

Analiza utjecaja dinamičkog proračuna spremnika tople vode na određivanje potrošnje toplinske energije u zgradi

Benc, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:199928>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-03**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Martina Benc

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Damir Dović, dipl. ing.

Student:

Martina Benc

Zagreb, 2020.

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

Zahvaljujem se svom mentoru Prof.dr.sc. Damiru Doviću, dipl. ing. te asistentima Dr.sc. Ivanu Horvatu, mag.ing. i Petru Filipoviću, mag.ing. na pruženoj pomoći i savjetima prilikom izrade rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji na pruženoj podršci tijekom studiranja.

Martina Benc



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: | Prilog: |
| Klasa: 602 - 04 / 20 - 6 / 3 | |
| Ur. broj: 15 - 1703 - 20 - | |

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Martina Benc** Mat. br.: 0035193251

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza utjecaja dinamičkog proračuna spremnika tople vode na određivanje potrošnje toplinske energije u zgradi**
Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of the hot water storage tank dynamic calculation impact on thermal energy use assessment in a building**
Opis zadatka:

U sklopu diplomskog rada potrebno je razviti odgovarajući računalni program za simulaciju godišnje potrošnje isporučene i primarne energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode (PTV) u odabranoj zgradi. Osnovni dijelovi termotehničkog sustava su:

- podsustav predaje;
- podsustav razvoda;
- podsustav proizvodnje s toplovodnim kotlom i spremnikom toplinske energije.

Dijelove, dimenzije i toplinski učinak sustava prilagoditi veličini i toplinskim potrebama zgrade te minimalnim uvjetima na gotovo nula energetske zgrade iz odgovarajućih tehničkih propisa.

Za navedene proračune koristiti:

- norme iz skupine HRN EN 15316:2017;
- satnu metodu za dinamički proračun spremnika tople vode prema HRN EN 15316-5:2017 s podjelom spremnika na jedan i više volumnih dijelova.

Rezultate simulacija usporediti s proračunima provedenim u računalnom programu MGIPU Energetski certifikator, kako bi se ocijenio utjecaj satne promjene temperature u spremniku na proračun potrošnje toplinske energije u zgradi.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

| | | |
|-------------------|---------------------|----------------------------|
| Zadatak zadan: | Datum predaje rada: | Predviđeni datum obrane: |
| 30. travnja 2020. | 2. srpnja 2020. | 6. – 10.7.2020. |
| 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 OZNAKA | V |
| SAŽETAK..... | XI |
| SUMMARY | XII |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. PRORAČUN SUSTAVA PREDAJE TOPLINE PREMA EN 15316-2 [2] | 2 |
| 2.1. Proračun toplinske energije na ulazu u podsustav predaje..... | 2 |
| 2.2. Proračun pomoćne energije podsustava predaje | 5 |
| 3. PRORAČUN SUSTAVA RAZVODA PREMA EN 15316-3 [3] | 7 |
| 3.1. Proračun srednje temperature..... | 7 |
| 3.1.1. Proračun srednje temperature ogrjevnog medija | 7 |
| 3.1.2. Srednja temperatura vode sustava razvoda PTV-a | 8 |
| 3.2. Proračun koeficijenata toplinskih gubitaka..... | 8 |
| 3.3. Toplinski gubici | 10 |
| 3.3.1. Proračun toplinskih gubitaka razvoda podsustava grijanja..... | 10 |
| 3.3.2. Proračun toplinskih gubitaka razvoda PTV-a | 13 |
| 3.3.2.1. Proračun toplinskih gubitaka za vrijeme rada cirkulacijske petlje | 13 |
| 3.3.2.2. Proračun toplinskih gubitaka cirkulacijske petlje tijekom prekida rada | 15 |
| 3.3.2.3. Proračun ukupnih toplinskih gubitaka sustava razvoda..... | 15 |
| 3.4. Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka..... | 15 |
| 3.5. Proračun pomoćne energije sustava razvoda | 16 |
| 4. PRORAČUN SUSTAVA PROIZVODNJE PREMA EN 15316-4-1 [4]..... | 22 |
| 4.1. Proračun učinkovitosti i toplinskih gubitaka pri specifičnom opterećenju..... | 23 |
| 4.1.1. Proračun za puno opterećenje | 23 |
| 4.1.2. Proračun za djelomično opterećenje | 25 |
| 4.1.3. Proračun za stanje pripravnosti generatora | 25 |
| 4.2. Proračun pomoćne energije..... | 26 |
| 4.3. Proračun učinkovitosti, gubitaka i pomoćne energije pri stvarnom opterećenju | 26 |
| 5. PRORAČUN SPREMNIKA PREMA NORMI EN 15316-5 [5] | 29 |
| 5.1. Proračun toplinskih gubitaka spremnika PTV-a | 29 |
| 5.2. Proračun konačne temperature vode unutar spremnika | 30 |
| 5.3. Proračun srednje i povratne temperature vode unutar generatora..... | 31 |
| 6. PRORAČUN ISPORUČENE I PRIMARNE ENERGIJE [1]..... | 33 |
| 6.1. Proračun isporučene energije | 33 |
| 6.2. Proračun primarne energije | 33 |
| 7. OPIS SUSTAVA I TIJEK PRORAČUNA..... | 34 |
| 7.1. Opis zgrade i tehničkog sustava | 34 |

| | |
|--|----|
| 7.2. Tijek proračuna | 35 |
| 8. REZULTATI PRORAČUNA..... | 37 |
| 8.1. Podsustav predaje topline zračenjem | 37 |
| 8.2. Podsustav razvoda..... | 37 |
| 8.3. Podsustav proizvodnje energije..... | 40 |
| 8.4. Podsustav spremnika..... | 41 |
| 9. USPOREDBA REZULTATA PRORAČUNA | 42 |
| 10. ZAKLJUČAK..... | 52 |
| LITERATURA..... | 53 |
| PRILOZI..... | 54 |

POPIS SLIKA

| | | |
|-----------|---|----|
| Slika 1. | Oznake cjevovoda u sustavu razvoda ogrjevnog medija [1] | 11 |
| Slika 2. | Podjela cjevovoda sustava razvoda PTV-a [1] | 14 |
| Slika 3. | Pojednostavljena shema zadanog termotehničkog sustava | 35 |
| Slika 4. | Grafički prikaz usporedbe toplinskih gubitaka sustava predaje topline | 43 |
| Slika 5. | Grafički prikaz izlazne energije iz podsustava predaje | 44 |
| Slika 6. | Grafički prikaz ulazne energije u podsustav predaje | 45 |
| Slika 7. | Grafički prikaz toplinskih gubitaka sustava razvoda grijanja | 46 |
| Slika 8. | Grafički prikaz toplinskih gubitaka sustava razvoda PTV-a | 47 |
| Slika 9. | Grafički prikaz toplinskih gubitaka generatora | 48 |
| Slika 10. | Grafički prikaz toplinskih gubitaka spremnika PTV-a | 49 |
| Slika 11. | Grafički prikaz primarne energije za pojedini slučaj | 50 |
| Slika 12. | Grafički prikaz isporučene energije za pojedini slučaj | 51 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Zadane vrijednosti temperaturnih varijacija za prostorije visine ≤ 4 m | 4 |
| Tablica 2. Zadane vrijednosti temperaturne varijacije uslijed hidrauličkog balansiranja | 5 |
| Tablica 3. Nazivne vrijednosti električne snage ventilatora..... | 6 |
| Tablica 4. Vrijednosti električne snage sustava regulacije..... | 6 |
| Tablica 5. Vrijednosti eksponenata toplinskog učinka ogrjevnih tijela [1]..... | 7 |
| Tablica 6. Vrijednosti koeficijenata toplinskih gubitaka cjevovoda | 10 |
| Tablica 7. Aproksimacija duljina cjevovoda za dvocijevni sustav grijanja | 12 |
| Tablica 8. Aproksimacija duljina cjevovoda za jednocjevni sustav grijanja..... | 12 |
| Tablica 9. Aproksimacija duljine cjevovoda sustava razvoda PTV-a..... | 14 |
| Tablica 10. Dodatni pad tlaka sustava razvoda | 17 |
| Tablica 11. Konstante pumpi sustava razvoda grijanja prostora..... | 20 |
| Tablica 12. Konstante pumpi sustava razvoda PTV-a | 20 |
| Tablica 13. Vrijeme rada pojedine usluge (grijanje prostora ili PTV-a)..... | 23 |
| Tablica 14. Faktori konverzije goriva | 24 |
| Tablica 15. Faktor smanjenja temperature i temperatura prostora gdje se nalazi kotao | 28 |
| Tablica 16. Parametri za proračun toplinskih gubitaka spremnika | 29 |
| Tablica 17. Rezultati proračuna podsustava predaje topline zračenjem | 37 |
| Tablica 18. Prosječne vrijednosti srednje temperature ogrjevnog medija..... | 37 |
| Tablica 19. Rezultati proračuna podsustava razvoda grijanja prostora..... | 38 |
| Tablica 20. Rezultati proračuna podsustava razvoda PTV-a | 39 |
| Tablica 21. Rezultati proračuna podsustava proizvodnje..... | 40 |
| Tablica 22. Rezultati proračuna podsustava spremnika | 41 |
| Tablica 23. Prosječne vrijednosti temperatura unutar spremnika | 41 |
| Tablica 24. Usporedba toplinskih gubitaka podsustava predaje | 42 |
| Tablica 25. Usporedba izlazne energije iz podsustava predaje | 44 |
| Tablica 26. Usporedba ulazne energije u podsustav predaje | 45 |
| Tablica 27. Usporedba toplinskih gubitaka sustava razvoda grijanja | 46 |
| Tablica 28. Usporedba toplinskih gubitaka sustava razvoda PTV-a..... | 47 |
| Tablica 29. Usporedba toplinskih gubitaka generatora | 48 |
| Tablica 30. Usporedba toplinskih gubitaka spremnika PTV-a | 49 |
| Tablica 31. Usporedba primarne energije | 50 |
| Tablica 32. Usporedba isporučene energije | 51 |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|------------------|--------------------|---|
| C_{P1} | - | konstanta za izračun faktora energetskeg utroška |
| C_{P2} | - | konstanta za izračun faktora energetskeg utroška |
| $C_{sto,1}$ | - | parametar za izračun gubitaka spremnika tijekom stanja pripravnosti |
| $C_{sto,2}$ | - | parametar za izračun toplinskih gubitaka spremnika tijekom pripravnosti |
| $C_{sto,3}$ | - | parametar za izračun toplinskih gubitaka spremnika tijekom pripravnosti |
| $C_{sto,4}$ | - | parametar za izračun toplinskih gubitaka spremnika tijekom pripravnosti |
| $C_{sto,5}$ | - | parametar za izračun toplinskih gubitaka spremnika tijekom pripravnosti |
| $C_{p,w}$ | Wh/kgK | specifični toplinski kapacitet vode |
| d_a | m | vanjski promjer cijevi (s izolacijom) |
| d_i | m | unutarnji promjer cijevi (bez izolacije) |
| d_{mj} | d | broj dana u mjesecu |
| $d_{p,a}$ | m | vanjski promjer cijevi |
| $d_{p,i}$ | m | unutarnji promjer cijevi |
| $d_{use,t,j}$ | d/tj | broj dana u tjednu kada sustav radi |
| EEI | - | indeks energetske učinkovitosti |
| $f_{aux,rbl}$ | - | faktor iskoristivosti pomoćne energije |
| $f_{aux,rvd}$ | - | dio pomoćne energije predan podsustavu razvoda |
| f_{brm} | - | faktor redukcije temperature |
| f_{env} | - | faktor toplinskih gubitaka kroz ovojnicu kotla |
| f_{comp} | - | faktor otpora komponenata sustava razvoda |
| $f_{corr,Pn}$ | %/°C | korekcijski faktor pri punom opterećenju |
| $f_{ctr,ls}$ | - | kontrolni faktor |
| $f_{gen,ls,P0}$ | - | faktor gubitaka u stanju pripravnosti |
| $f_{H,e}$ | - | faktoru učinkovitosti pumpe |
| f_{HB} | - | korekcijski faktor hidrauličkog sustava |
| f_{H_s/H_i} | - | omjer bruto kalorijske vrijednosti i neto kalorijske vrijednosti |
| $f_{sto,dis,ls}$ | - | korekcijski faktor gubitaka tijekom stanja pripravnosti |
| H_{exh} | W/K | koeficijent izmjene topline izmjenjivača |
| H_{lev} | m | visina kata |
| $H_{sto,ls}$ | W/K | koeficijent gubitaka topline tijekom stanja pripravnosti spremnika |
| h_a | W/m ² K | koeficijent prijelaza topline na vanjskoj strani cijevi |

| | | |
|--------------------------|------|---|
| k_1 | - | udio iskoristivih gubitaka u ukupnim za pojedinu dionicu u ovisnosti o vrsti prostora |
| k_2 | - | udio iskoristivih gubitaka u ukupnim za pojedinu dionicu u ovisnosti o načinu gradnje |
| L_A | m | duljina spojnih cjevovoda s ogrjevnim tijelima |
| L_{equi} | m | ekvivalentna duljina ventila |
| $L_{H,m,j}$ | d/mj | broj dana kada ima potrebe za grijanjem u pojedinom mjesecu |
| $L_{H,max}$ | m | maksimalna udaljenost između generatora i najudaljenijeg ogrjevnog tijela |
| L_j | m | duljina pojedine dionice cjevovoda u zoni |
| L_L | m | maksimalna razvijena duljina zgrade ili zone |
| L_W | m | maksimalna razvijena širina zgrade ili zone |
| $L_{W,j}$ | m | duljina dionice petlje |
| $L_{W,max}$ | m | najveća duljina između kotla ili spremnika PTV-a i najudaljenije slavine |
| L_S | m | duljina vertikalnih cjevovoda |
| L_{SL} | m | duljina individualnih spojnih cjevovoda izvan cirkulacijske petlje |
| L_V | m | duljina cjevovoda između generatora i vertikala |
| $\dot{m}_{bu,n}$ | kg/s | nazivni maseni protok vode rezervnog grijača |
| N_{lev} | - | broj etaža |
| n | - | eksponent sustava predaje |
| n_{fan} | - | broj ventilatora |
| $P_{aux,P0}$ | kW | pomoćna energija pri nultom opterećenju |
| $P_{aux,Pint}$ | kW | pomoćna energija pri djelomičnom opterećenju |
| $P_{aux,Pn}$ | kW | pomoćna energija pri punom opterećenju |
| $P_{el,pmp}$ | kW | nazivna snaga pumpe |
| P_{ctr} | kW | električna snaga sustava regulacije |
| P_{fan} | kW | nazivna potrošnja električne energije ventilatora |
| $P_{H,aux,Px}$ | kW | pomoćna energija pri specifičnom faktoru opterećenja |
| $P_{H,gen,ls,Pint,corr}$ | kW | korigirani toplinski gubitak generatora pri djelomičnom opterećenju |
| $P_{H,gen,ls,Pn,corr}$ | kW | korigirani toplinski gubitak generatora pri nazivnom opterećenju |
| $P_{H,gen,ls,P0,corr}$ | kW | korigirani toplinski gubitak kotla u stanju pripravnosti |
| $P_{H,gen,ls,Px}$ | kW | toplinski gubitak kotla pri specifičnom faktoru opterećenja |
| $P_{H,hydr,des}$ | kW | projektna hidraulička snaga cirkulacijske pumpe |
| $P_{H,ref}$ | kW | referentna snaga pumpe |
| P_{int} | kW | snaga generatora pri djelomičnom opterećenju |
| P_n | kW | nazivna snaga kotla |
| $P_{W,aux,Px}$ | kW | pomoćna energija pri specifičnom faktoru opterećenja |
| $P_{W,gen,ls,Pint,corr}$ | kW | korigirani toplinski gubitak generatora pri djelomičnom |

| | | |
|------------------------|-----|--|
| | | opterećenju |
| $P_{W,gen,ls,Pn,corr}$ | kW | korigirani toplinski gubitak generatora pri nazivnom opterećenju |
| $P_{W,gen,ls,P0,corr}$ | kW | korigirani toplinski gubitak kotla u stanju pripravnosti |
| $P_{W,gen,ls,Px}$ | kW | toplinski gubitak kotla pri specifičnom faktoru opterećenja |
| $P_{W,hydr,des}$ | kW | projektna hidraulička snaga sustava PTV-a |
| $Q_{em,aux,rbl}$ | kWh | iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja |
| $Q_{em,aux,rvd}$ | kWh | vraćena pomoćna energija |
| $Q_{em,in}$ | kWh | toplinska energija koju je potrebno dovesti podsustavu predaje |
| $Q_{em,ls}$ | kWh | toplinski gubici podsustava predaje |
| $Q_{em,out}$ | kWh | toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje topline |
| $Q_{em,out,inc}$ | kWh | povećana energija na izlazu iz podsustava predaje topline uslijed povećanja unutarnje projektne temperature $\theta_{int,ini}$ za $\Delta\theta_{int,inc}$ |
| $Q_{em,rbl}$ | kWh | iskoristivi toplinski gubici podsustava predaje |
| $Q_{emb,ls}$ | kWh | toplinski gubici ugrađenih ogrijevnih tijela |
| $Q_{gen,out}$ | kWh | izlazna toplina iz generatora |
| $Q_{H,gen,aux,rvd}$ | kWh | vraćena pomoćna energija koja je predana ogrijevnom mediju |
| $Q_{H,dis,aux,rbl}$ | kWh | iskoristiva pomoćna energija |
| $Q_{H,dis,aux,rvd}$ | kWh | vraćena pomoćna energija sustava razvoda grijanja: |
| $Q_{H,dis,in}$ | kWh | ulazna energija u sustav razvoda grijanja |
| $Q_{H,dis,ls}$ | kWh | toplinski gubitak razvoda grijanja |
| $Q_{H,dis,out}$ | kWh | izlazna toplina iz podsustava razvoda grijanja |
| $Q_{H,dis,rbl}$ | kWh | iskoristivi toplinski gubici sustava razvoda grijanja |
| $Q_{H,gen,aux,rbl}$ | kWh | iskoristiva pomoćna energija sustava grijanja koja se predaje grijanom prostoru |
| $Q_{H,gen,ls}$ | kWh | ukupni toplinski gubitak kotla |
| $Q_{H,gen,ls,env,rbl}$ | kWh | iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnicu kotla |
| $Q_{H,nd}$ | kWh | toplinska energija potrebna za grijanje, pri unutarnjoj projektnoj temperaturi $\theta_{int,ini}$ |
| $Q_{H,nd,inc}$ | kWh | toplinska energija potrebna za grijanje, pri unutarnjoj projektnoj temperaturi $\theta_{int,inc}$ |
| $Q_{H,out}$ | kWh | energija isporučena sustavu grijanja prostora |
| $Q_{H,sto,bu,in}$ | kWh | stvarna energija koju predaje pomoćni grijač |
| $Q_{H,sto,bu,in,tmp}$ | kWh | potrebna energija pomoćnog grijača |
| $Q_{H,sto,nsup}$ | kWh | energija koju je potrebno isporučiti sustavu grijanja nekim drugim sustavom |
| $Q_{H,sto,out,req}$ | kWh | energija koju je potrebno isporučiti sustavu grijanja prostora |
| $Q_{ls,rvd,i}$ | kWh | iskoristivi gubici grijanja i pripreme PTV-a |
| $Q_{sto,ls}$ | kWh | toplinski gubici spremnika |

| | | |
|--------------------------|-------------------|---|
| $Q_{W,dis,in}$ | kWh | ulazna energija u sustav razvoda PTV-a |
| $Q_{W,dis,ls}$ | kWh | toplinski gubici cirkulacijske petlje tijekom rada |
| $Q_{W,dis,ls,total}$ | kWh | ukupni toplinski gubici sustava PTV-a s cirkulacijskom petljom |
| $Q_{W,dis,nom}$ | kWh | toplinski gubici cirkulacijske petlje tijekom prekida rada |
| $Q_{W,gen,aux,rbl}$ | kWh | iskoristiva pomoćna energija sustava grijanja koja se predaje grijanom prostoru |
| $Q_{W,gen,aux,rvd}$ | kWh | vraćena pomoćna energija predana potrošnoj toploj vodi |
| $Q_{W,gen,ls}$ | kWh | ukupni toplinski gubitak kotla |
| $Q_{W,gen,ls,env,rbl}$ | kWh | iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnicu kotla |
| $Q_{W,out}$ | kWh | energija isporučena sustavu PTV-a |
| $Q_{W,sto,nsup}$ | kWh | energija koju je potrebno isporučiti sustavu PTV-a nekim drugim sustavom |
| $Q_{sto,dis,ls}$ | kWh | toplinski gubici spremnika |
| $Q_{W,sto,out,req}$ | kWh | energija koju je potrebno isporučiti sustavu PTV-a |
| $R_{H,max}$ | kPa/m | pad tlaka po duljini cjevovoda |
| $R_{W,max}$ | kPa/m | pad tlaka po duljini cjevovoda |
| t_{ctr} | h | vrijeme rada regulacijskog sustava u promatranom periodu |
| t_d | h/dan | dnevni broj sati rada u sustavu |
| t_{fan} | h | vrijeme rada ventilatora u promatranom periodu |
| $t_{H,uk}$ | h | ukupno vrijeme rada sustava za grijanje u promatranom periodu |
| t_{uk} | h | broj sati u promatranom periodu |
| t_w | h/dan | dnevni broj sati rada cirkulacijske pumpe |
| $t_{W,uk}$ | h | broj sati u promatranom periodu |
| $V_{sto,tot}$ | l | volumen spremnika |
| $\dot{V}_{H,des}$ | m ³ /h | projektni volumni protok sustava grijanja |
| $\dot{V}_{W,des}$ | m ³ /h | projektni volumni protok |
| W_{ctr} | kWh | pomoćna energija sustava regulacije |
| $W_{em,ls,aux}$ | kWh | pomoćna energija sustava predaje |
| W_{fan} | kWh | pomoćna energija za ventilatore |
| $W_{H,dis,aux}$ | kWh | pomoćna energija potrebna za pogon pumpe |
| $W_{H,dis,hydr}$ | kWh | potrebna hidraulička energija |
| $W_{H,gen}$ | kWh | pomoćna energija ovisno o vremenu korištenja |
| $W_{W,dis,hydr}$ | kWh | potrebna hidraulična snaga cirkulacijske petlje |
| $W_{W,gen}$ | kWh | pomoćna energija ovisno o vremenu korištenja |
| z | m | dubina ugradnje cijevi unutar zida |
| β_H | - | faktor opterećenja kotla |
| $\beta_{H,dis}$ | - | faktor opterećenja sustava grijanja |
| β_{int} | - | faktor djelomičnog opterećenja |
| β_w | - | faktor opterećenja kotla za zagrijavanje PTV-a |
| $\Delta\theta_{dis,des}$ | °C | projektna temperaturna razlika polaza i povrata |

| | | |
|---------------------------|-----|--|
| $\Delta p_{H,add}$ | kPa | dodatni pad tlaka komponenata sustava |
| $\Delta p_{H,des}$ | kPa | projektni pad tlaka u sustavu grijanja |
| $\Delta p_{W,add}$ | kPa | dodatni pad tlaka komponenata sustava PTV-a |
| $\Delta p_{W,des}$ | kPa | projektni pad tlaka u sustavu razvoda PTV-a |
| $\Delta \theta_{ctr}$ | °C | varijacija zbog djelovanja regulacije temperature prostorije |
| $\Delta \theta_{des}$ | °C | razlika između prosječne temperature medija i temperature prostorije |
| $\Delta \theta_{emb}$ | °C | temperaturna varijacija uslijed dodatnih gubitaka ugrađenih ogrjevnih tijela |
| $\Delta \theta_{hydr}$ | °C | temperaturna varijacija uslijed hidrauličkog balansiranja |
| $\Delta \theta_{rad}$ | °C | varijacija uslijed zračenja sustava predaje topline |
| $\Delta \theta_{roomaut}$ | °C | temperaturna varijacija uslijed regulacije temperature pojedinih prostorija |
| $\Delta \theta_{str}$ | °C | varijacija temperature uslijed stratifikacije |
| $\Delta \theta_W$ | °C | razlika temperature tople vode na izlazu iz slavine i povratne temperature vode u cirkulacijsku petlju u vremenskom koraku |
| $\Delta \vartheta_{exh}$ | °C | efektivna razlika temperature na izmjenjivaču |
| $\varepsilon_{H,dis}$ | - | faktor energetskeg utroška pumpe sustava grijanja prostora |
| $\varepsilon_{W,dis}$ | - | faktor energetskeg utroška pumpe sustava razvoda PTV-a |
| $\eta_{gen,Pint}$ | - | učinkovitost generatora pri djelomičnom opterećenju |
| $\eta_{gen,Pn}$ | - | učinkovitost generatora pri punom opterećenju |
| $\eta_{gen,Pint,corr}$ | - | korigirana učinkovitost generatora pri djelomičnom opterećenju |
| $\eta_{gen,Pn,corr}$ | - | korigirana učinkovitost generatora pri nazivnom opterećenju |
| θ_i | °C | temperatura prostorije |
| $\theta_{int,inc}$ | °C | ekvivalentna unutarnja temperatura |
| $\theta_{int,ini}$ | °C | početna unutarnja temperatura |
| θ_m | °C | srednja temperatura ogrjevnog medija |
| $\theta_{r,des}$ | °C | projektna temperatura povrata ogrjevnog medija u sustav predaje |
| $\theta_{s,des}$ | °C | projektna temperatura polaza ogrjevnog medija u sustav predaje |
| θ_W | °C | temperatura tople vode u vremenskom koraku |
| ϑ_{brm} | °C | temperatura prostorije u kojoj se nalazi generator |
| $\vartheta_{gen,min}$ | °C | minimalna radna temperatura kotla |
| $\vartheta_{gen,test,P0}$ | °C | prosječna testna temperatura pri nultom opterećenju |
| $\vartheta_{gen,test,Pn}$ | °C | prosječna testna temperatura pri punom opterećenju |
| $\vartheta_{H,amb,j}$ | °C | temperatura okolišnog zraka pojedine dionice |
| $\vartheta_{H,in}$ | °C | temperatura polaza ogrjevnog medija u određenom vremenskom koraku, ovisna o vrsti ogrjevnog tijela i |

| | | |
|--------------------------|--------------------|--|
| | | sustavu regulacije |
| $\vartheta_{H,mean}$ | $^{\circ}\text{C}$ | prosječna temperatura vode u sustavu grijanja |
| $\vartheta_{H,out}$ | $^{\circ}\text{C}$ | temperatura povrata ogrjevnog medija u određenom vremenskom koraku, ovisna o vrsti ogrjevnog tijela i sustavu regulacije |
| $\vartheta_{H,out,min}$ | $^{\circ}\text{C}$ | minimalna temperatura potrebna za grijanje prostora |
| $\vartheta_{Hc,mn}$ | $^{\circ}\text{C}$ | srednja temperatura vode u generatoru sustava grijanja |
| $\vartheta_{Hc,RT}$ | $^{\circ}\text{C}$ | temperatura povratne vode u generatoru |
| $\vartheta_{sto,amb}$ | $^{\circ}\text{C}$ | okolišna temperatura prostorije u kojoj se nalazi spremnik |
| $\vartheta_{sto,set,on}$ | $^{\circ}\text{C}$ | postavna temperatura spremnika, temperatura na kojoj se gasi pomoćni grijač |
| $\vartheta_{sto,t}$ | $^{\circ}\text{C}$ | konačna temperatura vode unutar spremnika |
| $\vartheta_{sto,tmp1}$ | $^{\circ}\text{C}$ | temperatura vode unutar spremnika nakon oduzimanja energije za potrebe PTV-a i toplinske gubitke |
| $\vartheta_{sto,tmp2}$ | $^{\circ}\text{C}$ | temperatura vode unutar spremnika nakon oduzimanja energije za potrebe grijanja prostora |
| $\vartheta_{W,avg}$ | $^{\circ}\text{C}$ | srednja temperatura tople vode u cirkulacijskoj petlji kada petlja ne radi |
| $\vartheta_{W,cold}$ | $^{\circ}\text{C}$ | temperatura hladne vode |
| $\vartheta_{W,mean}$ | $^{\circ}\text{C}$ | prosječna temperatura vode u sustavu razvoda PTV-a |
| $\vartheta_{Wc,mn}$ | $^{\circ}\text{C}$ | prosječna temperatura vode u generatoru sustava PTV-a |
| λ_{em} | W/mK | vodljivost materijala dijela zida u kojem je položena cijev |
| λ_D | W/mK | toplinska vodljivost izolacije |
| λ_P | W/mK | toplinska vodljivost materijala cijevi |
| ρ_w | kg/m ³ | gustoća vode |
| Φ_{em} | kW | nazivna snaga instaliranih ogrjevnih tijela |
| $\Phi_{em,out}$ | kW | projektno toplinsko opterećenje |
| $\Phi_{sto,BU}$ | kW | nazivna snaga pomoćnog grijača |
| Ψ | W/mK | koeficijent toplinskih gubitaka za izolirane cijevi izvan zidova |
| Ψ_{em} | W/mK | koeficijent toplinskih gubitaka za izolirane cijevi unutar zidova |
| Ψ_j | W/mK | koeficijent toplinskih gubitaka pojedine dionice cjevovoda |
| Ψ_{non} | W/mK | koeficijent toplinskih gubitaka za neizolirane cijevi izvan zidova |
| $\Psi_{non,em}$ | W/mK | koeficijent toplinskih gubitaka za neizolirane cijevi unutar zidova |

SAŽETAK

U radu je napravljen odgovarajući program u Microsoft Excelu za izračun godišnje potrošnje isporučene i primarne energije potrebne za grijanje prostora i pripremu potrošne tople vode. Proračun je napravljen na temelju normi HRN EN 15316:2017 prema satnoj metodi, za karakterističan dan u mjesecu, za odabrani termotehnički sustav. Sustav se sastoji od podsustava predaje, razvoda, proizvodnje te spremnika PTV-a. Rezultati dobiveni proračunom prema novim normama uspoređeni su s rezultatima dobivenim u MGIPU Energetskom Certifikatoru, koji vrši proračune prema starijoj verziji normi. Također je napravljena i usporedba sa sustavom koji ne sadrži spremnik PTV-a, na temelju koje se mogu donijeti zaključci o utjecaju spremnika na dobivene rezultate.

Ključne riječi: skupina normi EN 15316:2017, isporučena energija, primarna energija, podsustav predaje topline zračenjem, podsustav razvoda, podsustav proizvodnje, spremnik PTV-a, MGIPU Energetski Certifikator

SUMMARY

In this thesis, an appropriate program was made in Microsoft Excel for calculating the annual consumption of delivered and primary energy needed for space heating and preparation of domestic hot water. The calculation was based on EN 15316: 2017 series of standards according to the hourly method for a characteristic day of the month, for the selected thermotechnical system. The system contains space emission and distribution sub-system, generation sub-system and storage water tank. The obtained results were compared with the results from MGIPU Energetski Certifikator, which gives results according to the older version of the standards. A comparison was also made with a system that does not contain a storage water tank. Based on the comparison, conclusion about the influence of storage tank was made.

Key words: EN 15316:2017 series of standards, delivered energy, primary energy, space emission sub-system, space distribution sub-system, generation sub-system, storage water tank, MGIPU Energetski Certifikator

1. UVOD

Norme iz skupine EN 15316:2017 daju potrebne formule za izračun potrošnje energije te prikaz energetske svojstva sustava grijanja prostora i potrošne tople vode. Normom se standardiziraju ulazi i izlazi kako bi se postigla zajednička proračunska metoda. Daje se analiza sustava grijanja prostora te sustava PTV-a. Uspoređujući podsustave možemo vidjeti kako oni utječu na ukupna energetska svojstva i energetske učinkovitost zgrade. Također, usporedbom gubitaka pojedinih podsustava vidimo gdje su potrebna poboljšanja te možemo uspoređivati različite sustave kako bi dobili uvid o potrošnji primarne i isporučene energije u sustav.

Odabrani termotehnički sustav obuhvaća podsustav predaje energije zračenjem, podsustav razvoda grijanja prostora i potrošne tople vode, podsustav proizvodnje te spremnik potrošne tople vode. Za odabrani sustav napravljen je proračun prema novim normama te uspoređen s rezultatima dobivenim pomoću MGIPU Energetskog Certifikatora koji koristi stariju verziju norme. Također je napravljena i usporedba sa sustavom koji ne sadrži spremnik PTV-a.

2. PRORAČUN SUSTAVA PREDAJE TOPLINE PREMA EN 15316-2 [2]

2.1. Proračun toplinske energije na ulazu u podsustav predaje

Energija koju je potrebno dovesti podsustavu predaje topline računa se prema formuli:

$$Q_{em,in} = Q_{em,out} - Q_{em,aux,rvd} + Q_{em,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

$Q_{em,out}$ – toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje topline, [kWh]

$Q_{em,aux,rvd}$ – vraćena pomoćna energija [kWh]

$Q_{em,ls}$ – toplinski gubici podsustava predaje [kWh]

$$Q_{em,ls} = Q_{em,out,inc} - Q_{em,out} + Q_{emb,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (2)$$

$$Q_{em,out} = Q_{H,nd} - \sum_i Q_{ls,rvd,i} \quad [\text{kWh}] \quad (3)$$

$$Q_{em,out,inc} = Q_{H,nd,inc} - \sum_i Q_{ls,rvd,i} \quad [\text{kWh}] \quad (4)$$

$Q_{em,out,inc}$ – povećana energija na izlazu iz podsustava predaje topline uslijed povećanja unutarnje projektne temperature $\theta_{int,ini}$ za $\Delta\theta_{int,inc}$ [kWh]

$Q_{H,nd}$ – toplinska energija potrebna za grijanje [kWh], pri temperaturi $\theta_{int,ini}$

$Q_{H,nd,inc}$ – toplinska energija potrebna za grijanje [kWh], pri temperaturi $\theta_{int,inc}$

$\sum_i Q_{ls,rvd,i}$ – suma svih iskoristivih gubitaka podsustava grijanja i pripreme PTV-a [kWh]

$Q_{emb,ls}$ – toplinski gubici ugrađenih ogrjevnih tijela [kWh]

Toplinski gubici ugrađenih ogrjevnih tijela računaju se prema formuli:

$$Q_{emb,ls} = Q_{em,out,inc} \cdot \left(\frac{\Delta\theta_{emb}}{\theta_{int,inc} - \theta_{e,comb}} \right) \quad [\text{kWh}] \quad (5)$$

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

$$\Delta\theta_{int,inc} = \Delta\theta_{str} + \Delta\theta_{ctr} + \Delta\theta_{rad} + \Delta\theta_{hydr} + \Delta\theta_{roomaut} \quad [\text{K}] \quad (7)$$

gdje su:

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

$\theta_{int,inc}$ – ekvivalentna unutarnja temperatura [°C]

$\Delta\theta_{str}$ – varijacija temperature uslijed stratifikacije [K], za prostorije visine manje od 4 m vrijedi:

$$\Delta\theta_{str} = \frac{\Delta\theta_{str,1} + \Delta\theta_{str,2}}{2} \quad (8)$$

$\Delta\theta_{ctr}$ – varijacija zbog djelovanja regulacije temperature prostorije [K]

$\Delta\theta_{rad}$ – varijacija uslijed zračenja sustava predaje topline [K]

$\Delta\theta_{hydr}$ – temperaturna varijacija uslijed hidrauličkog balansiranja [K]

$\Delta\theta_{roomaut}$ – temperaturna varijacija uslijed regulacije temperature pojedinih prostorija [K]

$\Delta\theta_{emb}$ – temperaturna varijacija uslijed dodatnih gubitaka ugrađenih ogrjevnih tijela [K]

$$\Delta\theta_{emb} = (\Delta\theta_{emb,1} - \Delta\theta_{emb,2})/2 \quad [K] \quad (9)$$

$\theta_{e,comb} = \theta_{e,avg}$ – prosječna temperatura vanjskog zraka u promatranom satu [K]

Tablica 1. Zadane vrijednosti temperaturnih varijacija za prostorije visine ≤ 4 m

| Utjecajni parametar | | Temperaturna varijacija | | | | |
|--|---|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|
| | | $\Delta\theta_{str}$ | | $\Delta\theta_{ctr,1}^b$ | $\Delta\theta_{ctr,2}^c$ | $\Delta\theta_{emb}$ |
| Regulacija temperature prostora | Neregulirana, s centralnom regulacijom polazne temperature | | | 2,5 | 2,5 | |
| | Regulacija preko referentne prostorije | | | 2 | 1,8 | |
| | Kontrola temperature prostorije (elektromehanička/elektronička) | | | 1,8 | 1,6 | |
| | P-regulator (prije 1998.) | | | 1,4 | 1,4 | |
| | P-regulator | | | 1,2 | 0,7 | |
| | PI-regulator | | | 1,2 | 0,7 | |
| | PI-regulator (s funkcijom optimizacije) | | | 0,9 | 0,5 | |
| Nad-temperatura (za referentnu temperaturu 20 °C) | Dvocijevno grijanje i obnovljeno jednocijevno ^d | $\Delta\theta_{str,1}$ | $\Delta\theta_{str,2}$ | | | |
| | 60 K (npr. 90/70) | 1,2 | | | | |
| | 42,5 K (npr. 70/55) | 0,7 | | | | |
| | 30 K (npr. 55/45) | 0,5 | | | | |
| | 20 K (npr. 45/35) | 0,4 | | | | |
| | Jednocijevno grijanje (neobnovljeno) | | | | | |
| | 60 K (npr. 90/70) | 1,6 | | | | |
| | 42,5 K (npr. 70/55) | 1,2 | | | | |
| | Kombinacija sustava grijanja s mehaničkom ventilacijom | 0,2 | | | | |
| Radijatori potpomognuti ventilatorima ^e | 0 | | | | | |
| Specifični toplinski gubici kroz vanjske površine (SP-staklena površina) | Ogrjevno tijelo smješteno uz unutrašnji zid | | 1,3 | | | 0 |
| | Ogrjevno tijelo smješteno uz vanjski zid: | | | | | |
| | -SP bez zaštite od zračenja | | 1,7 | | | 0 |
| | -SP sa zaštitom od zračenja ^a | | 1,2 | | | 0 |
| | -normalni vanjski zid | | 0,3 | | | 0 |

^a Zaštita od zračenja treba spriječiti 80 % gubitaka zračenja ogrjevnog tijela prema staklenoj površini izolacijom i/ili refleksijom

^b koristiti $\Delta\theta_{ctr,1}$ za necertificirane proizvode

^c koristiti $\Delta\theta_{ctr,2}$ za certificirane proizvode, alternativno $\Delta\theta_{ctr,2}$ se može izračunati za TRV sustave prema EN 215

^d jednocijevno grijanje smatra se renoviranim ako je protok reguliran dinamički ovisno o opterećenju te ako su cijevi izolirane

^e kada su sustavi grijanja unutar prostorija opremljenih mehaničkim sustavom ventilacije, imaju utjecaj na temperaturnu stratifikaciju

Tablica 2. Zadane vrijednosti temperaturne varijacije uslijed hidrauličkog balansiranja

| Utjecajni parametar | | | | |
|--|-----------------------|---|-----------------------|-----------------------|
| Jednocjevno grijanje | $\Delta\theta_{hydr}$ | Dvocjevno grijanje | *n≤10 | *n>10 |
| | | | $\Delta\theta_{hydr}$ | $\Delta\theta_{hydr}$ |
| Neuravnoteženi sustavi | 0,7 | Neuravnoteženi sustavi | 0,6 | |
| Balansirano statički po krugu | 0,4 | Balansirano statički po pojedinom ogrjevnom tijelu (slobodno ili ugrađeno), bez grupnog uravnoteženja | 0,3 | 0,4 |
| Balansirano dinamički po krugu (npr. automatski regulatori protoka) | 0,3 | Balansirano statički po pojedinom ogrjevnom tijelu (slobodno ili ugrađeno), s grupnim uravnoteženjem (npr. balansirajući ventil) | 0,2 | 0,3 |
| Balansirano dinamički po krugu i kontrolirano dinamički ovisno o opterećenju (ograničenje temperature povrata) | 0,2 | Balansirano statički po pojedinom ogrjevnom tijelu (slobodno ili ugrađeno), s dinamički uravnoteženom mrežom (npr. regulator razlike tlaka) | 0,1 | 0,2 |
| Balansirano dinamički po krugu i kontrolirano dinamički ovisno o opterećenju (razlika između temperature polaza i povrata) | 0,1 | Balansirano dinamički po pojedinom ogrjevnom tijelu (slobodno ili ugrađeno), (npr. automatski regulatori protoka/regulatori razlike tlaka) | 0 | |

* broj ogrjevnih tijela

2.2. Proračun pomoćne energije podsustava predaje

Za prostorije čija je visina manja od 4 m pomoćna energija računa se prema izrazu:

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

W_{fan} – pomoćna energija za ventilatore [kWh]

W_{ctr} – pomoćna energija sustava regulacije [kWh]

Pomoćna energija za ventilatore računa se prema:

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

P_{fan} – nazivna potrošnja električne energije ventilatora [kW], Tablica 3.

n_{fan} – broj ventilatora [-]

t_{fan} – vrijeme rada ventilatora u promatranom periodu [h]

Pomoćna energija sustava regulacije:

$$W_{ctr} = \frac{P_{ctr} \cdot t_{ctr}}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (12)$$

P_{ctr} – električna snaga sustava regulacije [kW], Tablica 4

t_{ctr} – vrijeme rada regulacijskog sustava u promatranom periodu [h]

Tablica 3. Nazivne vrijednosti električne snage ventilatora

| Utjecajni parametar | | Snaga [W] |
|-------------------------|---|-----------|
| Ventilator P_{fan} | Ventilokonvektor | 10 |
| | Električno grijan ventilokonvektor | 10 |
| | Termoakumulacijsko grijanje s dinamičkim odavanjem topline | 12 |
| | Termoakumulacijsko grijanje s kontinuiranim odavanjem topline | 12 |

Tablica 4. Vrijednosti električne snage sustava regulacije

| Utjecajni parametri | | Snaga [W] |
|---|---|-----------------------------|
| Sustav regulacije s pomoćnom energijom P_{ctr} | Električni sustav regulacije s elektromotornim pogonom | 0,1 (po pogonskom elementu) |
| | Električni sustav regulacije s elektro-toplinskim pogonom | 1 (po pogonskom elementu) |
| | Električni sustav regulacije s elektromagnetskim pogonom | 1 (po pogonskom elementu) |

Vraćena pomoćna energija u sustav:

$$Q_{em,aux,rvd} = 0,75 \cdot W_{fan} \quad [\text{kWh}] \quad (13)$$

Iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja:

$$Q_{em,aux,rbl} = 0,25 \cdot W_{fan} + W_{ctr} \quad [\text{kWh}] \quad (14)$$

Iskoristivi toplinski gubici podsustava predaje:

$$Q_{em,rbl} = 0 \quad [\text{kWh}] \quad (15)$$

3. PRORAČUN SUSTAVA RAZVODA PREMA EN 15316-3 [3]

3.1. Proračun srednje temperature

3.1.1. Proračun srednje temperature ogrjevnog medija

Formula za proračun srednje temperature medija prema [1]:

$$\theta_m = \Delta\theta_{des} \cdot (\beta_{H,dis})^{\frac{1}{n}} + \theta_i \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (16)$$

$$\Delta\theta_{des} = \frac{\theta_{s,des} + \theta_{r,des}}{2} - \theta_i \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (17)$$

gdje su:

$\Delta\theta_{des}$ – razlika između prosječne temperature medija i temperature prostorije [$^{\circ}\text{C}$]

$\theta_{s,des}$ – projektna temperatura polaza ogrjevnog medija u sustav predaje [$^{\circ}\text{C}$]

$\theta_{r,des}$ – projektna temperatura povrata ogrjevnog medija u sustav predaje [$^{\circ}\text{C}$]

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

n – eksponent sustava predaje [-], Tablica 5.

$\beta_{H,dis}$ – faktor opterećenja [-]

Faktor opterećenja dan je izrazom:

$$\beta_{H,dis} = \frac{Q_{H,dis,out}}{\Phi_{em} \cdot t_{uk}} \quad [-] \quad (18)$$

$Q_{H,dis,out}$ – izlazna toplina iz podsustava razvoda grijanja [kWh]

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

t_{uk} – broj sati u promatranom periodu [h]

Tablica 5. Vrijednosti eksponenata toplinskog učinka ogrjevnih tijela [1]

| Tip ogrjevnog tijela | n |
|----------------------|------|
| Radijator | 1,3 |
| Konvektor | 1,4 |
| Podno grijanje | 1,13 |
| Ventilokonvektor | 1 |

3.1.2. Srednja temperatura vode sustava razvoda PTV-a

Srednja temperatura vode sustava razvoda PTV-a računa se prema izrazu:

$$\vartheta_{W,mean} = \vartheta_W - \frac{\Delta\vartheta_W}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (19)$$

ϑ_W – temperatura tople vode u vremenskom koraku [$^{\circ}\text{C}$], projektna vrijednost ili zadana vrijednost 60 $^{\circ}\text{C}$

$\Delta\vartheta_W$ – temperaturna razlika između temperature tople vode na izlazu iz slavine i povratne temperature vode u cirkulacijsku petlju u vremenskom koraku [$^{\circ}\text{C}$], projektna vrijednost ili zadana vrijednost od 5 $^{\circ}\text{C}$

3.2. Proračun koeficijenta toplinskih gubitaka

Koeficijent toplinskih gubitaka za izolirane cijevi izvan zidova:

$$\Psi = \frac{\pi}{\left(\frac{1}{2 \cdot \lambda_D} \cdot \ln \frac{d_a}{d_i} + \frac{1}{h_a \cdot d_a}\right)} \quad [\text{W/mK}] \quad (20)$$

Koeficijent toplinskih gubitaka za izolirane cijevi unutar zidova:

$$\Psi_{em} = \frac{\pi}{\frac{1}{2} \left[\frac{1}{\lambda_D} \cdot \ln \frac{d_a}{d_i} + \frac{1}{\lambda_{em}} \cdot \ln \frac{4 \cdot z}{d_a} \right]} \quad [\text{W/mK}] \quad (21)$$

Koeficijent toplinskih gubitaka za neizolirane cijevi unutar zidova:

$$\Psi_{non,em} = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_p} \cdot \ln \frac{d_{p,a}}{d_{p,i}}} \quad [\text{W/mK}] \quad (22)$$

Koeficijent toplinskih gubitaka za neizolirane cijevi izvan zidova:

$$\Psi_{non} = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_p} \cdot \ln \frac{d_{p,a}}{d_{p,i}} + \frac{1}{h_a \cdot d_{p,a}}} \quad [\text{W/mK}] \quad (23)$$

gdje su:

d_i – unutarnji promjer cijevi (bez izolacije) [m]

d_a – vanjski promjer cijevi (s izolacijom) [m]

λ_D – toplinska vodljivost izolacije [W/mK]

h_a – koeficijent prijelaza topline na vanjskoj strani cijevi [W/m²K]

$h_a = 8$ W/m²K za izolirane cijevi

$h_a = 14$ W/m²K za neizolirane cijevi

λ_{em} – toplinska vodljivost materijala dijela zida u kojem je položena cijev [W/mK]

z – dubina ugradnje cijevi unutar zida [m]

λ_p – toplinska vodljivost materijala cijevi [W/mK]

$d_{p,i}$ – unutarnji promjer cijevi [m]

$d_{p,a}$ – vanjski promjer cijevi [m]

Ako nam nisu poznati podaci potrebni za proračun, koeficijenti toplinskih gubitaka mogu se odabrati iz Tablica 6. U tablici su dane tipične vrijednosti koeficijenata, ovisno o razdoblju kada je zgrada izgrađena i duljinama cjevovoda. Duljine cjevovoda definirane su u poglavlju 3.3.

Tablica 6. Vrijednosti koeficijenta toplinskih gubitaka cjevovoda

| Starost zgrade | Ψ [W/mK] | | |
|---|---------------|-----------|--------|
| | Dio Lv | Dio LS | Dio LA |
| Izolirane cijevi | | | |
| Nakon 1995. - pretpostavka da je debljina izolacije približno jednaka vanjskom promjeru cijevi | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| Između 1980. i 1995.- pretpostavka da je debljina izolacije približno jednaka polovici vanjskog promjera cijevi | 0,3 | 0,4 | 0,4 |
| Do 1980. | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Neizolirane cijevi izvan zidova | | | |
| $A \leq 200 \text{ m}^2$ | 1 | 1 | 1 |
| $200 \text{ m}^2 < A \leq 500 \text{ m}^2$ | 2 | 2 | 2 |
| $A > 500 \text{ m}^2$ | 3 | 3 | 3 |
| Neizolirane cijevi unutar vanjskih zidova | | | |
| Neizoliran vanjski zid | | 1,35/0,8 | |
| Vanjski zid izoliran izvana | | 1/0,9 | |
| Vanjski zid bez izolacije s niskim koeficijentom prolaska topline ($U=0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) | | 0,75/0,55 | |

3.3. Toplinski gubici

3.3.1. Proračun toplinskih gubitaka razvoda podsustava grijanja

Toplinski gubitak razvoda grijanja računa se prema formuli:

$$Q_{H,dis,ls} = \frac{1}{1000} \sum_j \Psi_j \cdot (\vartheta_{H,mean} - \vartheta_{H,amb,j}) \cdot (L + L_{equi})_{H,j} \cdot t_{H,uk} \quad (24)$$

gdje su:

Ψ_j – koeficijent toplinskih gubitaka pojedine dionice cjevovoda [W/mK], prema jednadžbama (20)-(23)

$\vartheta_{H,mean} = \theta_m$ – srednja temperatura ogrjevnog medija [°C]

$\vartheta_{H,amb,j}$ – temperatura okolišnog zraka pojedine dionice [°C]

L_j – duljina pojedine dionice cjevovoda u zoni [m], iz projektne dokumentacije, energetskog pregleda ili aproksimacija prema Tablica 7. i Tablica 8.

L_{equi} – ekvivalentna duljina ventila [m]

$t_{H,uk}$ – ukupno vrijeme rada sustava za grijanje u promatranom periodu

$$t_{H,uk} = t_d \cdot d_{use,tj} / 7 \cdot L_{H,m,j} \text{ – kod mjesečne metode}$$

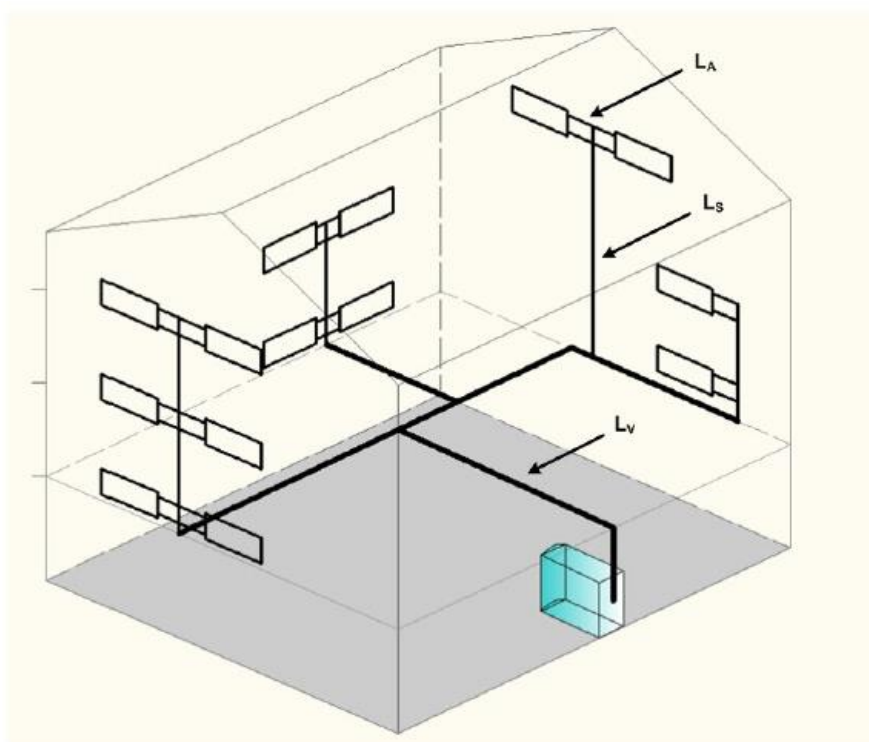
$$t_{H,uk} = 1 \text{ h – kod satne metode}$$

t_d – dnevni broj sati rada u sustavu [h/dan]

$d_{use,tj}$ – broj dana u tjednu kada sustav radi [d/tj]

$L_{H,m,j}$ – broj dana kada ima potrebe za grijanjem u pojedinom mjesecu [d/mj]

Proračun je potrebno provesti za svaku dionicu, kroz grijani i kroz negrijani prostor.



Slika 1. Oznake cjevovoda u sustavu razvoda ogrjevnog medija [1]

Duljine cjevovoda prema prethodnoj slici definirane su kao:

L_V – cjevovodi između generatora i vertikalala [m]

L_S – cjevovodi vertikalala [m]

L_A – spojni cjevovodi s ogrjevnim tijelima [m]

Tablica 7. Aproximacija duljina cjevovoda za dvocijevni sustav grijanja

| Vrijednost | Dio L_V (od generatora do vertikalala) | Dio L_S (vertikale) | Dio L_A (spojni cjevovodi) |
|--|--|---|--|
| Prosječna okolišna temperatura, $\vartheta_{H,amb,j}$ [°C] | 13 za negrijani prostor, 20 za grijani | 20 | 20 |
| Duljina cjevovoda ako su u vanjskim zidovima, L_j [°C] | $2 \cdot L_L + 0,01625 \cdot L_L \cdot L_W^2$ | $0,025 \cdot L_L \cdot L_W \cdot H_{lev} \cdot N_{lev}$ | $0,55 \cdot L_L \cdot L_W \cdot N_{lev}$ |
| Duljina cjevovoda ako su unutarnjim zidovima, L_j [°C] | $2 \cdot L_L + 0,0325 \cdot L_L \cdot L_W + 6$ | $0,025 \cdot L_L \cdot L_W \cdot H_{lev} \cdot N_{lev}$ | $0,55 \cdot L_L \cdot L_W \cdot N_{lev}$ |

Tablica 8. Aproximacija duljina cjevovoda za jednocjevni sustav grijanja

| Jednocjevni sustav | Dio L_V (od generatora do vertikalala) | Dio L_S (vertikale) | Dio L_A (spojni cjevovodi) |
|--|--|---|---|
| Duljina cjevovoda ako su unutarnjim zidovima, L_j [°C] | $2 \cdot L_L + 0,0325 \cdot L_L \cdot L_W + 6$ | $0,025 \cdot L_L \cdot L_W \cdot H_{lev} \cdot N_{lev} + 2 \cdot (L_L + L_W) \cdot N_{lev}$ | $0,1 \cdot L_L \cdot L_W \cdot N_{lev}$ |

L_L – maksimalna razvijena duljina zgrade ili zone [m]

L_W – maksimalna razvijena širina zgrade ili zone [m]

H_{lev} – visina kata [m]

N_{lev} – broj etaža

Opaska:

- Navedene veličine odnose se samo na dijelove zgrade ili zone koje pokriva jedan krug grijanja
- Posljednja etaža koja nema cjevovode vertikalala ne ubraja se u N_{lev}
- Kod prizemnica se uzima $N_{lev} = 1$ i $H_{lev} = 0,1$ m

3.3.2. Proračun toplinskih gubitaka razvoda PTV-a

3.3.2.1. Proračun toplinskih gubitaka za vrijeme rada cirkulacijske petlje

Toplinski gubici cirkulacijske petlje računaju se prema izrazu:

$$Q_{W,dis,ls} = \frac{1}{1000} \sum_j \Psi_j \cdot (\vartheta_{W,mean} - \vartheta_{W,amb,j}) \cdot (L + L_{equi})_{W,j} \cdot t_{W,uk} \quad [\text{kWh}] \quad (25)$$

gdje su:

Ψ_j – koeficijent toplinskih gubitaka pojedine dionice unutar petlje [W/mK],

$\vartheta_{W,mean}$ – prosječna temperatura vode u sustavu razvoda PTV-a [°C]

$\vartheta_{W,amb,j}$ – temperatura okolišnog zraka pojedine dionice [°C]

$\vartheta_{W,amb,j} = 22$ °C izvan sezone grijanja

$\vartheta_{W,amb,j} = 20$ °C, u sezoni grijanja, za grijani prostor

$\vartheta_{W,amb,j} = 13$ °C u sezoni grijanja, za negrijani prostor

$L_{W,j}$ – duljina dionice petlje [m], iz energetskog pregleda, projektne dokumentacije ili prema Tablica 9.

L_{equi} – ekvivalentna duljina ventila [m]

$t_{W,uk}$ – broj sati u promatranom periodu [h]

$t_{W,uk} = t_W \cdot d_{use,tj} / 7 \cdot d_{mj}$ kod mjesečne metode

$t_{W,uk} = 1$ h kod satne metode

t_W – dnevni broj sati rada cirkulacijske pumpe [h/dan]

$d_{use,tj}$ – broj dana korištenja sustava u tjednu [d/tj]

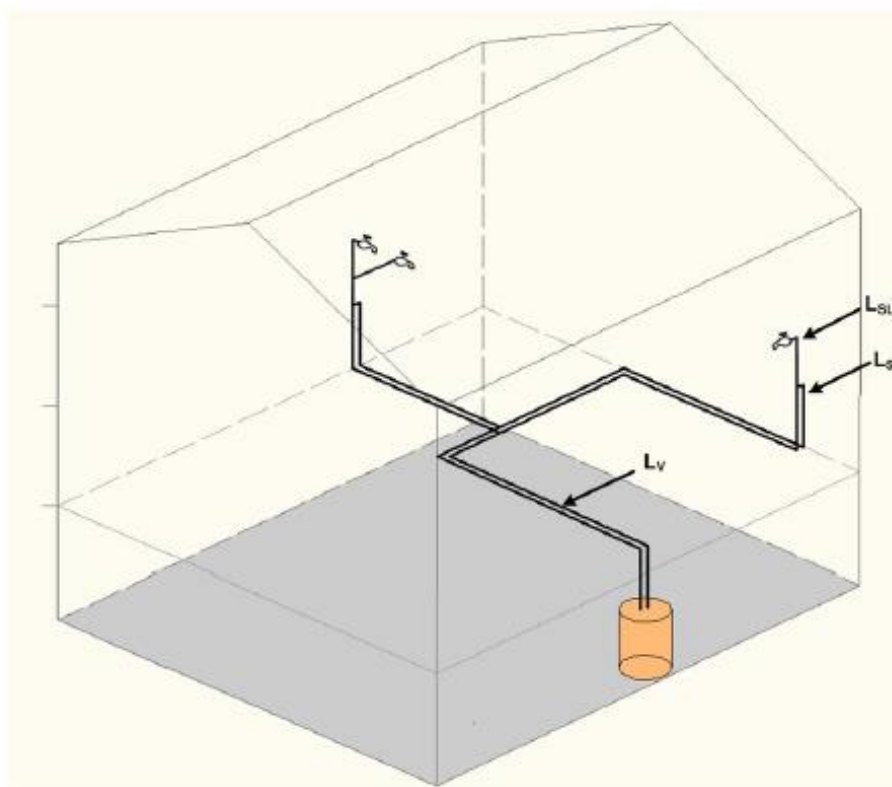
d_{mj} – broj dana u mjesecu [d]

Oznake cjevovoda razvoda PTV-a prema Slika 2.:

L_V – cjevovodi između generatora i vertikalala [m]

L_S – cjevovodi vertikalala [m]

L_{SL} – individualni spojni cjevovodi izvan cirkulacijske petlje [m]



Slika 2. Podjela cjevovoda sustava razvoda PTV-a [1]

Tablica 9. Aproximacija duljine cjevovoda sustava razvoda PTV-a

| Parametar | Dio L_V (od generatora do vertikala) | Dio L_S (vertikale) | Dio L_{SL} (spojni cjevovodi) |
|---|---|---|---|
| Okolišna temperatura izvan sezone grijanja, $\vartheta_{W,amb,j}$ [°C] | 22 | | |
| Okolišna temperatura u sezoni grijanja, $\vartheta_{W,amb,j}$ [°C] | 13 kod negrijanog prostora, 20 kod grijanog | 20 za grijani prostor | |
| Duljina cirkulacijske petlje, $L_{W,j}$ [m] | $2 \cdot L_L + 0,0125 \cdot L_L \cdot L_W$ | $0,075 \cdot L_L \cdot L_W \cdot N_{lev} \cdot H_{lev}$ | / |
| Duljina glavnog razvodnog cjevovoda izvan cirkulacijske petlje, $L_{W,j}$ [m] | $L_L + 0,0625 \cdot L_L \cdot L_W$ | $0,038 \cdot L_L \cdot L_W \cdot N_{lev} \cdot H_{lev}$ | / |
| Duljina spojnih cjevovoda u prostorijama sa zajedničkim zidom, $L_{W,j}$ [m] | / | / | $0,05 \cdot L_L \cdot L_W \cdot N_{lev}$ |
| Duljina individualnih cjevovoda u svim ostalim slučajevima, $L_{W,j}$ [m] | / | / | $0,075 \cdot L_L \cdot L_W \cdot N_{lev}$ |

3.3.2.2. Proračun toplinskih gubitaka cirkulacijske petlje tijekom prekida rada

Toplinsku gubici cirkulacijske petlje – prekid rada, računaju se prema:

$$Q_{W,dis,nom} = \frac{1}{1000} \sum_j \Psi_j \cdot (\vartheta_{W,avg} - \vartheta_{W,amb,j}) \cdot (L + L_{equi})_{W,j} \cdot t_{W,uk} \quad [\text{kWh}] \quad (26)$$

$\vartheta_{W,avg}$ – srednja temperatura tople vode u cirkulacijskoj petlji kada petlja ne radi

3.3.2.3. Proračun ukupnih toplinskih gubitaka sustava razvoda

Ukupni toplinski gubici sustava PTV-a s cirkulacijskom petljom računaju se prema:

$$Q_{W,dis,ls,total} = Q_{W,dis,ls} + Q_{W,dis,nom} \quad [\text{kWh}] \quad (27)$$

Opaska:

Za računanje toplinskih gubitaka cirkulacijske petlje, korištena je aproksimacijska metoda, pošto nisu bili poznati podaci potrebni za izračun svih veličina.

3.4. Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka

Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka sustava razvoda grijanja:

$$Q_{H,dis,rbl} = k_1 \cdot k_2 \cdot Q_{H,dis,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (28)$$

Proračun iskoristivih gubitaka sustava razvoda PTV-a:

$$Q_{W,dis,rbl} = k_1 \cdot k_2 \cdot Q_{W,dis,ls,total} \quad [\text{kWh}] \quad (29)$$

k_1 – udio iskoristivih gubitaka u ukupnim za određenu dionicu [-], ovisno o vrsti prostora

$k_1 = 1$ odnosno 100% ukupnih gubitaka ako dionica prolazi kroz grijani prostor

$k_1 = 0,5$ odnosno 50% ukupnih gubitaka ako prolazi kroz negrijani prostor koji

graniči s grijanim

$k_1 = 0$ odnosno 0% ukupnih gubitaka ako dionica prolazi kroz negrijani prostor koji ne graniči s grijanim

k_2 – udio iskoristivih toplinskih gubitaka u ukupnim za određenu dionicu [-], ovisno o načinu ugradnje

$k_2 = 1$ odnosno 100 % ukupnih gubitaka ako dionica prolazi kroz unutarnji zid ili izvan zida

$k_2 = 0,9$ odnosno 90 % ukupnih gubitaka ako prolazi kroz vanjski zid izoliran izvana

$k_2 = 0,6$ odnosno 60 % ukupnih gubitaka ako prolazi kroz vanjski neizolirani zid

3.5. Proračun pomoćne energije sustava razvoda

U narednim formulama oznaka H vezana je za sustav grijanja, a oznaka W za sustav PTV-a. Projektni pad tlaka sustava razvoda računa se prema formuli:

$$\Delta p_{H,des} = (1 + f_{comp}) \cdot R_{H,max} \cdot L_{H,max} + \Delta p_{H,add} \quad [\text{kPa}] \quad (30)$$

$$\Delta p_{W,des} = (1 + f_{comp}) \cdot R_{W,max} \cdot L_{W,max} + \Delta p_{W,add} \quad [\text{kPa}] \quad (31)$$

gdje su:

f_{comp} – faktor otpora komponenata sustava razvoda [-]

$f_{comp} = 0,3$ za uobičajene razvode

$f_{comp} = 0,4$ za razvode s puno promjena smjera

$R_{HW,max}$ – pad tlaka po duljini cjevovoda [kPa/m]

$L_{H,max}$ – maksimalna udaljenost između generatora i najudaljenijeg ogrjevnog tijela [m]

$L_{W,max}$ – najveća udaljenost između generatora ili spremnika PTV-a do najudaljenije slavine [m]

$\Delta p_{HW,add}$ – dodatni pad tlaka komponenata sustava [kPa], Tablica 10.

Tablica 10. Dodatni pad tlaka sustava razvoda

| Vrsta ogrjevnog tijela | | $\Delta p_{HW,add}$ [kPa] |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Radijator | | 2 |
| Podno grijanje | | 4,5 |
| Kalorimetar | | 10 |
| Tip generatora | | |
| Sa sadržajem vode > 0,15 l/kW | | 1 |
| Sa sadržajem vode ≤ 0,15 [l/kW] | $\Phi_{H,out,max} \geq 35$ kW | $20 \cdot \dot{V}_{des}^2$ |
| | $\Phi_{H,out,max} < 35$ kW | 80 |

Maksimalna udaljenost od generatora do najudaljenijeg ogrjevnog tijela dana je izrazom:

$$L_{H,max} = 2 \cdot \left(L_L + \frac{L_W}{2} + N_{lev} \cdot H_{lev} + l_c \right) \quad [\text{m}] \quad (32)$$

$l_c = 10$ m za dvocijevni sustav

$$l_c = L_L + L_W \quad [\text{m}]$$

Najveća udaljenost između generatora ili spremnika PTV-a do najudaljenije slavine računa se prema:

$$L_{W,max} = 2 \cdot L_L + 2,5 + N_{lev} \cdot H_{lev} \quad [\text{m}] \quad (33)$$

Projektna hidraulička snaga cirkulacijske pumpe računa se prema izrazu:

$$P_{H,hydr,des} = \frac{\Delta p_{H,des} \cdot \dot{V}_{H,des}}{3600} \quad [\text{kW}] \quad (34)$$

$$P_{W,hydr,des} = \frac{\Delta p_{W,des} \cdot \dot{V}_{W,des}}{3600} \quad [\text{kW}] \quad (35)$$

Projektni volumni protok računa se prema:

Sustav grijanja prostora

$$\dot{V}_{H,des} = \frac{\Phi_{em,out}}{1,15 \cdot \Delta \theta_{dis,des}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (36)$$

Cirkulacijska petlja

$$\dot{V}_{W,des} = \frac{Q_{W,dis,ls} + Q_{W,dis,nom}}{1,15 \cdot \Delta\theta_{W,gen} \cdot t_i} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (37)$$

Projektna temperaturna razlika je:

$$\Delta\theta_{dis,des} = \theta_{s,des} - \theta_{r,des} \quad [\text{K}] \quad (38)$$

gdje su:

$\Phi_{em,out}$ – projektno toplinsko opterećenje [kW], ako nije poznato jednako je nazivnoj snazi instaliranih ogrjevnih tijela, odnosno $\Phi_{em,out} = \Phi_{Hemn}$

$Q_{W,dis,ls}$ – toplinski gubici cirkulacijske petlje dok je sustav u pogonu [kW]

$Q_{W,dis,nom}$ – toplinski gubici cirkulacijske petlje kada sustav ne radi [kW]

$\Delta\theta_{W,gen}$ – maksimalna temperaturna razlika kroz generator [K], $\Delta\theta_{W,gen} = 5 \text{ K}$

Potreba za hidrauličkom energijom računa se prema izrazu:

Sustav grijanja prostora

$$W_{H,dis,hydr} = P_{H,hydr,des} \cdot \beta_{H,dis} \cdot t_{H,uk} \cdot f_{HB} \quad [\text{kWh}] \quad (39)$$

Cirkulacijska petlja

$$W_{W,dis,hydr} = P_{W,hydr,des} \cdot t_{W,uk} \cdot f_{HB} \quad [\text{kWh}] \quad (40)$$

$\beta_{H,dis}$ – faktora opterećenja, prema jednadžbi..

$t_{H,uk}$ – vrijeme rada u promatranom periodu

$t_{W,uk}$ – vrijeme rada petlje u promatranom periodu

f_{HB} – korekcijski faktor

$f_{HB} = 1$ za hidraulički uravnotežene sustave

$f_{HB} = 1,15$ za hidraulički neuravnotežene sustave

Faktoru učinkovitosti pumpe ovisi o vrsti pumpe i definiran je jednim od sljedećim izraza:

Za cirkulacijske pumpe definiran je kao:

$$f_{H,e} = \frac{P_{H,ref}}{P_{H,hydr,des}} \quad [-] \quad (41)$$

$$f_{W,e} = \frac{P_{W,ref}}{P_{W,hydr,des}} \quad [-] \quad (42)$$

Gdje se referentna snaga pumpe $P_{HW,ref}$ računa prema:

$$P_{H,ref} = \left(1,7 \cdot P_{H,hydr,des} + 17 \cdot (1 - e^{-0,3 \cdot P_{H,hydr,des}}) \right) \quad [\text{kW}] \quad (43)$$

$$P_{W,ref} = \left(1,7 \cdot P_{W,hydr,des} + 17 \cdot (1 - e^{-0,3 \cdot P_{W,hydr,des}}) \right) \quad [\text{kW}] \quad (44)$$

I vrijedi za $0,001 < P_{HW,hydr,des} < 2,5 \text{ kW}$

Napomena:

U izrazu za proračun referentne snage prema normi

$$P_{HW,ref} = \left(1,7 \cdot P_{HW,hydr,des} + 17 \cdot (1 - e^{-0,3 \cdot P_{HW,hydr,des}}) \right) \cdot 10^{-3} \quad [\text{kW}]$$

nalazi se greška. Izraz nije potrebno dijeliti sa 1000 jer je $P_{HW,hydr,des}$ već izražena u kW.

Faktor učinkovitosti za sve ostale pumpe definiran je izrazom:

$$f_{H,e} = \left(1,25 + \left(\frac{0,2}{P_{H,hydr,des}} \right)^{0,5} \right) \cdot b \quad [-] \quad (45)$$

$$f_{W,e} = \left(1,25 + \left(\frac{0,2}{P_{W,hydr,des}} \right)^{0,5} \right) \cdot b \quad [-] \quad (46)$$

$b = 1$ za pumpe koje rade u projektnoj točki

$b = 2$ za pumpe koje ne rade u projektnoj točki

Za postojeće instalacije, gdje nam je poznata snaga pumpe $P_{el,pmp}$, faktor učinkovitosti može se aproksimirati izrazom:

$$f_{H,e} = \frac{P_{el,pmp}}{P_{H,hydr,des}} \quad [-] \quad (47)$$

$$f_{W,e} = \frac{P_{el,pmp}}{P_{W,hydr,des}} \quad [-] \quad (48)$$

$P_{el,pmp}$ – nazivna snaga postojeće pumpe [kW], pri broju okretaja na kojem radi

Faktor energetskog utroška pumpe računa se prema:

$$\varepsilon_{H,dis} = f_{H,e} \cdot (C_{P1} + C_{P2} \cdot \beta_{H,dis}^{-1}) \cdot \frac{EEI}{0,25} \quad [-] \quad (49)$$

$$\varepsilon_{W,dis} = f_{W,e} \cdot (C_{P1} + C_{P2} \cdot \beta_{W,dis}^{-1}) \cdot \frac{EEI}{0,25} \quad [-] \quad (50)$$

gdje su:

$f_{HW,e}$ – faktor učinkovitosti [-]

C_{P1}, C_{P2} – konstante pumpe ovisne o vrsti regulacije [-],

EEI – oznaka energetske učinkovitosti [-]

$EEI = 0,23$ standardna vrijednost za cirkulacijske pumpe

$EEI = 0,25$ – za sve ostale pumpe

Tablica 11. Konstante pumpi sustava razvoda grijanja prostora

| Regulacija pumpe | C_{P1} | C_{P2} |
|-----------------------|----------|----------|
| Neregulirana | 0,25 | 0,75 |
| Konstantan Δp | 0,75 | 0,25 |
| Promjenjiv Δp | 0,9 | 0,1 |

Tablica 12. Konstante pumpi sustava razvoda PTV-a

| Regulacija pumpe | C_{P1} | C_{P2} |
|------------------|----------|----------|
| Neregulirana | 0,25 | 0,94 |
| Regulirana | 0,5 | 0,63 |

Pomoćna energija

$$W_{H,dis,aux} = W_{H,dis,hydr} \cdot \varepsilon_{H,dis} \quad [\text{kWh}] \quad (51)$$

$$W_{W,dis,aux} = W_{W,dis,hydr} \cdot \varepsilon_{W,dis} \quad [\text{kWh}] \quad (52)$$

Iskoristiva pomoćna energija jednaka je:

$$Q_{H,dis,aux,rbl} = f_{aux,rbl} \cdot W_{H,dis,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (53)$$

$$Q_{W,dis,aux,rbl} = f_{aux,rbl} \cdot W_{W,dis,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (54)$$

gdje su:

$f_{aux,rbl}$ – faktor iskoristivosti pomoćne energije u sustavima razvoda [-]

$f_{aux,rbl} = 0,1$ za izolirane pumpe

$f_{aux,rbl} = 0,25$ za neizolirane pumpe

Vraćena pomoćna energija sustava razvoda:

$$Q_{H,dis,aux,rvd} = (1 - f_{aux,rbl}) \cdot W_{H,dis,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (55)$$

$$Q_{W,dis,aux,rvd} = (1 - f_{aux,rbl}) \cdot W_{W,dis,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (56)$$

4. PRORAČUN SUSTAVA PROIZVODNJE PREMA EN 15316-4-1 [4]

Izlazna toplinska energija iz kotla jednaka je sumi ulaznih toplina u sustav distribucije grijanja i PTV-a:

$$Q_{gen,out} = f_{ctr,ls} \cdot \sum_i Q_{H,dis,in,i} + \sum_j Q_{W,dis,in,j} \quad [\text{kWh}] \quad (57)$$

$Q_{gen,out}$ – izlazna toplina iz generatora [kWh]

$Q_{H,dis,in}$ – ulazna energija u sustav razvoda grijanja [kWh]

$Q_{W,dis,in}$ – ulazna energija u sustav razvoda PTV-a [kWh]

$f_{ctr,ls}$ – kontrolni faktor [-]

$f_{ctr,ls} = 1$ za podne kotlove, regulacija prema vanjskoj temperaturi

$f_{ctr,ls} = 1,03$ za zidne kotlove, regulacija prema vanjskoj temperaturi

$f_{ctr,ls} = 1,06$ za zidne kotlove, regulacija prema unutrašnjoj temperaturi

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu grijanja:

$$Q_{gen,out} = f_{ctr,ls} \cdot \sum_i Q_{H,dis,in,i} \quad [\text{kWh}] \quad (58)$$

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu PTV-a:

$$Q_{gen,out} = \sum_j Q_{W,dis,in,j} \quad [\text{kWh}] \quad (59)$$

Vrijeme upotrebe kotla pojedinog sustava, ako se kotao koristi za grijanje prostora i PTV-a:

$$t_H = \frac{Q_{H,gen,out}}{P_n} \quad [\text{h}] \quad (60)$$

$$t_W = \frac{Q_{W,gen,out}}{P_n} \quad [\text{h}] \quad (61)$$

P_n – nazivna snaga kotla [kW]

Tablica 13. Vrijeme rada pojedine usluge (grijanje prostora ili PTV-a)

| Upotreba generatora | Vrijeme upotrebe za PTV | Vrijeme upotrebe za grijanje |
|---------------------|-------------------------|------------------------------|
| | $t_{W,use}$ | $t_{H,use}$ |
| Grijanje+PTV | $\min(t_{ci}; t_W)$ | $t_{ci} - t_{W,use}$ |
| Grijanje | 0 | t_{ci} |
| PTV | t_{ci} | 0 |
| ne radi | 0 | 0 |

Faktor opterećenja ovisno o razdoblju korištenja pojedine od usluga:

$$\beta_H = \frac{Q_{H,gen,out}}{P_n \cdot t_{H,use}} \quad [-] \quad (62)$$

$$\beta_W = \frac{Q_{W,gen,out}}{P_n \cdot t_{W,use}} \quad [-] \quad (63)$$

Prosječna temperatura vode za grijanje i za PTV:

$$\vartheta_{Hc,mn} = \max(\vartheta_{gen,min}; \vartheta_{H,mean}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (64)$$

$$\vartheta_{Wc,mn} = \max(\vartheta_{gen,min}; \vartheta_{W,mean}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (65)$$

$\vartheta_{gen,min}$ – minimalna radna temperatura kotla [$^{\circ}\text{C}$]

$$\vartheta_{gen,min} = 50 \text{ } ^{\circ}\text{C} \text{ za standardne kotlove}$$

$$\vartheta_{gen,min} = 35 \text{ } ^{\circ}\text{C} \text{ za niskotemperaturne kotlove}$$

$$\vartheta_{gen,min} = 20 \text{ } ^{\circ}\text{C} \text{ za kondenzacijske kotlove}$$

$\vartheta_{H,mean}$ – srednja temperatura vode u sustavu grijanja [$^{\circ}\text{C}$], $\vartheta_{H,mean} = \theta_m$

$\vartheta_{W,mean}$ – srednja temperatura vode u sustavu razvoda PTV-a [$^{\circ}\text{C}$]

4.1. Proračun učinkovitosti i toplinskih gubitaka pri specifičnom opterećenju

4.1.1. Proračun za puno opterećenje

Učinkovitost generatora pri punom opterećenju računa se prema:

$$\eta_{gen,Pn} = \frac{c_1 + c_2 \cdot \log P_n}{100} \quad [-] \quad (66)$$

c_1, c_2 – parametri za izračun učinkovitosti kotla [-]

Korigirana učinkovitost:

$$\eta_{gen,Pn,corr} = \eta_{gen,Pn} + \frac{f_{corr,Pn}}{100} \cdot (\vartheta_{gen,test,Pn} - \vartheta_{Hc,mn}) \quad [-] \quad (67)$$

$$\eta_{gen,Pn,corr} = \eta_{gen,Pn} + \frac{f_{corr,Pn}}{100} \cdot (\vartheta_{gen,test,Pn} - \vartheta_{Wc,mn}) \quad [-] \quad (68)$$

$f_{corr,Pn}$ – korekcijski faktor pri punom opterećenju [%/°C]

$\vartheta_{gen,test,Pn}$ – testna prosječna temperatura pri punom opterećenju [°C]

Korigirana vrijednost toplinskog gubitka generatora

$$P_{H,gen,ls,Pn,corr} = \frac{f_{H_s/H_i} - \eta_{gen,Pn,corr}}{\eta_{gen,Pn,corr}} \cdot P_n \quad [\text{kW}] \quad (69)$$

$$P_{W,gen,ls,Pn,corr} = \frac{f_{H_s/H_i} - \eta_{gen,Pn,corr}}{\eta_{gen,Pn,corr}} \cdot P_n \quad [\text{kW}] \quad (70)$$

f_{H_s/H_i} – faktor konverzije goriva

Tablica 14. Faktori konverzije goriva

| Izvor energije | | f_{H_s/H_i} |
|---------------------|--------------------------------------|---------------|
| Gorivo | Lož ulje | 1,06 |
| | Prirodni plin | 1,11 |
| | Tekući naftni plin | 1,09 |
| | Antracit | 1,04 |
| | Lignit | 1,07 |
| | Drvo | 1,08 |
| Električna energija | Mješavina izvora električne energije | 1 |

4.1.2. Proračun za djelomično opterećenje

Snaga generatora pri djelomičnom opterećenju iznosi:

$$P_{int} = \beta_{int} \cdot P_n \quad [\text{kW}] \quad (71)$$

β_{int} – faktor djelomičnog opterećenja

Učinkovitost generatora računa se prema izrazu:

$$\eta_{gen,Pint} = \frac{c_3 + c_4 \cdot \log P_n}{100} \quad [-] \quad (72)$$

c_3, c_4 – parametri za proračun učinkovitosti generatora [-]

Korigirana učinkovitost:

$$\eta_{gen,Pint,corr} = \eta_{gen,Pint} + \frac{f_{corr,Pint}}{100} \cdot (\vartheta_{gen,test,Pint} - \vartheta_{Hc,mn}) \quad [\text{kW}] \quad (73)$$

$$\eta_{gen,Pint,corr} = \eta_{gen,Pint} + \frac{f_{corr,Pint}}{100} \cdot (\vartheta_{gen,test,Pint} - \vartheta_{Wc,mn}) \quad [\text{kW}] \quad (74)$$

$f_{corr,Pint}$ – korekcijski faktor pri djelomičnom opterećenju [%/°C],

$\vartheta_{gen,test,Pint}$ – prosječna testna temperatura pri djelomičnom opterećenju [°C],

Korigirani toplinski gubici generatora:

$$P_{H,gen,ls,Pint,corr} = \frac{f_{H_s/H_i} - \eta_{gen,Pint,corr}}{\eta_{gen,Pint,corr}} \cdot P_{int} \quad [\text{kW}] \quad (75)$$

$$P_{W,gen,ls,Pint,corr} = \frac{f_{H_s/H_i} - \eta_{gen,Pint,corr}}{\eta_{gen,Pint,corr}} \cdot P_{int} \quad [\text{kW}] \quad (76)$$

4.1.3. Proračun za stanje pripravnosti generatora

Toplinski gubici u stanju pripravnosti računaju se prema:

$$f_{gen,ls,P0} = \frac{c_5 + P_n^{c_6}}{100} \quad [-] \quad (77)$$

c_5, c_6 – parametri za izračun učinkovitosti generatora [-]

Korigirana vrijednost toplinskih gubitaka generatora:

$$P_{H,gen,ls,P0,corr} = \frac{P_n}{\eta_{gen,Pn}} \cdot f_{gen,ls,P0} \cdot f_{\frac{H_s}{H_i}} \cdot \left(\frac{\vartheta_{Hc,mn} - \vartheta_{brm}}{\vartheta_{gen,test,P0} - 20} \right)^{1,25} \quad [\text{kW}] \quad (78)$$

$$P_{W,gen,ls,P0,corr} = \frac{P_n}{\eta_{gen,Pn}} \cdot f_{gen,ls,P0} \cdot f_{\frac{H_s}{H_i}} \cdot \left(\frac{\vartheta_{Wc,mn} - \vartheta_{brm}}{\vartheta_{gen,test,P0} - 20} \right)^{1,25} \quad [\text{kW}] \quad (79)$$

ϑ_{brm} – temperatura prostorije u kojoj se nalazi generator [°C], Tablica 15.

$\vartheta_{gen,test,P0}$ – prosječna testna temperatura pri nultom opterećenju [°C]

4.2. Proračun pomoćne energije

Pomoćna energija pri punom, djelomičnom i nultom opterećenju računa se prema:

$$P_{aux,Pn} = \frac{c_7 + c_8 \cdot (P_n)^n}{1000} \quad [\text{kW}] \quad (80)$$

$$P_{aux,Pint} = \frac{c_7 + c_8 \cdot (P_n)^n}{1000} \quad [\text{kW}] \quad (81)$$

$$P_{aux,P0} = \frac{c_7 + c_8 \cdot (P_n)^n}{1000} \quad [\text{kW}] \quad (82)$$

c_7, c_8, n – parametri za izračun potrošnje pomoćne energije [-]

4.3. Proračun učinkovitosti, gubitaka i pomoćne energije pri stvarnom opterećenju

Za $0 \leq \beta_{HW} \leq \beta_{int}$

Toplinski gubici računaju se prema:

$$P_{H,gen,ls,Px} = \frac{\beta_H}{\beta_{int}} \cdot (P_{H,gen,ls,Pint,corr} - P_{H,gen,ls,P0,corr}) + P_{H,gen,ls,P0,corr} \quad [\text{kW}] \quad (83)$$

$$P_{W,gen,ls,Px} = \frac{\beta_W}{\beta_{int}} \cdot (P_{W,gen,ls,Pint,corr} - P_{W,gen,ls,P0,corr}) + P_{W,gen,ls,P0,corr} \quad [\text{kW}] \quad (84)$$

Pomoćna energija računa se prema:

$$P_{H,aux,Px} = \frac{\beta_H}{\beta_{int}} \cdot (P_{H,aux,Pint} - P_{H,aux,P0}) + P_{H,aux,P0} \quad [\text{kW}] \quad (85)$$

$$P_{W,aux,Px} = \frac{\beta_W}{\beta_{int}} \cdot (P_{W,aux,Pint} - P_{W,aux,P0}) + P_{W,aux,P0} \quad [\text{kW}] \quad (86)$$

Za $\beta_{int} \leq \beta_{HW} \leq 1$

Toplinski gubici računaju se prema izrazima:

$$P_{H,gen,ls,Px} = \frac{\beta_H - \beta_{int}}{1 - \beta_{int}} \cdot (P_{H,gen,ls,Pn,corr} - P_{H,gen,ls,Pint,corr}) + P_{H,gen,ls,Pint,corr} \quad [\text{kW}] \quad (87)$$

$$P_{W,gen,ls,Px} = \frac{\beta_W - \beta_{int}}{1 - \beta_{int}} \cdot (P_{W,gen,ls,Pn,corr} - P_{W,gen,ls,Pint,corr}) + P_{W,gen,ls,Pint,corr} \quad [\text{kW}] \quad (88)$$

Pomoćna energija računa se prema:

$$P_{H,aux,Px} = \frac{\beta_H - \beta_{Pint}}{1 - \beta_{Pint}} \cdot (P_{H,aux,Pn} - P_{H,aux,Pint}) + P_{H,aux,Pint} \quad [\text{kW}] \quad (89)$$

$$P_{W,aux,Px} = \frac{\beta_W - \beta_{Pint}}{1 - \beta_{Pint}} \cdot (P_{W,aux,Pn} - P_{W,aux,Pint}) + P_{W,aux,Pint} \quad [\text{kW}] \quad (90)$$

Toplinski gubici kada se uzme u obzir vrijeme rada pojedinog sustava (vrijeme korištenja):

$$Q_{H,gen,ls} = P_{H,gen,ls,Px} \cdot t_{H,use} \quad [\text{kWh}] \quad (91)$$

$$Q_{W,gen,ls} = P_{W,gen,ls,Px} \cdot t_{W,use} \quad [\text{kWh}] \quad (92)$$

Pomoćna energija kada se uzme u obzir vrijeme korištenja:

$$W_{H,gen} = P_{H,aux,Px} \cdot t_{H,use} \quad [\text{kWh}] \quad (93)$$

$$W_{W,gen} = P_{W,aux,Px} \cdot t_{W,use} \quad [\text{kWh}] \quad (94)$$

Toplinski gubici kroz ovojnicu generatora:

$$Q_{H,gen,ls,env,rbl} = P_{H,gen,ls,P0,corr} \cdot (1 - f_{brm}) \cdot f_{env} \cdot t_{H,use} \quad [\text{kWh}] \quad (95)$$

$$Q_{W,gen,ls,env,rbl} = P_{W,gen,ls,P0,corr} \cdot (1 - f_{brm}) \cdot f_{env} \cdot t_{W,use} \quad [\text{kWh}] \quad (96)$$

f_{env} – dio toplinskih gubitaka tijekom stanja pripravnosti [-]

$$f_{env} = 0,5 \text{ za atmosferske kotlove}$$

$$f_{env} = 0,75 \text{ za kotlove s ventilatorom}$$

f_{brm} – faktor smanjenja temperature [-], Tablica 15.

Vraćena pomoćna energija:

$$Q_{H,gen,aux,rvd} = W_{H,gen} \cdot f_{aux,rvd} \quad [\text{kWh}] \quad (97)$$

$$Q_{W,gen,aux,rvd} = W_{W,gen} \cdot f_{aux,rvd} \quad [\text{kWh}] \quad (98)$$

$f_{aux,rvd}$ – dio pomoćne energije predan podsustavu razvoda

$$f_{aux,rvd} = 0,75$$

Iskoristiva pomoćna energija:

$$Q_{H,gen,aux,rbl} = W_{H,gen} \cdot (1 - f_{brm}) \cdot f_{aux,rbl} \quad [\text{kWh}] \quad (99)$$

$$Q_{W,gen,aux,rbl} = W_{W,gen} \cdot (1 - f_{brm}) \cdot f_{aux,rbl} \quad [\text{kWh}] \quad (100)$$

$f_{aux,rbl}$ – dio pomoćne energije predan grijanom prostoru

$$f_{aux,rbl} = 1 - f_{aux,rvd}$$

Tablica 15. Faktor smanjenja temperature i temperatura prostora gdje se nalazi kotao

| Prostor u kojem se nalazi kotao | f_{brm} [-] | ϑ_{brm} [°C] |
|---------------------------------|---------------|------------------------|
| Vanjski prostor | 1 | ϑ_e |
| Kotlovnica | 0,3 | 13 |
| Ispod krova | 0,2 | 5 |
| Grijani prostor | 0 | 20 |

5. PRORAČUN SPREMNIKA PREMA NORMI EN 15316-5 [5]

5.1. Proračun toplinskih gubitaka spremnika PTV-a

Toplinski gubici spremnika računaju se prema izrazu:

$$Q_{sto,ls} = f_{sto,dis,ls} \cdot \frac{H_{sto,ls}}{1000} \cdot (\vartheta_{sto,set,on} - \vartheta_{sto,amb}) \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad (101)$$

gdje su:

$f_{sto,dis,ls}$ – korekcijski faktor gubitaka tijekom stanja pripravnosti, govori nam kakav učinak imaju toplinski gubici na cjevovod i dijelove povezane s cjevovodom (projektna vrijednost je 1 ili 3, ovisno o graničnim uvjetima sustava spremnika)

$f_{sto,dis,ls} = 1$ za idealan slučaj

$f_{sto,dis,ls} = 3$ za uobičajeni slučaj s kojim se susrećemo u praksi

$H_{sto,ls}$ – koeficijent gubitaka topline tijekom stanja pripravnosti [W/K]

$\vartheta_{sto,set,on}$ – zadana temperatura spremnika, temperatura na kojoj se gasi pomoćni grijač [°C]

$\vartheta_{sto,amb}$ – okolišna temperatura prostorije u kojoj se nalazi spremnik [°C]

t_{ci} – vrijeme rada u promatranom periodu [°C]

Koeficijent gubitaka definiran je sljedećim izrazom i ovisi o vrsti spremnika

$$H_{sto,ls} = \frac{1000}{c_{sto,4} \cdot c_{sto,5}} \cdot (c_{sto,1} + c_{sto,2} \cdot (V_{sto,tot})^{c_{sto,3}}) \quad [\text{W/K}] \quad (102)$$

$c_{sto,1}, c_{sto,2}, c_{sto,3}, c_{sto,4}, c_{sto,5}$ – parametri potrebni za izračun gubitaka spremnika tijekom stanja pripravnosti, Tablica 16.

$V_{sto,tot}$ – volumen spremnika [l]

Tablica 16. Parametri za proračun toplinskih gubitaka spremnika

| Vrsta spremnika | $c_{sto,1}$ | $c_{sto,2}$ | $c_{sto,3}$ | $c_{sto,4}$ | $c_{sto,5}$ |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Horizontalni | 0,939 | 0,0104 | 1 | 45 | 24 |
| Vertikalni $V \geq 75$ l | 0,224 | 0,0663 | 2/3 | 45 | 24 |
| Vertikalni $V < 75$ l | 0,1474 | 0,0719 | 2/3 | 45 | 24 |
| Solarni spremnik | 0 | 0,16 | 1/2 | 1000 | 1 |

5.2. Proračun konačne temperature vode unutar spremnika

Temperatura vode unutar spremnika nakon oduzimanja energije za potrebe PTV-a i toplinske gubitke:

$$\vartheta_{sto,tmp1} = \vartheta_{sto,t-1} + \frac{(-Q_{W,out} - Q_{sto,dis,ls} - Q_{W,dis,noconsum}) \cdot 10^6}{\rho_w \cdot C_{p,w} \cdot V_{sto,tot}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (103)$$

gdje su:

$\vartheta_{sto,t-1}$ – temperatura vode unutar spremnika iz prethodnog sata [$^{\circ}\text{C}$]

$Q_{W,out}$ – energija isporučena sustavu PTV-a [kWh]

$Q_{sto,dis,ls}$ – toplinski gubici spremnika [kWh]

$Q_{W,dis,noconsum}$ – toplinski gubitak cirkulacijske petlje tijekom prekida rada [kWh]

ρ_w – gustoća vode [kg/m^3]

$C_{p,w}$ – specifični toplinski kapacitet vode [Wh/(kgK)]

Isporučena energija sustavu PTV-a definirana je kao:

$$Q_{W,out} = \min(Q_{W,sto,out,req}; \rho_w \cdot C_{p,w} \cdot V_{sto,tot} \cdot (\vartheta_{sto,t-1} - \vartheta_{W,cold})/10^6) \quad [\text{kWh}] \quad (104)$$

$Q_{W,sto,out,req}$ - energija koju je potrebno isporučiti sustavu PTV-a [kWh]

$\vartheta_{W,cold}$ – temperatura hladne vode [$^{\circ}\text{C}$]

Ako je $\vartheta_{sto,t-1} < \vartheta_{W,out,min}$ vrijedi $Q_{W,out} = 0$

Energija koju je potrebno isporučiti sustavu PTV-a nekim drugim sustavom:

$$Q_{W,sto,nsup} = Q_{W,sto,out,req} - Q_{W,out} \quad [\text{kWh}] \quad (105)$$

Temperatura vode unutar spremnika nakon oduzimanja energije za potrebe grijanja prostora:

$$\vartheta_{sto,tmp2} = \vartheta_{sto,tmp1} - \frac{Q_{H,out} \cdot 10^6}{\rho_w \cdot C_{p,w} \cdot V_{sto,tot}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (106)$$

gdje se $Q_{H,out}$ definira kao:

$$Q_{H,out} = \min \left(Q_{H,sto,out,req}; \frac{\rho_w \cdot C_{p,w} \cdot V_{sto,tot} \cdot (\vartheta_{sto,tmp1} - \vartheta_{H,out,min})}{10^6} + \phi_{sto,BU} \cdot t_{ci} \right) \quad [\text{kWh}] \quad (107)$$

$Q_{H,sto,out,req}$ – energija koju je potrebno isporučiti sustavu grijanja prostora [kWh]

$\vartheta_{H,out,min}$ – minimalna temperatura potrebna za grijanje prostora [°C]

$\phi_{sto,BU}$ – nazivna snaga pomoćnog grijača, odnosno kotla [kW]

$Q_{H,out}$ – energija isporučena sustavu grijanja prostora [kWh]

Ako je $Q_{H,out} < 0$ $Q_{H,out} = 0$

Energija koju je potrebno isporučiti sustavu grijanja nekim drugim sustavom:

$$Q_{H,sto,nsup} = Q_{H,sto,out,req} - Q_{H,out} \quad [\text{kWh}] \quad (108)$$

Potrebna energija pomoćnog grijača:

$$Q_{H,sto,bu,in,tmp} = \frac{\rho_w \cdot C_{p,w} \cdot V_{sto,tot} \cdot (\vartheta_{sto,set,on} - \vartheta_{sto,tmp2})}{10^6} \quad [\text{kWh}] \quad (109)$$

Ako je $\vartheta_{sto,tmp2} > \vartheta_{sto,set,on,bu}$ onda je $Q_{H,sto,bu,in,tmp} = 0$

Stvarna energija koju predaje pomoćni grijač iznosi:

$$Q_{H,sto,bu,in} = \min \left(Q_{H,sto,bu,in,tmp}; \phi_{sto,BU} \cdot t_{ci} \right) \quad [\text{kWh}] \quad (110)$$

Konačna temperatura vode unutar spremnika računa se prema:

$$\vartheta_{sto,t} = \vartheta_{sto,tmp2} + \frac{Q_{H,sto,bu,in} \cdot 10^6}{\rho_w \cdot C_{p,w} \cdot V_{sto,tot}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (111)$$

5.3. Proračun srednje i povratne temperature vode unutar generatora

Temperatura povratne vode u generator:

$$\vartheta_{HC,RT} = \max \left(\vartheta_{HC,mn} - \frac{Q_{H,sto,bu,in}}{\dot{m}_{bu,n} \cdot C_{p,w} \cdot CONN}; \vartheta_{sto,t} \right) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (112)$$

gdje su:

$\vartheta_{Hc,mn}$ – srednja temperatura vode unutar generatora [°C]

$\dot{m}_{bu,n}$ – nazivni maseni protok vode rezervnog grijača [kg/s]

CONN – opisuje način na koji je rezervni grijač povezan sa spremnikom

CONN = 1 u slučaju direktne veze

CONN = 2 kada je grijač povezan indirektno sa spremnikom (preko izmjenjivača topline)

Srednja temperatura vode koja prolazi kroz generatora:

$$\vartheta_{Hc,mn} = \vartheta_{sto,t} + \Delta\vartheta_{exh} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (113)$$

$$\Delta\vartheta_{exh} = \frac{Q_{H,sto,bu,in} \cdot 10^3}{H_{exh} \cdot t_{ci}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (114)$$

$\Delta\vartheta_{exh}$ – efektivna razlika temperature na izmjenjivaču [°C]

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

6. PRORAČUN ISPORUČENE I PRIMARNE ENERGIJE [1]

6.1. Proračun isporučene energije

Isporučena energija sustavu (kada imamo jedan generator) računa se prema sljedećem izrazu:

$$E_{del} = E_{H,del} + E_{W,del} \quad [\text{kWh}] \quad (115)$$

$$E_{H,del} = Q_{H,gen,in} + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) \quad [\text{kWh}] \quad (116)$$

$$E_{H,del} = Q_{H,gen,in} + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) \quad [\text{kWh}] \quad (117)$$

$E_{H,del}$ – isporučena energija sustavu grijanja prostora [kWh]

$E_{W,del}$ – isporučena energija sustavu grijanja PTV-a [kWh]

6.2. Proračun primarne energije

Primarna energija računa se prema izrazu:

$$E_{prim} = E_{H,prim} + E_{W,prim} \quad [\text{kWh}] \quad (118)$$

$$E_{H,prim} = Q_{H,gen,in} \cdot f_{p,i} + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (119)$$

$$E_{W,prim} = Q_{W,gen,in} \cdot f_{p,i} + (W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (120)$$

$f_{p,i}$ – faktor primarne energije za i-ti izvor [-]

$$f_{p,i} = 1,095 \text{ za prirodni plin, prema [7]}$$

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

$$f_{p,el} = 1,614, \text{ prema [7]}$$

7. OPIS SUSTAVA I TIJEK PRORAČUNA

7.1. Opis zgrade i tehničkog sustava

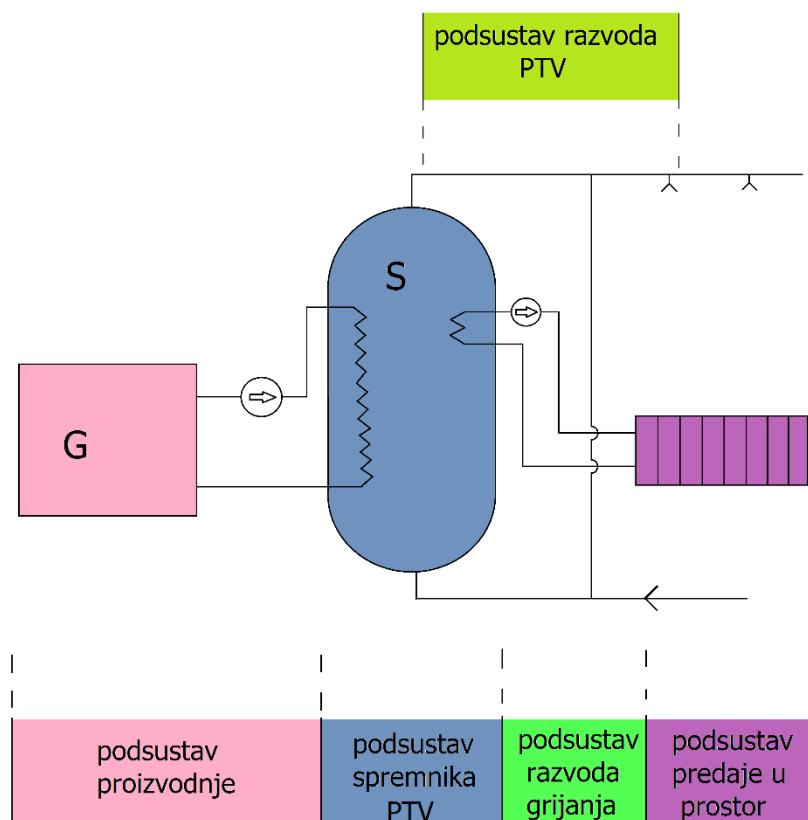
Proračun se vršio za stan koji zadovoljava nZEB standard jedino u pogledu godišnje potrebne energije za grijanje. Pošto se sustav nije mogao prilagoditi svim uvjetima nZEB standarda, on se u ovom slučaju zanemario.

Stan je smješten na području kontinentalne Hrvatske, pa su prema tome klimatski podaci preuzeti iz referentne postaje Zagreb, Maksimir.

Korisna površina zgrade iznosi 75,32 m², stan je jednoetažni i predstavlja jednu zonu, jer su sve prostorije u stanu grijane. Unutarnja projektna temperatura tijekom sezone grijanja iznosi 20 °C.

Grijanje je etažno. Sustav proizvodnje energije predstavlja kombinirani plinski kotao, snage 24 kW te se nalazi u grijanom prostoru. Kotao je spojen na spremnik PTV-a preko izmjenjivača topline i koristi se za grijanje prostora i PTV-a. Sustav je zamišljen tako da se voda iz spremnika koristi za potrebe korištenja PTV-a i grijanje prostora, odnosno sustav razvoda grijanja spojen je na spremnik preko izmjenjivača topline. Veličina spremnika je 200 l te se također nalazi u grijanom prostoru. Tijekom sezone grijanja, temperatura vode u spremniku iznosi 75 °C, a temperatura paljenja pomoćnog grijača iznosi 70 °C. Izvan sezone grijanja, temperatura vode u spremniku iznosi 60 °C, a pomoćni grijač se pali pri 55 °C. Sustav razvoda grijanja je dvocijevni, a cijevi nisu toplinski izolirane i nalaze se izvan zidova, u grijanom prostoru. Temperaturni režim grijanja je 70/55 °C. Ogrjevna tijela su radijatori, ukupne snage 10,9 kW, smješteni na vanjskim zidovima. Sustav nije dinamički balansiran. Temperatura unutar prostora regulirana je pomoću sobnog termostata, smještenog u referentnoj prostoriji. Pošto imamo spremnik, sustav razvoda PTV-a ima cirkulacijsku petlju. Cijevi PTV-a su izolirane i pretpostavka je da je debljina izolacije približno jednaka polovici vanjskog promjera cijevi.

Potrebna godišnja energija za grijanje iznosi 4450,17 kWh, dok je potrebna toplinska energija za pripremu PTV-a 12,5 kWh/m²a.



Slika 3. Pojednostavljena shema zadanog termotehničkog sustava

7.2. Tijek proračuna

Proračun se radio za karakterističan dan u mjesecu, prema satnoj metodi, nakon čega je dobiveni rezultat pomnožen s brojem dana u mjesecu. Pošto je za ulazni podatak u proračun potrebno znati toplinsku energiju na izlazu iz podsustav predaje topline, $Q_{em,out}$ koja nam nije poznata, u prvom koraku pretpostavljamo da je ona jednaka toplinskoj energiji potrebnoj za grijanje, $Q_{H,nd}$. Nakon što se izvrši cijeli proračun za sve podsustave u pojedinom satu te dobe vrijednosti gubitaka $\sum_i Q_{ls,rvd,i}$, vrijednost $Q_{em,out}$ se računa iterativno prema jednadžbi broj (3).

Podaci $Q_{H,nd}$ preuzeti su iz računalnog programa MGIPU Energetski Certifikator.

Vrijednosti $Q_{H,nd,inc}$ prvotno su također preuzete iz MGIPU-a, međutim, zbog upitne točnosti dobivenih vrijednosti, izračunate su prema preporuci mentora po formuli:

$$Q_{H,nd,inc} = Q_{H,nd} \cdot \left(\frac{\theta_{int,inc} - \theta_{e,avg}}{\theta_{int,ini} - \theta_{e,avg}} \right) \quad [\text{kWh}] \quad (121)$$

Proračun spremnika radio se prema B metodi norme, prema kojoj je temperatura unutar spremnika uniformna, odnosno nema temperaturne stratifikacije. Za proračun spremnika PTV-a je potrebno znati temperaturu vode unutar spremnika iz prethodnog sata. Kako nam taj podatak također nije dostupan, u prvom koraku pretpostavljamo da je jednak zadanoj temperaturi vode unutar spremnika. Nakon što izračunamo konačne temperature unutar spremnika, dobivene nakon oduzimanja energija potrebnih za grijanje PTV-a i prostora za svaki sat u danu, početna temperatura u prvom satu jednaka je temperaturi vode unutar spremnika na kraju dana.

8. REZULTATI PRORAČUNA

U sljedećim tablicama dan je prikaz dobivenih vrijednosti po pojedinom podsustavu.

8.1. Podsustav predaje topline zračenjem

Tablica 17. Rezultati proračuna podsustava predaje topline zračenjem

| Mjesec | $Q_{em,out}$ [kWh] | $Q_{em,ls}$ [kWh] | $Q_{em,in}$ [kWh] | $W_{em,aux}$ [kWh] |
|----------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Siječanj | 854,87 | 165,38 | 1020,25 | 0,00 |
| Veljača | 448,33 | 117,98 | 566,31 | 0,00 |
| Ožujak | 193,13 | 70,72 | 263,85 | 0,00 |
| Travanj | 12,81 | 14,87 | 27,67 | 0,00 |
| Svibanj | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Lipanj | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Srpanj | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Kolovoz | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Rujan | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Listopad | 13,13 | 21,72 | 34,85 | 0,00 |
| Studeni | 116,21 | 81,40 | 197,61 | 0,00 |
| Prosinac | 559,35 | 158,97 | 718,32 | 0,00 |
| Godišnje | 2197,84 | 631,03 | 2828,87 | 0,00 |

Vidimo da je vrijednost pomoćne energije jednaka nuli tijekom cijele godine, jer sustav ne koristi ventilatore niti uređaje za regulaciju.

8.2. Podsustav razvoda

Tablica 18. Prosječne vrijednosti srednje temperature ogrjevnog medija

| Mjesec | θ_m [°C] |
|----------|-----------------|
| Siječanj | 29,84 |
| Veljača | 27,43 |
| Ožujak | 26,07 |
| Travanj | 23,80 |
| Svibanj | - |
| Lipanj | - |
| Srpanj | - |
| Kolovoz | - |
| Rujan | - |
| Listopad | 24,21 |
| Studeni | 25,35 |
| Prosinac | 30,18 |

Tablica 19. Rezultati proračuna podsustava razvoda grijanja prostora

| Mjesec | $Q_{H,dis,ls}$ [kWh] | $Q_{H,dis,rbl}$ [kWh] | $W_{H,dis,aux}$ [kWh] | $Q_{H,dis,aux,rbl}$ [kWh] | $Q_{H,dis,aux,rvd}$ [kWh] | $Q_{H,dis,in}$ [kWh] |
|----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Siječanj | 114,54 | 114,542 | 6,321 | 0,632 | 5,689 | 1129,109 |
| Veljača | 67,99 | 67,989 | 4,466 | 0,447 | 4,097 | 630,282 |
| Ožujak | 34,10 | 34,101 | 3,099 | 0,310 | 2,789 | 295,166 |
| Travanj | 4,38 | 4,379 | 0,741 | 0,074 | 0,667 | 31,386 |
| Svibanj | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Lipanj | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Srpanj | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Kolovoz | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Rujan | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Listopad | 5,63 | 5,630 | 1,020 | 0,102 | 0,918 | 39,558 |
| Studeni | 28,30 | 28,301 | 3,474 | 0,347 | 3,126 | 222,786 |
| Prosinac | 87,46 | 87,461 | 6,246 | 0,625 | 5,621 | 801,264 |
| Godišnje | 342,40 | 342,40 | 25,37 | 2,54 | 22,91 | 3149,55 |

Iskoristivi toplinski gubici podsustava razvoda grijanja jednaki su ukupnim toplinskim gubicima zbog toga što se cijevi nalaze u grijanom prostoru i smještene su izvan zidova.

Tablica 20. Rezultati proračuna podsustava razvoda PTV-a

| Mjesec | $Q_{W,dis,ls,total}$ [kWh] | $Q_{W,dis,rbl}$ [kWh] | $W_{W,dis,aux}$ [kWh] | $W_{W,dis,aux,rbl}$ [kWh] | $Q_{W,dis,aux,rvd}$ [kWh] | Q_W [kWh] | $Q_{W,dis,in}$ [kWh] |
|----------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------|-------------------------|
| Siječanj | 136,755 | 136,755 | 0,191 | 0,048 | 0,143 | 79,963 | 216,575 |
| Veljača | 123,521 | 123,521 | 0,173 | 0,043 | 0,129 | 72,225 | 195,616 |
| Ožujak | 136,755 | 136,755 | 0,191 | 0,048 | 0,143 | 79,963 | 216,575 |
| Travanj | 132,343 | 132,343 | 0,185 | 0,046 | 0,139 | 77,384 | 209,588 |
| Svibanj | 125,616 | 125,616 | 0,175 | 0,044 | 0,132 | 79,963 | 205,447 |
| Lipanj | 121,563 | 121,563 | 0,170 | 0,042 | 0,127 | 77,384 | 198,820 |
| Srpanj | 125,616 | 125,616 | 0,175 | 0,044 | 0,132 | 79,963 | 205,447 |
| Kolovoz | 125,616 | 125,616 | 0,175 | 0,044 | 0,132 | 79,963 | 205,447 |
| Rujan | 121,563 | 121,563 | 0,170 | 0,042 | 0,127 | 77,384 | 198,820 |
| Listopad | 136,755 | 136,755 | 0,191 | 0,048 | 0,143 | 79,963 | 216,575 |
| Studen | 132,343 | 132,343 | 0,185 | 0,046 | 0,139 | 77,384 | 209,588 |
| Prosinac | 136,755 | 136,755 | 0,191 | 0,048 | 0,143 | 79,963 | 216,575 |
| Godišnje | 1555,20 | 1555,20 | 2,17 | 0,54 | 1,63 | 941,50 | 2495,07 |

Iskoristivi gubici podsustava razvoda grijanja također su jednaki ukupnim toplinskim gubicima zbog načina smještaja cjevovoda unutar prostora.

8.3. Podsustav proizvodnje energije

Tablica 21. Rezultati proračuna podsustava proizvodnje

| Mjesec | $Q_{gen,out}$ [kWh] | $Q_{gen,ls}$ [kWh] | $Q_{gen,ls,env,rbl}$ [kWh] | $W_{gen,aux}$ [kWh] | $Q_{gen,aux,rbl}$ [kWh] | $Q_{gen,aux,rvd}$ [kWh] | $Q_{gen,in}$ [kWh] |
|----------|------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Siječanj | 1526,49 | 684,97 | 260,48 | 22,60 | 5,65 | 16,95 | 2194,50 |
| Veljača | 965,83 | 471,09 | 230,19 | 10,83 | 2,71 | 8,12 | 1428,80 |
| Ožujak | 642,51 | 565,97 | 248,24 | 15,98 | 3,99 | 11,98 | 1196,49 |
| Travanj | 324,36 | 513,06 | 235,02 | 13,64 | 3,31 | 9,92 | 819,61 |
| Svibanj | 290,55 | 353,80 | 157,95 | 13,34 | 3,33 | 10,00 | 634,34 |
| Lipanj | 281,17 | 342,39 | 152,86 | 12,91 | 3,23 | 9,68 | 613,88 |
| Srpanj | 290,55 | 353,80 | 157,95 | 13,34 | 3,33 | 10,00 | 634,34 |
| Kolovoz | 290,55 | 353,80 | 157,95 | 13,34 | 3,33 | 10,00 | 634,34 |
| Rujan | 281,17 | 342,39 | 152,86 | 12,91 | 3,23 | 9,68 | 613,88 |
| Listopad | 385,54 | 523,97 | 243,97 | 13,84 | 3,51 | 10,54 | 904,71 |
| Studeni | 524,46 | 526,84 | 235,17 | 14,73 | 3,68 | 11,05 | 1040,25 |
| Prosinac | 1178,85 | 639,41 | 256,13 | 19,99 | 5,00 | 14,99 | 1805,84 |
| Godišnje | 6982,03 | 5671,49 | 2488,76 | 177,43 | 44,31 | 132,92 | 12521,01 |

8.4. Podsustav spremnika

Tablica 22. Rezultati proračuna podsustava spremnika

| Mjesec | $Q_{sto,ls}$ [kWh] | $Q_{sto,ls,rbl}$ [kWh] | $Q_{H,sto,out,req}$ [kWh] | $Q_{W,sto,out,req}$ [kWh] | $Q_{H,sto,bu,in,tmp}$ [kWh] |
|----------|-----------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Siječanj | 94,40 | 94,40 | 1129,11 | 216,57 | 1440,08 |
| Veljača | 85,26 | 85,26 | 630,28 | 195,62 | 911,16 |
| Ožujak | 94,40 | 94,40 | 295,17 | 216,57 | 606,14 |
| Travanj | 91,35 | 91,35 | 31,39 | 209,59 | 357,41 |
| Svibanj | 68,65 | 68,65 | 0,00 | 205,45 | 274,10 |
| Lipanj | 66,44 | 66,44 | 0,00 | 198,82 | 265,26 |
| Srpanj | 68,65 | 68,65 | 0,00 | 205,45 | 274,10 |
| Kolovoz | 68,65 | 68,65 | 0,00 | 205,45 | 274,10 |
| Rujan | 66,44 | 66,44 | 0,00 | 198,82 | 265,26 |
| Listopad | 94,40 | 94,40 | 39,56 | 216,57 | 337,57 |
| Studen | 91,35 | 91,35 | 222,79 | 209,59 | 494,78 |
| Prosinac | 94,40 | 94,40 | 801,28 | 216,57 | 1112,24 |
| Godišnje | 984,39 | 984,39 | 3149,56 | 2495,07 | 6612,19 |

Može se primijetiti da su toplinski gubici spremnika izvan sezone grijanja manji od gubitaka tijekom sezone grijanja. Razlog je taj što je spremnik grijan na različitu temperaturu. Tijekom sezone grijanja na 75 °C, a izvan sezone grijanja, kada se upotrebljava samo PTV, na 60 °C.

Energija koju treba isporučiti pomoćni grijač manja je izvan sezone grijanja jer se kotao koristi samo za zagrijavanje PTV-a.

Tablica 23. Prosječne vrijednosti temperatura unutar spremnika

| Mjesec | $\vartheta_{sto,t}$ [°C] |
|----------|--------------------------|
| Siječanj | 75,00 |
| Veljača | 74,49 |
| Ožujak | 73,59 |
| Travanj | 73,29 |
| Svibanj | 57,62 |
| Lipanj | 57,62 |
| Srpanj | 57,62 |
| Kolovoz | 57,62 |
| Rujan | 57,62 |
| Listopad | 73,19 |
| Studen | 73,01 |
| Prosinac | 74,62 |

9. USPOREDBA REZULTATA PRORAČUNA

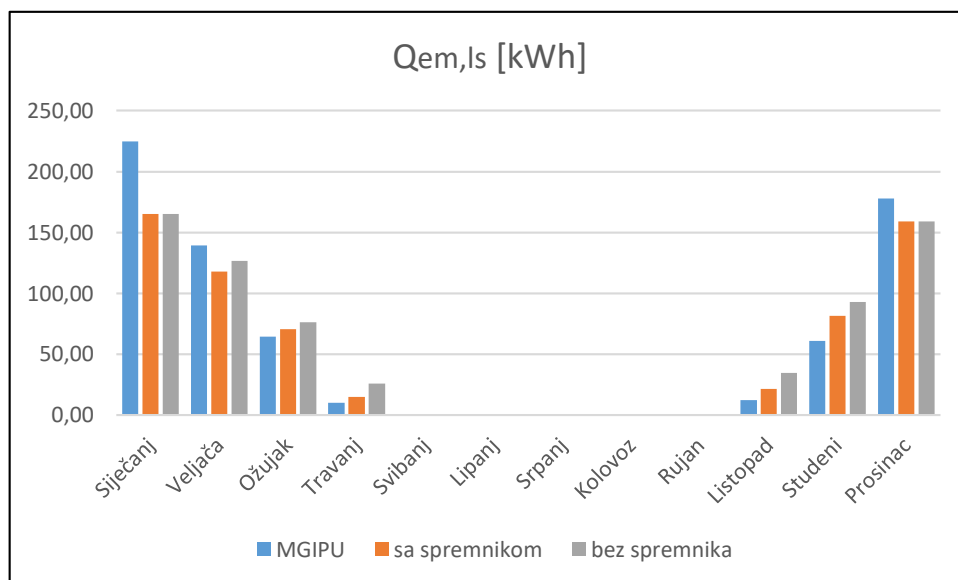
Rezultate sustava za koji je rađen proračun bilo je potrebno usporediti s rezultatima dobivenima u MGIPU Energetskom Certifikatoru. Također je napravljen proračun prema novim normama za slučaj kada nema spremnika, nego su razvod grijanja prostora i razvod PTV-a direktno spojeni na kotao.

Dan je tablični prikaz dobivenih rezultata na mjesečnoj i godišnjoj razini. Referentni slučaj predstavljaju vrijednosti dobivene u MGIPU-u.

Radi lakše usporedbe, također je dan i grafički prikaz rezultata, gdje oznaka MGIPU predstavlja rezultate dobivene prema proračunu u Energetskom Certifikatoru (stare norme), oznaka spremnik i bez spremnika predstavljaju rezultate proračuna dobivene prema navedenim normama EN 15316:2017.

Tablica 24. Usporedba toplinskih gubitaka podsustava predaje

| Mjesec | MGIPU | SPREMNİK | Razlika | BEZ SP. | Razlika |
|----------|-------------|-------------|---------|-------------|---------|
| | $Q_{em,ls}$ | $Q_{em,ls}$ | | $Q_{em,ls}$ | |
| Siječanj | 224,61 | 165,38 | -36% | 165,38 | -36% |
| Veljača | 139,25 | 117,98 | -18% | 126,61 | -10% |
| Ožujak | 64,57 | 70,72 | 9% | 76,40 | 15% |
| Travanj | 10,11 | 14,87 | 32% | 25,91 | 61% |
| Svibanj | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Lipanj | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Srpanj | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Kolovoz | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Rujan | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Listopad | 12,48 | 21,72 | 43% | 34,50 | 64% |
| Studeni | 60,97 | 81,40 | 25% | 93,16 | 35% |
| Prosinac | 177,71 | 158,97 | -12% | 158,97 | -12% |
| Godišnje | 689,70 | 631,03 | -9% | 680,93 | -1% |

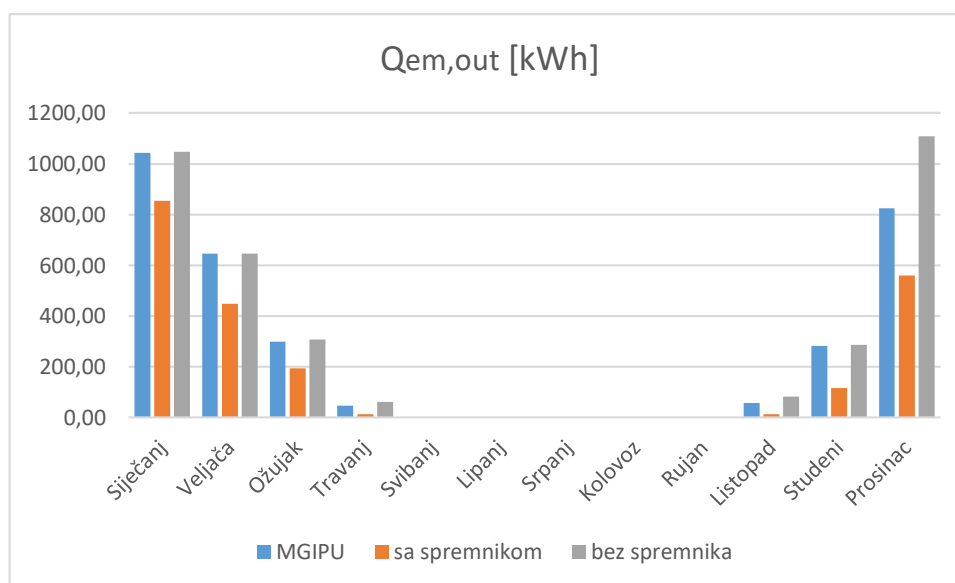


Slika 4. Grafički prikaz usporedbe toplinskih gubitaka sustava predaje topline

Iz prikaza vidimo da su toplinski gubici sustava predaje kada je potreba za grijanjem najveća (siječanj i prosinac) najveći u MGIPU, dok su za slučaj sa i bez spremnika približno jednaki.

Tablica 25. Usporedba izlazne energije iz podsustava predaje

| Mjesec | MGIPU | SPREMNIK | Razlika | BEZ SP. | Razlika |
|----------|--------------|--------------|---------|--------------|---------|
| | $Q_{em,out}$ | $Q_{em,out}$ | | $Q_{em,out}$ | |
| Siječanj | 1042,73 | 854,87 | -22% | 1047,69 | 0% |
| Veljača | 646,46 | 448,33 | -44% | 646,37 | 0% |
| Ožujak | 299,77 | 193,13 | -55% | 307,79 | 3% |
| Travanj | 46,95 | 12,81 | -267% | 60,71 | 23% |
| Svibanj | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Lipanj | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Srpanj | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Kolovoz | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Rujan | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Listopad | 57,96 | 13,13 | -341% | 83,34 | 30% |
| Studeni | 283,05 | 116,21 | -144% | 286,38 | 1% |
| Prosinac | 825,04 | 559,35 | -47% | 1108,56 | 26% |
| Godišnje | 3201,96 | 2197,84 | -46% | 3540,85 | 10% |

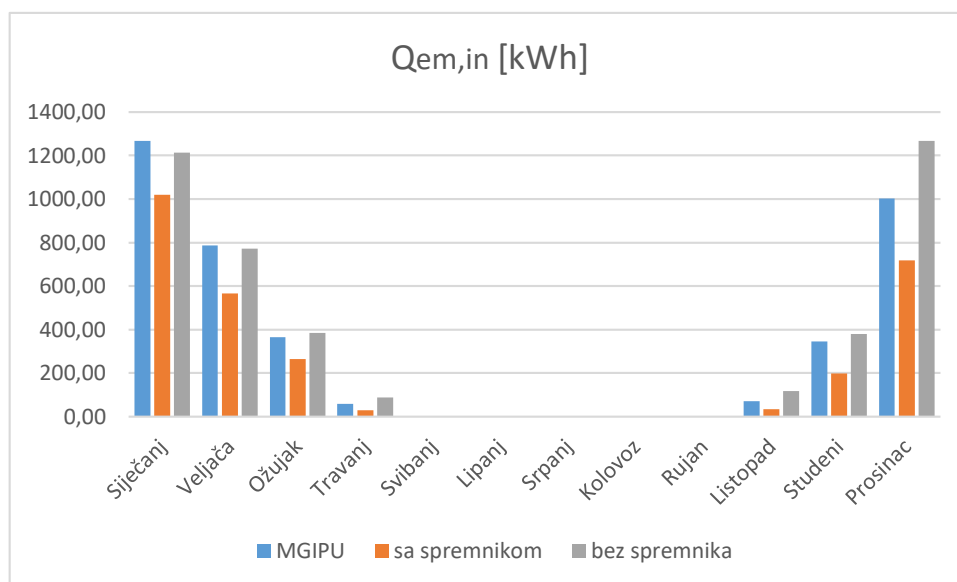


Slika 5. Grafički prikaz izlazne energije iz podsustava predaje

Iz grafičkog prikaza vidimo da je izlazna energija iz podsustava predaje najmanja u slučaju kada imamo spremnik jer su ukupni iskoristivi gubici najveći. U slučaju kada nemamo spremnik, nema ni toplinskih gubitaka spremnika pa su i ukupni iskoristivi gubici manji.

Tablica 26. Usporedba ulazne energije u podsustav predaje

| Mjesec | MGIPU | SPREMNIK | Razlika | BEZ SP. | Razlika |
|----------|-------------|-------------|---------|-------------|---------|
| | $Q_{em,in}$ | $Q_{em,in}$ | | $Q_{em,in}$ | |
| Siječanj | 1267,34 | 1020,25 | -24% | 1213,07 | -4% |
| Veljača | 785,71 | 566,31 | -39% | 772,99 | -2% |
| Ožujak | 364,34 | 263,85 | -38% | 384,19 | 5% |
| Travanj | 57,06 | 27,67 | -106% | 86,62 | 34% |
| Svibanj | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Lipanj | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Srpanj | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Kolovoz | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Rujan | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Listopad | 70,44 | 34,85 | -102% | 117,84 | 40% |
| Studeni | 344,02 | 197,61 | -74% | 379,54 | 9% |
| Prosinac | 1002,75 | 718,32 | -40% | 1267,53 | 21% |
| Godišnje | 3891,66 | 2828,87 | -38% | 4221,78 | 8% |

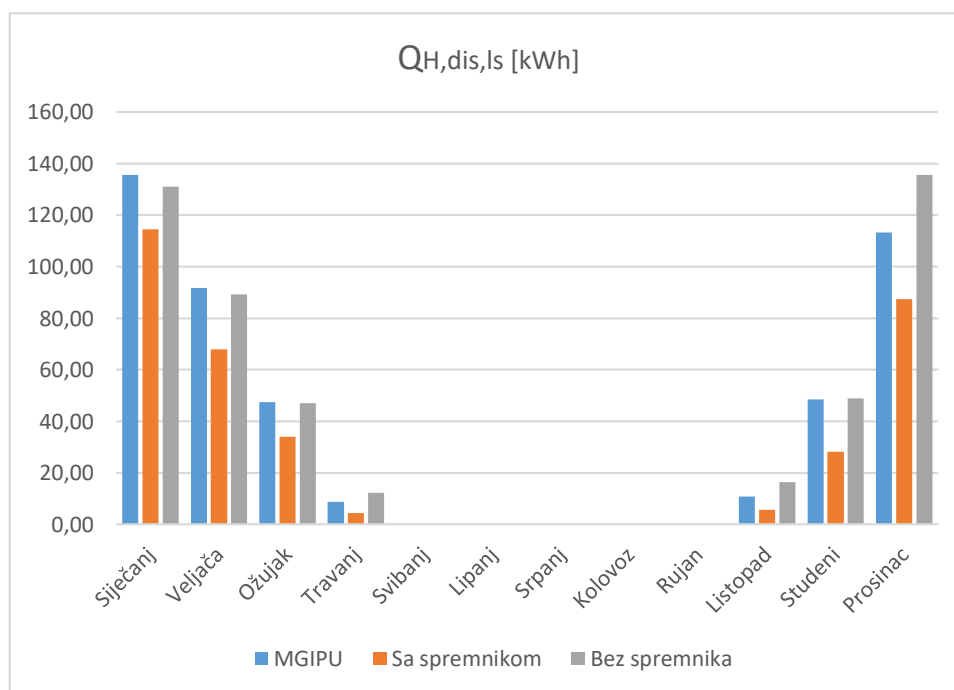


Slika 6. Grafički prikaz ulazne energije u podsustav predaje

Ulazna energija u podsustav predaje topline ponaša se u skladu s izlaznom energijom istog podsustava.

Tablica 27. Usporedba toplinskih gubitaka sustava razvoda grijanja

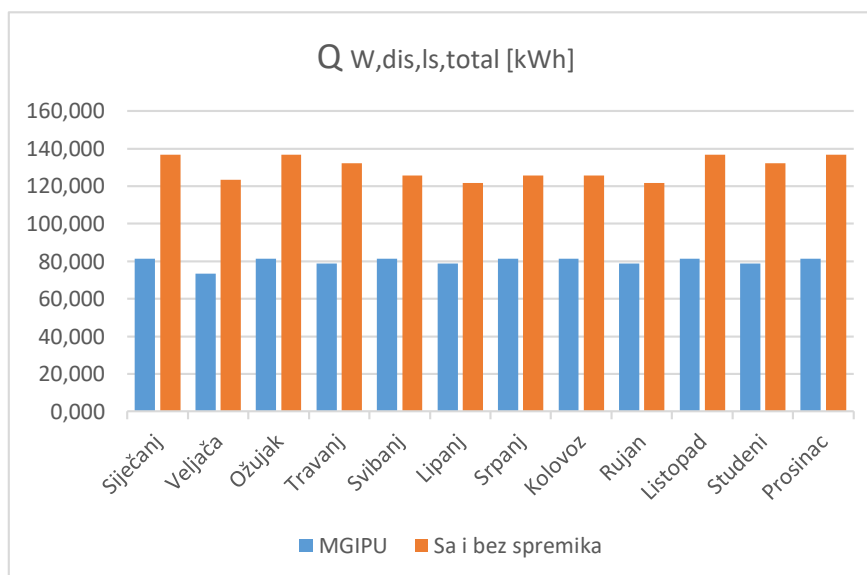
| Mjesec | MGIPU | SPREMNIK | Razlika | BEZ SP. | Razlika |
|----------|----------------|----------------|---------|----------------|---------|
| | $Q_{H,dis,ls}$ | $Q_{H,dis,ls}$ | | $Q_{H,dis,ls}$ | |
| Siječanj | 135,72 | 114,54 | -18% | 131,01 | -4% |
| Veljača | 91,78 | 67,99 | -35% | 89,34 | -3% |
| Ožujak | 47,38 | 34,10 | -39% | 47,12 | -1% |
| Travanj | 8,77 | 4,38 | -100% | 12,25 | 28% |
| Svibanj | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Lipanj | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Srpanj | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Kolovoz | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Rujan | 0,00 | 0,00 | 0% | 0,00 | 0% |
| Listopad | 10,85 | 5,63 | -93% | 16,35 | 34% |
| Studeni | 48,42 | 28,30 | -71% | 48,85 | 1% |
| Prosinac | 113,35 | 87,46 | -30% | 135,53 | 16% |
| Godišnje | 456,27 | 342,40 | -33% | 480,46 | 5% |



Slika 7. Grafički prikaz toplinskih gubitaka sustava razvoda grijanja

Tablica 28. Usporedba toplinskih gubitaka sustava razvoda PTV-a

| Mjesec | MGIPU | SPREMNIK | Razlika | BEZ SP. | Razlika |
|----------|----------------------|----------------------|---------|----------------------|---------|
| | $Q_{W,dis,ls,total}$ | $Q_{W,dis,ls,total}$ | | $Q_{W,dis,ls,total}$ | |
| Siječanj | 81,400 | 136,755 | 40% | 136,755 | 40% |
| Veljača | 73,530 | 123,521 | 40% | 123,521 | 40% |
| Ožujak | 81,400 | 136,755 | 40% | 136,755 | 40% |
| Travanj | 78,780 | 132,343 | 40% | 132,343 | 40% |
| Svibanj | 81,400 | 125,616 | 0% | 125,616 | 0% |
| Lipanj | 78,780 | 121,563 | 0% | 121,563 | 0% |
| Srpanj | 81,400 | 125,616 | 0% | 125,616 | 0% |
| Kolovoz | 81,400 | 125,616 | 0% | 125,616 | 0% |
| Rujan | 78,780 | 121,563 | 0% | 121,563 | 0% |
| Listopad | 81,400 | 136,755 | 40% | 136,755 | 40% |
| Studeni | 78,780 | 132,343 | 40% | 132,343 | 40% |
| Prosinac | 81,400 | 136,755 | 40% | 136,755 | 40% |
| Godišnje | 958,45 | 1555,20 | 38% | 1555,20 | 38% |

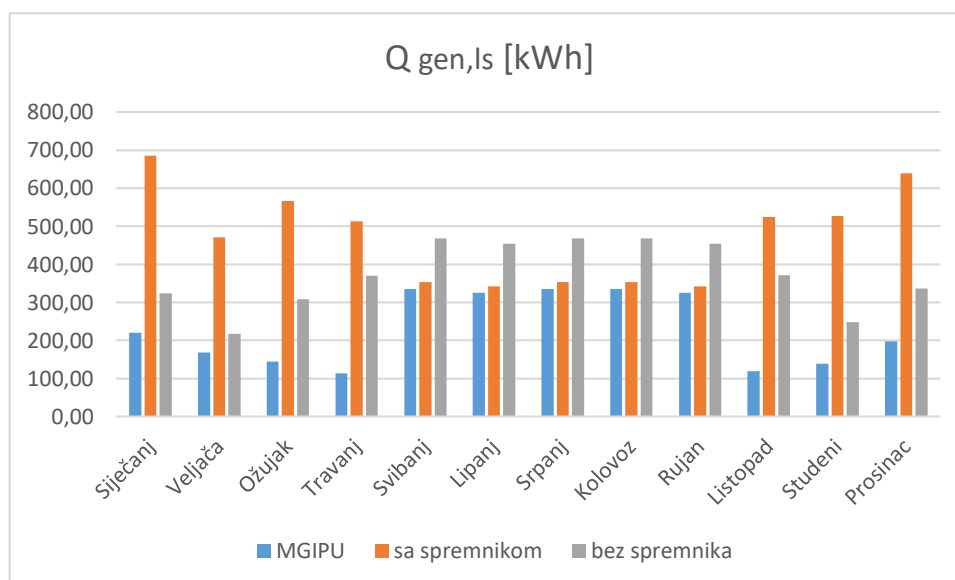


Slika 8. Grafički prikaz toplinskih gubitaka sustava razvoda PTV-a

U sustavu bez spremnika, ostavljena je cirkulacijska petlja radi bolje usporedivosti sa sustavom gdje imamo spremnik. Zato su vrijednosti toplinskih gubitaka razvoda PTV-a u navedenim slučajevima jednake.

Tablica 29. Usporedba toplinskih gubitaka generatora

| Mjesec | MGIPU | SPREMNIK | Razlika | BEZ SP. | Razlika |
|----------|--------------|--------------|---------|--------------|---------|
| | $Q_{gen,ls}$ | $Q_{gen,ls}$ | | $Q_{gen,ls}$ | |
| Siječanj | 220,10 | 684,97 | 68% | 324,302 | 32% |
| Veljača | 168,69 | 471,09 | 64% | 216,857 | 22% |
| Ožujak | 143,88 | 565,97 | 75% | 308,579 | 53% |
| Travanj | 114,01 | 513,06 | 78% | 370,216 | 69% |
| Svibanj | 335,58 | 353,80 | 5% | 468,719 | 28% |
| Lipanj | 324,76 | 342,39 | 5% | 453,599 | 28% |
| Srpanj | 335,58 | 353,80 | 5% | 468,719 | 28% |
| Kolovoz | 335,58 | 353,80 | 5% | 468,719 | 28% |
| Rujan | 324,76 | 342,39 | 5% | 453,599 | 28% |
| Listopad | 118,78 | 523,97 | 77% | 371,351 | 68% |
| Studeni | 138,52 | 526,84 | 74% | 248,067 | 44% |
| Prosinac | 197,94 | 639,41 | 69% | 336,826 | 41% |
| Godišnje | 2758,18 | 5671,49 | 51% | 4489,55 | 39% |

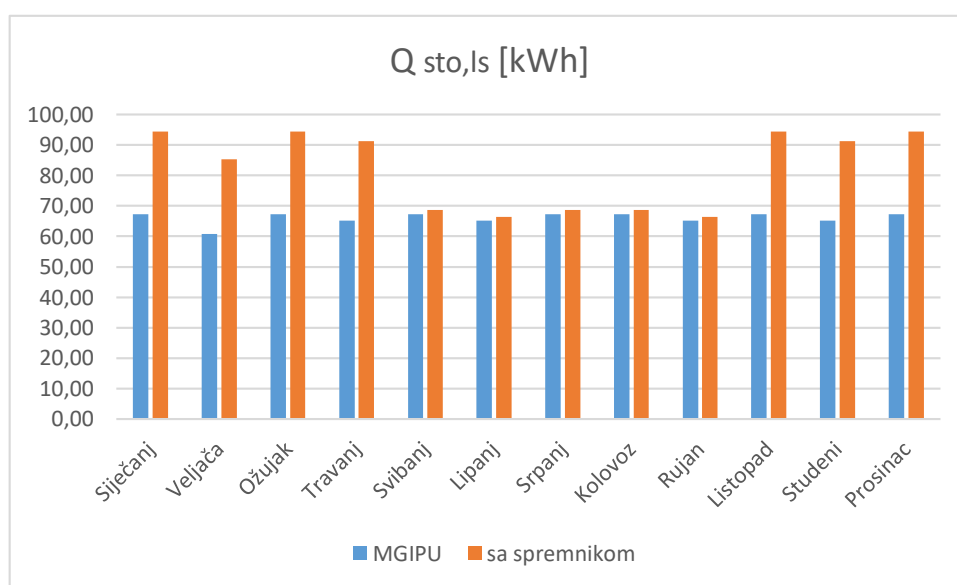


Slika 9. Grafički prikaz toplinskih gubitaka generatora

Iz gornjeg prikaza vidimo da su toplinski gubici generatora tijekom sezone grijanja kod zadanog termotehničkog sustava puno veći od vrijednosti dobivenih u MGIPU-u., dok su izvan sezone grijanja približno jednaki. Razlog je vjerojatno taj što je kod odabranog sustava sa spremnikom temperatura unutar generatora veća.

Tablica 30. Usporedba toplinskih gubitaka spremnika PTV-a

| Mjesec | MGIPU | SPREMNIK | Razlika |
|----------|--------------|--------------|---------|
| | $Q_{sto,ls}$ | $Q_{sto,ls}$ | |
| Siječanj | 67,34 | 94,40 | 29% |
| Veljača | 60,82 | 85,26 | 29% |
| Ožujak | 67,34 | 94,40 | 29% |
| Travanj | 65,17 | 91,35 | 29% |
| Svibanj | 67,34 | 68,65 | 2% |
| Lipanj | 65,17 | 66,44 | 2% |
| Srpanj | 67,34 | 68,65 | 2% |
| Kolovoz | 67,34 | 68,65 | 2% |
| Rujan | 65,17 | 66,44 | 2% |
| Listopad | 67,34 | 94,40 | 29% |
| Studeni | 65,17 | 91,35 | 29% |
| Prosinac | 67,34 | 94,40 | 29% |
| Godišnje | 792,88 | 984,39 | 19% |

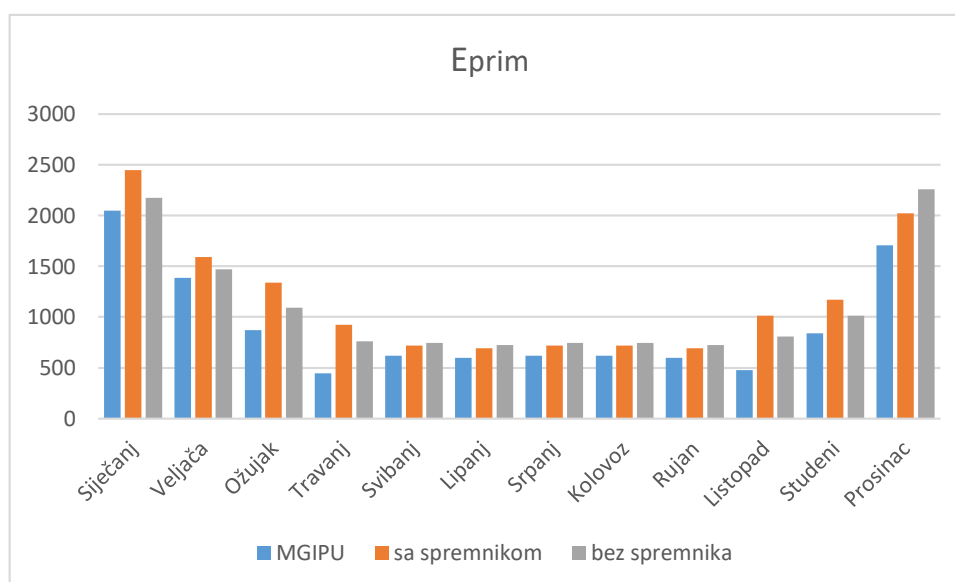


Slika 10. Grafički prikaz toplinskih gubitaka spremnika PTV-a

Vidimo da su gubici spremnika približno jednaki izvan sezone grijanja i prema starim i prema novim normama. U MGIPU ne postoji mogućnost promjene temperature vode unutar spremnika te se uzima vrijednost od 60 °C. Tijekom sezone grijanja, u proračunu prema novim normama temperatura vode u spremniku je 75 °C. Iz ovog razloga se javljaju razlike u toplinskim gubicima. Gubici za sezonu grijanja bili bi usporedivi da se odabrao neki drugi temperaturni režim (npr. 55/45 °C).

Tablica 31. Usporedba primarne energije

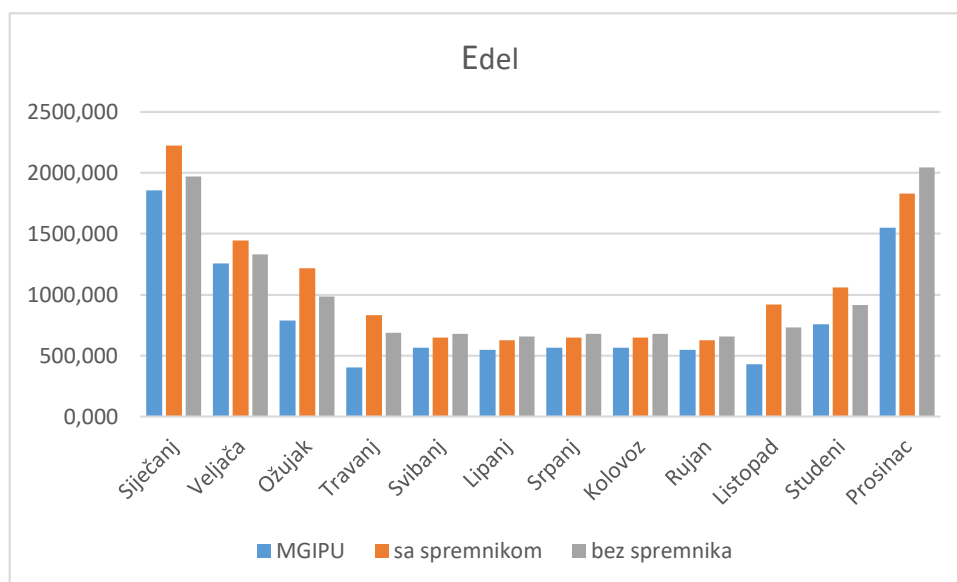
| Mjesec | MGIPU | SPREMNIK | Razlika | BEZ SP. | Razlika |
|----------|------------|------------|---------|------------|---------|
| | E_{prim} | E_{prim} | | E_{prim} | |
| Siječanj | 2045,65038 | 2449,96798 | 17% | 2174,92335 | 6% |
| Veljača | 1387,27782 | 1589,4941 | 13% | 1470,70056 | 6% |
| Ožujak | 870,37746 | 1341,25547 | 35% | 1089,70777 | 20% |
| Travanj | 443,80473 | 920,983693 | 52% | 759,125035 | 42% |
| Svibanj | 619,26627 | 716,416513 | 14% | 745,642445 | 17% |
| Lipanj | 599,30037 | 693,306303 | 14% | 721,589463 | 17% |
| Srpanj | 619,26627 | 716,416513 | 14% | 745,642445 | 17% |
| Kolovoz | 619,26627 | 716,416513 | 14% | 745,642445 | 17% |
| Rujan | 599,30037 | 693,306303 | 14% | 721,589463 | 17% |
| Listopad | 474,89961 | 1014,94997 | 53% | 809,801731 | 41% |
| Studeni | 838,45485 | 1168,75695 | 28% | 1012,80258 | 17% |
| Prosinac | 1706,7039 | 2020,0571 | 16% | 2257,46342 | 24% |
| Godišnje | 10823,5683 | 14041,3274 | 23% | 13254,6307 | 18% |



Slika 11. Grafički prikaz primarne energije za pojedini slučaj

Tablica 32. Usporedba isporučene energije

| Mjesec | MGIPU | SPREMNIK | Razlika | BEZ SP. | Razlika |
|----------|-----------|-----------|---------|-----------|---------|
| | E_{del} | E_{del} | | E_{del} | |
| Siječanj | 1857,500 | 2223,616 | 16% | 1971,973 | 6% |
| Veljača | 1257,640 | 1444,263 | 13% | 1331,589 | 6% |
| Ožujak | 787,950 | 1215,760 | 35% | 986,379 | 20% |
| Travanj | 402,590 | 834,178 | 52% | 687,493 | 41% |
| Svibanj | 564,720 | 647,857 | 13% | 676,596 | 17% |
| Lipanj | 546,510 | 626,958 | 13% | 654,770 | 17% |
| Srpanj | 564,720 | 647,857 | 13% | 676,596 | 17% |
| Kolovoz | 564,720 | 647,857 | 13% | 676,596 | 17% |
| Rujan | 546,510 | 626,958 | 13% | 654,770 | 17% |
| Listopad | 430,480 | 919,761 | 53% | 733,263 | 41% |
| Studeni | 756,920 | 1058,642 | 29% | 915,825 | 17% |
| Prosinac | 1548,230 | 1832,273 | 16% | 2047,123 | 24% |
| Godišnje | 9828,49 | 12725,979 | 23% | 12012,971 | 18% |



Slika 12. Grafički prikaz isporučene energije za pojedini slučaj

Prema gornjem dijagramu vidimo da je godišnja isporučena energija odabranog termotehničkog sustava prema proračunu iz novih normi veća od rezultata dobivenih u MGIPU-u. Sustav sa spremnikom i bez spremnika imaju približno istu vrijednost isporučene energije na godišnjoj razini, što ukazuje da za promatrani slučaj nema potrebe za ugradnjom spremnika PTV-a.

10. ZAKLJUČAK

Promatrajući dobivene rezultate, možemo vidjeti da svaki od podsustava utječe na ukupan rezultat. Vidljivi su nedostaci pojedinih podsustava koji se potencijalno mogu poboljšati kako bi potrošnja primarne energije bila što manja. Krajnje vrijednosti isporučene i primarne energije na godišnjoj razini najmanje su prema proračunu iz MGIPU-a, dok su vrijednosti dobivene prema novim normama približno jednake za sustav sa spremnikom i bez spremnika. Pošto promatrani sustav sa spremnikom ne pokazuje uštedu energije u odnosu na slučaj bez spremnika, nije nužna ugradnja spremnika PTV-a.

Usporedba rezultata proračuna i rezultata dobivenih u MGIPU-u bila bi prikladnija da je odabran drugi temperaturni režim jer bi u tom slučaju toplinski gubici spremnika bili približno jednaki.

LITERATURA

- [1] Dović D., Horvat I., Rodić A., Soldo V., Švaić S., Algoritam za određivanje tehničkih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama – Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode, Zagreb, 2017.
- [2] HRN EN 15316-2:2017 Energijska svojstva zgrade -- Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava -- 2. dio: Sustavi predaje topline prostoru (grijanje i hlađenje), Moduli M3-5, M4-5
- [3] HRN EN 15316-3:2017 Energijska svojstva zgrade -- Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava -- 3. dio: Sustavi raspodjele u prostoru (PTV, grijanje i hlađenje), Moduli M3-6, M4-6, M8-6
- [4] HRN EN 15316-4-1 Energijska svojstva zgrade -- Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava -- Dio: 4-1: Sustavi koji stvaraju toplinu za grijanje prostora i za pripremu potrošne tople vode, sustavi izgaranja (kotlovi, biomasa), Moduli M3-8-1, M8-8-1
- [5] HRN EN 15316-5:2017 Energijska svojstva zgrade -- Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava -- 5. dio: Sustavi za akumulaciju topline pri grijanju prostora i pripremi potrošne tople vode (bez hlađenja), M3-7, M8-7 (EN 15316-5:2017)
- [6] Halasz B., Galović A., Boras I., Toplinske tablice, Zagreb, 2013.
- [7] https://mgipu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/meteoroloski_podaci/FAKTORI_primarne_energije.pdf
- [8] www.energysage.com

PRILOZI

I. CD-R disc