostaju ključni izrazi poput izraza (1), (2) i (3), prikazanih u ovome poglavlju.

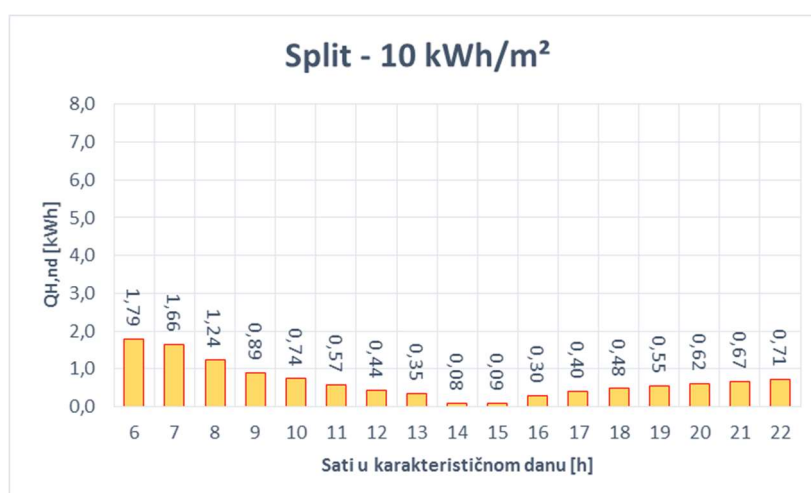
3. PRORAČUN PREMA SERIJI NORMI prEN 15316

3.1. Ulazni podaci

Ulazni podatak $Q_{H,nd}$ - potrebna toplinska energija za grijanje, koji se koristi u izrazu (1), za potrebe ovoga rada izračunat je prema normi HRN EN ISO 13790, iz [6]. Zgrada koja je korištena za proračun $Q_{H,nd}$ je referentna obiteljska kuća – prizemnica, neto površine 104,03 m². Sustav grijanja prostora aktivan je od 6h do 23h te sezona grijanja obuhvaća mjesečni raspon od listopada do uključujući ožujka. Za satni proračun $Q_{H,nd}$ korištena je jednostavna satna metoda opisana u HRN EN ISO 13790. Satna raspodjela $Q_{H,nd}$ za karakterističan dan svakog mjeseca izračunata je za zadanu potrebnu godišnju energiju za grijanje od 10 kWh/m² i 70 kWh/m², i to za klimatska područja Zagreba i Splita. Primjeri satne raspodjele $Q_{H,nd}$ za mjesec siječanj vidljivi su na Dijagramima 1. i 2.

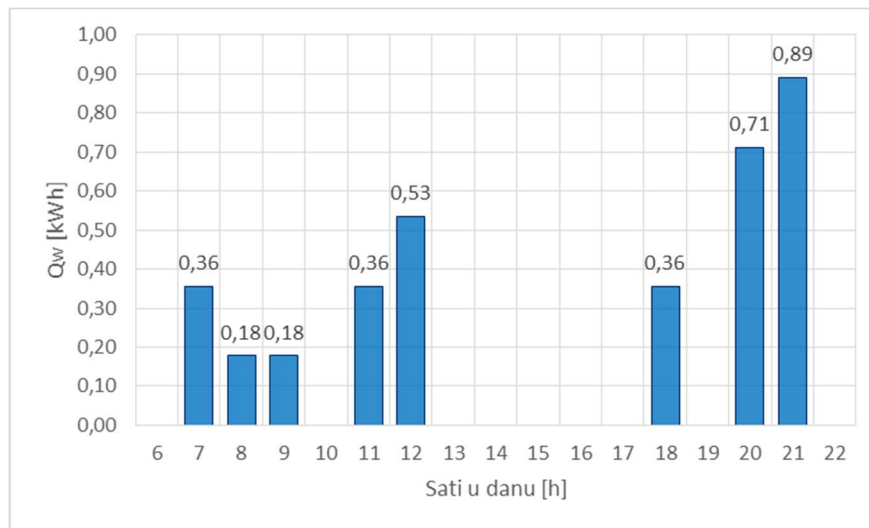


Dijagram 1. Satna raspodjela potrebne energije za grijanje u karakterističnom danu siječnja za klimatsko područje Zagreba i zadanu godišnju potrebu od 70 kWh/m²

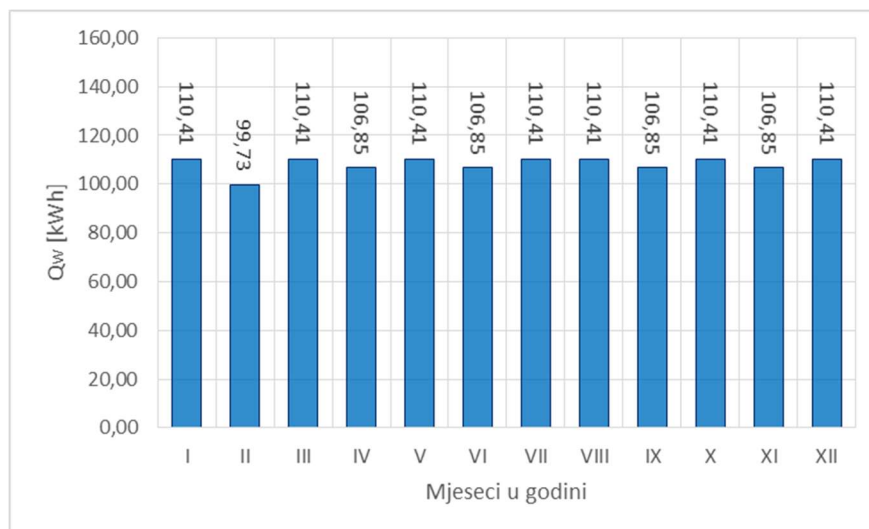


Dijagram 2. Satna raspodjela potrebne energije za grijanje u karakterističnom danu siječnja za klimatsko područje Splita i zadanu godišnju potrebu od 10 kWh/m²

Godišnja specifična toplinska energija potrebna za pripremu potrošne tople vode (PTV) određena je prema HRN EN 15316-3-1:2008 iz [4] te iznosi 12,5 kWh/m²a. Satna raspodjela toplinske energije potrebne za pripremu PTV-a prilagođena je profilu S prema normi prEN 12831-3:2014 iz [7]. Satna raspodjela toplinske energije potrebne za pripremu potrošne tople vode po danu je ista za oba zadana klimatska područja te je prikazana na Dijagramu 3. Mjesečna raspodjela toplinske energije potrebne za pripremu PTV-a prikazana je na Dijagramu 4.



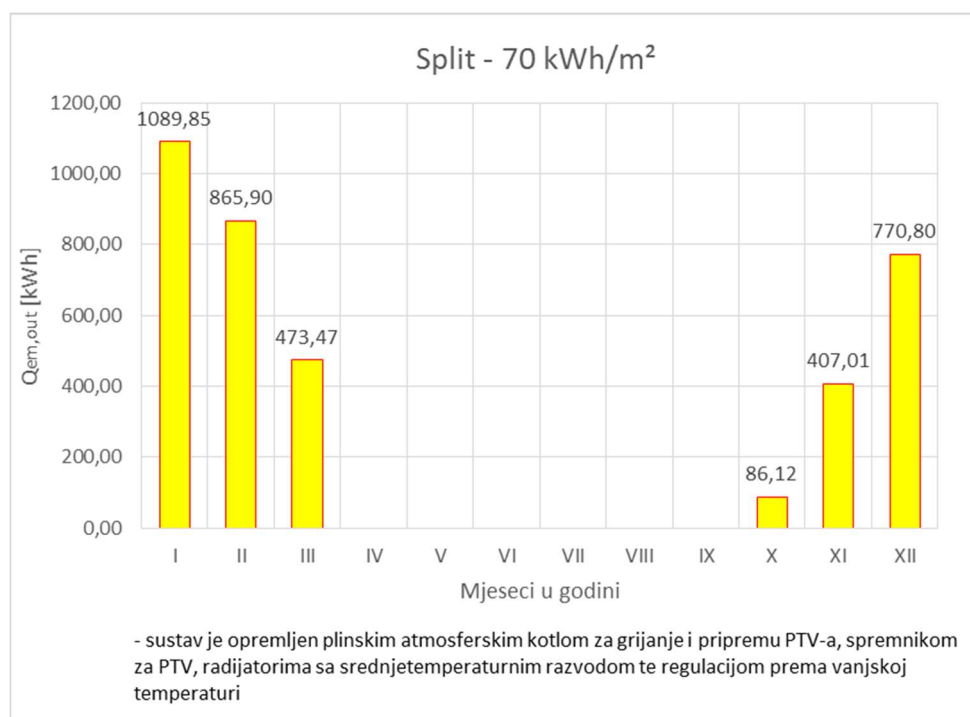
Dijagram 3. Satna raspodjela toplinske energije potrebne za pripremu PTV-a u danu



Dijagram 4. Mjesečna raspodjela toplinske energije potrebne za pripremu PTV-a u godini

Zbog poteškoća (koje su opisane u poglavlju 5. ovoga rada) u određivanju vrijednosti $\eta_{H,gn}$ odnosno η_{rvd} prema izrazu (3), sve vrijednosti satnog proračuna η_{rvd} za korištenje u izrazu (2), uzete su $\eta_{rvd}=1$. Radi usporedivosti mjesečnih i satnih metoda normi iz serije prEN 15316, $Q_{em,out}$ se na satnoj razini računa iterativno prema izrazu (1) koristeći norme iz serije prEN 15316 za izračun iskorištenih gubitaka $Q_{ls,rvd,i}$, dok se za mjesečnu razinu za ulazne vrijednosti $Q_{em,out}$ koriste sumirane dobivene vrijednosti iz satne metode.

Primjer mjesečne raspodjele $Q_{em,out}$ u godini za klimatsko područje Splita i zadanu godišnju potrebu od 70 kWh/m² za jedan od naknadno proračunatih sustava prikazan je na Dijagramu 5.



Dijagram 5. Primjer mjesečne raspodjele toplinske energije koju je podsustavom predaje potrebno predati u grijani prostor – za zadanu godišnju potrebu $Q_{H,nd}$ 70 kWh/m² i klimatsko područje Splita

Sve naknadne usporedbe između različitih klimatskih područja i različitih zanih razina potrebne godišnje energije za grijanje u poglavlju 3, biti će za isti sustav grijanja i pripreme potrošne tople vode. Taj sustav se sastoji od:

- radijatorskog podsustava emisije
- dvocijevnog srednjetemperaturnog podsustava razvoda za grijanje (regulacija prema vanjskoj temperaturi) i podsustava razvoda za PTV s recirkulacijom
- podsustava proizvodnje s plinskim atmosferskim kotlom i spremnikom za PTV (300 L) s podrškom solarnog toplovodnog sustava (dva solarna kolektora)

3.2. prEN 15316-2:2015 Sustavi za grijanje prostora zračenjem topline

U nastavku ovog poglavlja opisana je mjesečna metoda proračuna sustava za grijanje prostora zračenjem topline prema normi prEN 15316-2:2015 [8]. Korištenjem satne metode pripadajuće norme došlo je do nereálnih razlika između mjesečne i satne metode, stoga je odlučeno da će se i za satnu razinu koristiti mjesečna metoda, ali sa satnim korakom.

3.2.1. Proračun prema prEN 15316-2:2015 [8]

Ulazne veličine:

$\Delta\theta_{str}$ - prostorna promjena temperature zbog stratifikacije [K]

$\Delta\theta_{ctr}$ - temperaturna promjena uslijed djelovanja regulacije temperature prostorije

$\Delta\theta_{emb}$ - temperaturna promjena uslijed dodatnih gubitaka ugrađenih sustava ($\Delta\theta_{emb,1}$ - promjena temperature uslijed karakteristike sustava, $\Delta\theta_{emb,2}$ - promjena temperature uslijed toplinskih gubitaka kroz prilježću površinu) [K]

$$\Delta\theta_{emb} = (\Delta\theta_{emb,1} + \Delta\theta_{emb,2}) / 2 \quad [\text{K}] \quad (4)$$

$\Delta\theta_{rad}$ - temperaturna promjena uslijed utjecaja zračenja, ovisi o tipu sustava emisije [K]

$\Delta\theta_{im}$ - temperaturna promjena uslijed intermitentnog rada ($\Delta\theta_{im,ctr}$ - uslijed intermitentnog rada regulacije, $\Delta\theta_{im,emt}$ - uslijed intermitentnog rada određenog tipa sustava emisije) [K]

$$\Delta\theta_{im} = \Delta\theta_{im,emt} + \Delta\theta_{im,ctr} \quad [\text{K}] \quad (5)$$

$\Delta\theta_{hydr}$ - temperaturna promjena uslijed hidrauličke ravnoteže razvoda [K]

$\Delta\theta_{roomaut}$ - temperaturna promjena uslijed sobne automatizacije [K]

- sve gore navedene ulazne veličine dostupne su u tablicama pripadajuće norme

- dodatne ulazne veličine su:

$\theta_{int,ini}$ - početna unutarnja temperatura [°C]

$\theta_{e,avg}$ - prosječna vanjska temperatura na satnoj ili mjesečnoj razini [°C]

$Q_{em,out}$ - toplinska energija koju je podsustavom predaje potrebno predati u grijani prostor [kWh]

Ekvivalentna unutarnja temperatura se računa prema

$$\theta_{int,inc} = \theta_{int,ini} + \Delta\theta_{int,inc} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (6)$$

gdje je

$$\Delta\theta_{int,inc} = \Delta\theta_{str} + \Delta\theta_{ctr} + \Delta\theta_{emb} + \Delta\theta_{rad} + \Delta\theta_{im} + \Delta\theta_{hydr} + \Delta\theta_{roomaut} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (7)$$

Toplinski gubici podsustava predaje se računaju prema

$$Q_{em,ls} = Q_{em,out} \cdot \left(\frac{\Delta\theta_{int,inc}}{\theta_{int,inc} - \theta_{e,comb}} \right) \text{ [kWh]} \quad (8)$$

gdje je za grijanje

$$\theta_{e,comb} = \theta_{e,avg}$$

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu predaje

$$Q_{em,in} = Q_{em,out} + Q_{em,ls} \text{ [kWh]} \quad (9)$$

Proračun pomoćne energije

Ulazni podaci:

P_{fan} - nazivna potrošnja električne energije za ventilatore [W]

n_{fan} - broj ventilatora [-]

$t_{h,rL}$ - vrijeme rada u promatranom periodu [h]

Pomoćna energija za podsustav predaje računa se prema

$$W_{em,ls,aux} = W_{fan} \text{ [kWh]} \quad (10)$$

gdje je

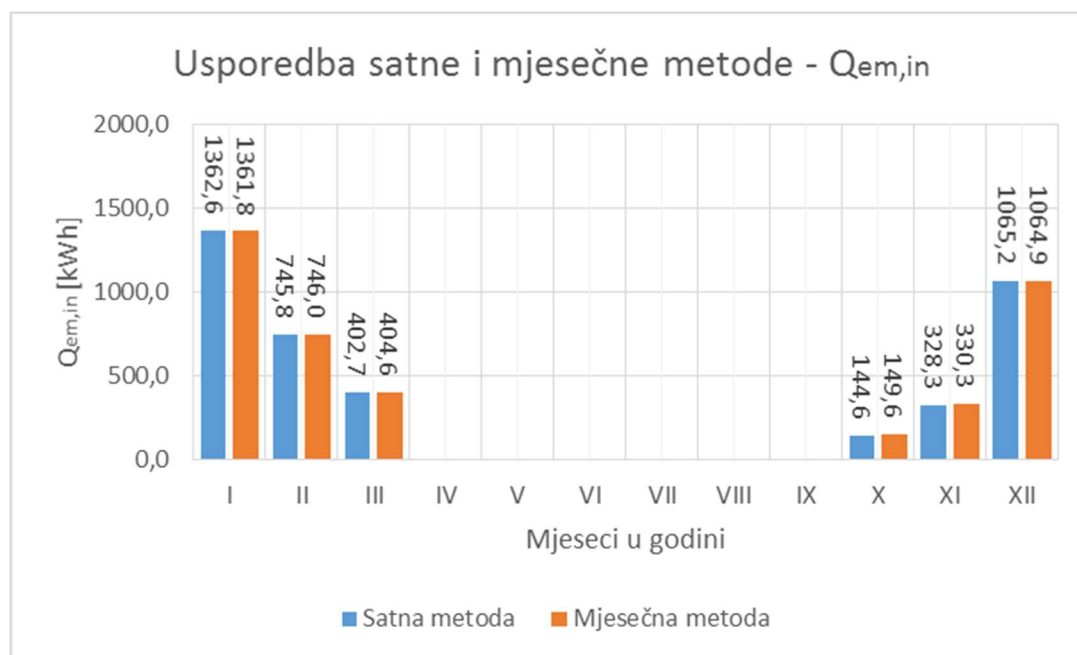
$$W_{fan} = \sum \frac{P_{fan} \cdot n_{fan} \cdot t_{h,rL}}{1000} \text{ [kWh]} \quad (11)$$

Uspoređujući ovaj proračun s proračunom prema HRN EN 15316-2-1:2008 iz [4], može se primijetiti da izraz (10) uzima u obzir samo pomoćnu energiju ventilatora, dok se u proračunu prema HRN EN 15316-2-1:2008 za pomoćnu energiju dodatno uzimaju u obzir dodatne pumpe te pomoćna energija regulacije. Proračun opisan u ovome poglavlju također ne uzima u obzir vraćenu i iskoristivu pomoćnu energiju, pa tako izraz (9) ne sadrži član vraćene pomoćne energije.

3.2.2. Rezultati prema prEN 15316-2:2015

U nastavku ovoga poglavlja prikazani su rezultati prema prEN 15316-2:2015 za sustav opisan u poglavlju 3.1.

Usporedba satne i mjesečne metode, za klimatsko područje Zagreba i zadanu potrebnu godišnju energiju za grijanje od 70 kWh/m^2 prikazana je na Dijagramu 6.



Dijagram 6. Usporedba potrebne toplinske energije na ulazu u podsustav predaje dobivene satnim i mjesečnim proračunom za klimatsko područje Zagreba te za zadani godišnji $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$

Usporedbom satne i mjesečne metode prema Dijagramu 6. vidljivo je da satna i mjesečna metoda daju gotovo identične rezultate, to je bilo i za očekivati u zimskim mjesecima budući da je za obje metode korišten isti proračun samo s drugačijim vremenskim korakom (raspon razlika za zimske mjesec je 0,03 - 0,06 %). Razlike u prijelaznom periodu su nešto veće (0,5 - 3,5 %), no takve male razlike zanemarivo utječu na ukupne godišnje gubitke podsustava emisije.

Usporedba rezultata na godišnjoj razini prema prEN 15316-2:2015 satnoj metodi za klimatska područja Zagreba i Splita te za različite razine potrebne godišnje toplinske energije za grijanje od 10 kWh/m^2 i 70 kWh/m^2 prikazana je u Tablici 1.

Tablica 1. Rezultati prema prEN 15316-2:2015 satnoj metodi

	[kWh] $Q_{em,ls,an}$	[kWh] $Q_{em,out,an}$	[kWh] $Q_{em,in,an}$
Zagreb, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$	16,10	185,90	202,01
Split, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$	21,23	156,12	177,35
Zagreb, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$	368,64	3680,55	4049,19
Split, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$	571,43	3687,91	4259,34

Analizirajući podatke iz Tablice 1., vidljiva je razlika rezultata uslijed različitih razina godišnjih potreba za grijanjem - sve vrijednosti su veće za veću razinu potrebne godišnje toplinske energije za grijanje. Iz rezultata u Tablici 1. mogu se primijetiti povećani gubici sustava emisije za klimatsko područje Splita u odnosu na klimatsko područje Zagreba, za to je odgovaran izraz (8) koji u nazivniku ima član prosječne vanjske temperature u promatranom periodu. Prema izrazu (8) viša vanjska temperatura uzrokuje porast cijelog izraza u odnosu na nižu vanjsku temperaturu. Toliko velike razlike u rezultatima (24 % za $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$ te 35 % za $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$) se čine nerealne te bi prema tome izraz (8) trebalo revidirati.

Rezultati Tablice 1. također pokazuju razlike u toplinskoj energiji koju je sustavom predaje potrebno predati u grijani prostor ($Q_{em,out}$) za klimatska područja Zagreba i Splita za iste razine potrebne godišnje toplinske energije za grijanje ($Q_{H,nd}$). Uzrok tome su različite vrijednosti iskorištenih gubitaka topline naknadno proračunatih podsustava razvoda (za grijanje i PTV) te proizvodnje (kotao, spremnik, toplovodni solarni sustav).

3.3. prEN 15316-3:2015 Sustavi razvoda za grijanje i PTV

U nastavku ovoga poglavlja opisan je proračun sustava razvoda za grijanje i PTV prema normi prEN 15316-3:2015 [9]. Satna i mjesečna metoda koriste iste izraze te se razlikuju jedino po vremenskom koraku. Proračun se vrši odvojeno za razvod grijanja (indeks H) i razvod PTV-a (indeks W).

3.3.1. Proračun prema prEN 15316-3:2015 [9]

Proračun gubitaka topline

Srednja temperatura sustava distribucije za grijanje računa se prema

$$\vartheta_{HC,mean} = \frac{\vartheta_{HC,in} + \vartheta_{HC,out}}{2} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (12)$$

gdje su

$\vartheta_{HC,in}$ - temperatura polaza [$^\circ\text{C}$]

$\vartheta_{HC,out}$ - temperatura povrata [$^\circ\text{C}$]

- budući da nam satna i mjesečna raspodjela temperature polaza i povrata nisu poznate, za izračun srednje temperature sustava distribucije za grijanje korišten je izraz (13), prema normi HRN EN 15316-4-1 iz [4]. Izraz vrijedi za regulaciju prema vanjskoj temperaturi [4].

$$\theta_m = \theta_d + f_c \cdot (\theta_i - \theta_d) \text{ [}^\circ\text{C]} \text{ [4]} \quad (13)$$

gdje je

θ_d - projektna temperatura sustava razvoda [$^\circ\text{C}$] (tablično iz [4])

θ_i - temperatura prostorije [$^\circ\text{C}$]

f_c - korekcijski faktor koji uzima u obzir vrstu regulacije

- za regulaciju s promjenjivom temperaturom ogrjevnog medija

$$f_c = \frac{\theta_e - \theta_{e,design}}{\theta_i - \theta_{e,design}} \text{ [-]} \text{ [4]} \quad (14)$$

θ_e - vanjska temperatura u promatranom periodu [$^\circ\text{C}$]

$\theta_{e,design}$ - vanjska projektna temperatura [$^\circ\text{C}$]

Srednja temperatura sustava distribucije za PTV računa se prema

$$\vartheta_{W,\text{mean}} = \vartheta_W - \frac{\Delta\vartheta_W}{2} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (15)$$

gdje je

ϑ_W - temperatura tople vode [°C]

$\Delta\vartheta_W$ - pad temperature na povratu cirkulacije [°C] (tablično)

Gubitak topline za sustav razvoda za grijanje i sustav razvoda za PTV (dio s cirkulacijom) računa se prema

$$Q_{HCW,dis,ls} = \frac{1}{1000} \sum_0^{t_{HCW,op}} \sum_j \Psi_j \cdot (\vartheta_{HCW,mean} - \vartheta_{HCW,ah,j}) \cdot (L + L_{equi})_j \cdot t_{ci} \text{ [kWh]} \quad (16)$$

gdje je

j - indeks za zonu (dionicu) [-]

Ψ_j - koeficijent toplinskih gubitaka pojedine dionice cjevovoda [W/mK] (tablično ili proračun)

$\vartheta_{HCW,ah,j}$ - temperatura u zoni [°C]

L - duljina cijevi u zoni [m] (tablično prema dimenzijama zgrade)

L_{equi} - ekvivalentna duljina ventila [m] (nedostaje u prEN 15316-3, uzeto tablično iz [4])

t_{ci} - vremenski korak proračuna [h]

$t_{HCW,op}$ - ukupno vrijeme rada grijanja ili cirkulacijske petlje PTV-a [h]

Dodatni gubitak topline za sustav razvoda PTV-a izvan cirkulacijske petlje računa se prema

$$Q_{W,dis,stub} = \dot{m}_{W,dis,stub} \cdot c_w \cdot (\vartheta_W - \vartheta_{W,ah,j}) \cdot t_{ci} \text{ [kWh]} \quad (17)$$

gdje je

c_w - specifični toplinski kapacitet vode [kWh/kgK]

$\dot{m}_{W,dis,stub}$ - protok vode kroz sustav razvoda izvan cirkulacijske petlje u vremenskom koraku [kg/h]

$$\dot{m}_{W,dis,stub} = \sum_j V_j \cdot \rho_W \cdot n_{tap,j} \text{ [kg/h]} \quad (18)$$

V - volumen cijevi sustava razvoda PTV-a izvan cirkulacijske petlje [m³]

ρ_W - gustoća vode [kg/m³]

$n_{tap,j}$ - broj puštanja slavine po zoni u vremenskom koraku [1/h] (iskustveno određeno)

Gubitak topline cirkulacijske petlje izvan rada cirkulacijske pumpe računa se prema

$$Q_{W,dis,nom} = \frac{1}{1000} \sum_0^{t_{W,op}} \sum_j \Psi_j \cdot (\mathcal{G}_{W,avg} - \mathcal{G}_{W,ah,j}) \cdot (L + L_{equi})_j \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad (19)$$

gdje je

$\mathcal{G}_{W,avg}$ - srednja temperatura u sustavu cirkulacije izvan vremena rada cirk. pumpe [$^{\circ}\text{C}$]

$$\theta_{W,avg} = \frac{\theta_W + \theta_{W,dis,atap}}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (20)$$

$\mathcal{G}_{W,dis,atap}$ - temperatura PTV-a nakon puštanja slavine izvan vremena rada cirk. pumpe [$^{\circ}\text{C}$]

$$\theta_{W,dis,atap,i} = \theta_{W,ah,j} + (\theta_W - \theta_{W,ah,j}) \cdot e^{-C_i} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (21)$$

C_i - eksponent [-]

$$C_i = \frac{q_i \cdot L_i \cdot t_{atap}}{c_W \cdot \rho_W \cdot V_i + c_p \cdot m_{p,i}} \cdot \frac{1}{(\theta_W - \theta_{W,ah,i})} \quad [-] \quad (22)$$

V_i - volumen cijevi dionice i [m^3]

c_p - specifični toplinski kapacitet cijevi [kWh/kgK]

m_p - masa cijevi dionice i [kg]

t_{atap} - vrijeme između puštanja slavine [h]

q_i - toplinski tok po metru cijevi [W/m]

$$q_i = \Psi_i \cdot (\theta_W - \theta_{W,ah,j}) \quad [\text{W/m}] \quad (23)$$

Za potrebe proračuna tijekom ovoga rada, sustav cirkulacije razvoda PTV-a podešen je na vrijeme rada od 10 minuta svaki sat, tome su prilagođeni izrazi (16) i (19) te vrijednost t_{atap} - ako nema puštanja slavine u određenom satu: t_{atap} =vrijeme između recirkulacija, ako postoji puštanje slavine u određenom satu: t_{atap} = vrijeme između puštanja slavine (pod uvjetom da je to vrijeme manje od vremena između recirkulacija).

Proračun iskoristive energije toplinskih gubitaka

Iskoristivi toplinski gubici se računaju prema

$$Q_{HCW,dis,rbl} = f_{HCW,dis,rbl} \cdot Q_{HCW,dis,ls,total} \quad [\text{kWh}] \quad (24)$$

gdje je

$$f_{HCW,dis,rbl} = \frac{Q_{HCW,dis,ls,conditionedspace}}{Q_{HCW,dis,ls,total}} \quad [-] \quad (25)$$

$Q_{HCW,dis,ls,conditionedspace}$ - dio gubitaka topline sustava razvoda za cijevi unutar grijanog prostora [kWh] - prema izrazima (16), (17) i (19)

Proračun pomoćne energije

Projektna hidraulička snaga računa se prema

$$P_{HCW,hydr,des} = \frac{\Delta p_{HCW,des} \cdot \dot{V}_{HCW,des}}{3600} \text{ [kW]} \quad (26)$$

gdje je

$\dot{V}_{HCW,des}$ - projektni volumni protok [m^3/h]

$\Delta p_{HCW,des}$ - projektni pad tlaka [kPa]

$$\Delta p_{HCW,des} = (1 + f_{comp}) \cdot R_{HCW,max} \cdot L_{max} + \Delta p_{HCW,add} \text{ [kPa]} \quad (27)$$

f_{comp} - faktor otpora [-] (tablično)

$R_{HCW,max}$ - pad tlaka po metru cijevi [kPa/m] (tablično)

L_{max} - najveća duljina kruga grijanja ili PTV-a [m] (aproksimacija prema dimenzijama zgrade)

$\Delta p_{HCW,add}$ - pad tlaka zbog dodatnih otpora [kPa] (tablično)

Potrebna hidraulička energija računa se prema

$$W_{HCW,dis,hydr} = P_{HCW,hydr,des} \cdot \beta_{HCW,dis} \cdot f_{HCW,corr} \text{ [kWh]} \quad (28)$$

gdje je

$\beta_{HCW,dis}$ - faktor opterećenja [-] (nije definiran u normi pa je korišten izraz (29) prema HRN EN 15316-2-3:2008 iz [4])

$$\beta_{dis} = \frac{Q_{H,dis,out}}{\Phi_{em} \cdot t_{ci}} \text{ [-]} \text{ [4]} \quad (29)$$

Φ_{em} - nazivna snaga instaliranih ogrjevnih tijela [kW]

za PTV $\beta_{W,dis}=1$ [4]

$f_{HCW,corr}$ - korekcijski faktor za posebne uvjete [-] (nije jasno definiran, uzeta vrijednost 1)

Potrebna pomoćna energija se računa prema

$$W_{HCW,dis} = W_{HCW,dis,hydr} \cdot \varepsilon_{HCW,dis} \text{ [kWh]} \quad (30)$$

gdje je

$$\varepsilon_{HCW,dis} = f_{HCW,e} \cdot (C_{P1} + C_{P2} \cdot \beta_{HCW,dis}^{-1}) \cdot \frac{EEI}{0,25} \text{ [-]} \quad (31)$$

C_{P1} , C_{P2} - konstante ovisne o regulaciji pumpe [-] (tablično)

EEI - indeks energetske učinkovitosti [-] (tablično)

$f_{HCW,e}$ - faktor učinkovitosti [-] (zbog nedostatka vrijednosti u normi korišten je izraz iz [4])

$$f_{HCW,e} = \left[1,25 + \left(\frac{200}{P_{HCW,hydr,des}} \right)^{0,5} \right] \cdot 1,5 \cdot b \quad [-] \quad [4] \quad (32)$$

$b=1$ za nove zgrade i $b=2$ za postojeće zgrade [4]

Iskoristiva i iskorištena pomoćna energija

Iskoristiva pomoćna energija računa se prema

$$Q_{HW,dis,aux,rbl} = f_{rbl,dis} \cdot W_{HW,dis} \quad [\text{kWh}] \quad (33)$$

gdje je

$f_{rbl,dis}$ - faktor iskoristive pomoćne energije [-] (tablično)

Iskorištena pomoćna energija računa se prema

$$Q_{HW,dis,aux,rvd} = (1 - f_{rbl,dis}) \cdot W_{HW,dis} \quad [\text{kWh}] \quad (34)$$

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda

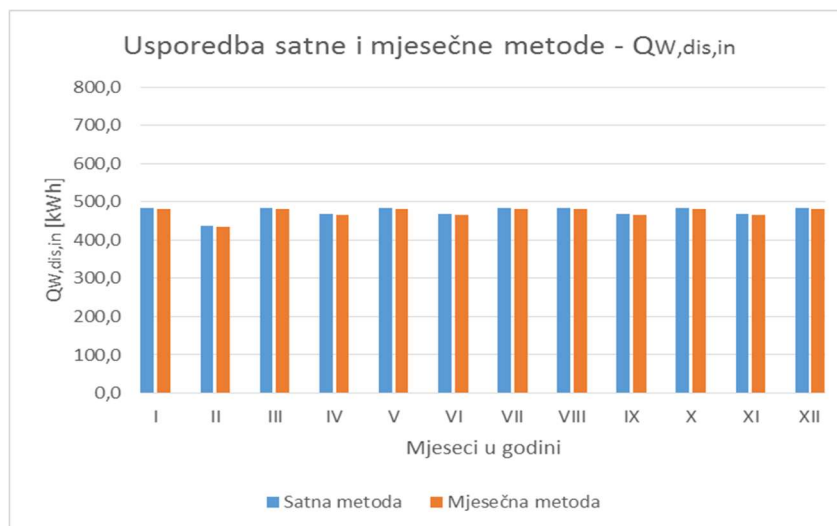
Norma prEN 15316-3:2015 ne sadrži izraz za toplinsku energiju koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda te je za potrebe ovoga rada korišten izraz iz [4].

$$Q_{HW,dis,in} = Q_{HW,gen,out} = Q_{HW,dis,out} - Q_{HW,dis,aux,rvd} + Q_{HW,dis,ls,total} \quad [\text{kWh}] \quad [4] \quad (35)$$

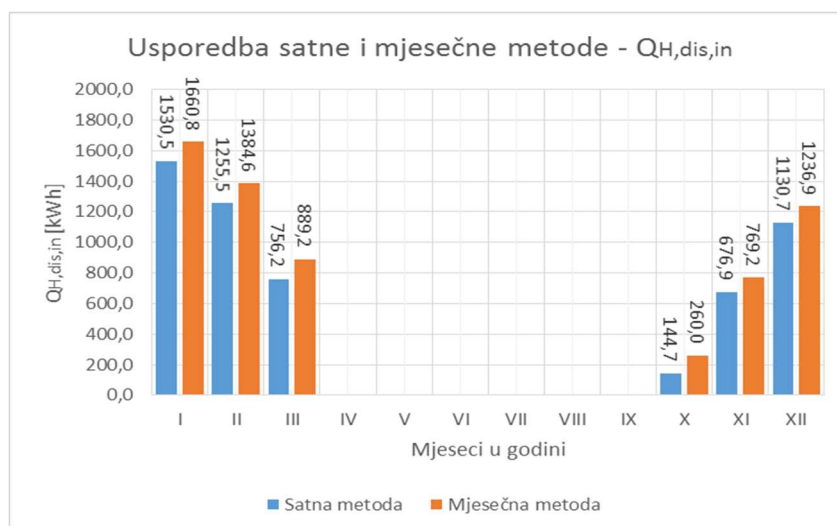
3.3.2. Rezultati prema prEN 15316-3:2015

U nastavku ovoga poglavlja prikazani su rezultati prema prEN 15316-3:2015 za sustav opisan u poglavlju 3.1.

Usporedba satnog i mjesečnog proračuna potrebne toplinske energije koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda PTV-a prema prEN 15316-3:2015 prikazana je na Dijagramu 7, dok je ta usporedba za razvod grijanja prikazana Dijagramom 8.



Dijagram 7. Rezultati satnog i mjesečnog proračuna $Q_{W,dis,in}$ prema prEN 15316-3:2015



Dijagram 8. Rezultati satnog i mjesečnog proračuna $Q_{H,dis,in}$ za klimatsko područje Splita i zadani $Q_{H,nd}=70$ kWh/m²

Usporedbom rezultata prema Dijagramu 7. vidljivo je da satna i mjesečna metoda za sustav razvoda PTV-a daju gotovo iste rezultate (razlika za svaki mjesec iznosi oko 0,5 %). Uspoređujući rezultate satne i mjesečne metode za sustav razvoda grijanja, prema Dijagramu 8., uočavamo bitne razlike (7,8 - 9,3 % za zimske mjesece te 12 - 44,3 % za prijelazni period).

Mjesečna metoda u svim mjesecima grijanja daje više vrijednosti potrebne toplinske energije koju je potrebno isporučiti razvodu grijanja. Razlog zbog kojega se javljaju takve razlike je izraz (13). Dotični izraz je, zbog nedostatka alternativnoga, preuzet iz norme HRN EN 15316-4-1 iz [4]. U spomenutoj normi izraz (13) se koristi na mjesečnoj razini te je njegovo korištenje na satnoj razini upitne točnosti. Izraz (13) se za potrebe ovoga rada koristio za obje metode te je u satnoj metodi bio podešen za vrijeme grijanja od 6h do 23h. Budući da u mjesečnoj metodi, opisanoj u ovome poglavlju, nije moguće postaviti dnevno vrijeme grijanja, javljaju se razlike u rezultatima mjesečne i satne metode.

Usporedba rezultata na godišnjoj razini prema prEN 15316-3:2015 mjesečnoj metodi za klimatska područja Zagreba i Splita te za različite razine potrebne godišnje toplinske energije za grijanje od 10 kWh/m² i 70 kWh/m² prikazana je u Tablici 2.

Tablica 2. Rezultati prema prEN 15316-3:2015 mjesečnoj metodi

	[kWh] $Q_{HC,dis,ls}$	[kWh] $Q_{W,dis,ls,total}$	[kWh] $Q_{HCW,dis,rbl}$	[kWh] $Q_{H,dis,in}$	[kWh] $Q_{W,dis,in}$
Zagreb, $Q_{H,nd}=10$ kWh/m²	1420,29	4394,86	5349,91	1590,34	5680,93
Split, $Q_{H,nd}=10$ kWh/m²	1851,01	4394,86	5777,20	1976,89	5680,93
Zagreb, $Q_{H,nd}=70$ kWh/m²	2209,09	4394,86	6132,43	6187,10	5680,93
Split, $Q_{H,nd}=70$ kWh/m²	2010,52	4394,86	5935,44	6200,76	5680,93

Iz rezultata Tablice 2. vidljivo je da su vrijednosti gubitaka razvoda PTV-a, kao i toplinske energije koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda PTV-a, iste za sve slučajeve. Razlika uslijed različitih razina godišnjih potreba za grijanjem je očekivana pa su tako gubici razvoda grijanja, kao i ukupni iskoristivi gubici razvoda veći za veću razinu godišnje potrebe za grijanjem.

Veće vrijednosti gubitaka razvoda grijanja te ukupnih iskoristivih gubitaka razvoda za klimatsko područje Splita u odnosu na klimatsko područje Zagreba (za isti određeni $Q_{H,nd}=10$ kWh/m²) izgledaju nerealno budući da se radi o regulaciji temperature razvoda prema vanjskoj temperaturi. Mogući razlog tome je različita mjesečna raspodjela $Q_{H,nd}$ između dvaju spomenutih klimatskih područja, dobivena prema normi HRN EN ISO 13790 iz [6]. Rezultat toga je nulta potreba za grijanjem u 3. i 11. mjesecu za klimatsko područje Zagreba (prema mjesečnoj metodi i razini $Q_{H,nd}=10$ kWh/m²), dok za klimatsko područje Splita ta potreba u spomenutim mjesecima postoji pa su na godišnjoj razini gubici razvoda grijanja veći za područje Splita u odnosu na Zagreb.

3.4. prEN 15316-4-1:2014 Sustavi proizvodnje topline izgaranjem za grijanje i PTV

U nastavku ovoga poglavlja opisan je proračun sustava proizvodnje izgaranjem za grijanje i PTV prema normi prEN 15316-4-1:2014 [10]. Satna i mjesečna metoda koriste iste izraze te se razlikuju jedino po vremenskom koraku. Proračun se vrši odvojeno za razvod grijanja (indeks H) i razvod PTV-a (indeks W).

3.4.1. Proračun prema prEN 15316-4-1:2014 [10]

Proračun gubitaka topline

Učinkovitost kotla pri punom opterećenju računa se prema

$$\eta_{gen,Pn} = \frac{c_1 + c_2 \cdot \log P_n}{100} [-] \quad (36)$$

gdje je

P_n - nazivna snaga kotla [kW]

c_1, c_2 - koeficijenti za proračun učinkovitosti kotla [-] (tablično)

U slučaju kondenzacijskih kotlova, izraz (36) se koristi za proračun učinkovitosti pri povratnoj temperaturi od 60 °C - $\eta_{gen,Pn;60}$ i 30 °C - $\eta_{gen,Pn;30}$ prema zadanim tabličnim koeficijentima c_1 i c_2 za temperature 60 °C i 30 °C.

Učinkovitost kotla pri djelomičnom opterećenju računa se prema

$$\eta_{gen,Pint} = \frac{c_3 + c_4 \cdot \log P_n}{100} [-] \quad (37)$$

gdje je

c_3, c_4 - koeficijenti za proračun učinkovitosti kotla [-] (tablično)

Faktor gubitaka topline za stanje pripravnosti računa se prema

$$f_{gen;ls;P0} = \frac{c_5 \cdot (P_n)^{c_6}}{100} [-] \quad (38)$$

gdje je

c_5, c_6 - koeficijenti za proračun učinkovitosti kotla [-] (tablično)

Korigirana učinkovitost pri punom opterećenju za nekondenzacijske kotlove računa se prema

$$\eta_{HW; gen; P_n; corr} = \eta_{gen; P_n} + f_{corr; P_n} \cdot (\vartheta_{gen; test; P_n} - \vartheta_{HW; mn}) \quad [-] \quad (39)$$

gdje je

$f_{corr; P_n}$ - korekcijski faktor [-] (tablično)

$\vartheta_{gen; test; P_n}$ - prosječna temperatura vode u kotlu na ispitnim temperaturama pri punom opterećenju [°C] (tablično)

$\vartheta_{HW; mn}$ - srednja temperatura vode u kotlu pri radnim uvjetima [°C] (za grijanje - izraz (13) u poglavlju 3.3.1., za PTV - temperatura tople vode)

Za kondenzacijske kotlove:

$$\eta_{HW; gen; P_n; corr} = \eta_{gen; P_n; 60} - \frac{\eta_{gen; P_n; 60} - \eta_{gen; P_n; 30}}{\vartheta_{gen; test; P_n; 60} - \vartheta_{gen; test; P_n; 30}} \cdot (\vartheta_{gen; test; P_n; 60} - \vartheta_{HW; RT}) \quad [-] \quad (40)$$

gdje je

$\vartheta_{HW; RT}$ - prosječna temperatura vode na povratku u kotao [°C]

Korigirani toplinski gubitak pri punom opterećenju računa se prema

$$P_{HW; gen; ls; P_n; corr} = \frac{(f_{H_s/H_i} - \eta_{HW; gen; P_n; corr})}{\eta_{HW; gen; P_n; corr}} \cdot P_n \quad [\text{kW}] \quad (41)$$

gdje je

f_{H_s/H_i} - faktor pretvorbe za isporučenu energiju [-] (tablično)

Korigirana učinkovitost pri djelomičnom opterećenju računa se prema

$$\eta_{HW; gen; P_{int}; corr} = \eta_{gen; P_{int}} + f_{corr; P_{int}} \cdot (\vartheta_{gen; test; P_{int}} - \vartheta_{HW; mn}) \quad [-] \quad (42)$$

gdje je

$f_{corr; P_{int}}$ - korekcijski faktor [-] (tablično)

Korigirani toplinski gubitak pri djelomičnom opterećenju računa se prema

$$P_{HW; gen; ls; P_{int}; corr} = \frac{(f_{H_s/H_i} - \eta_{HW; gen; P_{int}; corr})}{\eta_{HW; gen; P_{int}; corr}} \cdot P_{int} \quad [\text{kW}] \quad (43)$$

gdje je

$$P_{int} = \beta_{P_{int}} \cdot P_n \quad [\text{kW}] \quad (44)$$

$\beta_{P_{int}} = 0,3$ [-]

Korigirani toplinski gubitak pri opterećenju od 0 % računa se prema

$$P_{HW;gen;ls;P0;corr} = \frac{P_n}{\eta_{gen;Pn}} \cdot f_{gen;ls;P0} \cdot f_{Hs/Hi} \cdot \left(\frac{\vartheta_{HW;mn} - \vartheta_{brm}}{\Delta\vartheta_{gen;test;P0}} \right)^{1,25} \quad [\text{kW}] \quad (45)$$

gdje je

ϑ_{brm} - unutarnja temperatura prostorije u kojoj je kotao smješten [°C]

$\Delta\vartheta_{gen;test;P0}$ - razlika između prosječne temperature kotla i temperature prostorije u kojoj se nalazi kotao [°C] (tablično)

Iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnicu kotla računaju se prema

$$Q_{HW;gen;ls;env;rb1} = P_{HW;gen;ls;P0;corr} \cdot (1 - f_{brm}) \cdot f_{env} \cdot t_{HW;use} \quad [\text{kWh}] \quad (46)$$

gdje je

f_{brm} - faktor redukcije temperature [-] (tablično)

f_{env} - faktor toplinskih gubitaka kroz ovojnicu kotla [-] (tablično)

$t_{HW;use}$ - proračunski period [h]

Toplinski gubitak kotla pri specifičnom faktoru opterećenja $\beta_{HW;gen}$ i snazi P_{Px}

- za $0 \leq \beta_{HW;gen} \leq \beta_{Pint}$

$$P_{HW;gen;ls;Px} = \frac{\beta_{HW;gen}}{\beta_{Pint}} \cdot (P_{HW;gen;ls;Pint;corr} - P_{HW;gen;ls;P0;corr}) + P_{HW;gen;ls;P0;corr} \quad [\text{kW}] \quad (47)$$

- za $\beta_{Pint} < \beta_{HW;gen} \leq 1$

$$P_{HW;gen;ls;Px} = \frac{\beta_{HW;gen} - \beta_{Pint}}{\beta_{Pn} - \beta_{Pint}} \cdot (P_{HW;gen;ls;Pn;corr} - P_{HW;gen;ls;Pint;corr}) + P_{HW;gen;ls;Pint;corr} \quad [\text{kW}] \quad (48)$$

gdje je

$\beta_{HW;gen}$ - faktor opterećenja kotla [-]

$$\beta_{HW} = \frac{Q_{HW;gen}}{P_n \cdot t_{HW;use}} \quad [-] \quad (49)$$

$\beta_{Pn} = 1$ [-]

Ukupni toplinski gubitak kotla računa se prema

$$Q_{HW;gen;ls} = P_{HW;gen;ls;Px} \cdot t_{HW;use} \quad [\text{kWh}] \quad (50)$$

Proračun pomoćne energije

Potrebna pomoćna energija za sva tri stanja opterećenja ($P_{aux;Pn}$, $P_{aux;Pint}$ i $P_{aux;0}$) računa se prema

$$P_{aux;Px} = \frac{c_7 + c_8 \cdot (P_n)^n}{1000} \text{ [kW]} \quad (51)$$

gdje je

c_7 , c_8 - koeficijenti za proračun potrebne energije za pogon pomoćnih uređaja [-] (tablično)

Potrebna srednja pomoćna energija kotla računa se prema

- za $0 \leq \beta_{HW;gen} \leq \beta_{Pint}$

$$P_{HW;aux;Px} = \frac{\beta_{HW;gen}}{\beta_{Pint}} \cdot (P_{aux;Pint} - P_{aux;P0}) + P_{aux;P0} \text{ [kW]} \quad (52)$$

- za $\beta_{Pint} < \beta_{HW;gen} \leq 1$

$$P_{HW;aux;Px} = \frac{\beta_{HW;gen} - \beta_{Pint}}{1 - \beta_{Pint}} \cdot (P_{aux;Pn} - P_{aux;Pint}) + P_{aux;Pint} \text{ [kW]} \quad (53)$$

Ukupna pomoćna energija za kotao računa se prema

$$W_{HW;gen} = P_{HW;aux;Px} \cdot t_{HW;use} \text{ [kWh]} \quad (54)$$

Iskoristiva i iskorištena pomoćna energija

Iskorištena pomoćna energija računa se prema

$$Q_{HW;gen;aux;rvd} = W_{HW;gen} \cdot f_{aux;rvd} \text{ [kWh]} \quad (55)$$

gdje je

$$f_{aux;rvd} = 0,75 \text{ [-]}$$

Iskoristiva pomoćna energija računa se prema

$$Q_{HW;gen;aux;rb1} = W_{HW;gen} \cdot (1 - f_{brm}) \cdot (1 - f_{aux;rvd}) \text{ [kWh]} \quad (56)$$

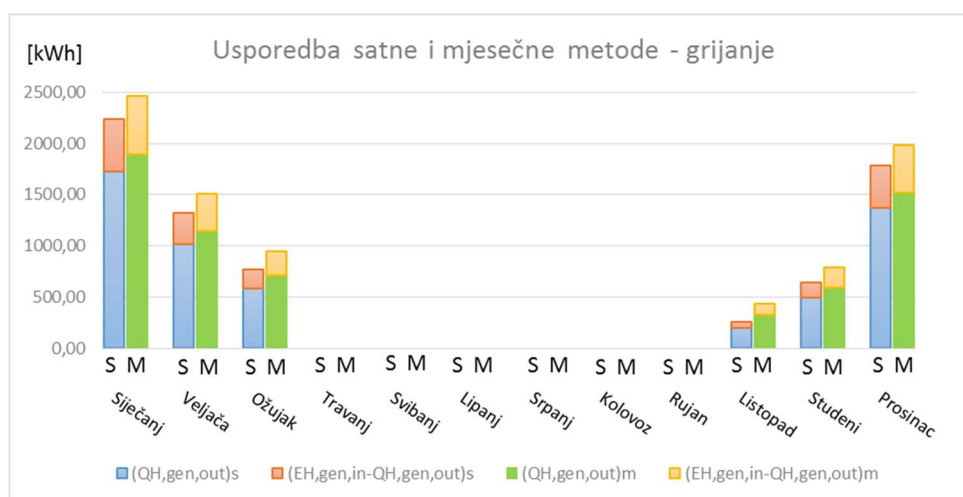
Toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje

$$E_{gen;in} = Q_{gen;out} - Q_{gen;aux;rvd} + Q_{gen;ls} \text{ [kWh]} \quad (57)$$

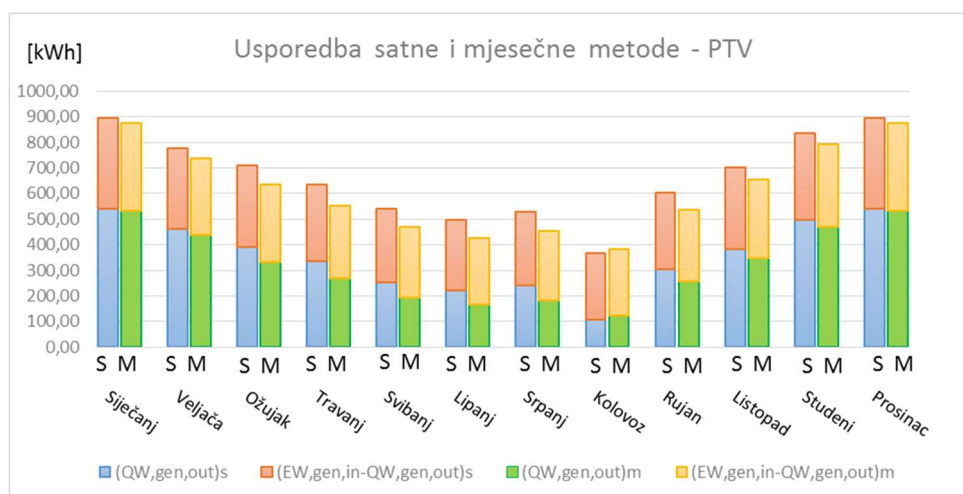
3.4.2. Rezultati prema prEN 15316-4-1:2014

U nastavku ovoga poglavlja prikazani su rezultati prema prEN 15316-4-1:2014 za sustav opisan u poglavlju 3.1.

Usporedba rezultata satnog (S) i mjesečnog (M) proračuna prema prEN 15316-4-1:2014 prikazana je na Dijagramima 9. i 10. Dijagram 9. prikazuje rezultate satnog i mjesečnog proračuna za grijanje, dok Dijagram 10. prikazuje rezultate satnog i mjesečnog proračuna za pripremu potrošne tople vode. Oba dijagrama prikazuju rezultate gubitaka podsustava proizvodnje, umanjenih za iskorištenu pomoćnu energiju (crveno za satnu metodu te narančasto za mjesečnu) i rezultate toplinske energije na izlazu iz podsustava proizvodnje (plavo za satnu metodu te zeleno za mjesečnu), pa tako njihova suma, odnosno visina svakoga stupca, prikazuje iznos toplinske energije koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje.



Dijagram 9. Rezultati satnog i mjesečnog proračuna prema prEN 15316-4-1:2014 za klimatsko područje Zagreba i zadani $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$ - grijanje



Dijagram 10. Rezultati satnog i mjesečnog proračuna prema prEN 15316-4-1:2014 za klimatsko područje Zagreba i zadani $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$ - PTV

Usporedbom rezultata za grijanje prema Dijagramu 9., vidljivo je da se mjesečnom metodom, u odnosu na satnu metodu, dobivaju više vrijednosti toplinske energije koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje za grijanje (9,2 - 12,3 % za zimske mjeseci te 19,4 - 41,8 % za prijelazni period). Razlog tome je razlika između satne i mjesečne metode u proračunu prema prEN 15316-3 te je ta razlika opisana u poglavlju 3.3.2.

Usporedbom rezultata za PTV prema Dijagramu 10., također se može uočiti razlika između rezultata satne i mjesečne metode. Toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje za pripremu PTV-a, dobivena mjesečnom metodom, viša je u gotovo svim mjesecima (najveća razlika od 13,3 % se javlja u srpnju), dok su gubici podsustava proizvodnje za satnu i mjesečnu metodu približno jednaki (razlika do 6 %). Razlog zbog kojega se javljaju takve razlike su proračuni spremnika i solarnog sustava koji će biti opisani u sljedećim poglavljima.

Godišnji rezultati satne metode za klimatska područja Zagreba i Splita te za različite zadane razine potrebne toplinske energije za grijanje prikazani su u Tablici 3., dok su rezultati mjesečne metode prikazani u Tablici 4.

Tablica 3. Rezultati prema prEN 15316-4-1:2014 satnoj metodi

	[kWh] $Q_{H;gen;ls,an}$	[kWh] $Q_{W;gen;ls,an}$	[kWh] $E_{H;gen;in,an}$	[kWh] $E_{W;gen;in,an}$
Zagreb, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$	241,06	3501,41	879,37	7730,20
Split, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$	171,13	3282,29	633,33	6578,48
Zagreb, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$	1681,39	3836,45	7012,53	8065,01
Split, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$	1705,10	3620,85	7138,02	6916,84

Tablica 4. Rezultati prema prEN 15316-4-1:2014 mjesečnoj metodi

	[kWh] $Q_{H;gen;ls,an}$	[kWh] $Q_{W;gen;ls,an}$	[kWh] $E_{H;gen;in,an}$	[kWh] $E_{W;gen;in,an}$
Zagreb, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$	631,64	3296,12	2184,66	7006,03
Split, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$	797,12	3153,55	2717,07	6174,10
Zagreb, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$	2028,63	3671,58	8125,63	7387,49
Split, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$	2017,05	3524,94	8127,62	6550,40

Analizirajući podatke Tablice 3. i 4. vidljivo je da je toplinska energija koju je gorivom potrebno isporučiti podsustavu proizvodnje za grijanje u svim slučajevima očekivano veća za veću razinu potrebne toplinske energije za grijanje $Q_{H,nd}$.

Lako je uočljiva i manja potrebna toplinska energija za potrebe PTV-a za klimatsko područje Splita u odnosu na Zagreb, što je uzrokovano boljom podrškom iz solarnog sustava.

Analizirajući rezultate za grijanje ($Q_{H;gen;ls;an}$ i $E_{H;gen;in;an}$) između klimatskih područja Zagreba i Splita uočavaju se razlike koje se neobično mijenjaju kada ih promatramo za različite razine potrebne toplinske energije za grijanje ($Q_{H,nd}$) te mjesečnu i satnu metodu. Uzrok takvih razlika je otežano definirati no pretpostavlja se da do takvih razlika dolazi uslijed kombinacije nepravilnosti koje su opisane u ovome i prethodnim poglavljima.

3.5. prEN 15316-5:2014 Spremnici topline za grijanje i PTV

U nastavku ovoga poglavlja opisan je proračun spremnika topline za PTV prema normi prEN 15316-5:2014 [11]. U ovome poglavlju opisan je satni proračun dok će mjesečni proračun, kao i usporedba rezultata između satnog i mjesečnog proračuna, biti opisani u naknadnom poglavlju (proračun solarnog sustava).

3.5.1. Satni proračun prema prEN 15316-5:2014 [11]

Za satni proračun gubitaka spremnika prema prEN 15316-5:2014 korištena je pojednostavljena metoda spremnika modeliranog jednim volumenom - Metoda B.

Bitno je napomenuti da su neki izrazi za potrebe ovoga rada izmijenjeni, iz razloga što su određeni izrazi bili nejasni te pokazivali neobične rezultate. Dakle, prikazani proračun u ovome poglavlju je modificirani proračun Metode B prema prEN 15316-5:2014.

Ulazne veličine:

$V_{sto;tot}$ - volumen spremnika topline [L]

ρ_w - gustoća vode [kg/m³]

$C_{p;w}$ - specifični toplinski kapacitet vode [kWh/kgK]

$f_{sto;bac;acc}$ - faktora gubitaka topline za stanje pripravnosti [-]

$f_{sto;dis;ls}$ - faktor gubitaka topline razvoda spojenog s spremnikom [-]

$H_{sto;ls}$ - koeficijent izmjene topline za stanje pripravnosti [W/K] (tablično)

$\vartheta_{sto;set}$ - zadana maksimalna temperatura spremnika za kotao [°C]

ϑ_{amb} - unutarnja temperatura prostorije u kojoj je spremnik smješten [°C]

$Q_{W;sto;out}$ - energija iz spremnika, isporučena za potrebe PTV-a [kWh]

$\vartheta_{sto;W;min}$ - minimalno potrebna temperatura vode za PTV [°C]

Temperatura u spremniku nakon korištenja PTV-a računa se prema

$$\vartheta_{sto;H;tmp1} = \vartheta_{sto;H;0} + \frac{\Phi_{X;sto;in} \cdot t_{ci} - Q_{W;sto;out} - f_{sto;bac;acc} \cdot f_{sto;dis;ls} \cdot H_{sto;ls} \cdot (\vartheta_{sto;set} - \vartheta_{amb}) \cdot t_{ci}}{\rho_w \cdot C_{p;w} \cdot V_{sto;tot}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (58)$$

gdje je

$\Phi_{X;sto;in}$ - potencijalni toplinski dobitak [kW] (solarni sustav)

$\vartheta_{sto;H;0}$ - početna temperatura spremnika u satu, jednaka konačnoj temperaturi prethodnog sata [°C]

Ograničenje toplinske energije dobivene iz solarnog sustava (modificirani izraz) vrši se prema

- za $\mathcal{G}_{sto;H;tmp1} \geq \mathcal{G}_{sto;set;sol}$

$$Q_{sol;sto;in} = Q_{W;sto;out} + f_{sto;bac;acc} \cdot f_{sto;dis;ls} \cdot H_{sto;ls} \cdot (\mathcal{G}_{sto;set} - \mathcal{G}_{amb}) \cdot t_{ci} + \rho_w \cdot C_{p;w} \cdot V_{sto;tot} \cdot (\mathcal{G}_{sto;set,sol} - \mathcal{G}_{sto;H;0}) \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad (59)$$

gdje je

$\mathcal{G}_{sto;set,sol}$ - maksimalna temperatura u spremniku (ograničenje solarnog sustava) [$^{\circ}\text{C}$]

Potrebna toplinska energija iz kotla (modificirani izraz) računa se prema

- za $\mathcal{G}_{sto;H;tmp1} < \mathcal{G}_{sto;W;min}$

$$Q_{H;sto;bu;in;tmp} = Q_{W;sto;out} + f_{sto;bac;acc} \cdot f_{sto;dis;ls} \cdot H_{sto;ls} \cdot (\mathcal{G}_{sto;set} - \mathcal{G}_{amb}) \cdot t_{ci} + \rho_w \cdot C_{p;w} \cdot V_{sto;tot} \cdot (\mathcal{G}_{sto;set} - \mathcal{G}_{sto;H;0}) \cdot t_{ci} - Q_{sol;sto;in} \quad [\text{kWh}] \quad (60)$$

Konačna temperatura spremnika za promatrani sat (modificirani izraz) račun se prema

$$\mathcal{G}_{sto;H} = \mathcal{G}_{sto;H;0} + \frac{Q_{sol;sto;in} + Q_{H;sto;bu;in;tmp} - Q_{W;sto;out} - f_{sto;bac;acc} \cdot f_{sto;dis;ls} \cdot H_{sto;ls} \cdot (\mathcal{G}_{sto;set} - \mathcal{G}_{amb}) \cdot t_{ci}}{\rho_w \cdot C_{p;w} \cdot V_{sto;tot}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (61)$$

Razlika temperature uslijed postojanja izmjenjivača topline računa se prema

$$\Delta \mathcal{G}_{exh} = \frac{Q_{exh} \cdot 1000}{H_{exh} \cdot t_{ci}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (62)$$

gdje je

Q_{exh} - izmijenjena toplina putem izmjenjivača topline [kWh]

H_{exh} - koeficijent izmjene topline izmjenjivača topline [W/K]

Proračun gubitaka topline

Toplinski gubici spremnika topline računaju se prema

$$Q_{sto;ls;tot} = f_{sto;bac;acc} \cdot f_{sto;dis;ls} \cdot H_{sto;ls} \cdot (\mathcal{G}_{sto;set} - \mathcal{G}_{amb}) \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad (63)$$

Proračun pomoćne energije

Izraz za vrijeme rada cirkulacijske pumpe primarne cirkulacije između kotla i spremnika modificiran je prema učinkovitosti kotla te se računa prema

$$t_{sto;aux} = \frac{Q_{H;sto;bu;in;tmp}}{P_n \cdot \frac{Q_{W;gen;out}}{E_{W;gen;in}}} \quad [\text{h}] \quad (64)$$

Potrebna pomoćna energija računa se prema

$$W_{sto;aux} = t_{sto;aux} \cdot \Phi_{sto;pmp;bu} \text{ [kWh]} \quad (65)$$

gdje je

$\Phi_{sto;pmp;bu}$ - snaga pumpe primarne cirkulacije [kW]

Iskoristivi i iskorišteni toplinski gubici

Iskorištena pomoćna energija računa se prema

$$Q_{sto;aux;rvd} = W_{sto;aux} \cdot f_{rvd;aux} \text{ [kWh]} \quad (66)$$

gdje je

$$f_{rvd;aux} = 0,75 \text{ [-]}$$

Iskoristiva pomoćna energija računa se prema

$$Q_{sto;aux;rbl} = W_{sto;aux} \cdot f_{sto;rm} \cdot (1 - f_{rvd;aux}) \text{ [kWh]} \quad (67)$$

gdje je

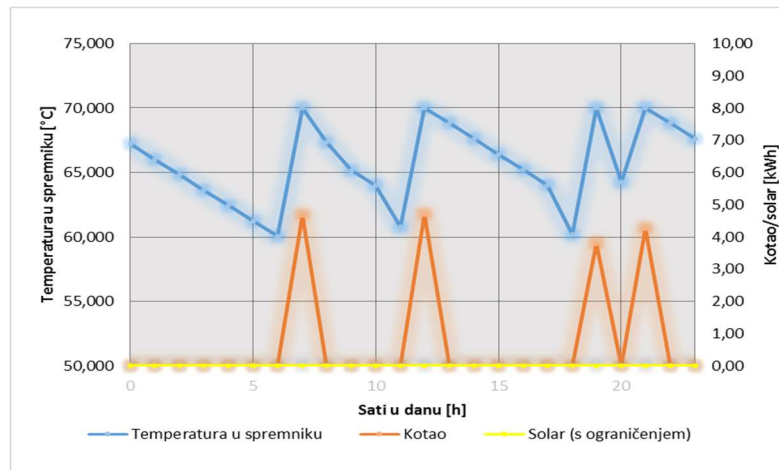
$f_{sto;rm}$ - udio toplinskih gubitaka odaslanih prostoriji, za naš slučaj $f_{sto;rm} = 1$ [-]

Iskoristivi gubici topline spremnika se računaju prema

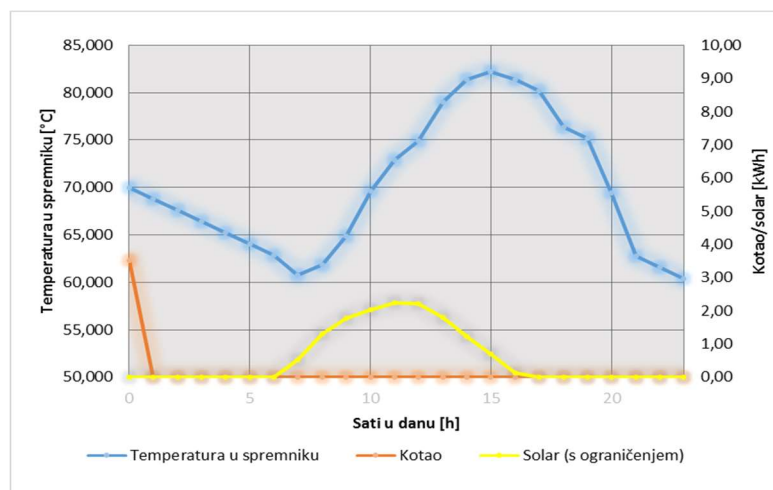
$$Q_{sto;rbl;env} = Q_{sto;ls} \cdot f_{sto;rm} \text{ [kWh]} \quad (68)$$

3.5.2. Rezultati proračuna prema prEN 15316-5:2014

U nastavku ovoga poglavlja prikazani su rezultati satnog proračuna prema prEN 15316-5:2014 za sustav opisan u poglavlju 3.1.



Dijagram 11. Rezultati temperature u spremniku te podrške kotla i solarnog sustava za karakteristični dan 1. mjeseca klimatskog područja Zagreba



Dijagram 12. Rezultati temperature u spremniku te podrške kotla i solarnog sustava za karakteristični dan 8. mjeseca klimatskog područja Zagreba

Dijagrami 11. i 12. prikazuju satnu raspodjelu temperature u spremniku toplinske energije za karakteristične dane mjeseca siječnja, odnosno kolovoza. Dijagram 11. pokazuje nedostatak solarne podrške u mjesecu siječnju te svu toplinsku energiju koju prima spremnik, proizvodi kotao. Temperatura se u mjesecu siječnju kreće između 60 °C i 70 °C što je definirano minimalno potrebnom temperaturom PTV-a te zadanom temperaturom vode do koje kotao treba zagrijavati spremnik. Dijagram 12. pokazuje bitnu solarnu podršku u zagrijavanju spremnika toplinske energije te se kotao za potrebe PTV-a pali samo jednom u karakterističnom danu kolovoza. Temperatura u spremniku, kao rezultat solarne podrške, prelazi 70 °C budući da je maksimalna temperatura u spremniku postavljena na razinu od 90 °C.

Godišnji rezultati satne metode prema prEN 15316-5:2014 za klimatska područja Zagreba i Splita te za različite zadane razine potrebne toplinske energije za grijanje prikazani su u Tablici 5.

Tablica 5. Rezultati satnog proračuna prema prEN 15316-5:2014

	[kWh] $Q_{sol;sto;in,an}$	[kWh] $Q_{H;sto;in;tmp,an}$	[kWh] $Q_{sto;ls;tot,an}$
Zagreb, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$	2184,38	4347,59	744,60
Split, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$	2902,83	3669,01	744,60
Zagreb, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$	2184,38	4347,59	744,60
Split, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$	2902,83	3669,01	744,60

Rezultati prikazani u Tablici 5. pokazuju da se sve prikazane vrijednosti očekivano ne mijenjaju u ovisnosti o zadanoj razini potrebne toplinske energije za grijanje. Uspoređujući rezultate između klimatskih područja Zagreba i Splita, vidljivo je da je solarna podrška veća za klimatsko područje Splita, dok je toplinska energija koju je potrebno isporučiti kotlom za zagrijavanje toplinskog spremnika PTV-a, uslijed manje solarne podrške, veća za klimatsko područje Zagreba.

Toplinski gubici spremnika su za sve kombinacije isti, razlog tomu je izraz (63) koji sadrži član postavne maksimalne temperature na koju kotao treba zagrijati spremnik. Dotični član je fiksiran pa se tako gubici spremnika nerealno pokazuju isti za svaki sat neovisno o klimatskom području, to jest o stvarnoj temperaturi u spremniku.

Sljedeća norma koja je opisana u ovome radu - prEN 15316-4-3:2014 sadrži mjesečnu metodu koja u sebi sadrži proračun spremnika, pa će tako usporedba prethodno opisanog satnog proračuna i mjesečnog proračuna spremnika biti prikazana u sljedećim poglavljima.

3.6. prEN 15316-4-3:2014 Toplinski sustavi sunčevog zračenja i fotonaponski sustavi

U nastavku ovoga poglavlja opisan je proračun sustava sunčevog zračenja za pripremu PTV-a prema normi prEN 15316-4-3:2014 [12]. U ovome poglavlju opisan je satni proračun sustava sunčevog zračenja, koji se povezuje sa satnim proračunom spremnika iz poglavlja 3.5., te mjesečni proračun koji obuhvaća sustav sunčevog zračenja te spremnik toplinske energije.

3.6.1. Satni proračun sustava sunčevog zračenja prema prEN 15316-4-3:2014 [12]

Za satni proračun sustava toplinskog zračenja za pripremu PTV-a koristi se metoda 3 prema normi prEN 15316-4-3:2014.

Ulazne veličine:

η_0 - vršna učinkovitost kolektora [-] (tablično)

a_1 - koeficijent toplinskih gubitaka prvog reda [W/(m²K)]

a_2 - koeficijent toplinskih gubitaka drugog reda [W/(m²K)]

$K_{hem}(50^\circ)$ - faktor promjene kuta upadnog zračenja [-]

N_{col} - broj kolektora [-]

$A_{sol;mod}$ - referentna površina kolektorskog modula [m²]

\dot{m}_{sol} - maseni protok solarne petlje [kg/s] (tablično i prema broju solarnih kolektora)

$P_{sol;pmp}$ - snaga pumpe solarnog kruga [W] (tablično)

$P_{sol;ctr}$ - električna snaga sustava regulacije [W] (tablično)

$H_{sol;loop}$ - koeficijent toplinskih gubitaka solarnog kruga [W/K] (tablično)

$\vartheta_{sol;amb;h}$ - temperatura ambijenta u kojem se nalazi solarna petlja [°C]

c_w - specifični toplinski kapacitet vode [J/(kgK)]

$\vartheta_{e;h}$ - vanjska temperatura [°C]

$I_{sol;h}$ - sunčevo zračenje na kolektorsku ploču [W/m²]

$\vartheta_{sto;vol;in;h}$ - temperatura najnižeg volumena spremnika [°C]

Budući da je za satni proračun spremnika korišten model s jednim volumenom (poglavlje 3.5.), temperaturna stratifikacija je, za potrebe ovoga rada, modelirana na način da je u slučajevima male potrošnje toplinske energije za PTV (<0,5 kWh za tekući sat), temperatura najnižeg volumena spremnika manja za 15 °C od dobivene temperature spremnika u poglavlju 3.5., dok je ta razlika u slučajevima veće potrošnje energije za PTV (>0,5 kWh za tekući sat) jednaka 25 °C.

Ukupna instalirana površina kolektora računa se prema

$$A_{\text{sol}} = A_{\text{sol};\text{mod}} \cdot N_{\text{sol};\text{mod}} \quad [\text{m}^2] \quad (69)$$

Učinkovitost kolektora računa se prema

$$\eta_{\text{col},h} = \eta_0 \cdot K_{\text{hem}}(50^\circ) - a_1 \cdot T_h^* - a_2 \cdot T_h^{*2} \cdot I_{\text{sol},h} \quad [-] \quad (70)$$

gdje je

T_h^* - reducirana temperaturna razlika kolektora [Km^2/W]

$$T_h^* = \frac{g_{\text{col};\text{avg};h} - g_{e,h}}{I_{\text{sol};h}} \quad [\text{Km}^2/\text{W}] \quad (71)$$

$g_{\text{col};\text{avg};h}$ - srednja temperatura u kolektoru [$^\circ\text{C}$]

$$g_{\text{col};\text{avg};h} = \frac{g_{\text{sol};\text{loop};\text{in},h-1} + g_{\text{sol};\text{loop};\text{in},h}}{2} + \frac{Q_{\text{sol};\text{loop};\text{out},h}}{\dot{m}_{\text{col}} \cdot c_w} \quad [^\circ\text{C}] \quad (72)$$

$g_{\text{sol};\text{loop};\text{in},h}$ - ulazna temperatura u solarnu petlju iz spremnika za tekući sat (indeks $h-1$ označava prethodni sat) [$^\circ\text{C}$]

$$g_{\text{sol};\text{loop};\text{in},h} = g_{\text{sto};\text{vol};\text{in},h} + \Delta g_{\text{exh}} \quad [-] \quad (73)$$

Δg_{exh} - razlika temperature uslijed postojanja izmjenjivača topline (računa se prema izrazu (63))

Toplinska energija na apsorberu kolektora računa se prema

$$Q_{\text{sol};\text{gen},h} = \eta_0 \cdot I_{\text{sol};h} \cdot A_{\text{sol}} \cdot t_{ci} \cdot 0,001 \quad [\text{kWh}] \quad (74)$$

gdje je $t_{ci} = 1$ [h]

Toplinska energija na izlazu iz kolektora računa se prema

$$Q_{\text{sol};\text{out},h} = \eta_{\text{col};h} \cdot I_{\text{sol};h} \cdot A_{\text{sol}} \cdot t_{ci} \cdot 0,001 \quad [\text{kWh}] \quad (75)$$

Gubici topline solarne petlje računaju se prema

$$Q_{\text{sol};\text{loop};\text{ls},h} = H_{\text{sol};\text{loop}} \cdot (g_{\text{col};\text{avg};h} - g_{\text{sol};\text{amb},h}) \cdot t_{ci} \cdot 0,001 \quad [\text{kWh}] \quad (76)$$

Toplinska energija na izlazu iz solarne petlje računa se prema

$$Q_{\text{sol};\text{loop};\text{out},h} = Q_{\text{sol};\text{out},h} - Q_{\text{sol};\text{loop};\text{ls},h} \quad [\text{kWh}] \quad (77)$$

- minimalna vrijednost ovoga izraza je $P_{\text{sol};\text{pmp}} \cdot t_{ci} \cdot 3 \cdot 0,001$, za vrijednosti $Q_{\text{sol};\text{loop};\text{out},h}$ ispod ove granice sve vrijednosti toplinske energije se postavljaju na nultu vrijednost

Budući da učinkovitost kolektora $\eta_{\text{col},h}$ ovisi o srednjoj temperaturi medija u kolektorima $g_{\text{col};\text{avg},h}$, a srednja temperatura ovisi o učinkovitosti (izrazi (70) do (77)), ovaj proračun se vrši iterativno.

Proračun pomoćne energije

Potrebna pomoćna energija računa se prema

- za $Q_{sol;loop;out,h} = 0$

$$W_{sol;aux,h} = P_{sol;ctr} \cdot t_{ci} \text{ [kWh]} \quad (78)$$

- za $Q_{sol;loop;out,h} > 0$

$$W_{sol;aux,h} = (P_{sol;ctr} + P_{sol;pmp}) \cdot t_{ci} \text{ [kWh]} \quad (79)$$

Iskoristivi gubici topline

Iskoristivi gubici topline se računaju prema

$$Q_{sol;loop;rbl,h} = f_{rbl} \cdot Q_{sol;loop;s,h} \text{ [kWh]} \quad (80)$$

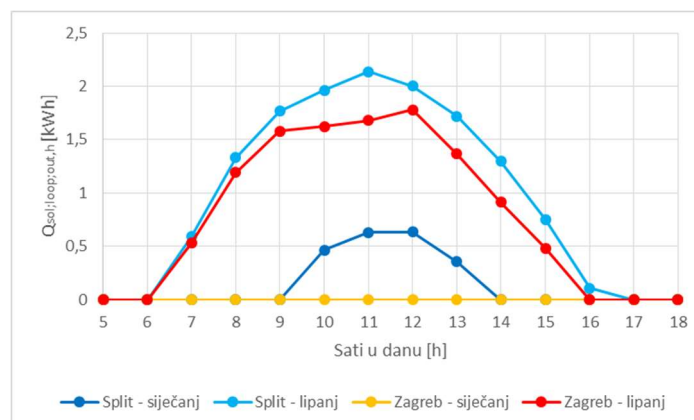
gdje je

f_{rbl} - udio toplinskih gubitaka odaslanih prostoriji [-]

3.6.2. Rezultati satnog proračuna prEN 15316-4-3:2014

U nastavku ovoga poglavlja prikazani su rezultati satnog proračuna solarnog sustava prema prEN 15316-4-3:2014 za sustav opisan u poglavlju 3.1

Usporedba satne raspodjele toplinske energije na izlazu iz solarne petlje za karakteristične dane siječnja i lipnja, klimatskih područja Zagreba i Splita, prikazana je na Dijagramu 13.



Dijagram 13. Satna raspodjela toplinske energije na izlazu iz solarne petlje za karakteristične dane siječnja i lipnja klimatskih područja Zagreba i Splita

Usporedbom rezultata prema dijagramu 13., vidljivo je da je solarna podrška za pripremu PTV-a očekivano veća za Split u odnosu na Zagreb, i to za oba promatrana mjeseca.

Satna raspodjela toplinske energije na izlazu iz solarne petlje za mjesec siječanj klimatskog područja Zagreba pokazuje nulte vrijednosti za sve sate karakterističnog dana siječnja. Takvi podaci su nerealni budući da u mjesecu siječnju često zna doći do sunčanih dana, kod kojih bi sunčani sustav dao solarnu podršku za PTV u iznosu većem od nule. Razlog zbog kojega je došlo do ovakvih rezultata je uprosječenje sunčevog zračenja za karakteristični dan u mjesecu te ovakvi rezultati upućuju da bi se proračun trebao vršiti za sve sate u godini.

Godišnji rezultati satne metode prema prEN 15316-4-3:2014 za klimatska područja Zagreba i Splita te za različite zadane razine potrebne toplinske energije za grijanje prikazani su u Tablici 6.

Tablica 6. Rezultati satnog proračuna prema prEN 15316-4-3:2014

	[kWh] $Q_{sol;loop;out,an}$	[kWh] $Q_{sol;loop;ls,an}$	[kWh] $W_{sol;aux,an}$
Zagreb, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$	2168,876	1503,872	110,478
Split, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$	2902,792	1839,546	126,45
Zagreb, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$	2168,876	1503,872	110,478
Split, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$	2902,792	1839,546	126,45

Rezultati prema Tablici 6. pokazuju da razina potrebne toplinske energije za grijanje nema utjecaja na proračun sustava sunčevog zračenja. Uspoređujući klimatska područja Zagreba i Splita, vidljivo je da klimatsko područje Splita, zbog većeg iznosa sunčevog zračenja, pruža veću solarnu podršku za pripremu potrošne tople vode te kao rezultat toga ima veće gubitke solarne petlje, kao i potrebnu pomoćnu energiju.

3.6.3. Mjesečni proračun spremnika i sustava sunčevog zračenja prema prEN 15316-4-3:2014 [12]

Za mjesečni proračun spremnika i sustava toplinskog zračenja za pripremu PTV-a koristi se metoda 2 prema normi prEN 15316-4-3:2014.

Ulazne veličine:

η_0 - vršna učinkovitost kolektora [-] (tablično)

a_1 - koeficijent toplinskih gubitaka prvog reda [W/(m²K)]

a_2 - koeficijent toplinskih gubitaka drugog reda [W/(m²K²)]

$K_{hem}(50^\circ)$ - faktor promjene kuta upadnog zračenja [-]

N_{col} - broj kolektora [-]

$A_{sol;mod}$ - referentna površina kolektorskog modula [m²]

$P_{sol;pmp}$ - snaga pumpe solarnog kruga [W] (tablično)

$V_{sto;tot}$ - zapremnina spremnika [L]

$V_{sto;bu}$ - zapremnina dijela spremnika između vrha spremnika i donjeg dijela dodatnog grijaćeg elementa [L]

$H_{sto;ls;tot}$ - koeficijent toplinskih gubitaka spremnika [W/K] (tablično)

H_{loop} - koeficijent toplinskih gubitaka solarnog kruga [W/K] (tablično)

$I_{sol;m}$ - prosječno mjesečno sunčevo zračenje na kolektorsku ploču [W/m²]

$\vartheta_{e;m}$ - prosječna vanjska temperatura u mjesecu [°C]

$\vartheta_{W;cw;m}$ - temperatura hladne vode [°C] (tablično)

$\vartheta_{W;srv}$ - temperatura vode na slavini [°C] (tablično)

$\vartheta_{sol/sto;amb;m}$ - temperatura ambijenta u kojem se nalazi solarna petlja i spremnik [°C]

$Q_{W;sol;us;m}$ - energija potrebna za PTV (na ulazu u distribuciju) [kWh]

Ukupna instalirana površina kolektora računa se prema

$$A_{sol,m} = A_{sol;mod} \cdot N_{sol;mod} \quad [\text{m}^2] \quad (81)$$

Referentna temperatura računa se prema

$$\vartheta_{ref,m} = 11,6 + 1,18 \cdot \vartheta_{w;srv} + 3,86 \cdot \vartheta_{cw,m} - 1,32 \cdot \vartheta_{e,m} \quad [^\circ\text{C}] \quad (82)$$

Korekcijski koeficijent kapaciteta spremnika računa se prema

$$f_{sto,m} = \left(\frac{75 \cdot A_{sol,m}}{V_{sto;sol}} \right)^{0,25} \quad [-] \quad (83)$$

gdje je

$V_{sto;sol}$ - zapremina spremnika namijenjena solarnoj podršci

$$V_{sto;sol} = V_{sto,tot} \cdot (1 - f_{aux}) \quad [L] \quad (84)$$

f_{aux} - udio zapremnine spremnika koji se koristi za zagrijavanje kotlom [-]

$$f_{aux} = f_{bu} \cdot \frac{V_{sto;bu}}{V_{sto,tot}} \quad [-] \quad (85)$$

f_{bu} - koeficijent koji uzima u obzir regulaciju dodatnog grijača (kotla) [-]

Gubici topline spremnika za dio koji je namijenjen zagrijavanju pomoću dodanog grijača (kotla) računaju se prema

$$Q_{bu;sto;ls;m} = H_{sto;ls} \cdot \frac{V_{sto,tot} - V_{sto;sol}}{V_{sto,tot}} \cdot (g_{bu;set} - g_{sto;amb,m}) \cdot \frac{t_{ci,m}}{1000} \quad [kWh] \quad (86)$$

gdje je

$g_{bu;set}$ - postavna temperatura na koju dodani grijač treba zagrijati vodu kada se upali [°C]

$t_{ci,m}$ - broj sati u mjesecu [h]

Zahtjev za toplinskom energijom iz solarnog sustava računa se prema

$$Q_{sol;ls;us} = Q_{W;sol;us,m} + Q_{bu;sto;ls,m} \quad [kWh] \quad (87)$$

Izračun faktora X vrši se prema

$$X_m = \frac{A_{sol,m} \cdot H_{loop} \cdot \eta_{loop} \cdot (g_{ref,m} - g_{e,m}) \cdot f_{sto,m} \cdot t_{ci,m}}{Q_{sol;ls;us} \cdot 1000} \quad [-] \quad (88)$$

gdje je

η_{loop} - faktor učinkovitosti koji uzima u obzir utjecaj izmjenjivača topline [-] (tablično)

Minimalna vrijednost faktora X_m je 0, a maksimalna vrijednost je 18.

Izračun faktora Y vrši se prema

$$Y_m = \frac{A_{sol,m} \cdot K_{hem}(50^\circ) \cdot \eta_0 \cdot \eta_{loop} \cdot I_{sol,m} \cdot t_{ci,m}}{Q_{sol;ls;us} \cdot 1000} \quad [-] \quad (89)$$

Minimalna vrijednost faktora Y_m je 0.

Procjena isporučene energije u sustav vrši se prema

$$Q_{sol;tmp,m} = f_{app} \cdot (a \cdot Y_m + b \cdot X_m + c \cdot Y_m^2 + d \cdot X_m^2 + e \cdot Y_m^3 + f \cdot X_m^3) \cdot Q_{sol;ls;us} \quad [\text{kWh}] \quad (90)$$

gdje je

f_{app} - korekcijski faktor [-] (tablično)

$a..f$ - konstante [-] (tablično)

Procjena solarnog udjela u zadovoljavanju potreba za PTV vrši se prema

$$f_{tmp,m} = \frac{Q_{sol;tmp,m}}{Q_{sol;ls;us}} \quad [-] \quad (91)$$

- maksimalna vrijednost $f_{tmp,m}$ je 1

Gubici topline spremnika za dio koji je namijenjen zagrijavanju pomoću solarnog sustava računaju se prema

$$Q_{sol;sto;ls,m} = H_{sto;ls} \cdot \frac{V_{sto;tot} - V_{sto;bu}}{V_{sto;tot}} \cdot (\vartheta_{low} + (\vartheta_{high} - \vartheta_{low}) \cdot f_{tmp,m} - \vartheta_{sto;amb,m}) \cdot f_{tmp,m} \cdot \frac{t_{ci}}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (92)$$

gdje je

ϑ_{low} - mjesečna prosječna temperatura hladne vode [°C] (tablično)

ϑ_{high} - temperatura PTV-a [°C]

Isporučena energija solarnog sustava računa se prema

$$Q_{sol;out,m} = Q_{sol;tmp,m} - Q_{sol;sto;ls,m} \quad [\text{kWh}] \quad (93)$$

- minimalna vrijednost $Q_{sol;out,m}$ je 0, a maksimalna $Q_{sol;out,m} = Q_{sol;ls;us}$

Potrebna toplinska energija pomoćnog grijača (kotla) računa se prema

$$Q_{s;bu;out,m} = Q_{sol;us,m} - Q_{sol;out,m} + Q_{bu;sto;ls,m} \quad [\text{kWh}] \quad (94)$$

Gubici topline primarne cirkulacije između kotla i spremnika računaju se prema

$$Q_{bu;dis;ls,m} = f_{bu;ins} \cdot Q_{bu;out,m} \quad [\text{kWh}] \quad (95)$$

gdje je

$f_{bu;ins}$ - faktor koji uzima u obzir izolaciju primarne cirkulacije [-]

Proračun pomoćne energije

Potrebna pomoćna energija se računa prema

$$W_{sol;aux,m} = P_{sol;pmp} \cdot \frac{t_{aux,m}}{1000} \text{ [kWh]} \quad (96)$$

gdje je

$t_{aux,m}$ - broj sati rada kolektorske pumpe u mjesecu [h]

$$t_{aux,m} = \frac{I_{sol,m}}{\sum_{m=1}^{12} I_{sol,m}} \cdot t_{aux} \text{ [kWh]} \quad (97)$$

t_{aux} - godišnji broj sati rada kolektorske pumpe [h] (tablično)

Ovdje je bitno napomenuti da mjesečni proračun prema prEN 15316-4-3:2014 ne sadrži proračun pomoćne energije za pumpu primarne cirkulacije između spremnika i kotla. Radi usporedbe s satnom metodom proračuna spremnika prema normi prEN 15316-5:2014, u ovaj proračun je dodana pomoćna energija za dotičnu pumpu prema proračunu opisanome u poglavlju 3.5.1.

Iskoristivi gubici topline

Ukupni iskoristivi gubici topline spremnika i sustava sunčevog zračenja računaju se prema

$$Q_{sol;ls;rbl,m} = f_{rbl} \cdot (Q_{sol;sto;ls,m} + Q_{bu;sto;ls,m} + Q_{bu;dis;ls,m}) \text{ [kWh]} \quad (98)$$

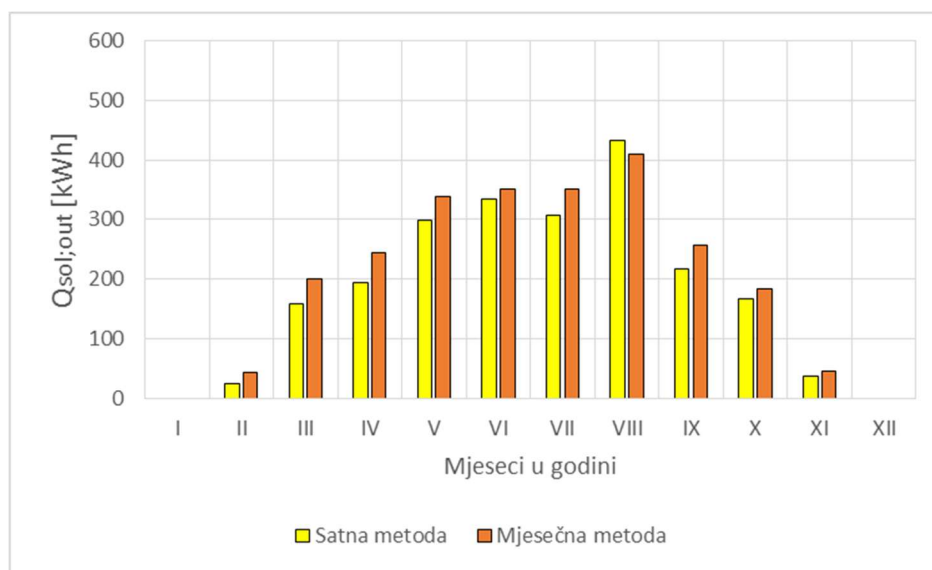
gdje je

f_{rbl} - udio toplinskih gubitaka odaslanih prostoriji [-]

3.6.4. Usporedba mjesečnog i satnog proračuna spremnika i sustava sunčevog zračenja

U nastavku ovoga poglavlja prikazana je usporedba između satnog i mjesečnog proračuna spremnika i solarnog podsustava za sustav opisan u poglavlju 3.1. Satni proračun spremnika prema prEN 15316-5:2014 opisan je u poglavlju 3.5.1., satni proračun solarnog sustava prema prEN 15316-4-3:2014 opisan je u poglavlju 3.6.1., dok je zajednički mjesečni proračun spremnika i solarnog sustava opisan u poglavlju 3.6.3.

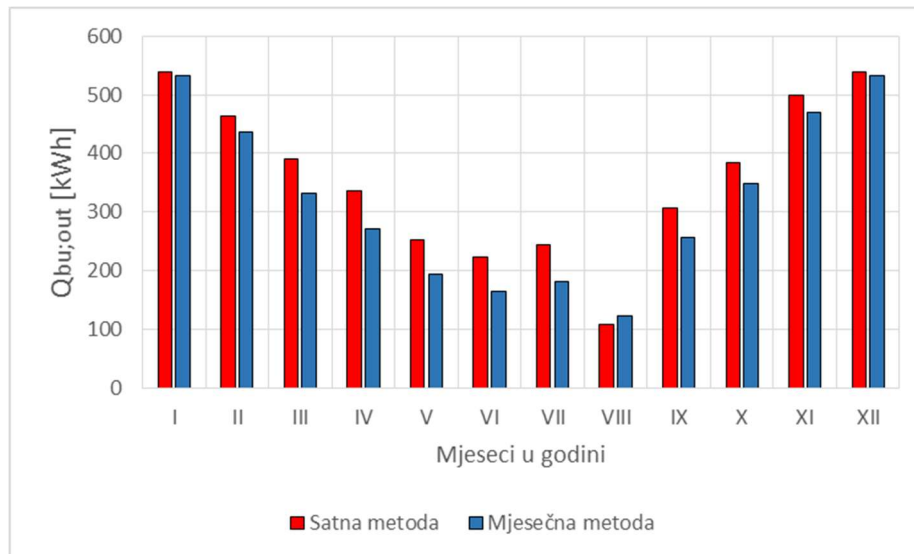
Usporedba mjesečnog i satnog proračuna isporučene energije sustava sunčevog zračenja za klimatsko područje Zagreba prikazana je na Dijagramu 14.



Dijagram 14. Rezultati isporučene energije sustava sunčevog zračenja prema satnoj i mjesečnoj metodi za klimatsko područje Zagreba

Usporedbom rezultata mjesečne i satne metode prema Dijagramu 14., vidljivo je da mjesečna metoda daje nešto više vrijednosti isporučene energije sustava sunčevog zračenja (ljetni mjeseci: 4,5 - 16,1 %, zimski mjeseci i prijelazni period: 9,4 - 45,7 %) po svim mjesecima, osim za mjesec kolovoz, kada je iznos prosječnog sunčevog zračenja na kolektorsku ploču najviši. Na Dijagramu 14. se također može primijetiti da obje metode daju nulte vrijednosti isporučene energije sustava sunčevog zračenja za mjesec siječanj i prosinac. Takvi su rezultati, kao što je to već spomenuto u poglavlju 3.6.2., upitne točnosti.

Usporedba mjesečnog i satnog proračuna potrebne toplinske energije pomoćnog grijača (kotla) za potrebe zagrijavanja toplinskog spremnika PTV-a za klimatsko područje Zagreba prikazana je na Dijagramu 15.



Dijagram 15. Rezultati potrebne toplinske energije pomoćnog grijača (kotla) prema satnoj i mjesečnoj metodi za klimatsko područje Zagreba

Rezultati prikazani Dijagramom 15. pokazuju primjetne razlike potrebne toplinske energije pomoćnog grijača između satnog i mjesečnog proračuna. Satna metoda daje veće iznose za sve mjesec, osim za mjesec kolovoz. Može se primijetiti da su razlike između satne i mjesečne metode povećane u mjesecima s većim iznosima sunčevog zračenja (15,9 - 26,2 %). Jedini izuzetak u tome trendu je mjesec kolovoz, kod kojeg se javlja najveći iznos sunčevog zračenja na kolektorske ploče, te su razlike između mjesečne i satne metode za taj mjesec relativno male (12 %).

Jedan od uzroka ovakvih razlika bi moglo biti korištenje pojednostavljenog modela stratifikacije temperature u spremniku u sklopu satnog proračuna, koja je za potrebe ovoga rada upotrijebljena i opisana u poglavlju 3.6.1. Dodatni uzrok bi mogao biti način na koji mjesečna metoda dijeli spremnik na dijelove namijenjene za solarnu potporu i dodatni grijač, dok satna metoda takve podjele ne uzima u obzir.

4. PRORAČUN ISPORUČENE I PRIMARNE ENERGIJE

Proračun isporučene i primarne energije vrši se prema Algoritmu za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama [4].

4.1. Isporučena energija [4]

Isporučena energija za sustav grijanja

$$E_{H,del} = Q_{H,gen,in} + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) \text{ [kWh]} \quad (99)$$

Isporučena energija za sustav pripreme PTV-a

$$E_{W,del} = Q_{W,gen,in} + (W_{W,dis,aux} + W_{W,gen,aux} + W_{sol,aux}) \text{ [kWh]} \quad (100)$$

Ukupno isporučena energija u termotehnički sustav zgrade

$$E_{del} = E_{H,del} + E_{W,del} \text{ [kWh]} \quad (101)$$

4.2. Primarna energija [4]

Primarna energija za sustav grijanja

$$E_{H,prim} = Q_{H,gen,in} \cdot f_{p,i} + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) \cdot f_{p,el} \text{ [kWh]} \quad (102)$$

gdje je

$f_{p,i}$ - faktor primarne energije za i -ti izvor energije [-] (Tablica 7.)

$f_{p,el}$ - faktor primarne energije za električnu energiju [-] (Tablica 7.)

Primarna energija za sustav pripreme PTV-a

$$E_{W,prim} = Q_{W,gen,in} \cdot f_{p,i} + (W_{W,dis,aux} + W_{W,gen,aux} + W_{sol,aux}) \cdot f_{p,el} \text{ [kWh]} \quad (103)$$

Ukupna primarna energija za termotehnički sustav zgrade

$$E_{prim} = E_{H,prim} + E_{W,prim} \text{ [kWh]} \quad (104)$$

Koeficijent utroška primarne energije

$$e_p = E_{prim} / (Q_{H,nd} + Q_W) \text{ [-]} \quad (105)$$

4.3. Emisija CO₂ [4]

Emisija CO₂ se računa prema isporučenoj energiji u sustav

$$CO_2 = (Q_{H,gen,in} + Q_{W,gen,in}) \cdot C_{p,i} + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux} + W_{W,dis,aux} + W_{W,gen,aux} + W_{sol,aux}) \cdot C_{el} \quad [\text{kg}] \quad (106)$$

gdje je

$C_{p,i}$ - faktor pretvorbe za i -ti izvor energije [-] (Tablica 8.)

C_{el} - faktor pretvorbe za električnu energiju [-] (Tablica 8.)

Tablica 7. Faktori primarne energije [4]

Izvor energije	Faktor primarne energije (neobnovljiva komponenta) f_p [-]
Zemni plin	1,05
Drveni peleti	0,05
Sunčeva energija	0
Električna energija	2,3
Daljinsko grijanje	1,3

Tablica 8. Faktori emisije CO₂ po jedinici isporučene energije [4]

Izvor energije	Faktor emisije CO ₂ CO ₂ [kg/kWh]
Zemni plin	0,2
Drveni peleti	0,004
Sunčeva energija	0
Električna energija	0,53
Daljinsko grijanje	0,33

5. UKUPNI REZULTATI PRORAČUNA

U nastavku ovoga poglavlja prikazani su ukupni godišnji rezultati proračuna za sustav opisan u poglavlju 3.1. Rezultati mjesečnog i satnog proračuna za klimatska područja Zagreba i Splita ($Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$ i $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$) prikazani su u Tablicama 9., 10., 11. i 12.

Tablica 9. Pregled izračunatih energija za klimatsko područje Zagreba i zadani $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$

	Oznaka [jedinica]	SATNI PRORAČUN			MJESEČNI PRORAČUN		
		Sezona grijanja	Izvan sezona grijanja	Ukupno	Sezona grijanja	Izvan sezona grijanja	Ukupno
UKUPNA TOPLINSKA POTREBA	$Q_{H,nd}+Q_w$ [kWh]	7930,87	651,78	8582,65	7930,87	651,78	8582,65
UKUPNI TOPLINSKI GUBICI	Q_{ls} [kWh]	8899,61	5314,18	14213,80	9130,06	4247,83	13377,90
ISKORISTIVI TOPLINSKI GUBICI	Q_{rbl} [kWh]	3924,04	0,00	3924,04	5469,39	0,00	5469,39
VRAĆENA POMOĆNA ENERGIJA	$Q_{aux,rvd}$ [kWh]	187,68	65,11	252,80	246,04	66,38	312,42
ISKORISTIVI TOPL. GUBICI POMOĆNIH UREĐAJA	$Q_{aux,rbl}$ [kWh]	62,71	0,00	62,71	82,01	0,00	82,01
ISKORIŠTENI TOPLINSKI GUBICI	$Q_{ls,rvd}$ [kWh]	3924,04	0,00	3924,04	5073,17	0,00	5073,17
POMOĆNA ENERGIJA	W_{aux} [kWh]	293,45	157,78	451,23	347,05	135,51	482,56
ISPORUČENA TOPL. ENERGIJA GENERATORIMA	$Q_{gen,in}$ [kWh]	11768,98	3235,97	15004,95	12666,04	2818,43	15484,47
ISPORUČENA ENERGIJA	E_{del} [kWh]	12062,43	3393,75	15456,18	13013,09	2953,94	15967,03
PRIMARNA ENERGIJA	E_{prim} [kWh]	13032,37	3760,67	16793,03	14097,56	3271,02	17368,58
KOEFICIJENT UTROŠKA PRIMARNE ENE.	e_p [-]			1,96			2,02

Tablica 10. Pregled izračunatih energija za klimatsko područje Zagreba i zadani $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$

	Oznaka [jedinica]	SATNI PRORAČUN			MJESEČNI PRORAČUN		
		Sezona grijanja	Izvan sezone grijanja	Ukupno	Sezona grijanja	Izvan sezone grijanja	Ukupno
UKUPNA TOPLINSKA POTREBA	$Q_{H,nd}+Q_w$ [kWh]	1689,09	651,78	2340,87	1689,09	651,78	2340,87
UKUPNI TOPLINSKI GUBICI	Q_{ls} [kWh]	6021,90	5143,52	11165,42	6399,47	4063,89	10463,36
ISKORISTIVI TOPLINSKI GUBICI	Q_{rbl} [kWh]	1595,90	0,00	1595,90	4000,03	0,00	4000,03
VRAĆENA POMOĆNA ENERGIJA	$Q_{aux,rvd}$ [kWh]	96,53	65,39	161,93	151,41	68,60	220,01
ISKORISTIVI TOPL. GUBICI POMOĆNIH UREĐAJA	$Q_{aux,rbl}$ [kWh]	33,33	0,00	33,33	55,57	0,00	55,57
ISKORIŠTENI TOPLINSKI GUBICI	$Q_{ls,rvd}$ [kWh]	1595,90	0,00	1595,90	2856,68	0,00	2856,68
POMOĆNA ENERGIJA	W_{aux} [kWh]	179,15	158,15	337,30	242,84	138,46	381,31
ISPORUČENA TOPL. ENERGIJA GENERATORIMA	$Q_{gen,in}$ [kWh]	5503,55	3065,38	8568,93	6551,20	2632,63	9183,83
ISPORUČENA ENERGIJA	E_{del} [kWh]	5682,69	3223,54	8906,23	6794,04	2771,09	9565,13
PRIMARNA ENERGIJA	E_{prim} [kWh]	6190,76	3582,41	9773,17	7437,30	3082,72	10520,02
KOEFICIJENT UTROŠKA PRIMARNE ENE.	e_p [-]			4,18			4,49

Tablica 11. Pregled izračunatih energija za klimatsko područje Splita i zadani $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$

	Oznaka [jedinica]	SATNI PRORAČUN			MJESEČNI PRORAČUN		
		Sezona grijanja	Izvan sezone grijanja	Ukupno	Sezona grijanja	Izvan sezone grijanja	Ukupno
UKUPNA TOPLINSKA POTREBA	$Q_{H,nd}+Q_W$ [kWh]	7931,44	651,78	8583,22	7931,44	651,78	8583,22
UKUPNI TOPLINSKI GUBICI	Q_{Is} [kWh]	8959,59	5278,01	14237,60	9033,83	4197,26	13231,09
ISKORISTIVI TOPLINSKI GUBICI	Q_{rbl} [kWh]	3852,13	0,00	3852,13	5247,11	0,00	5247,11
VRAĆENA POMOĆNA ENERGIJA	$Q_{aux,rvd}$ [kWh]	188,86	63,59	252,45	243,98	64,21	308,19
ISKORISTIVI TOPL. GUBICI POMOĆNIH UREĐAJA	$Q_{aux,rbl}$ [kWh]	62,86	0,00	62,86	81,33	0,00	81,33
ISKORIŠTENI TOPLINSKI GUBICI	$Q_{Is,rvd}$ [kWh]	3852,13	0,00	3852,13	5023,08	0,00	5023,08
POMOĆNA ENERGIJA	W_{aux} [kWh]	307,12	158,71	465,84	347,45	129,47	476,92
ISPORUČENA TOPL. ENERGIJA GENERATORIMA	$Q_{gen,in}$ [kWh]	11498,74	2831,43	14330,18	12178,63	2470,78	14649,41
ISPORUČENA ENERGIJA	E_{del} [kWh]	11805,87	2990,15	14796,01	12526,08	2600,25	15126,33
PRIMARNA ENERGIJA	E_{prim} [kWh]	12780,06	3338,04	16118,11	13586,70	2892,10	16478,80
KOEFICIJENT UTROŠKA PRIMARNE ENE.	e_p [-]			1,88			1,92

Tablica 12. Pregled izračunatih energija za klimatsko područje Splita i zadani $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$

	Oznaka [jedinica]	SATNI PRORAČUN			MJESEČNI PRORAČUN		
		Sezona grijanja	Izvan sezone grijanja	Ukupno	Sezona grijanja	Izvan sezone grijanja	Ukupno
UKUPNA TOPLINSKA POTREBA	$Q_{H,nd}+Q_W$ [kWh]	1687,69	651,78	2339,47	1687,69	651,78	2339,47
UKUPNI TOPLINSKI GUBICI	Q_{Is} [kWh]	5738,38	5106,13	10844,51	6922,64	4015,01	10937,65
ISKORISTIVI TOPLINSKI GUBICI	Q_{rbl} [kWh]	1865,99	0,00	1865,99	4451,66	0,00	4451,66
VRAĆENA POMOĆNA ENERGIJA	$Q_{aux,rvd}$ [kWh]	90,18	63,80	153,98	188,19	65,91	254,10
ISKORISTIVI TOPL. GUBICI POMOĆNIH UREĐAJA	$Q_{aux,rbl}$ [kWh]	33,71	0,00	33,71	62,34	0,00	62,34
ISKORIŠTENI TOPLINSKI GUBICI	$Q_{Is,rvd}$ [kWh]	1865,99	0,00	1865,99	3321,51	0,00	3321,51
POMOĆNA ENERGIJA	W_{aux} [kWh]	192,70	159,00	351,70	273,06	131,74	404,80
ISPORUČENA TOPL. ENERGIJA GENERATORIMA	$Q_{gen,in}$ [kWh]	4879,23	2659,62	7538,85	6626,24	2287,12	8913,36
ISPORUČENA ENERGIJA	E_{del} [kWh]	5071,93	2818,62	7890,55	6899,30	2418,86	9318,16
PRIMARNA ENERGIJA	E_{prim} [kWh]	5566,41	3158,30	8724,71	7585,59	2704,47	10290,06
KOEFICIJENT UTROŠKA PRIMARNE ENE.	e_p [-]			3,73			4,40

Uz rezultate prikazane u Tablicama 9., 10., 11. i 12. bitno je napomenuti da, uz nepravilnosti koje su već spomenute u prethodnim poglavljima, postoje još neke kojih se nismo dotakli. Naime, u sklopu korištene satne metode proračuna spremnika nedostaje proračun gubitka topline primarne cirkulacije između kotla i spremnika, dok mjesečna metoda takve gubitke uzima u obzir. Dodatno, u sklopu satnog proračuna solarnog sustava proračunavaju se iskoristivi gubici solarne petlje te se pomoćna energija regulacije solarnog sustava uzima u obzir, dok se u mjesečnoj metodi niti jedno niti drugo ne uzima u obzir.

Prema prethodno danim tablicama može se primijetiti da, za satnu metodu, razlike između rezultata iskoristivih i iskorištenih gubitaka nema. Razlog tomu je jedinična vrijednost stupnja iskorištenja iskoristivih toplinskih gubitaka, koja se za potrebe ovoga rada koristila u satnoj metodi. Naime, u sklopu proračuna ulaznih podataka ($Q_{H,nd}$ i $\eta_{H,gn}$) prema HRN EN ISO 13790 [6] postoji problematika u određivanju vrijednosti $\eta_{H,gn}$ (η_{rvd}) koja bi vrijedila za satnu te mjesečnu razinu.

U sklopu mjesečnog proračuna (HRN EN ISO 13790 [6]) $\eta_{H,gn}$, koji je ulazni podatak za izračun η_{rvd} , u obzir se uzima nemogućnost iskorištenja toplinskih dobitaka zbog porasta temperature prostora iznad postavne temperature. Tako dobiveni $\eta_{H,gn}$, odnosno η_{rvd} koristi se za potrebe mjesečne metode prethodno opisanih proračuna. U proračunu prema satnoj metodi (HRN EN ISO 13790 [6]), temperatura koja se javlja u proračunskoj zoni je poznata za svaki sat te prema tome, ukoliko u određenom satu postoji potreba za grijanjem, svi toplinski dobitci u tome satu se mogu iskoristiti. Dakle, satna metoda prema HRN EN ISO 13790 ne proračunava $\eta_{H,gn}$.

Budući da zbog takvih različitih načina proračuna ulaznih podataka, već na početku proračuna dolazi do razlika između satne i mjesečne metode ($Q_{em,out}$), jedno od mogućih rješenja bi moglo biti iterativno spajanje proračuna prema HRN EN ISO 13790 te prEN 15316. Izlazni podaci proračuna prEN 15316 tada bi bili iskorišteni toplinski gubici koji bi se vraćali u proračun HRN EN ISO 13790 te bi se u kombinaciji s unutarnjim i solarnim toplinskim dobicima te potrebnom toplinskom energijom za grijanje određivala ulazna veličina za proračun prEN 15316 - $Q_{em,out}$.

6. MJERE UŠTEDE ENERGIJE I ANALIZA TROŠKOVA

U nastavku ovoga poglavlja prikazan je proračun troškova kroz 30 godina te usporedni rezultati mogućih mjera ušteda energije, prema [13]. Analiza troškova prikazana je za referentnu obiteljsku kuću na klimatskom području Zagreba s zadanom potrebnom godišnjom energijom za grijanje u iznosu od 70 kWh/m², kao i za klimatsko područje Splita s zadanom potrebnom godišnjom energijom za grijanje od 10 kWh/m².

6.1. Proračun troškova [13]

Godišnji troškovi potrošnje plina ili biomase računaju se prema

$$T_{gas/bio} = C_{gas/bio} \cdot Q_{gen,in} \text{ [kn]} \quad (107)$$

gdje je

$C_{gas/bio}$ - cijena plina ili biomase [kn/kWh] (Tablica 13.)

$Q_{gen,in}$ - isporučena toplinska energija generatoru [kWh]

Godišnji troškovi potrošnje električne energije računaju se prema

$$T_{el} = C_{el} \cdot W_{aux} \text{ [kn]} \quad (108)$$

gdje je

C_{el} - cijena električne energije [kn/kWh] (Tablica 13.)

W_{aux} - pomoćna energija [kWh]

Ukupni troškovi električne energije i plina (ili biomase) za period korištenja od 30 godina računaju se prema

$$T_{uk} = \sum_{t=1}^{30} T_{gas/bio,t} + \sum_{t=1}^{30} T_{el,t} \text{ [kn]} \quad (109)$$

gdje je

$$T_{gas/bio,i} = [C_{gas/bio,i-1} \cdot (1 + p/100)] \cdot Q_{gen,in} \text{ [kn]} \quad (110)$$

$C_{gas/bio,i-1}$ - cijena plina za prethodnu godinu [kn/kWh]

$$T_{el,i} = [C_{el,i-1} \cdot (1 + p/100)] \cdot W_{aux} \text{ [kn]} \quad (111)$$

$C_{el,i-1}$ - cijena električne energije za prethodnu godinu [kn/kWh]

p - godišnji porast cijene energenta [%]

Troškovi održavanja za period korištenja od 30 godina računaju se prema

$$T_{odr,uk} = \sum_{i=1}^{30} T_{odr,i} \text{ [kn]} \quad (112)$$

gdje je

$$T_{odr,i} = C_{odr,i-1} \cdot (1 + p / 100) \text{ [kn]} \quad (113)$$

$C_{odr,i-1}$ - troškovi održavanja za prethodnu godinu [kn] (početna vrijednost u Tablici 16.)

Tablica 13. Trenutne cijene energenata [14, 15]

Energent	Cijena [kn/kWh]
Plin	0,42
Biomasa	0,3
Električna energija	0,96

Promjene cijena energenata kroz period od 30 godina prikazane su u Tablici 14.

Tablica 14. Promjena cijene energenata kroz 30 godine za godišnji porast cijene energenta od 2,8%

GODINA	CIJENA PLINA [KN/KWH]	CIJENA BIOMASE [KN/KWH]	CIJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE [KN/KWH]
1	0,42	0,30	0,96
2	0,43	0,31	0,99
3	0,44	0,32	1,01
4	0,46	0,33	1,04
5	0,47	0,34	1,07
6	0,48	0,34	1,10
7	0,50	0,35	1,13
8	0,51	0,36	1,16
9	0,52	0,37	1,20
10	0,54	0,38	1,23
11	0,55	0,40	1,27
12	0,57	0,41	1,30
13	0,59	0,42	1,34
14	0,60	0,43	1,37
15	0,62	0,44	1,41
16	0,64	0,45	1,45
17	0,65	0,47	1,49
18	0,67	0,48	1,54
19	0,69	0,49	1,58
20	0,71	0,51	1,62
21	0,73	0,52	1,67
22	0,75	0,54	1,71
23	0,77	0,55	1,76
24	0,79	0,57	1,81
25	0,81	0,58	1,86
26	0,84	0,60	1,91
27	0,86	0,62	1,97
28	0,89	0,63	2,02
29	0,91	0,65	2,08
30	0,94	0,67	2,14

6.2. Mjere uštede i rezultati analize troškova

6.2.1. Usporedba podsustava proizvodnje topline

U ovome poglavlju prikazane su usporedbe rezultata godišnje primarne, isporučene i pomoćne energije, kao i ukupni troškovi sustava s različitim podsustavima proizvodnje topline kroz period od 30 godina. Proračun energija izvršen je prethodno opisanim satnim proračunom svih podsustava. Usporedba se temelji na pretpostavci da je ostatak sustava (svakog uspoređenog sustava) identičan, dakle jedina promjena u svakom sustavu je podsustav proizvodnje topline.

Uspoređeni podsustavi proizvodnje toplinske energije su:

- Niskotemperaturni atmosferski plinski kotao (kombi-protočni) sa spremnikom za PTV 300 L
- Kondenzacijski plinski kotao (kombi-protočni) sa spremnikom za PTV 300 L
- Kotao na biomasu (bez pufera) sa spremnikom za PTV 300 L
- Niskotemp. atm. plinski kotao (kombi-protočni) sa solarnim paketom za podršku PTV-u
- Kondenzacijski plinski kotao (kombi-protočni) sa solarnim paketom za podršku PTV-u
- Kotao na biomasu (bez pufera) sa solarnim paketom za podršku PTV-u

Tablica 15. Cijene investicija i troškovi održavanja opreme [16, 17]

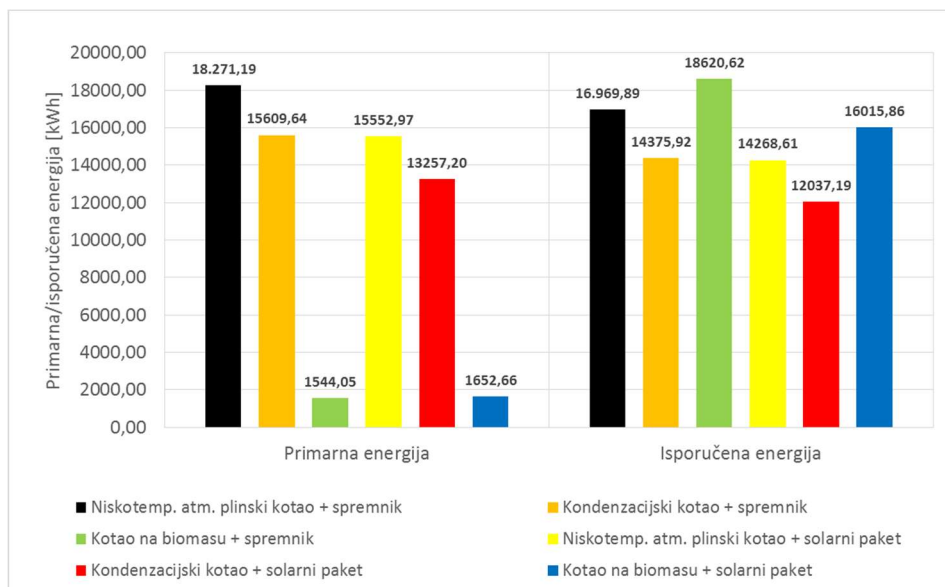
OPREMA	CIJENA INVESTICIJE [KN]	GODIŠNJI TROŠAK ODRŽAVANJA [KN/GOD]	ENERGENT
NISKOTEMPERATURNI ATMOS. PLINSKI KOTAO	6300	580	Plin
KONDENZACIJSKI PLINSKI KOTAO	8600	625	Plin
KOTAO NA BIOMASU	33100	500	Biomasa
SPREMNIK ZA PTV	7000	-	-
SOLARNI PAKET S 2 KOLEKTORA I SOLARNIM SPREMNIKOM	18400	200	-

Tablica 16. Cijene investicija i troškovi održavanja odabranih podsustava proizvodnje [16, 17]

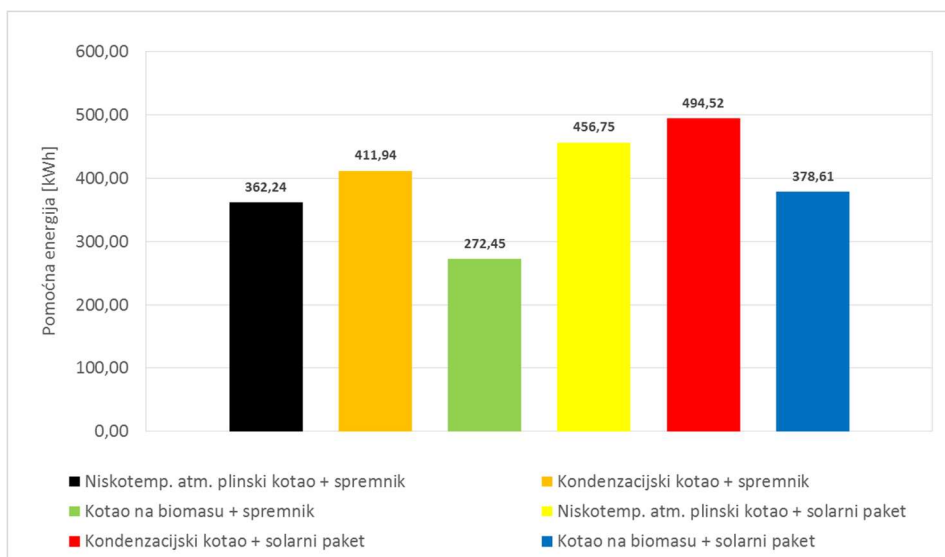
OPREMA	CIJENA INVESTICIJE [KN]	GODIŠNJI TROŠAK ODRŽAVANJA [KN/GOD]	ENERGENT
NISKOTEMPERATURNI ATMOSFERSKI PLINSKI KOTAO + SPREMNIK	13300	580	Plin
KONDENZACIJSKI PLINSKI KOTAO + SPREMNIK	15600	625	Plin
KOTAO NA BIOMASU + SPREMNIK	40100	500	Biomasa
NISKOTEMPERATURNI ATMOSFERSKI PLINSKI KOTAO + SOLARNI PAKET	24700	780	Plin
KONDENZACIJSKI PLINSKI KOTAO + SOLARNI PAKET	27000	825	Plin
KOTAO NA BIOMASU + SOLARNI PAKET	51500	700	Biomasa

Tablice 15. i 16. prikazuju cijene investicija i početne godišnje troškove održavanja za svaki od navedenih podsustava proizvodnje.

Usporedba rezultata primarne, isporučene i pomoćne energije za razne podsustave proizvodnje za klimatsko područje Zagreba i $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$ prikazana je na Dijagramima 16. i 17.



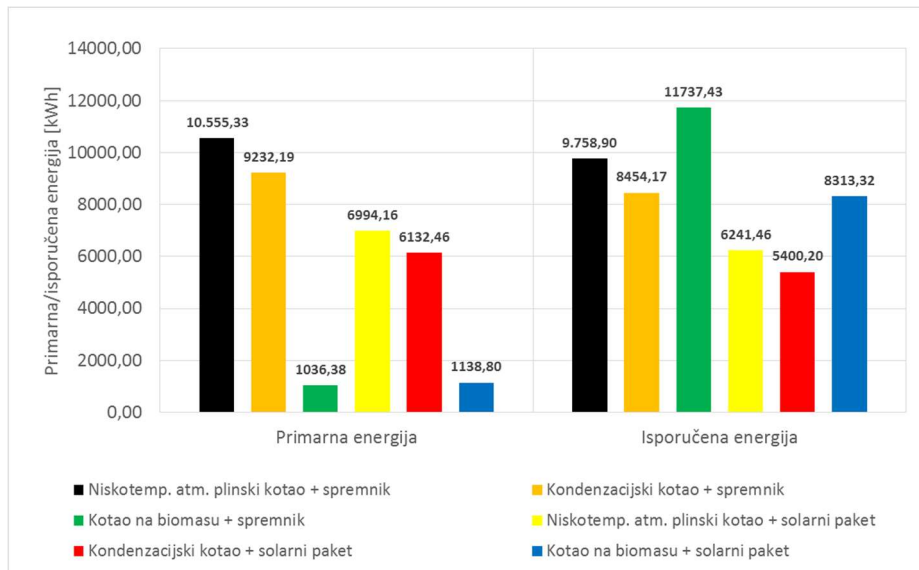
Dijagram 16. Rezultati primarne i isporučene energije za razne podsustave proizvodnje - klimatsko područje Zagreba, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$



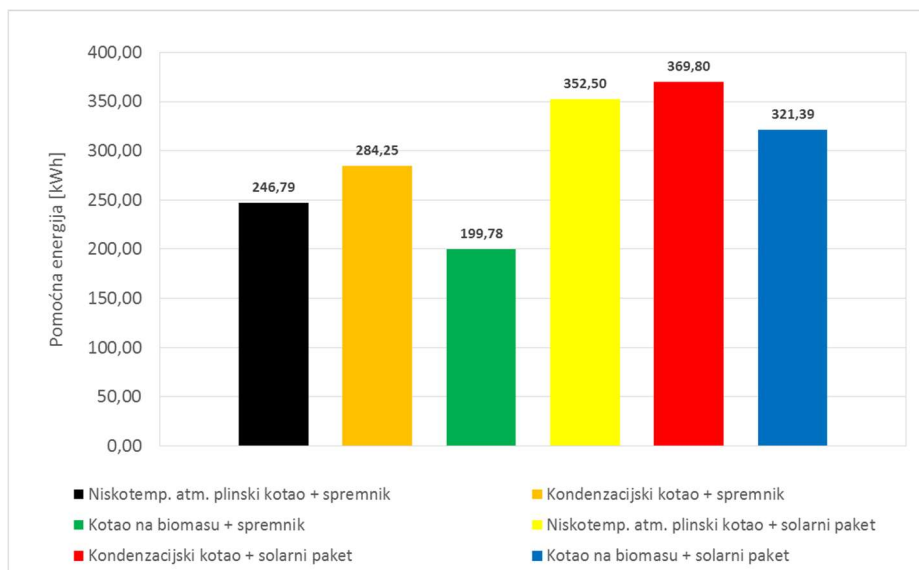
Dijagram 17. Rezultati ukupne pomoćne energije za razne podsustave proizvodnje - klimatsko područje Zagreba, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$

Prema rezultatima prikazanim na Dijagramima 16. i 17., vidljivo je da podsustav proizvodnje s kotlom na biomasu troši najmanje primarne i pomoćne energije ali ima najvišu razinu isporučene energije. Kondenzacijski kotao sa solarnim paketom ima najmanju potrebnu isporučenu energiju ali troši najviše pomoćne energije. Najveću potrošnju primarne energije ima podsustav proizvodnje s niskotemperaturnim atmosferskim plinskim kotlom.

Usporedba rezultata primarne, isporučene i pomoćne energije za razne podsustave proizvodnje za klimatsko područje Splita i $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$ prikazana je na Dijagramima 18. i 19.



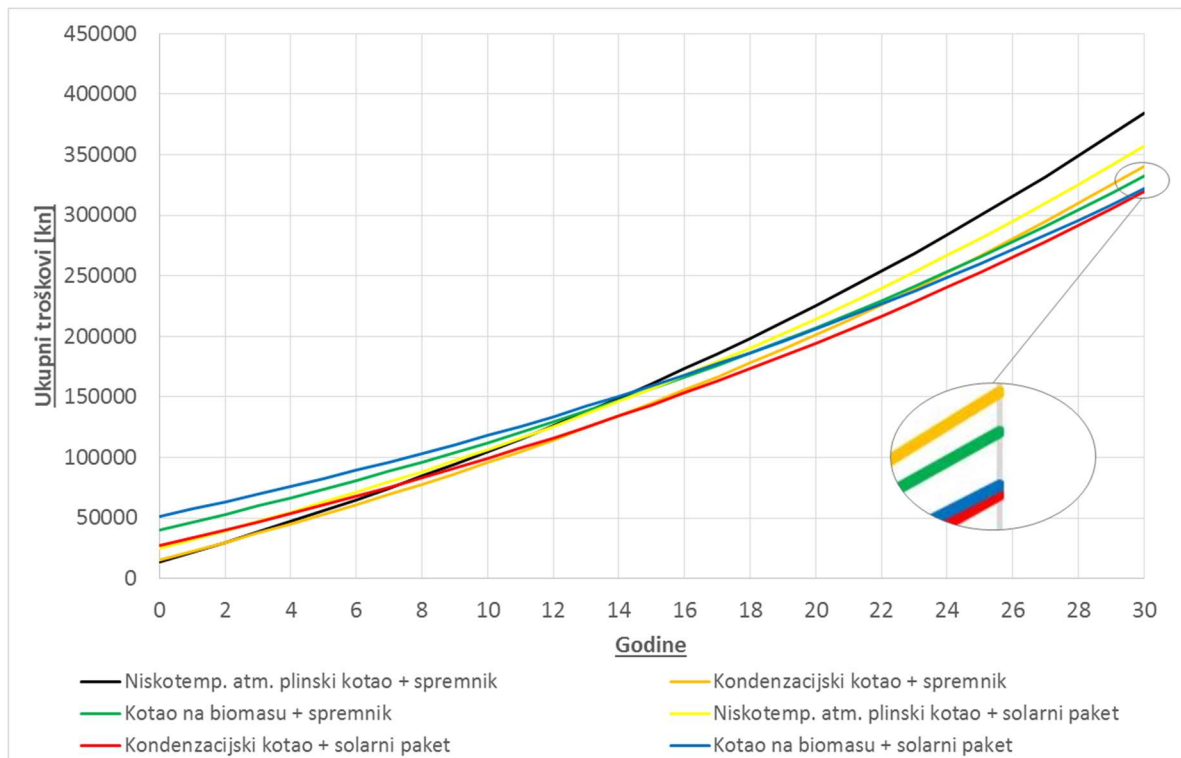
Dijagram 18. Rezultati primarne i isporučene energije za razne podsustave proizvodnje - klimatsko područje Splita, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$



Dijagram 19. Rezultati ukupne pomoćne energije za razne podsustave proizvodnje - klimatsko područje Splita, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$

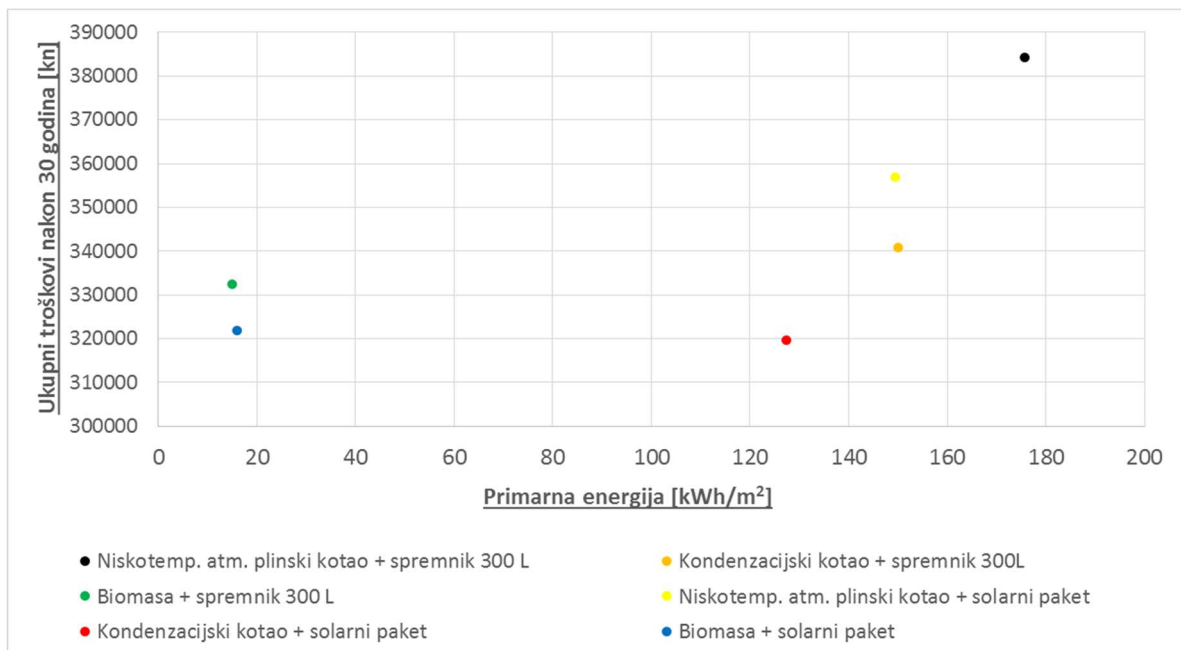
Rezultati iz Dijagrama 18. i 19. za klimatsko područje Splita i $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$ pokazuju sličnu raspodjelu energija onima za klimatsko područje Zagreba i $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$. Bitne razlike koje možemo uočiti između ta dva seta dijagrama je niži iznos svih energija te veći utjecaj solarnog sustava na promjenu rezultata svih energija za klimatsko područje Splita u odnosu na Zagreb.

Usporedba ukupnih troškova kroz period od 30 godina raznih kombinacija podsustava proizvodnje, za klimatsko područje Zagreba i zadanu godišnju razinu potrebne toplinske energije za grijanje od 70 kWh/m^2 , prikazana je na Dijagramu 20.



Dijagram 20. Ukupni troškovi kroz 30 godina - klimatsko područje Zagreba, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$

Troškovno optimalna analiza energetske učinkovitosti za klimatsko područje Zagreba i $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$ prikazana je na Dijagramu 21.



Dijagram 21. Troškovno optimalna analiza energetske učinkovitosti - klimatsko područje Zagreba, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$

Tablica 17. Brojčani prikaz rezultata troškovno optimalne analize ene. učinkovitosti za Zagreb, $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$

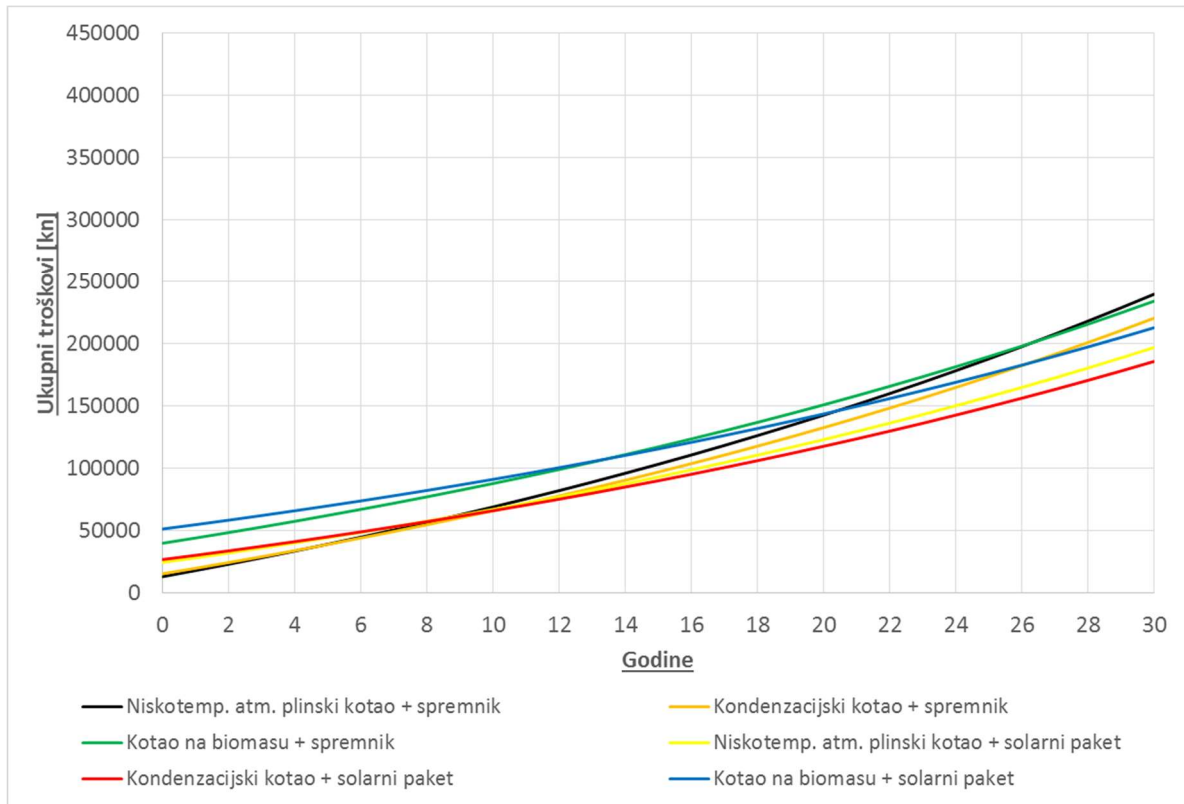
OPREMA	PRIMARNA ENERGIJA [KWH]	ISPORUČENA ENERGIJA [KWH]	POMOĆNA ENERGIJA [KWH]	UKUPNI TROŠKOVI (30 GOD.) [KN]
NISKOTEMPERATUNI ATMOSFERSKI PLINSKI KOTAO + SPREMNIK	18271,19	16969,89	362,24	384346,5
KONDENZACIJSKI PLINSKI KOTAO + SPREMNIK	15609,64	14375,92	411,94	340732,3
KOTAO NA BIOMASU + SPREMNIK	1544,05	18620,62	272,45	332499,2
NISKOTEMPERATURNI ATMOSFERSKI PLINSKI KOTAO + SOLARNI PAKET	15552,97	14268,61	456,75	356877,5
KONDENZACIJSKI PLINSKI KOTAO +SOLARNI PAKET	13257,20	12037,19	494,52	319750,2
KOTAO NA BIOMASU + SOLARNI PAKET	1652,66	16015,86	378,61	321810,8

Prema krivuljama raznih kombinacija podsustava proizvodnje na Dijagramu 20., te prema Dijagramu 21. i Tablici 17. vidljivo je da podsustav proizvodnje s kondenzacijskim kotlom i solarnim sustavom, unatoč srednje visokoj investiciji, ima najmanje ukupne troškove nakon perioda od 30 godina za klimatsko područje Zagreba i zadani $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$. Dotični podsustav proizvodnje, u odnosu na ostale uspoređene podsustave, daje troškovno optimalnu razinu energetske učinkovitosti te su za takav sustav ukupni troškovi nakon 30 godina u iznosu od 319750,2 kn, a iznos potrebne godišnje primarne energije 13257,2 kWh, odnosno 127,44 kWh/m². Podsustavu proizvodnje s kondenzacijskim kotlom i solarnim sustavom konkurira kotao na biomasu sa solarnim sustavom te je razlika ukupnih troškova između ta dva podsustava nakon perioda od 30 godina samo 2061 kn. Također je vidljivo da izvedba podsustava proizvodnje s niskotemperaturnim atmosferskim plinskim kotlom, pa čak i s ugrađenim solarnim sustavom, ne može konkurirati ostalim izvedbama te nakon perioda od 30 godina ima najveće ukupne troškove.

Ušteda ostalih podsustava proizvodnje u odnosu na niskotemperaturni atmosferski plinski kotao nakon 30 godina za klimatsko područje Zagreba i $Q_{H,nd}=70 \text{ kWh/m}^2$:

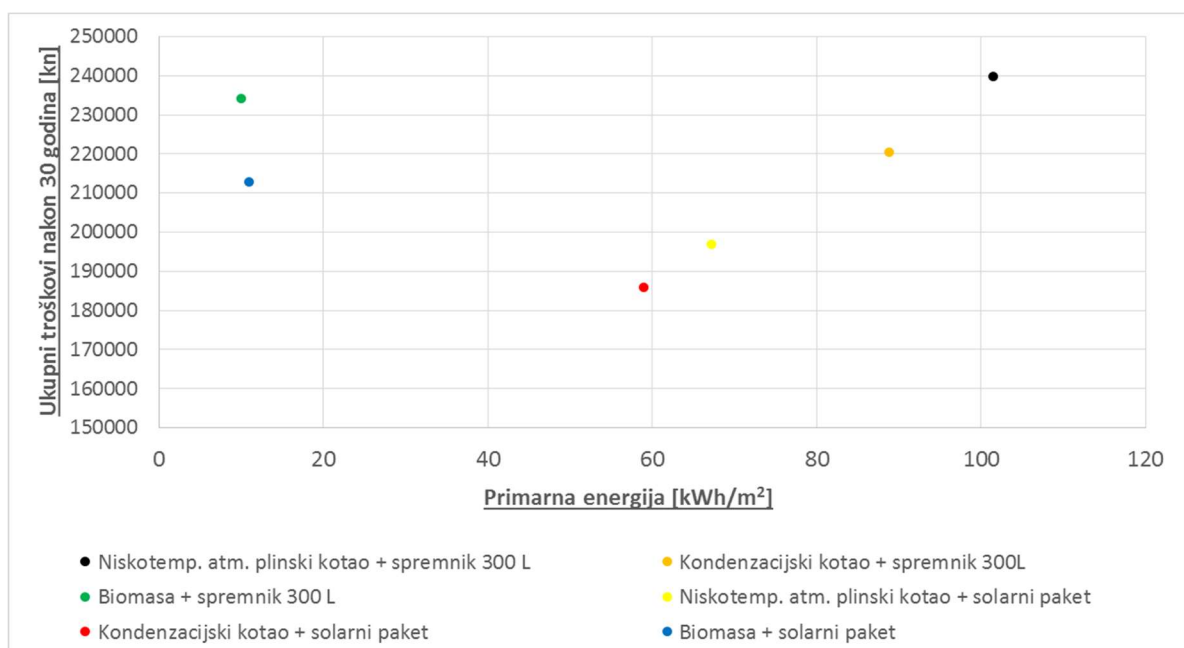
- kondenzacijski plinski kotao - 43614,21 kn
- kotao na biomasu - 51847,28 kn
- niskomtemp. atm. plinski kotao sa solarnim sustavom - 27468,97 kn
- kondenzacijski plinski kotao sa solarnim sustavom - 64596,26 kn
- kotao na biomasu sa solarnim sustavom - 62535,67 kn

Usporedba ukupnih troškova kroz period od 30 godina raznih kombinacija podsustava proizvodnje, za klimatsko područje Splita i zadanu godišnju razinu potrebne toplinske energije za grijanje od 10 kWh/m^2 , prikazana je na Dijagramu 22.



Dijagram 22. Ukupni troškovi kroz 30 godina - klimatsko područje Splita, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$

Troškovno optimalna analiza energetske učinkovitosti za klimatsko područje Splita i $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$ prikazana je na Dijagramu 23.



Dijagram 23. Troškovno optimalna analiza energetske učinkovitosti - klimatsko područje Splita, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$

Tablica 18. Brojčani prikaz rezultata troškovno optimalne analize ene. učinkovitosti za Split, $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$

OPREMA	PRIMARNA ENERGIJA [KWH]	ISPORUČENA ENERGIJA [KWH]	POMOĆNA ENERGIJA [KWH]	UKUPNI TROŠKOVI (30 GOD.) [KN]
NISKOTEMPERATUNI ATMOSFERSKI PLINSKI KOTAO + SPREMNIK	10555,33	9758,90	246,79	239732,4
KONDENZACIJSKI PLINSKI KOTAO + SPREMNIK	9232,19	8454,17	284,25	220519,6
KOTAO NA BIOMASU + SPREMNIK	1036,38	11737,43	199,78	234166,4
NISKOTEMPERATURNI ATMOSFERSKI PLINSKI KOTAO + SOLARNI PAKET	6994,16	6241,46	352,50	196968,9
KONDENZACIJSKI PLINSKI KOTAO + SOLARNI PAKET	6132,46	5400,20	369,80	185831,2
KOTAO NA BIOMASU + SOLARNI PAKET	1138,80	8313,32	321,39	212839,0

Set Dijagrama 22. i 23. te Tablica 18., koji pokazuju rezultate troškovno optimalne analize energetske učinkovitosti za klimatsko područje Splita i zadani $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$, prikazuju sličnu situaciju kao i prethodna usporedba za klimatsko područje Zagreba. Podsustav proizvodnje s kondenzacijskim kotlom i solarnim sustavom ima najmanje ukupne troškove nakon perioda od 30 godina iako mu je cijena investicije srednje visoka kada se uspoređuje s ostalim izvedbama podsustava proizvodnje. Dotični podsustav proizvodnje, u odnosu na ostale uspoređene podsustave, daje troškovno optimalnu razinu energetske učinkovitosti te su za takav sustav ukupni troškovi nakon 30 godina u iznosu od 185831,19 kn, a iznos potrebne godišnje primarne energije 6132,46 kWh, odnosno $58,95 \text{ kWh/m}^2$.

Također, kao i u prethodnoj usporedbi, podsustav proizvodnje s niskotemperaturnim atmosferskim plinskim kotlom, unatoč najnižoj cijeni investicije, ima najveće ukupne troškove u odnosu na ostale izvedbe podsustava proizvodnje. Odnosi troškova između uspoređenih podsustava proizvodnje, kao i razina ukupnih troškova se očekivano razlikuju u odnosu na prethodnu usporedbu za klimatsko područje Zagreba i višu razinu potrebne godišnje energije za grijanje.

Ušteda ostalih podsustava proizvodnje u odnosu na niskotemperaturni atmosferski plinski kotao nakon 30 godina za klimatsko područje Splita i $Q_{H,nd}=10 \text{ kWh/m}^2$:

- kondenzacijski plinski kotao - 19212,87 kn
- kotao na biomasu - 5566,01 kn
- niskotemp. atm. plinski kotao sa solarnim sustavom - 42763,52 kn
- kondenzacijski plinski kotao sa solarnim sustavom - 53901,24 kn
- kotao na biomasu sa solarnim sustavom - 26893,43 kn

6.2.2. Utjecaji razne opreme na sustav s kondenzacijskim kotlom sa solarnim sustavom

U ovome poglavlju prikazano je kako određena dodatna ili alternativna oprema može utjecati na primarnu, isporučenu i pomoćnu energiju sustava s kondenzacijskim kotlom i solarnom podrškom 2 kolektorska modula na klimatskom području Zagreba - $Q_{H,nd}=70$ kWh/m². Početni sustav nema regulaciju sobne temperature pa je ovdje prikazan utjecaj postavljanja PI regulatora. Također je prikazano kakva bi bila potrošnja kada bi se umjesto radijatorskog srednjetemperaturnog grijanja koristilo podno grijanje te kakav utjecaj ima postavljanje dodanog kolektorskog modula u solarni sustav.

Tablica 19. Utjecaji na godišnju primarnu, isporučenu i pomoćnu energiju

OPREMA	PRIMARNA ENERGIJA [KWH]	ISPORUČENA ENERGIJA [KWH]	POMOĆNA ENERGIJA [KWH]
SUSTAV BEZ REGULACIJE SOBNE TEMPERATURE	13540,86	12309,02	493,11
DODAVANJE PI REGULATORA	13188,98	11980,12	487,89
PI REGULATOR + PODNO GRIJANJE UMJESTO RADIJATORSKOG	12968,77	11763,04	494,07
PI REGULATOR + PODNO GRIJANJE + DODAVANJE 1 KOLEKTORSKOG MODULA	11962,38	10787,36	508,52

Tablica 20. Utjecaji na troškove pogona nakon 30 godina

OPREMA	TROŠKOVI PLINA NAKON 30 GODINA [KN]	TROŠKOVI EL. ENERGIJE NAKON 30 GODINA [KN]	TROŠKOVI POGONA NAKON 30 GODINA [KN]	UŠTEDA NAKON 30 GODINA [KN]
SUSTAV BEZ REGULACIJE SOBNE TEMPERATURE	238138,67	21805,86	259944,53	-
DODAVANJE PI REGULATORA	231775,46	21574,8	253350,25	6594,27
PI REGULATOR + PODNO GRIJANJE UMJESTO RADIJATORSKOG	227575,66	21848,14	249423,8	10520,73
PI REGULATOR + PODNO GRIJANJE + DODAVANJE 1 KOLEKTORSKOG MODULA	208699,52	22487,25	231186,77	28757,76

Tablice 17. i 18. pokazuju utjecaje određene opreme na primarnu, isporučenu i pomoćnu energiju, kao i na troškove pogona. Iz Tablica 17. i 18. vidljivo je da najveći utjecaj na energije i troškove pogona za opisani sustav ima dodavanje kolektorskog modula u sustav solarne podrške pripremi PTV-a. Dodavanje PI regulacije sobne temperature ima određeni utjecaj, a izgradnja podsustava emisije s podnim grijanjem umjesto radijatorskog ima minimalan utjecaj na smanjenje primarne, isporučene i pomoćne energije te troškova pogona.

7. ZAKLJUČAK

U ovome radu prikazani su postupci proračuna raznih veličina vezanih za proračun finalne energije termotehničkog sustava prema novim prijedlozima normi iz serije prEN 15316. Proračuni su izvršeni prema mjesečnoj i satnoj metodi, i to za podsustav predaje, podsustav razvoda te podsustav proizvodnje sa spremnikom toplinske energije i solarnim toplovodnim sustavom. Tijekom proračuna uočeni su određeni nedostaci prilikom korištenja novih prijedloga normi iz serije prEN 15316 te su se određeni izrazi, za potrebe ovoga rada, morali modificirati ili zamijeniti izrazima iz starih normi prema Algoritmu za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama [4].

Rezultati mjesečne i satne metode su uspoređeni za svaki proračunati podsustav te su se u nekim slučajevima javile bitne razlike. Također su prikazani i uspoređeni rezultati za klimatska područja Zagreba i Splita za zadanu potrebnu godišnju energiju za grijanje od 10 kWh/m² i 70 kWh/m² te su uočene određene nepravilnosti. Razlike i nepravilnosti u rezultatima, koje su se pojavile u određenim dijelovima proračuna, razmotrene su te su dani mogući razlozi njihova pojavljivanja.

Na kraju rada, prikazane su moguće mjere uštede na primarnoj energiji te je izrađena troškovno optimalna analiza energetske učinkovitosti za period korištenja od 30 godina, i to na klimatskom području Zagreba sa zadanom potrebnom godišnjom energijom za grijanje u iznosu od 70 kWh/m² te na klimatskom području Splita sa zadanom potrebnom godišnjom energijom za grijanje od 10 kWh/m². Među danim uspoređenim podsustavima proizvodnje toplinske energije, troškovno najoptimalnijim podsustavom proizvodnje za klimatsko područje Zagreba i $Q_{H,nd}=70$ kWh/m², kao i za klimatsko područje Splita i $Q_{H,nd}=10$ kWh/m², pokazao se kondenzacijski kotao sa solarnim sustavom.

Tijekom ovoga rada, također je uočena problematika spajanja proračuna ulaznih podataka prema normi HRN EN ISO 13790 i proračuna prema prEN 15316, koja rezultira velikim razlikama između satne i mjesečne metode. Kao jedno od mogućih rješenja, preporuča se iterativno spajanje proračuna prema HRN EN ISO 13790 i prEN 15316 s ciljem dobivanja jednog ulaznog podatka u proračun prema prEN 15316 - $Q_{em,out}$.

LITERATURA

- [1] V. Bukarica, D. Dović, Ž. Hrs Borković i drugi: Priručnik za energetske savjetnike, UNDP, Zagreb, 2008.
- [2] <http://energetski-certifikat-zagreb.blogspot.hr/> (3. studeni 2015.)
- [3] M. Andrassy, I. Balen, I. Boras, D. Dović i drugi: Priručnik za energetske certificiranje zgrada, UNDP, Zagreb, 2010.
- [4] D. Dović, V. Soldo, S. Švaić i drugi: Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama, Zagreb, 2015.
- [5] CEN/TC 228: prEN 15316-1:2015 Heating systems and water based cooling systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 1: General and Energy performance expression
- [6] V. Soldo, S. Novak, I. Horvat: Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790, Zagreb, 2014.
- [7] CEN/TC 228: prEN 12831-3:2014 Energy performance of buildings - Method for calculation of the design heat load - Part 3: Domestic hot water systems heat load and characterisation of needs
- [8] CEN/TC 228: prEN 15316-2:2015 Energy performance of buildings, modules M3-5, M4-5 - Space emission systems (heating and cooling)
- [9] CEN/TC 228: prEN 15316-3:2015 Energy performance of buildings, Modules M3-6, M4-6, M8-6 - Space distribution systems (DHW, heating and cooling)
- [10] CEN/TC 228: prEN 15316-4-1:2014 Heating systems and water based cooling systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 4-1: Space heating and DHW generation systems, combustion systems (boilers, biomass)
- [11] CEN/TC 228: prEN 15316-5:2014 Heating systems and water based cooling systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 5: Space heating and DHW storage systems (not cooling)

- [12] CEN/TC: prEN 15316-4-3:2014 Heating systems and water based cooling systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 4-3: Heat generation systems, thermal solar and photovoltaic systems
- [13] I. Horvat: Dinamička simulacija potrošnje primarne energije u stambenoj zgradi, FSB Diplomski rad, Zagreb, 2014.
- [14] <http://www.hep.hr/ods/kupci/kucanstvo.aspx> (13. studeni 2015.)
- [15] <http://servis-perkovic.hr/montaza-centralnog-grijanja/financijska-usporedba-energenata.aspx> (13. studeni 2015.)
- [16] <http://www.ikoma.hr/> (13. studeni 2015.)
- [17] <http://www.tuksar.hr/index.php/cjenik> (13. studeni 2015.)

PRILOZI

1. CD-R disk