

# Dinamički satni proračun toplinskog učina solarnog sustava grijanja i zagrijavanja potrošne tople vode

---

**Merkaš, Antonio**

**Undergraduate thesis / Završni 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:235:670825>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-08**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

**Dinamički satni proračun toplinskog  
učina solarnog sustava grijanja i  
zagrijavanja potrošne tople vode**

**Antonio Merkaš**

Zagreb, veljača 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

**Dinamički satni proračun toplinskog  
učina solarnog sustava grijanja i  
zagrijavanja potrošne tople vode**

**Mentor:**  
doc. dr. sc. Darko Smoljan, dipl. ing.

**Student:**  
Antonio Merkaš

Zagreb, veljača 2020.

Izjavljujem da sam rad radio samostalno koristeći literaturu u popisu literature.

Zahvaljujem na savjetima i stručnoj pomoći mentoru **doc. dr. sc. Darku Smoljanu.**

Antonio Merkaš



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

|  |        |
|--|--------|
| Sveučilište u Zagrebu<br>Fakultet strojarstva i brodogradnje |        |
| Datum  | Prilog |
| Klasa:   |        |
| Ur.broj:   |        |

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Antonio Merkaš** Mat. br.: 0035208713

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Dinamički satni proračun toplinskog učina solarnog sustava grijanja i zagrijavanja potrošne tople vode**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Dynamic hourly calculation of heating load of solar heating and domestic hot water system**

Opis zadatka:

Potrebno je izraditi dinamički satni proračun toplinskog učina solarnog toplovodnog sustava grijanja i zagrijavanja potrošne tople vode (PTV) tijekom jedne godine. Proračun provesti za odabranu zgradu i satne vrijednosti toplinskih opterećenja zgrade, te usporediti toplinske učine solarnog sustava pri klimatskim uvjetima kontinentalne i primorske Hrvatske. Sustav sadrži solarne kolektore, spremnik potrošne tople vode, pomoćni generator topline, pumpu i regulaciju. Proračun provesti prema normama HRN EN 15316-4-3:2017 i HRN EN 15316-5:2017. Proračun satnih potreba PTV-a provesti prema HRN EN 12831-3:2017.

Provesti analizu utjecaja veličine spremnika potrošne tople vode i površine solarnih kolektora na toplinski učin.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

28. studenog 2019.

Datum predaje rada:

**1. rok:** 21. veljače 2020.

**2. rok (izvanredni):** 1. srpnja 2020.

**3. rok:** 17. rujna 2020.

Predviđeni datumi obrane:

**1. rok:** 24.2. – 28.2.2020.

**2. rok (izvanredni):** 3.7.2020.

**3. rok:** 21.9. - 25.9.2020.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Darko Smoljan

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

## Sažetak

Ovaj završni rad sadrži proračun solarnog sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode prema normama EN 15316-4-3:2017 i EN 15316-5:2017 te evaluaciju istih. Proračun je rađen na temelju arhitektonskih podloga hotela smještenog na lokacijama Split i Zagreb. Dan je uvid u norme i propisane postupke proračuna te je po njima izveden proračun hotela. Korištenjem norme HRN EN ISO 13590 proračunate su energetske potrebe hotela za grijanjem, dok je pomoću norme HRN EN 12831-3 napravljen proračun potreba za potrošnom toplom vodom. Za solarni sustav tog hotela provedena je analiza promjene površine kolektora, u kojoj se pokazuje da se povećava energija dobivena sustavom povećanjem broja kolektora. Osim broja kolektora mijenja se i nagib kolektora i njihova orijentacija, iz čega se zaključuje vrijednost optimalnog nagiba kolektora i orijentacije u ovisnosti o geografskoj širini. Također se uspoređuje primjena solarnog sustava pri promjeni geografske lokacije. Drugi dio rada posvećen je razlici između satnog i mjesečnog proračuna te analizi utjecaja pojedinog na rješenje. Za vrijeme implementacije, u normama su pronađene greške i uzete su u obzir pri pisanju programa.

# Sadržaj

|   |     |
|---|-----|
| Sažetak.....                                      | i   |
| Sadržaj.....                                      | ii  |
| Popis oznaka i kratica .....                      | iv  |
| Popis tablica.....                                | vi  |
| Popis slika.....                                  | vii |
| 1. Uvod.....                                      | 1   |
| 1.1. Sustav .....                                 | 1   |
| 1.2. Metode proračuna .....                       | 3   |
| 2. Energetske potrebe hotela .....                | 4   |
| 2.1. Opis zgrade .....                            | 4   |
| 2.2. Proračun potreba za PTV-om.....              | 6   |
| 2.3. Proračun potrebne energije za grijanje.....  | 8   |
| 3. Satni proračun.....                            | 10  |
| 3.1. HRN EN 15316-4-3:2017 .....                  | 11  |
| 3.2. HRN EN 15316-5:2017.....                     | 13  |
| 4. Mjesečni proračun.....                         | 16  |
| 5. Rezultati proračuna .....                      | 18  |
| 5.1. Usporedba satne i mjesečne metode .....      | 18  |
| 5.2. Usporedba Split-Zagreb .....                 | 20  |
| 5.3. Analiza promjene konfiguracije sustava ..... | 22  |
| 5.3.1. Promjena broja kolektora .....             | 22  |
| 5.3.2. Promjena nagiba kolektora .....            | 24  |
| 5.3.3. Promjena orijentacije kolektora .....      | 27  |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 5.3.4. | Promjena volumena akumulacijskog spremnika ..... | 28 |
| 6.     | Osvrt na norme i rješenja .....                  | 30 |
| 7.     | Zaključak.....                                   | 32 |
| 8.     | Literatura.....                                  | 33 |



## Popis oznaka i kratica

|                     |   |
|---------------------|---|
| $a, b, c, d, e$     | - faktori sunčanog spremnika [-], Tablica 4.                        |
| $a_1$               | -koeficijent gubitaka prvog reda [ $W/m^2K$ ]                       |
| $a_2$               | -koeficijent gubitaka drugog reda [ $W/m^2K^2$ ]                    |
| $c_w$               | - 4186, specifični toplinski kapacitet vode [ $J/kgK$ ]             |
| EN                  | - europska norma  |
| $f$                 | - broj jedinica   |
| $f_m$               | - faktor za spoj cijevi kolektora na podno grijanje [-], Tablica 4. |
| $f_{st}$            | - korekcijski faktor zapremnine spremnike [-]                       |
| $H$                 | - koeficijent izmjene topline [ $W/K$ ]                             |
| $H_{exh}$           | - koeficijent prolaza izmjenjivača [ $W/Kh$ ]                       |
| HRN                 | - hrvatska norma  |
| $IAM$               | - vidi $K_{hem}$ [-]  |
| $I_m$               | - prosječno sunčevo zračenje tijekom mjeseca [ $W/m^2$ ]            |
| $I_{sol}$           | - sunčevo zračenje na površinu kolektora [ $W/m^2$ ]                |
| $K_{hem}$           | - korekcijski faktor upada zračenja [-]                             |
| PTV                 | - potrošna topla voda   |
| $Q_{H,nd}$          | - potrebna energija za grijanje [ $kWh$ ]                           |
| $Q_{int}$           | - unutarnji toplinski dobici [ $kWh$ ]                              |
| $Q_{ls}$            | - pojedini gubitak [ $kWh$ ]  |
| $q_{mcol}$          | - maseni protok kroz kolektore [ $kg/s$ ]                           |
| $Q_{need}$          | - toplinsko opterećenje u promatranom periodu [ $kWh$ ]             |
| $Q_{sol}$           | - solarni toplinski dobici [ $kWh$ ]                                |
| $Q_{sol;loopout;h}$ | - toplina koja se nudi spremniku od kolektorskog kruga [ $kWh$ ]    |
| $Q_{solout}$        | - isporučena snaga solarnog sustava [ $kWh$ ]                       |

|                      |   |
|----------------------|---|
| $Q_{Tr}$             | - transmisijski toplinski gubici [kWh]  |
| $Q_{Ve}$             | - ventilacijski toplinski gubici [kWh]  |
| SGŠ                  | - sjeverna geografska širina  |
| $t$                  | - proračunski period [ $h$ ]  |
| $T_0$                | - temperatura svježe vode [13,5 °C]   |
| $T_h$                | - reducirana temperaturna razlika kolektora u satu  |
| $t_m$                | - broj sati u mjesecu [ $h$ ]   |
| $T_{sol;loopin;h-1}$ | - ulazna temperatura iz posljednje iteracije prošlog sata ili temperatura dna spremnika ako je početak proračuna [°C] |
| $T_w$                | - temperatura PTV-a [60 °C]   |
| $U_{loop}$           | - koeficijent toplinskih gubitaka kolektorskog kruga [ $W/m^2K$ ]   |
| $V_{wday}$           | - dnevna potrošnja PTV-a po jedinici, pri $T_w$ [L/dan.jed.]  |
| $X, Y$               | - bezdimenzijske varijable [-]  |
| $\Delta T$           | - razlika unutarnje setpoint temperature i vanjske [K]  |
| $\Delta \vartheta$   | - referenta razlika temperatura [K]   |
| $\eta_0$             | - maksimalna iskoristivost kolektora [-]  |
| $\eta_{H,gn}$        | - faktor iskorištenja toplinskih dobitaka [-]   |
| $\eta_{loop}$        | - faktor učinkovitosti kolektorskog kruga [-]   |

## Popis tablica

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1. Popunjenost hotela u pojedinom mjesecu .....              | 5  |
| Tablica 2. Dnevna raspodjela potrošnje PTV-a prema EN 12831-3:2008.. | 7  |
| Tablica 3. Mjesečne potrebe za toplom vodom [ <i>kWh</i> ].....      | 7  |
| Tablica 4. Koeficijenti prolaza topline građevnih elemenata .....    | 8  |
| Tablica 5. Ulazne varijable proračuna .....                          | 11 |
| Tablica 6. Faktori mjesečne metode .....                             | 16 |

## Popis slika

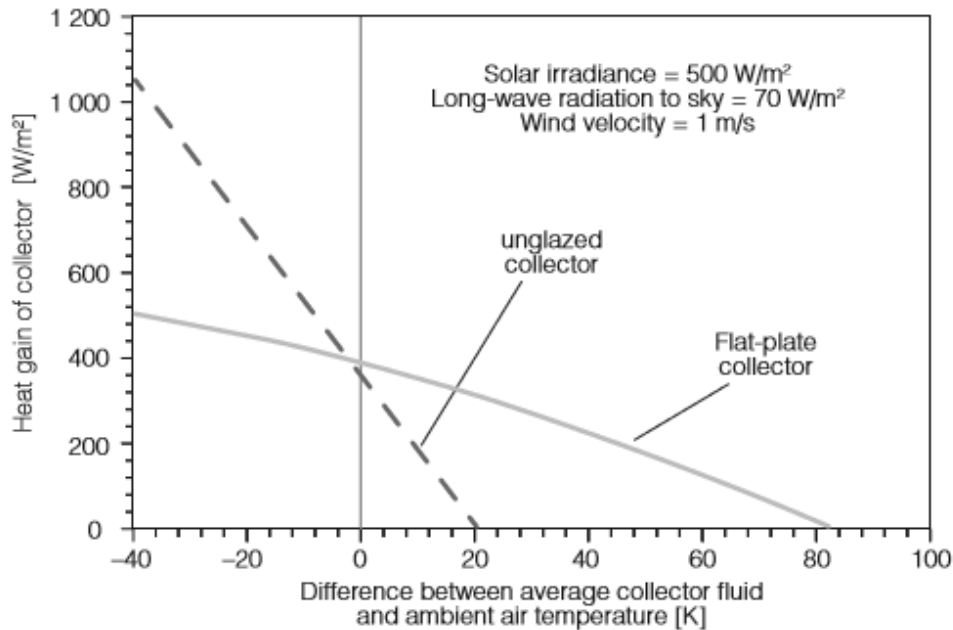
|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Ovisnost učinkovitosti kolektora o zagrijanosti medija [1].....    | 2  |
| Slika 2. Sjeverno pročelje hotela.....                                      | 4  |
| Slika 3. Prednji presjek hotela.....  | 4  |
| Slika 4. Tlocrt 1. kata .....   | 5  |
| Slika 5. Dnevna raspodjela potrošnje PTV-a .....                            | 7  |
| Slika 6. Funkcionalna shema solarnog kruga [4].....                         | 10 |
| Slika 7. Diskretizacija volumena spremnika .....                            | 13 |
| Slika 8. Toplinski tokovi za bilansiranje jednog volumena.....              | 14 |
| Slika 9. Simplificirani dijagram toka proračuna .....                       | 15 |
| Slika 10. Isporučena energija za Zagreb uz mjesečni i satni proračunom      | 18 |
| Slika 11. Faktori pokrivanja za Zagreb uz mjesečni i satni proračun.....    | 19 |
| Slika 12. Faktori pokrivanja za Split uz mjesečni i satni proračun .....    | 19 |
| Slika 13. Odstupanja satne i mjesečne metode za Split i Zagreb .....        | 20 |
| Slika 14. Isporučena energija po satnoj metodi u Zagrebu i Splitu.....      | 21 |
| Slika 15. Faktori pokrivanja prema satnoj metodi u Zagrebu i Splitu.....    | 21 |
| Slika 16. Dnevno uprosječno solarno zračenje u Splitu i Zagrebu .....       | 22 |
| Slika 17. Isporučena energija pri različitom broju kolektora u Zagrebu .... | 23 |
| Slika 18. Faktori pokrivanja pri različitom broju kolektora u Zagrebu ..... | 23 |
| Slika 19. Isporučena energija za različite nagibe kolektora u Zagrebu ....  | 24 |
| Slika 20. Faktori pokrivanja za različite nagibe kolektora u Zagrebu.....   | 25 |
| Slika 21. Ukupna energija u godini za plohe različitih nagiba u Zagrebu .   | 25 |
| Slika 22. Solarno zračenje na plohe različitih nagiba u Zagrebu.....        | 26 |
| Slika 23. Isporučena energija pri različitim orijentacijama u Zagrebu.....  | 27 |
| Slika 24. Faktori pokrivanja pri različitim orijentacijama u Zagrebu.....   | 27 |
| Slika 25. Satni raspored energije pri različitim orijentacijama u Zagrebu . | 28 |
| Slika 26. Isporučena energija pri promjeni volumena spremnika u Splitu      | 29 |
| Slika 27. Faktori pokrivanja pri promjeni volumena spremnika u Splitu ...   | 29 |

# 1. Uvod

Sunce kao izvor energije od pamtivijeka potiče ljude na razmišljanje, a ako čovjek razmišlja o nekom obliku energije, najvjerojatnije se pita kako ga iskoristiti. Razvojem znanosti, posebice fizike, a time i termodinamike, postaje jasan fenomen zračenja, koji predstavlja primarni oblik topline koju odaje Sunce. Prema tome, bojanjem jednog čeličnog spremnika punog vode u crno, dobiva se prvi primitivni solarni kolektor za grijanje PTV-a, odnosno potrošne tople vode. Ako se taj sustav više elaborira, i napravi sklop koji sadrži kolektor, pumpu, ekspanzijsku posudu i akumulacijski spremnik, primitivni sustav postaje moderna instalacija za prikupljanje solarne energije. Naravno, čim sustav koji se promatra postaje složeniji, njegova kvantifikacija postaje tim teža. Da bi se na suvremenom sustavu točno proračunao doprinos solarnih kolektora, treba uzeti u obzir sve faktore, a najbitnija je činjenica da dozračena energija mijenja svoj iznos svake sekunde i akumulira se u svim ozračenim površinama.

## 1.1. Sustav

Kolektor predstavlja prvi element potreban za pretvorbu i akumulaciju solarne energije. U osnovi, kolektor je skup cijevi od pažljivo odabranih materijala, oblikovanih i prebojanih tako da maksimalno apsorbiraju sunčevo zračenje. Sva toplinska energija koja se apsorbira na kolektoru, trebala bi se predati mediju u cijevima kolektora, što je najčešće voda ili mješavina vode i etilen-glikola. Kao i kod svih tehničkih sustava, idealni slučaj onemogućuju gubitci, to jest neka količina toplinske energije umjesto na vodu u cijevima prenosi se na zrak oko kolektora, ili ako se uspije prenijeti na vodu, gubi toplinu prilikom transporta do spremnika. Postojanje tih gubitaka uvjetuje iskoristivost kolektora i njegovu primjenu. Najjednostavnije je podijeliti kolektore na četiri osnovne izvedbe: pločasti kolektor, vakuum-cijevni kolektor, apsorber i kolektor s integriranim spremnikom. Tako bi apsorber bio sasvim dovoljan za bazensku primjenu, dok bi se ravni kolektor koristio za PTV i grijanje. U slučaju kompleksnijih aplikacija, kao što je procesna tehnika, najbolje je odabrati vakuumske-cijevne kolektore.



Slika 1. Ovisnost učinkovitosti kolektora o zagrijanosti medija [1]

Osim kolektora jedan od bitnijih dijelova solarnog sustava je akumulacijski spremnik u kojem se sva toplina koja nije potrebna u određenom trenutku zadržava u obliku tople vode. Solarni kolektor može biti spojen na spremnik direktno ili indirektno (preko izmjenjivača topline).

Strujanje vode u solarnom krugu ostvaruje se na dva načina: pasivno i aktivno. Za ostvarivanje pasivnog strujanja koristi se termosifonski efekt koji se ostvaruje strujanjem toplijeg medija prema gore zbog smanjene gustoće koja uzrokuje uzgonske sile. Aktivno strujanje, odnosno prisilna cirkulacija ostvaruje se pomoću pumpe u solarnom krugu.

Na svakom zatvorenom krugu kapljevito medija mora postojati i ekspanzijska posuda, da bi održala tlak i kompenzirala širenje vode uslijed zagrijavanja ili mogućeg isparavanja. Osim po dimenzioniranju, ekspanzijska posuda solarnog kruga razlikuje se po izvedbi od posuda krugova za grijanje zbog većih temperatura medija u optoku, što direktno utječe na materijal membrane posude.

Kako bi sustav mogao funkcionirati u svim uvjetima, mora biti opremljen armaturom i regulacijom koja omogućuje prilagodbu potrebama zgrade odnosno potrebama ljudi u hotelu.

## 1.2. Metode proračuna

S obzirom da se uvjeti zračenja i vanjskih temperatura mijenjaju s vremenom, a svrha energetskog proračuna je da kvantificira energetske troškove odnosno dobitke kroz godinu, mora se odabrati vremenski korak po kojem se problem rješava. U osnovi razlikujemo sezonski, mjesečni i satni proračun, pri čemu sezonski i mjesečni proračun smatramo kvazistacionarnim preko osrednjenih vrijednosti za cijeli period i ne uzimaju se u obzir tranzijentne pojave, poput vremenske akumulacije topline. Satni proračun je ujedno i osnovni oblik dinamičkog tipa proračuna u kojem se ta ista akumulacija uzima u obzir. Kao i kod svakog cijepanja domene na elemente, npr. konačna sumacija umjesto integracije, veličina/broj elemenata uvjetuje točnost rješenja. Isto se primjenjuje na vremenske intervale pri energetskim evaluacijama. Dok korištenje satnog proračuna uvjetno povećava točnost i omogućuje veću slobodu pri modeliranju sustava, ujedno povećava količinu rada koja se mora uložiti te količinu podataka koja mora biti dostupna da se proračun provede. U slučaju solarnih sustava, najbitnija stavka je postojanje solarnih iradijacija po satu za određenu geografsku lokaciju.

Da bi se ispitale razlike u primjeni i točnosti pojedinih metoda, proveden je proračun na dvjema geografskim lokacijama, Split i Zagreb, zbog različitih klimatskih uvjeta na tim područjima. Proračun je ponavljen sa satnim i mjesečnim proračunskim korakom uz primjenu odgovarajućih normi, na modelu manjeg hotela, za kojeg su proračunate potrebe za PTV-om i grijanjem kroz godinu dana.

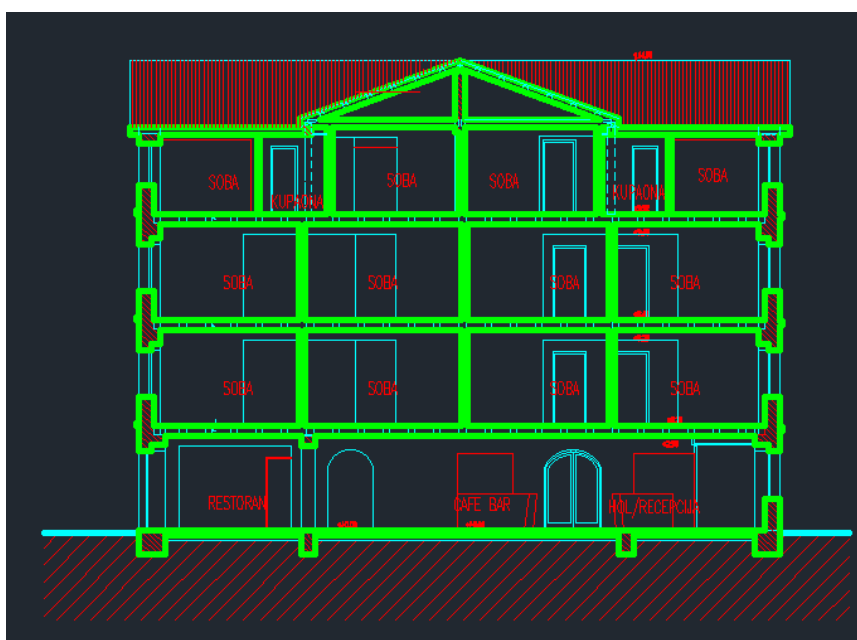
## 2. Energetske potrebe hotela

### 2.1. Opis zgrade

Sve potrebne duljinske veličine za proračun preuzete su iz arhitektonskih podloga zgrade. Hotel iz podloga smješten je u Dubrovniku, no za potrebe proračuna promijenjena mu je orijentacija pročelja i smatra se da je zgrada jednake građe u slučajevima Split i Zagreb.

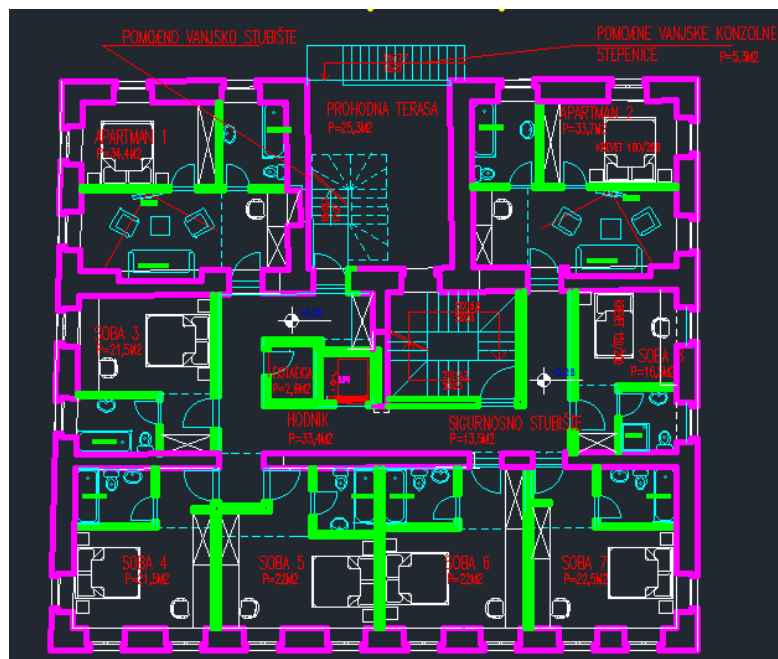


Slika 2. Sjeverno pročelje hotela



Slika 3. Prednji presjek hotela





Slika 4. Tlocrt 1. kata

Prema danim skicama i podlogama, zgrada je pravokutnog oblika 19,75 x 17,65 m. Zgradu čine 4 etažne cjeline: prizemlje, 1. kat, 2. kat i potkrovlje. U prizemlju su recepcija, restoran, suvenirnica i kuhinja, dok su na katovima sobe odnosno apartmani. Kapacitet hotela je 44 osobe pri čemu popunjenost varira kroz godinu kako prikazuje Tablica 1.

Tablica 1. Popunjenost hotela u pojedinom mjesecu

| Mjesec   | Broj ljudi | Popunjenost (%) |
|----------|------------|-----------------|
| Siječanj | 6          | 15              |
| Veljača  | 12         | 29              |
| Ožujak   | 13         | 31              |
| Travanj  | 18         | 42              |
| Svibanj  | 27         | 63              |
| Lipanj   | 38         | 88              |
| Srpanj   | 41         | 96              |
| Kolovoz  | 43         | 97              |
| Rujan    | 36         | 83              |
| Listopad | 31         | 73              |
| Studen   | 7          | 15              |
| Prosinac | 8          | 18              |

Pretpostavlja se da će se jednaka popunjenost hotela ostvariti u oba promatrana grada kako bi se smanjio opseg proračuna i olakšala usporedba u ovisnosti o klimatskim podacima.

Zgrada ukupno ima 78 prozora sa zaštitom od upada svjetlosti vanjskim žaluzinama, od kojih pojedini prozor ima 0,9 m<sup>2</sup>.

## 2.2. Proračun potreba za PTV-om

Potrebe za toplom vodom u hotelima uvijek zauzimaju najveći dio potrošnje energije zbog velikog broja ljudi i procesa koji se odvijaju s toplom vodom, poput pranja i sušenja veša, kuhinje, tuševa itd. Količina potrošene tople vode proporcionalno će odgovarati popunjenosti hotela u nekom periodu. Kako satni proračun zahtijeva satne potrebe za PTV-om kao ulazni podatak, one se računaju po satnoj metodi, a njihovom sumacijom dobije se mjesečni iznos potrošnje.

Proračun se vrši prema normi HRN EN 12831-3:2017 [6] prema kojoj za hotel s 3 zvjezdice, s praonicom rublja, potrošnja iznosi 111 L/dan po broju okupiranih kreveta. Toplina potrebna za zagrijavanje te količine vode računa se kao:

$$Q_w = 4,182 * V_{wday} * f * (T_w - T_0) * \frac{d}{3600} \text{ [kWh]} \quad (1)$$

Pri čemu:

$V_{wday}$  - dnevna potrošnja PTV-a po jedinici, pri  $T_w$  [L/dan.jed.]

$f$  - broj jedinica (kreveta)

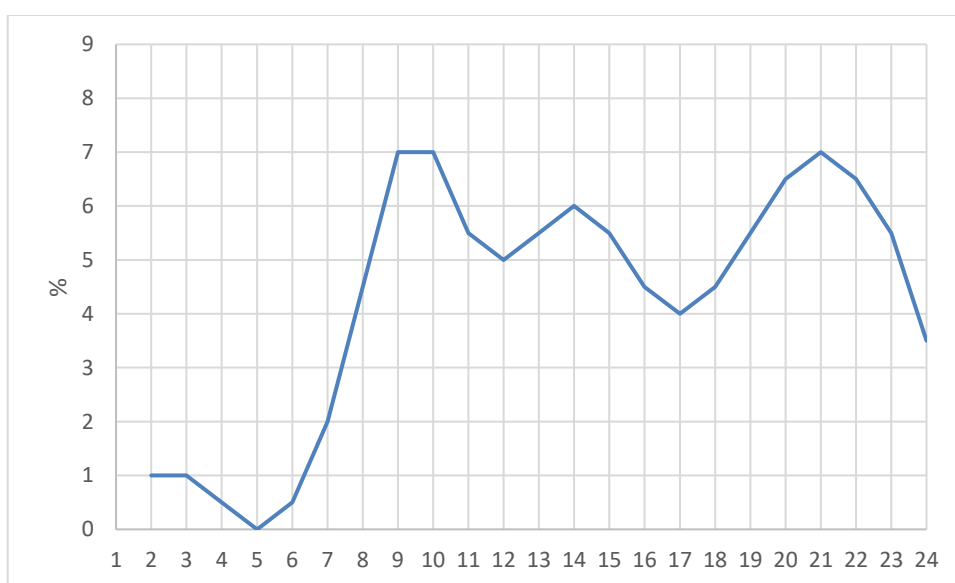
$T_w$  - temperatura PTV-a [50 °C]

$T_0$  - temperatura svježje vode [13,5 °C]

Nakon proračuna dnevne potrebne topline za zagrijavanje vode, toplinu je potrebno prevesti u satne potrebe. Norma EN 12831-3:2008 daje dnevnu raspodjelu potrošnje u hotelima kako prikazuje Tablica 2. i Slika 5., dok Tablica 3. prikazuje rezultate proračuna potrebne energije za toplu vodu.

Tablica 2. Dnevna raspodjela potrošnje PTV-a prema EN 12831-3:2008

| Sat | Udio (%) | Sat | Udio (%) | Sat | Udio (%) |
|-----|----------|-----|----------|-----|----------|
| 1   | 1        | 9   | 8        | 17  | 4        |
| 2   | 1        | 10  | 6        | 18  | 5        |
| 3   | 1        | 11  | 5        | 19  | 6        |
| 4   | 0        | 12  | 5        | 20  | 7        |
| 5   | 0        | 13  | 6        | 21  | 7        |
| 6   | 1        | 14  | 6        | 22  | 6        |
| 7   | 3        | 15  | 5        | 23  | 5        |
| 8   | 6        | 16  | 4        | 24  | 2        |



Slika 5. Dnevna raspodjela potrošnje PTV-a

Tablica 3. Mjesečne potrebe za toplom vodom [kWh]

|          |          |
|----------|----------|
| Siječanj | 941.0632 |
| Veljača  | 1643.319 |
| Ožujak   | 1944.864 |
| Travanj  | 2549.978 |
| Svibanj  | 3952.465 |
| Lipanj   | 5342.81  |
| Srpanj   | 6022.804 |
| Kolovoz  | 6085.542 |
| Rujan    | 5039.242 |
| Listopad | 4579.841 |
| Studeni  | 910.7063 |
| Prosinac | 1129.276 |

## 2.3. Proračun potrebne energije za grijanje

Proračun potrebne energije za grijanje vrši se prema normi HRN EN ISO 13790 [5], sa satnim korakom. Mjesečna potreba, isto kao i kod PTV-a, dobiva se sumacijom satnih potreba po mjesecu, pri čemu se koristi kvazistacionarna satna metoda. Ulazni podaci potrebni za proračun su satne vanjske temperature zraka i satno ozračenje pojedine plohe svake orijentacije (sve orijentacije zida i krov pod nagibom). Za proračun su potrebna i toplinska svojstva zgrade, koja su preuzeta iz „Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskog zaštiti“ prikazana u Tablici 4.

Tablica 4. Koeficijenti prolaza topline građevnih elemenata

| Redni broj | Građevni dio                                 | U<br>[W/m <sup>2</sup> K] |
|------------|--|---------------------------|
| 1          | Vanjski zid                                  | 0,3                       |
| 2          | Prozor                                       | 1,6                       |
| 3          | Ostakljeni dio prozora                       | 1,1                       |
| 4          | Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora | 0,25                      |
| 5          | Podovi prema tlu                             | 0,4                       |
| 6          | Vanjska vrata                                | 2,0                       |

Za grijanje je odabrana temperatura svih prostorija od 22 °C. Kako bi se proračun skratio radi se u jednozonskoj izvedbi.

Toplinska energija za grijanje računa se prema jednadžbi:

$$Q_{H,nd} = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta_{H,gn}(Q_{int} + Q_{sol}) \quad [kWh] \quad (2)$$

$Q_{H,nd}$  - potrebna energija za grijanje [kWh]

$Q_{Tr}$  - transmisijski toplinski gubici [kWh]

$Q_{Ve}$  - ventilacijski toplinski gubici [kWh]

$\eta_{H,gn}$  - faktor iskorištenja toplinskih dobitaka [-]

$Q_{int}$  - unutarnji toplinski dobitci [kWh]

$Q_{sol}$  - solarni toplinski dobitci [kWh]

Svaki od pojedinih iznosa gubitaka računa se na isti način prema:

$$Q_{ls} = \frac{H}{1000} * \Delta T * t \text{ [kWh]} \quad (3)$$

Gdje:

- $Q_{ls}$  - pojedini gubitak [kWh]
- $H$  - koeficijent izmjene topline [W/K]
- $\Delta T$  - razlika unutarnje setpoint temperature i vanjske [K]
- $t$  - proračunski period [h], u ovom slučaju  $t=1$  h

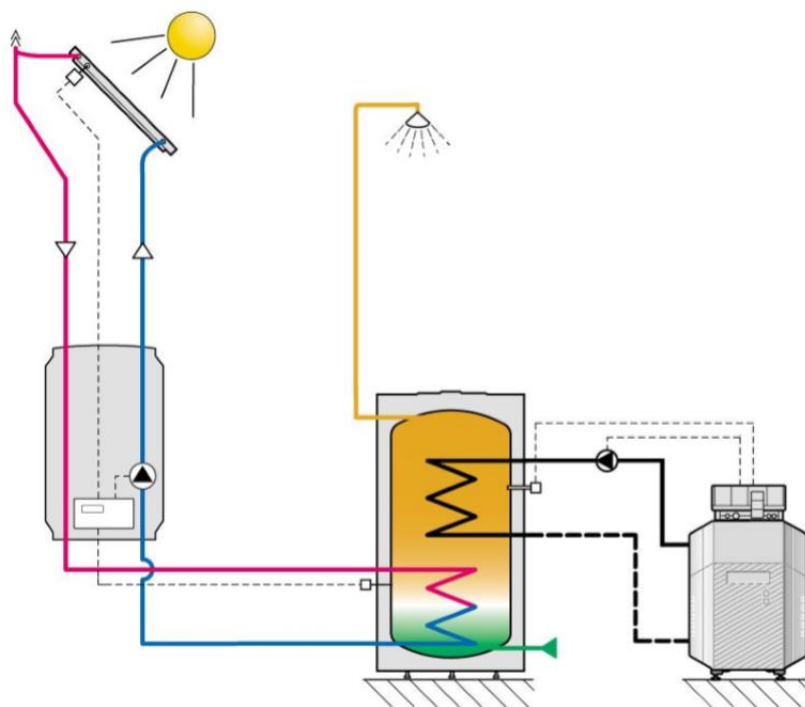
Unutarnji toplinski dobitci potječu od rasvjete, opreme i ljudi u prostoru. Računaju se kao umnožak specifičnog odavanja topline pojedinog elementa, njegove efektivne površine i proračunskog koraka.

Solarni toplinski dobitci računaju se redukcijom solarne iradijacije na stvarno dozračenu energiju putem niza koeficijenata, kao što su: koeficijent zasjenjenja, prozirnost, stupanj propuštanja, faktor kuta itd.

### 3. Satni proračun

Satni proračun kruga solarnih kolektora bazira se na dvije međuovisne kalkulacijske petlje, jedna prema HRN EN 15316-4-3:2017 [2] i druga prema HRN EN 15316-5:2017 [3].

Sustav koji se proračunava je jednostavni solarni krug sastavljen od kolektora, akumulacijskog spremnika, pumpe, regulacije i pomoćnog generatora topline, koji se pali u slučajevima kad solarni krug ne zadovoljava potrebe sustava. Pojednostavljena funkcionalna shema sustava prikazana je na Slici 6.



Slika 6. Funkcionalna shema solarnog kruga [4]

Kada je to moguće, akumulacijski spremnik predaje toplinu i krugu grijanja. Ulazni podaci za satni proračun preuzeti su iz propisa Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja.

### 3.1. HRN EN 15316-4-3:2017

Nova norma za proračun energije predane sustavu pretvorbom sunčevog zračenja. Norma nudi mogućnost proračuna solarnih kolektora za toplu vodu i fotonaponskih panela u sezonskoj, mjesečnoj i satnoj izvedbi.

Proračun se provodi u kombinacijama prema Tablici 3. Pri čemu se koristi jedinstveni kolektor površine 2,35 m<sup>2</sup>, kojemu se mijenjaju broj, nagib i orijentacija.

Tablica 5. Ulazne varijable proračuna

| Broj kolektora | Nagib | Orijentacija | Lokacija |
|----------------|-------|--------------|----------|
| 10             | 0     | Istok        | Split    |
| 15             | 45    | Jug          | Zagreb   |
| 20             | 90    |              |          |

Zato što je proračun dvostruko iterativan po normi te međuzavisan s proračunom norme za akumulacijski spremnik, mora se programirati, u ovom slučaju je korišten MATLAB.

Norma kreće od definicije sustava, tj. prvi korak je proračunavanje ukupne površine instaliranih kolektora kao umnožak broja kolektora i jedinične površine te proračun prosječne temperature vode u krugu kolektora u nultom koraku preko:

$$T_{colavg;h} = T_{sol;loopin;h-1} + \frac{0,4 * I_{solh} * A_{sol}}{q_{mcol} * C_w * 2} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4)$$

Gdje vrijedi:

- $T_{sol;loopin;h-1}$  - ulazna temperatura iz posljednje iteracije prošlog sata ili temperatura dna spremnika ako je početak proračuna [°C]
- $I_{solh}$  - sunčevo zračenje na površinu kolektora [W/m<sup>2</sup>]
- $q_{mcol}$  - maseni protok kroz kolektore [kg/s]
- $C_w$  - 4186, specifični toplinski kapacitet vode [J/kgK]

Nakon definiranja početne prosječne temperature kolektora slijedi iteracijski postupak koji počinje proračunavanjem iskoristivosti kolektora u pojedinom satu prema jednadžbi:

$$\eta_{colh} = \eta_0 * K_{hem} - a_1 * T_h - a_2 * T_h^2 * I_{solh} \quad [-] \quad (5)$$

U kojoj:

$\eta_0$  - maksimalna iskoristivost kolektora [-]

$K_{hem}$  - korekcijski faktor upada zračenja [-]

$a_1$  - koeficijent gubitaka prvog reda [ $W/m^2K$ ]

$a_2$  - koeficijent gubitaka drugog reda [ $W/m^2K^2$ ]

$T_h$  - reducirana temperaturna razlika kolektora u satu, koja se računa prema:

$$T_h = \frac{T_{colavg,h} - T_{ext,h}}{I_{solh}} \quad [Km^2/W] \quad (6)$$

Poslije definiranja dviju efikasnosti kolektora, njihovim korištenjem se izračunava toplina koja se apsorbira na kolektorskoj površini ( $\eta_0$ ) i toplina koja se uspije predati na medij ( $\eta_{colh}$ ), kao umnožak kolektorske površine, upadnog zračenja, iskoristivosti i vremenskog koraka. Potom se računaju gubici razvoda kao produkt temperaturne razlike medija i specifičnog koeficijenta gubitaka cjevovoda. Razlika predane topline mediju i gubitaka predstavlja toplinu koju kolektor predaje spremniku. Program u ovom trenutku poziva drugu normu pri čemu je ulazni podatak toplina koja izlazi iz kolektora, a vraća se temperatura vode koja ulazi u kolektor i iznos akumulirane topline. Prema normi se mora izračunati nova srednja temperatura kolektora (7) i iteracija se ponavlja minimalno četiri puta.

$$T_{colavg,h} = \frac{T_{sol;loopin;h-1} + T_{sol;loopin,h}}{2} + \frac{Q_{sol;loopout,h}}{q_{mcol} * c_w * 2} \quad [^{\circ}C] \quad (7)$$

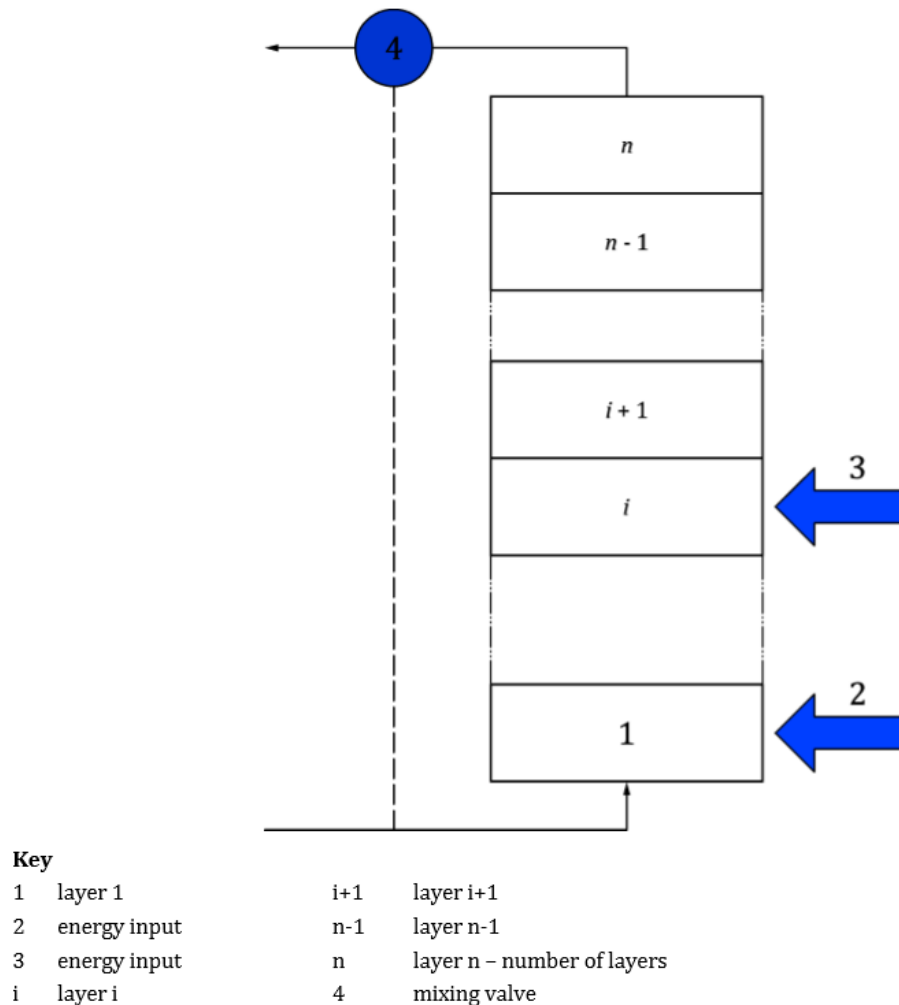
Pri čemu vrijedi:

$Q_{sol;loopout,h}$  - toplina koja se nudi spremniku (razlikuje se od topline koju spremnik prihvati) [ $kWh$ ]



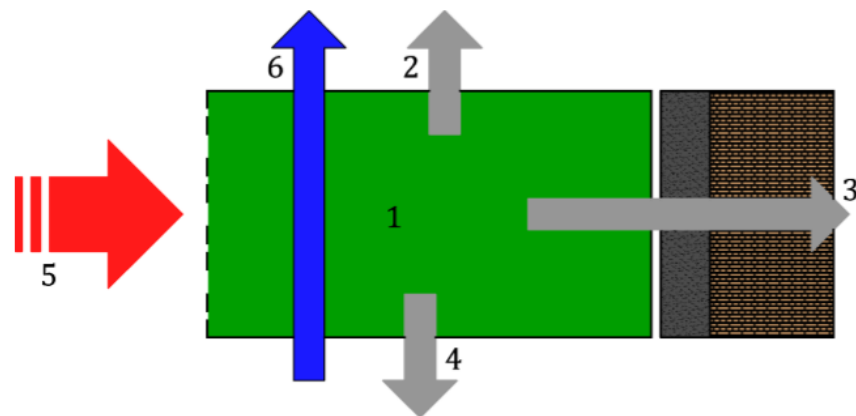
### 3.2. HRN EN 15316-5:2017

Norma za proračun akumulacijskih spremnika za toplu vodu i pomoćne tehnologije za regulaciju i distribuciju. Proračun je zasnovan na principu diskretizacije spremnika u volumene između kojih se postavljaju toplinske bilance, diskretizacija je formalno prikazana na Slici 7., a bilanca jednog volumena na Slici 8.



Slika 7. Diskretizacija volumena spremnika

U proračunu je odabrana diskretizacija na 4 podvolumena, zato što je to minimalni broj volumena u koji se mogu smjestiti: dovod vode, odvod vode, izmjenjivač solarnog kruga, izmjenjivač dogrijača.

**Key**

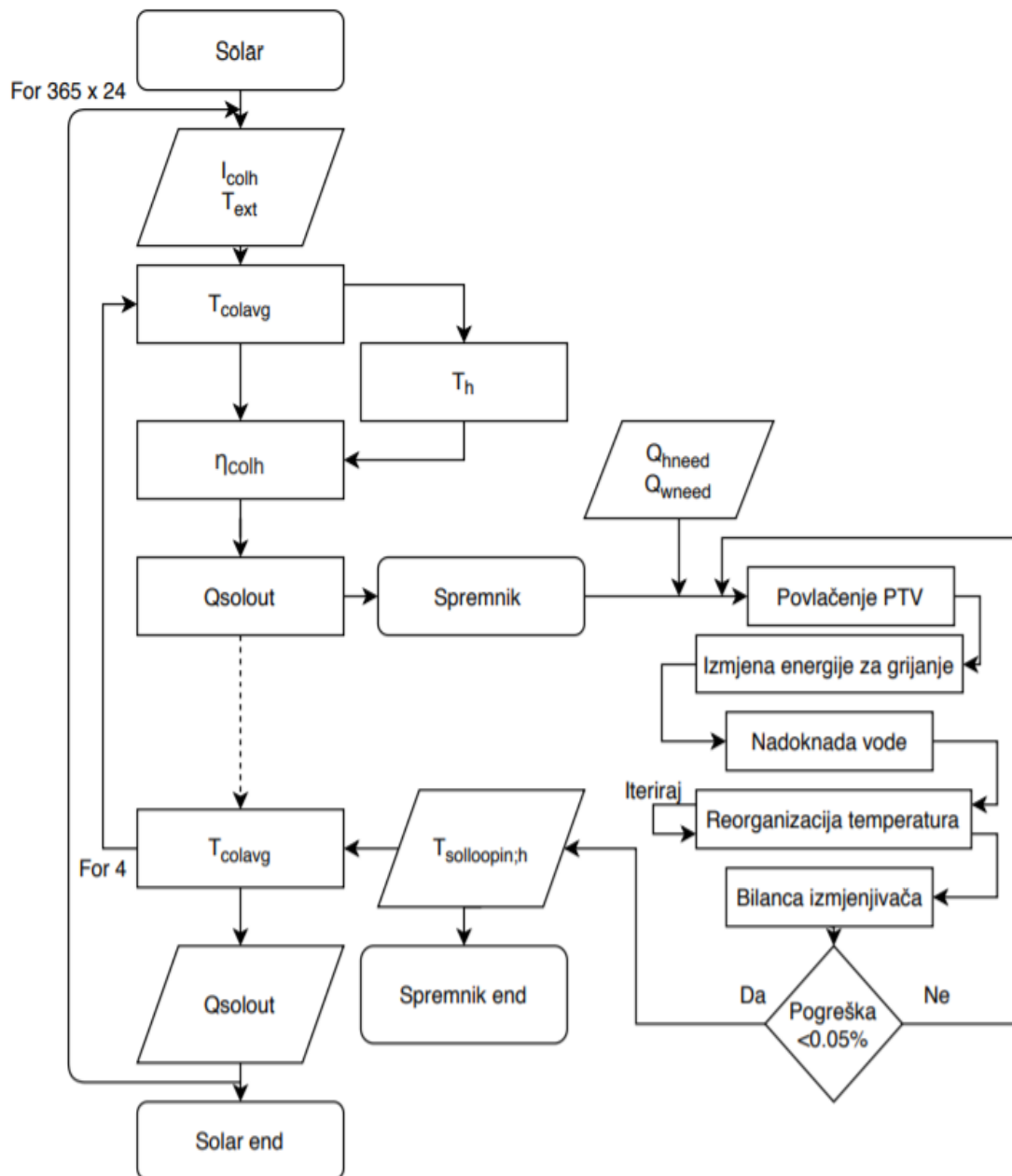
- 1 layer i
- 2 energy exchange due to thermal conduction with the upper layer
- 3 energy exchange with ambient – contribution of layer I to thermal losses
- 4 energy exchange due to thermal conduction with the lower layer i-1
- 5 energy input into volume i
- 6 energy exchange due to mass transfer

Slika 8. Toplinski tokovi za bilansiranje jednog volumena

Norma daje jednake mogućnosti proračuna kao i norma za solarni krug, dakle sezonska, mjesečna i satna. Također, nudi pojednostavljenje pri kojem se umjesto diskretizacije cijeli spremnik modelira jednim volumenom i jednom bilansnom jednačinom.

Ulazni podaci za proračun su potrebe za grijanjem i PTV-om u određenom satu te energija koju solarni krug želi predati spremniku. Proračunski se određuje koliko energije za koju potrebu spremnik sadrži i potom se oduzima onoliko energije za PTV koliko je u tom trenutku potrebno. Kako energija napušta sustav, odlazi i maseni protok vode koji se mora nadoknaditi iz vodovodne mreže. Ukoliko ostane viška energije ona se može predati krugu grijanja kao promjena entalpije jednog podvolumena vode koji okružuje izmjenjivač. S druge strane, ako energije nema dovoljno (temperatura vode je preniska), uključuje se dogrijač i dogrijava vodu. Kada se svi navedeni postupci primjene na diskretizirane volumene vode, treba te iste volumene ispremiješati i presložiti, tako da se dobije pravilni pozitivni temperaturni gradijent prema vrhu spremnika, petlja koja preslaguje volumene se vrti dok pravilno stanje nije zadovoljeno. Kad je spremnik točno posložen računa se koliko energije može primiti od strane solarnog izmjenjivača, odnosno koliko

mijenja temperaturu medija u izmjenjivaču. Jednom kad su te veličine izračunate program ih vraća u programsku petlju solarnog kruga. S obzirom na to da su jednadžbe koje prate algoritam proračuna spremnika opširne, bolje je opisati slijed dijagramom toka uz objašnjenja koraka. Algoritam povezanosti i slijeda dvije norme u pojednostavljenom prikazu je na Slici 9.



Slika 9. Simplificirani dijagram toka proračuna

## 4. Mjesečni proračun

Kako bi se rezultati satne metode mogli evaluirati potrebno je još proračunati koliko solarni krug daje energije kada se primjenjuje proračun po mjesečnoj metodi. Dva proračuna se uvelike razlikuju, ne samo po vremenskom koraku, već i zbog činjenice da je jedan dinamički, a drugi kvazistacionaran. Proračun je također proveden po HRN EN 15316-4-3 [4], no mjesečnom modelu proračuna nije potrebna dopunska norma za proračun spremnika.

Proračun započinje podjelom isporučene energije toplinskog sustava na dio koji se koristi za zagrijavanje vode i na dio koji se koristi za grijanje. Da bi se mogli uspoređivati, proračun po satnoj metodi, koji ne nudi mogućnost razdvajanja energije po namjeni, i proračun po mjesečnoj, zbrajaju se iznosi oba dijela isporučene energije koji se izračunaju mjesečnom metodom.

Osnovna jednačba koja određuje proračun isporučene energije je:

$$Q_{solout} = Q_{need} * (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + f_m X^3) \quad [kWh] \quad (8)$$

U kojoj vrijedi:

$Q_{solout}$  - isporučena snaga solarnog sustava [kWh]

$Q_{need}$  - toplinsko opterećenje u promatranom periodu [kWh]

$a, b, c, d, e$  - faktori sunčanog spremnika [-], Tablica 4.

$f_m$  - faktor za spoj cijevi kolektora na podno grijanje [-], Tablica 4.

$X, Y$  - bezdimenzijske varijable [-]

Tablica 6. Faktori mjesečne metode

| Faktor | Spremnik <sup>a</sup> | Podno grijanje <sup>b</sup> |
|--------|-----------------------|-----------------------------|
| a      | 1,029                 | 0,863                       |
| b      | -0,065                | -0,147                      |
| c      | -0,245                | -0,263                      |
| d      | 0,0018                | 0,008                       |
| e      | 0,0215                | 0,029                       |
| f      | 0                     | 0,025                       |

Jednadžba (8) primjenjiva je i za grijanje i za PTV, uz korištenje odgovarajućih faktora, varijabli i opterećenja.

U normi postoji evaluacija isporučene energije koja glasi kako slijedi:

Ako je  $Q_{\text{solout}} < 0$ , tada je  $Q_{\text{solout}} = 0$

Ako je  $Q_{\text{solout}} > Q_{\text{need}}$ , tada je  $Q_{\text{solout}} = Q_{\text{need}}$

Slično se događa u satnoj metodi, no osim što se radi prepravljanje rezultata, satna metoda uzima u obzir i akumulaciju viška energije na temelju svakog proračunskog koraka, dok je ta ista akumulacija u mjesečnoj metodi definirana jednim faktorom.

Da bi se mogao odrediti udio pojedine potrebe u isporučenoj energiji, mora se napraviti pridjeljivanje površine kolektora određenoj potrebi na način da se proračuna udio, npr. potrebe za grijanjem, u ukupnom opterećenju sustava te se sa tim udjelom množi ukupna površina kolektora.

Izračun varijable X i Y vrši se prema sljedećim jednadžbama:

$$X = \frac{A \cdot U_{\text{loop}} \cdot \eta_{\text{loop}} \cdot \Delta\vartheta \cdot f_{\text{st}} \cdot t_m}{Q_{\text{need}} \cdot 1000} \quad [\text{kWh}] \quad (9)$$

$$Y = \frac{A \cdot IAM \cdot \eta_0 \cdot \eta_{\text{loop}} \cdot I_m \cdot t_m}{Q_{\text{need}} \cdot 1000} \quad [\text{kWh}] \quad (10)$$

U kojima vrijedi:

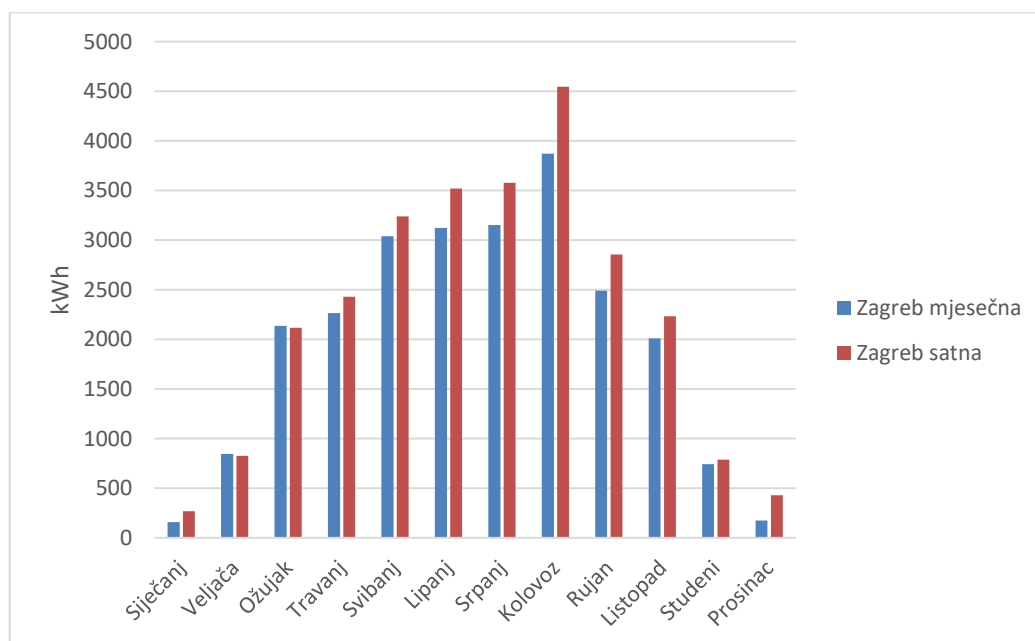
- $t_m$  - broj sati u mjesecu [h]
- $IAM$  - vidi  $K_{\text{hem}}$  [-]
- $I_m$  - prosječno sunčevo zračenje tijekom mjeseca [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
- $f_{\text{st}}$  - korekcijski faktor zapremnine spremnike [-]
- $U_{\text{loop}}$  - koeficijent toplinskih gubitaka kolektorskog kruga [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
- $\eta_{\text{loop}}$  - faktor učinkovitosti kolektorskog kruga [-]
- $\Delta\vartheta$  - referentna razlika temperatura [K]

## 5. Rezultati proračuna

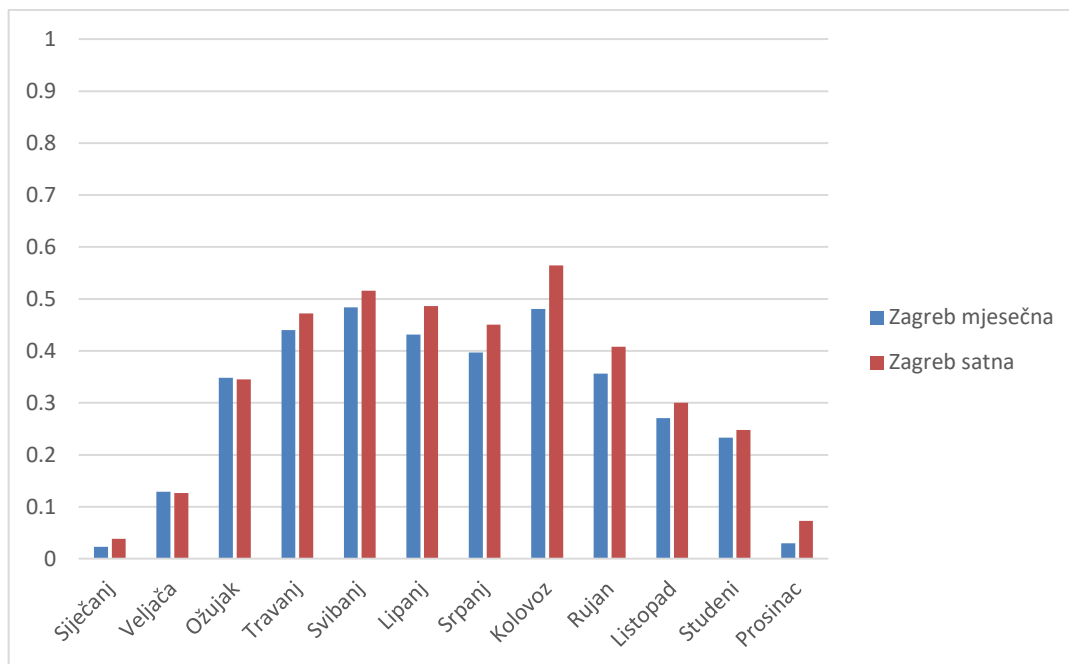
Programi za satni proračun napravljeni su tako da sve rezultate spremaju u posebne Excel datoteke. Kako bi se mogle uspoređivati mjesečna i satna metoda potrebno je sumirati po mjesecima sve satne rezultate. Za bolji prikaz korisnosti sustava solarnih kolektora koristi se faktor pokrivanja, koji prikazuje koliko energije dostavlja solarni sustav u odnosu na potrebe zgrade. Najbolje je prikazati razliku satne i mjesečne metode za jednu geografsku lokaciju i jednu konfiguraciju, a nakon toga za satnu metodu uspoređivati razlike pri promjenama konfiguracije i lokacije.

### 5.1. Usporedba satne i mjesečne metode

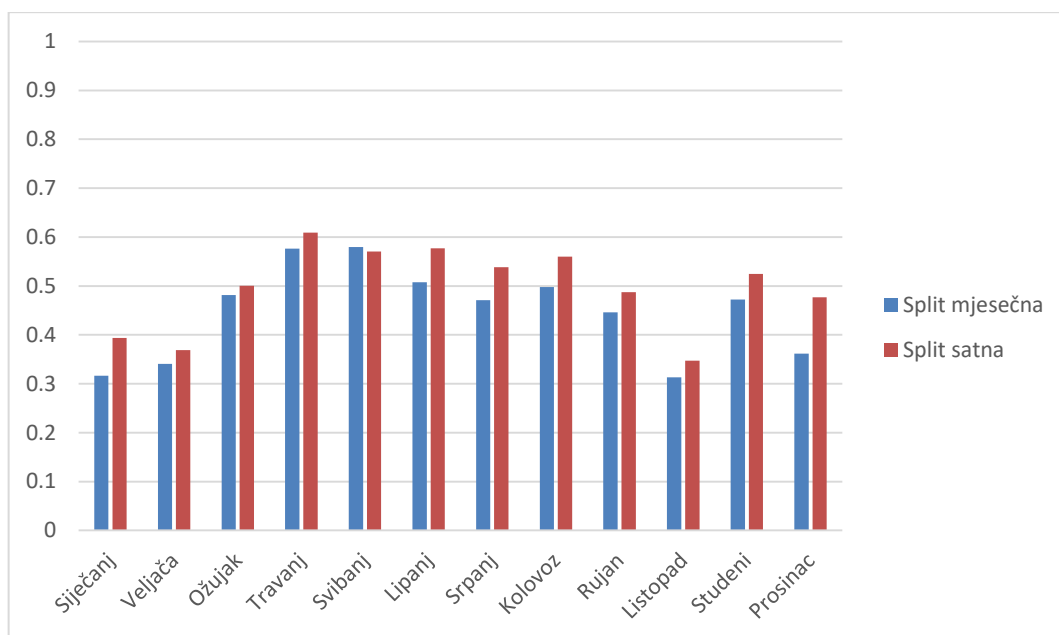
Usporedba se vrši za Split i Zagreb, pri konfiguraciji od 15 kolektora, nagiba 45°, južne orijentacije i sa spremnikom od 3000 L. Da bi se razlike među metodama svele na algoritamske, ulazni podaci za satnu metodu prekrojani su za upotrebu u mjesečnoj, zato što osrednjene vrijednosti reprezentativne godine iz „Tehničkog propisa dio E“ previše odstupaju od aktualne mjerne godine korištene u satnoj metodi.



Slika 10. Isporučena energija za Zagreb uz mjesečni i satni proračunom

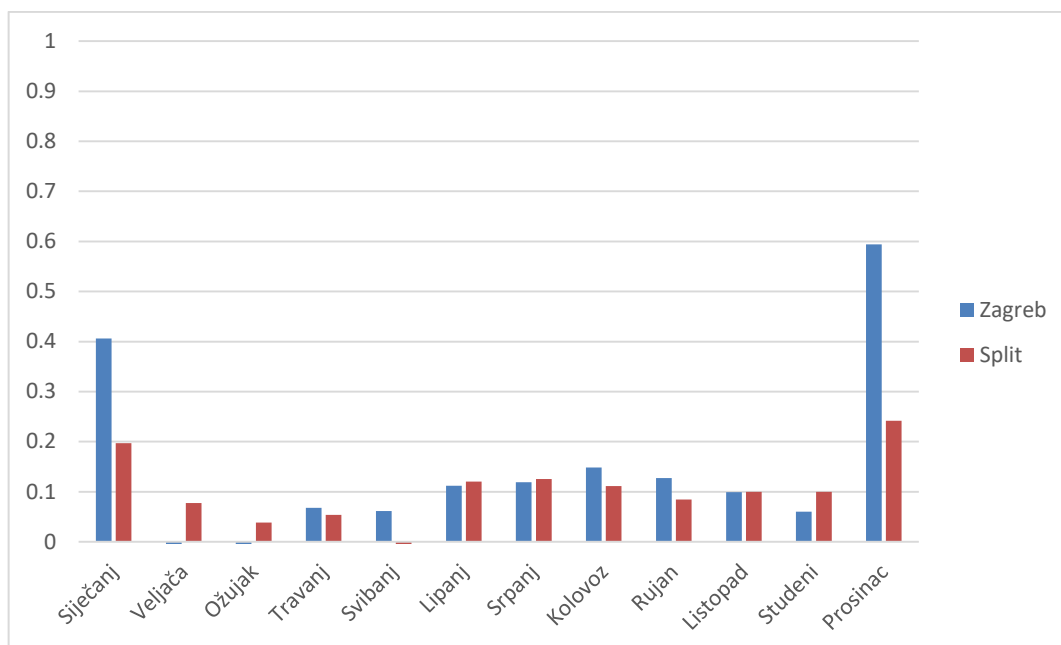


Slika 11. Faktori pokrivanja za Zagreb uz mjesečni i satni proračun



Slika 12. Faktori pokrivanja za Split uz mjesečni i satni proračun

Iz priloženih grafikona može se uočiti da satna metoda skoro uvijek daje veće vrijednosti isporučene energije, a samim time i veće faktore pokrivanja, i to u oba proračunska grada. Veliki skokovi zamjetni su u ljetnim i zimskim mjesecima, dok su odstupanja rješenja u prijelaznim mjesecima minimalna. Prikaz odstupanja u relativnom obliku prikazan je na slici 13.



Slika 13. Odstupanja satne i mjesečne metode za Split i Zagreb

Relativno odstupanje određeno je prema:

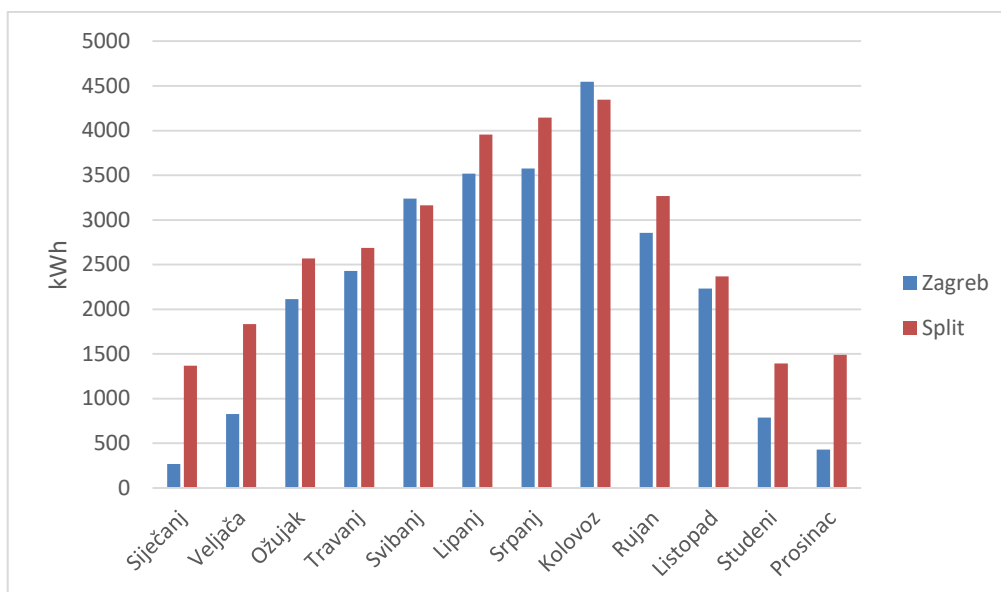
$$R = \frac{Q_{satno} - Q_{mjesečno}}{Q_{satno}} [-] \quad (11)$$

Može se zaključiti da se za veće solarno opterećenje odstupanje drži u granicama od 10% do 15%. S druge strane, kad opterećenje padne, a to se najbolje vidi u Zagrebu za period zimskih mjeseci, odstupanja vrlo brzo narastu do raspona od 40% do 60%, što se pripisuje prije definiranim mehanizmima algoritama.

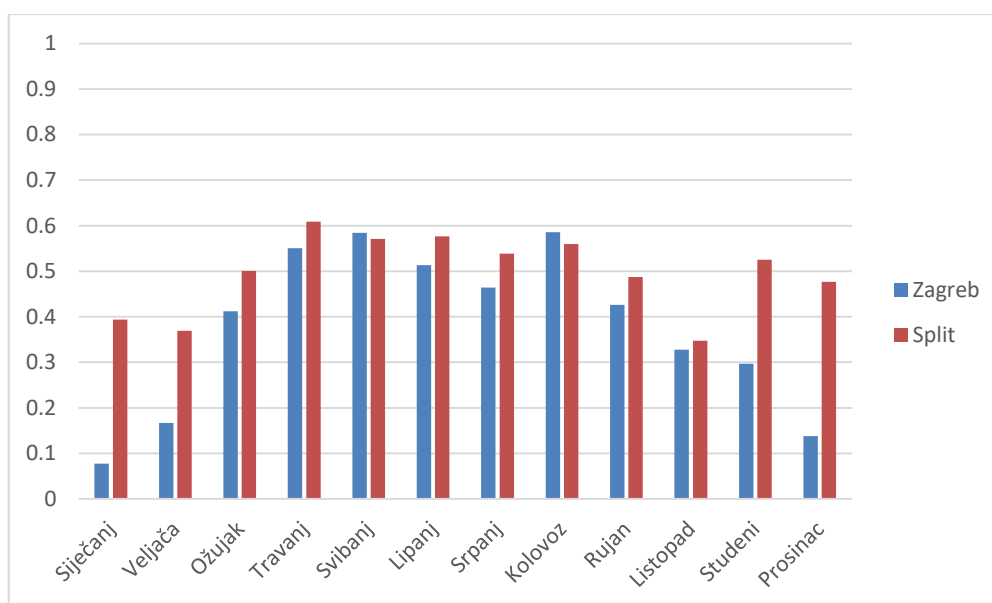
## 5.2. Usporedba Split-Zagreb

Poredba na temelju geografske lokacije izvodi se pri 15 kolektora s nagibom 45°, orijentacijom jug i spremnikom od 3000 litara. Radi se usporedba samo na temelju satne metode, da se dijagrami ne bi prepunili viškom podataka, preko ukupne predane energije i faktora pokrivanja. Rezultati su prikazani na Slikama 14. i 15.





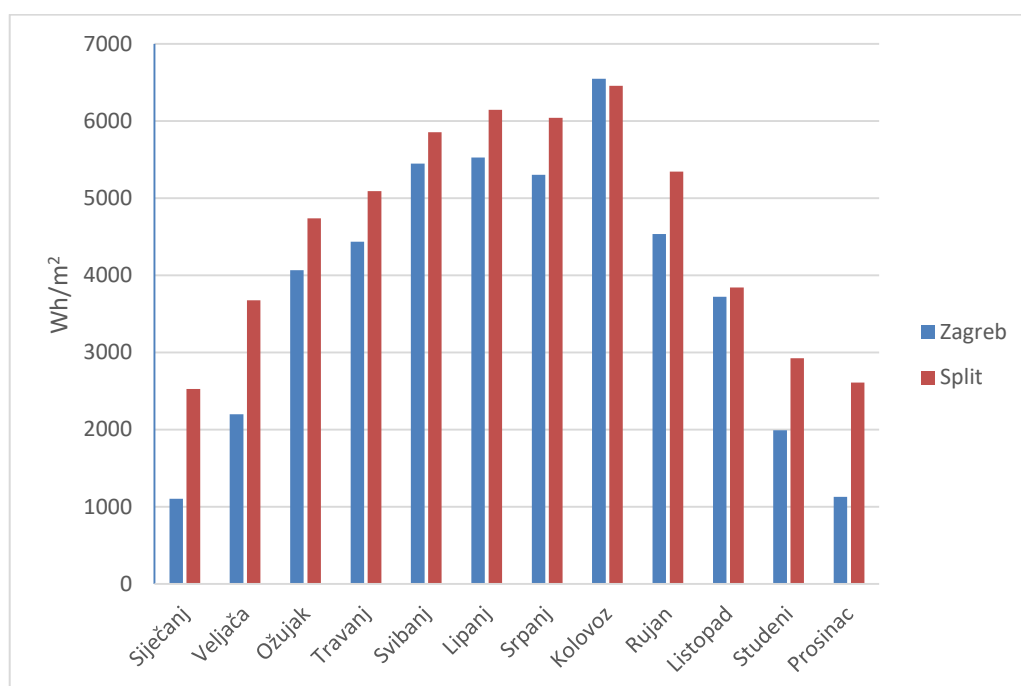
Slika 14. Isporučena energija po satnoj metodi u Zagrebu i Splitu



Slika 15. Faktori pokrivanja prema satnoj metodi u Zagrebu i Splitu

Iz priloženih dijagrama može se vidjeti da u ljetnim mjesecima primljena energija kolektora malo varira između splitske i zagrebačke lokacije, no moglo se pretpostaviti da će kolektori u Splitu davati više energije, zbog činjenice da Split ima više sunčanih sati u danu. Kako se broj sunčanih sati smanjuje, odnosno što su mjeseci bliže zimskim, razlika raste. Pretpostavlja se da je ta razlika uvjetovana faktorima poput: manje oblačnosti Splitske regije u zimskim mjesecima, više temperature vanjskog zraka, koje uvjetuju manje gubitke

solarnog kruga itd. Vidi se da se slično ponašaju i faktori pokrivanja, u zimskim mjesecima odstupanja znatno rastu, a razlog za to ne leži samo u ozračenju, već i u činjenici da su sami toplinski gubici zimi manji u Splitskoj regiji, stoga potrebna energija za grijanje nije toliko velika i lakše je namaknuti potrebe sustava. U kolovozu se vidi da primljena energija u Zagrebu ima veći iznos nego u Splitu, razlog tome je različitost ulaznih podataka, zato što su podaci za Zagreb mjereni 2004. i 2009. godine, a za Split 2008. i 2011., njihov odnos za nagib kolektora od 45 stupnjeva prikazan je na Slici 16.



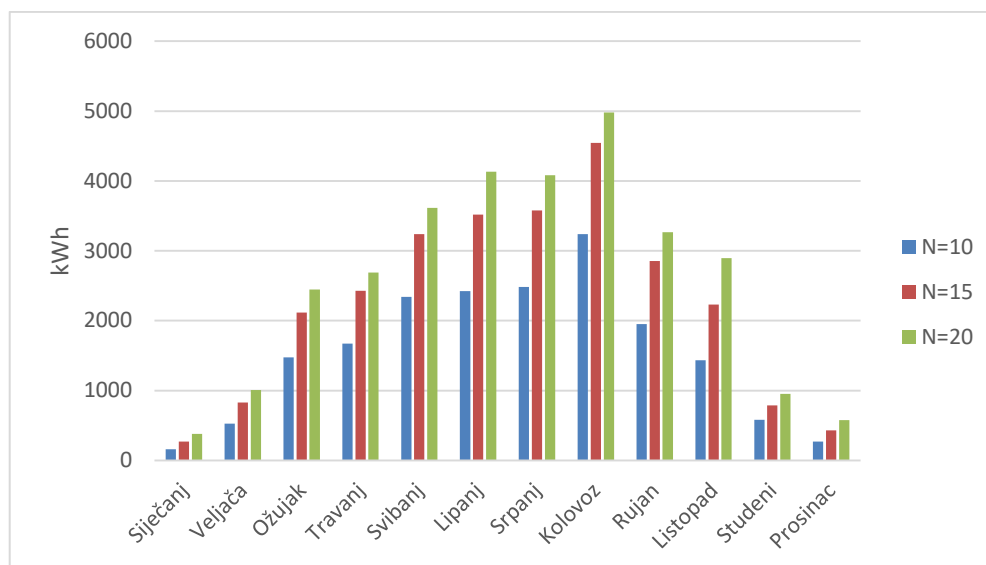
Slika 16. Dnevno uprosječno solarno zračenje u Splitu i Zagrebu

### 5.3. Analiza promjene konfiguracije sustava

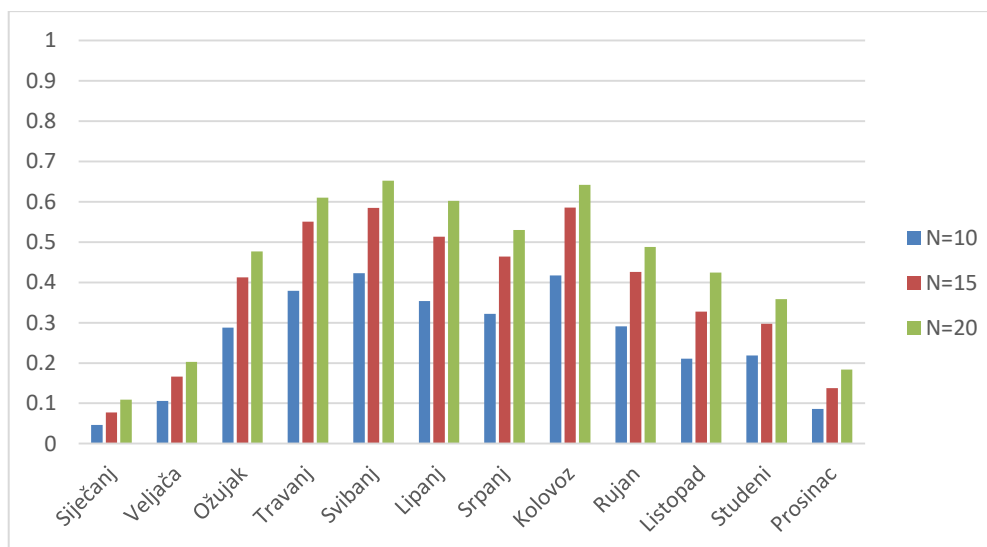
Sve analize promjene konfiguracije vrše se za Zagreb, zbog količine podataka koje bi trebalo obraditi da se analiza vrši za dva grada i zbog toga što se razlika među gradovima već opisala.

#### 5.3.1. Promjena broja kolektora

Kako je opisano u poglavlju 3.1., broj kolektora se varira između 10, 15 i 20 pri nagibu od 45° i orijentaciji Jug. Promjena broja kolektora direktno mijenja ukupnu apsorbersku površinu, a time i dozračenu odnosno primljenu energiju na kolektorima.



Slika 17. Isporučena energija pri različitom broju kolektora u Zagrebu

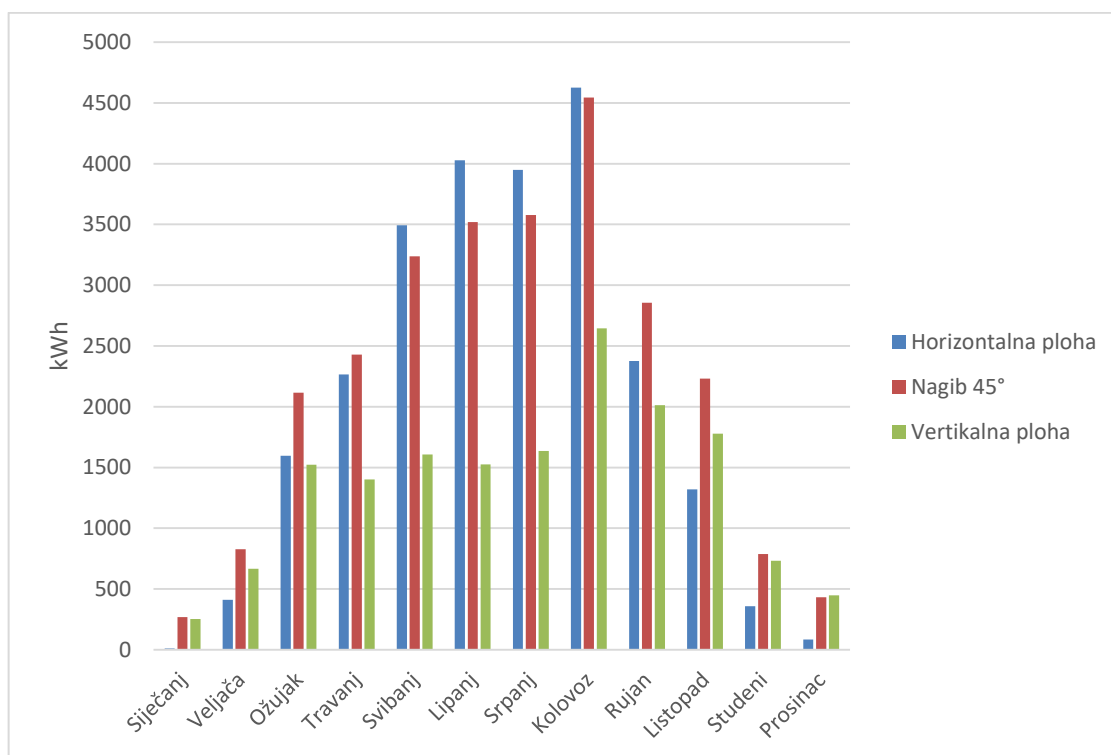


Slika 18. Faktori pokrivanja pri različitom broju kolektora u Zagrebu

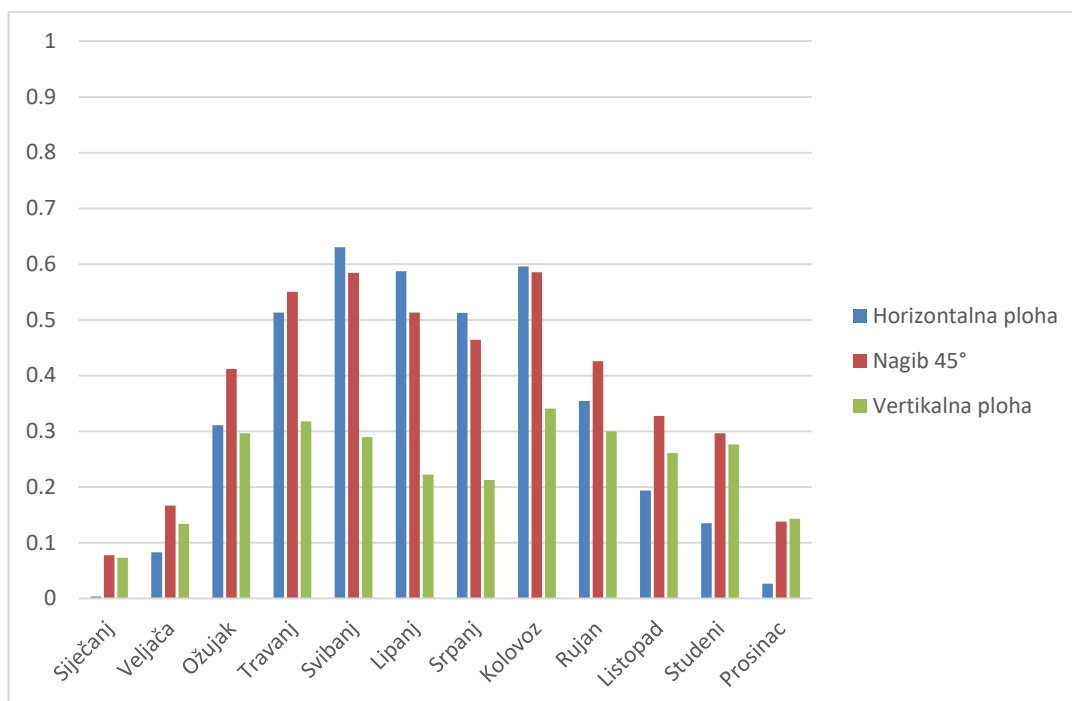
Kao što se moglo i pretpostaviti, promjena broja kolektora proporcionalno povećava dozračenu, a time i isporučenu energiju. Iz tog razloga najveći broj kolektora (20) daje i najveću energiju, no pri analizi faktora pokrivanja može se uočiti da se porast smanjuje s većim brojem kolektora. Stoga se zaključuje da postoji maksimalni optimalni broj kolektora koji se preporučuje ugraditi, razlog za to je veličina akumulacijskog spremnika, koji ne može akumulirati višak energije koja pristiže sa kolektora. Ograničenje na broj kolektora je i prostor za ugradnju, to jest veličina krova na koji se kolektori instaliraju.

### 5.3.2. Promjena nagiba kolektora

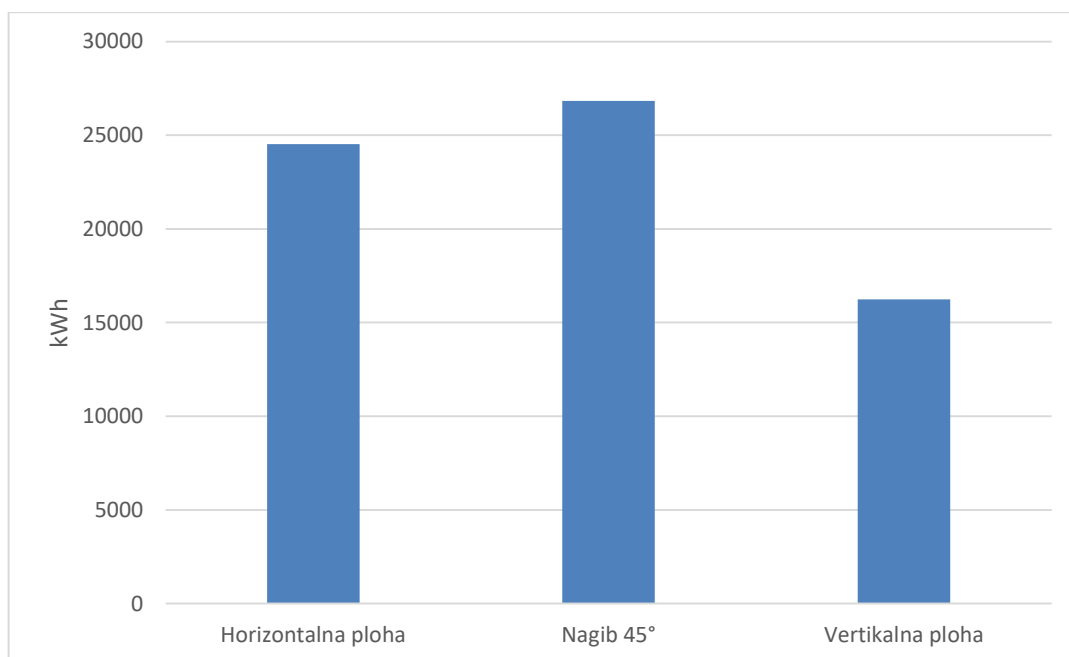
Promjena nagiba kolektora izvodi se za  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  i  $90^\circ$  pri 15 kolektora orijentacije jug na lokaciji Zagreb. Kut kolektora utječe na dozračenu energiju zbog promjene kuta upada Sunčevih zraka. Obzirom da i samo Sunce mijenja svoj kutni otklon u odnosu na horizont, različite konfiguracije u različito doba godine daju bolje odnosno lošije rezultate. Na primjer, dok traju ljetni mjeseci i Sunce dostiže svoju najvišu točku, na plohe horizontalne izvedbe pasti će veći udio okomitih Sunčevih zraka. S druge strane, u zimskim mjesecima, dok je Sunce nisko na horizontu, plohe vertikalne izvedbe se predstavljaju kao bolji odabir.



Slika 19. Isporučena energija za različite nagibe kolektora u Zagrebu



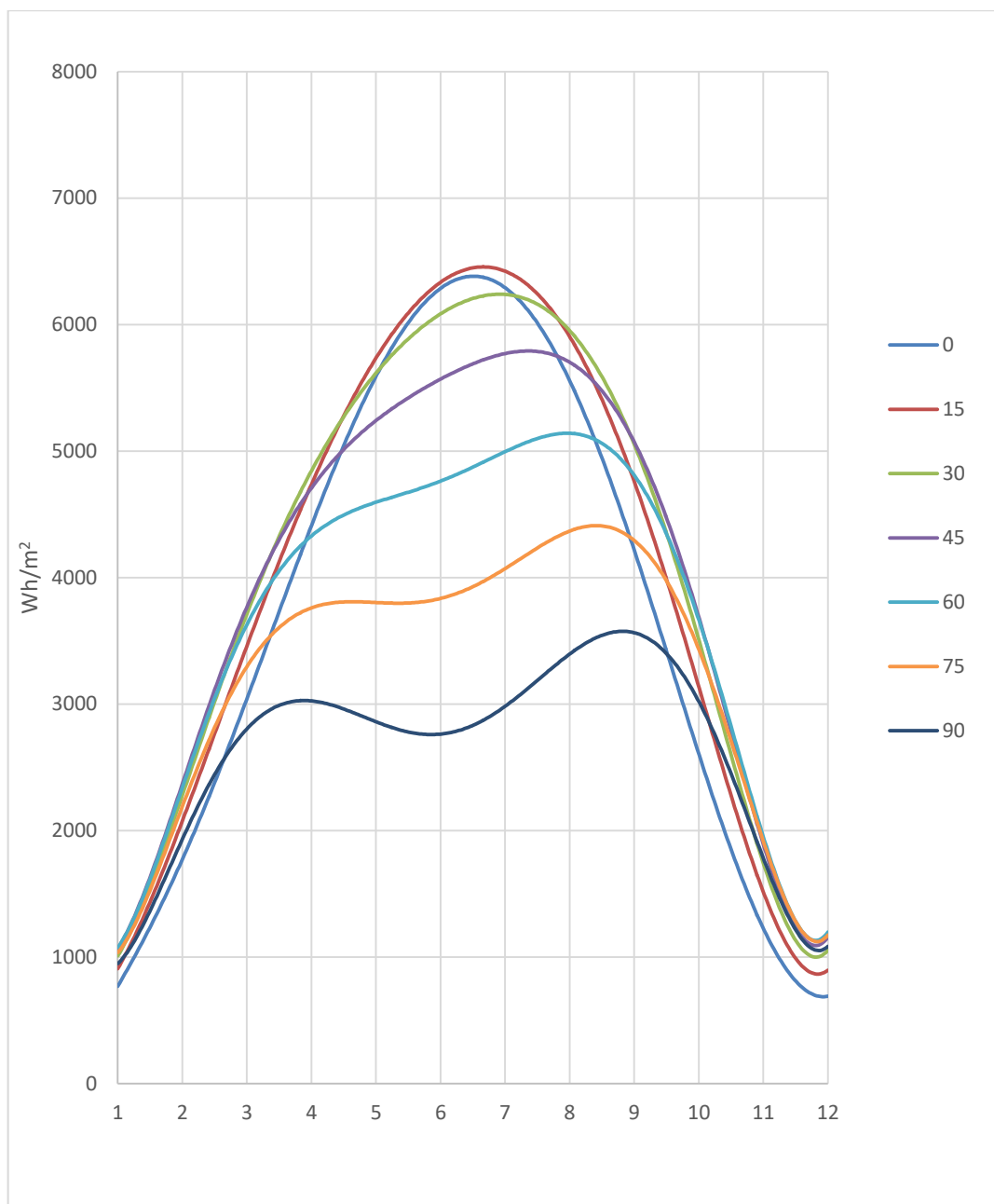
Slika 20. Faktori pokrivanja za različite nagibe kolektora u Zagrebu



Slika 21. Ukupna energija u godini za plohe različitih nagiba u Zagrebu

Iz priloženih slika vidi se varijacija maksimuma dozračene energije, a time i faktora pokrivanja. To nudi pretpostavku da postoji neki nagib kolektora koji osigurava maksimalnu iskoristivost cijele godine, ako se već kroz godinu ne mijenja nagib kolektora. Optimalni nagib kolektora će direktno ovisiti o

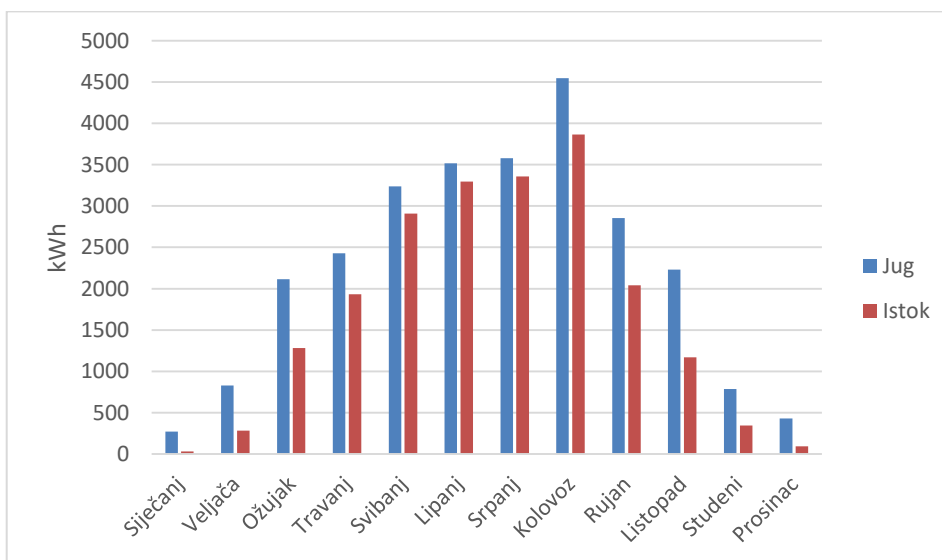
geografskoj širini na kojoj je zgrada smještena, zato što o tome ovisi i azimut Sunca na pojedinoj lokaciji. U općem slučaju, optimalni nagib je između SGŠ i SGŠ-10 na sjevernoj polutici. Zagreb leži na 45° geografske širine, stoga je optimalni nagib kolektora između 45° i 35°. Dozračena solarna energija za Zagreb, uprosječena po mjesecu, za različite nagibe kolektorskih površina, prikazana je na Slici 22.



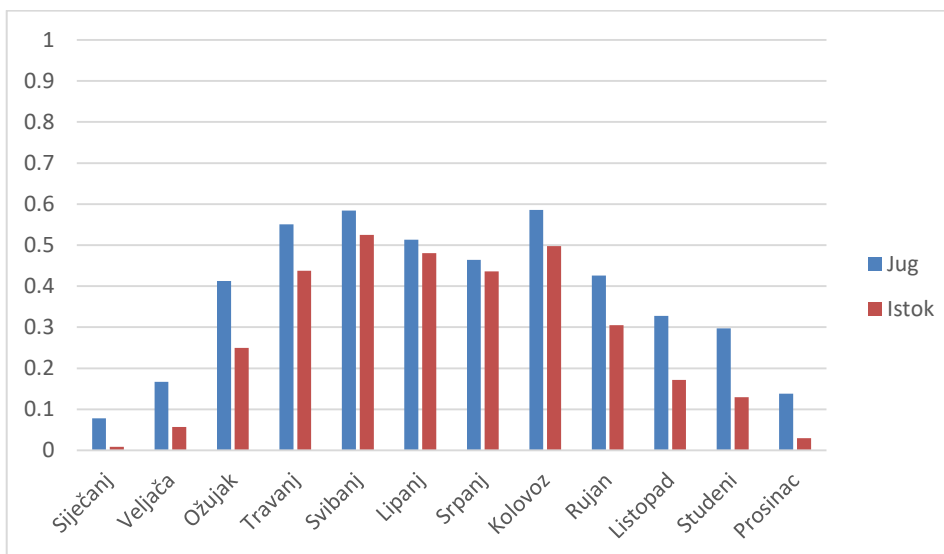
Slika 22. Solarno zračenje na plohe različitih nagiba u Zagrebu

### 5.3.3. Promjena orijentacije kolektora

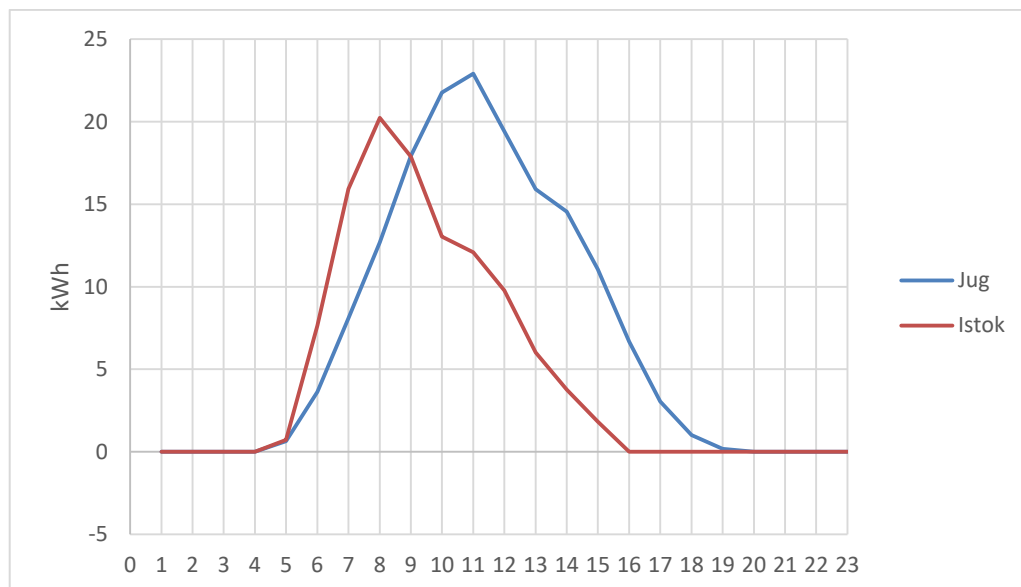
Optimalna orijentacija kolektora također će ovisiti o geografskoj širini, odnosno o zemljinoj polutci na kojoj se zgrada nalazi. Na sjevernoj Zemljinoj polutci Sunce izlazi na istoku, zalazi na zapadu, a većinu dana provede na jugu, stoga je optimalna orijentacija južna. To pokazuju Slike 23. i 24. na kojima se vidi da i isporučena energija i faktor pokrivanja pri južnoj orijentaciji daju veće vrijednosti.



Slika 23. Isporučena energija pri različitim orijentacijama u Zagrebu



Slika 24. Faktori pokrivanja pri različitim orijentacijama u Zagrebu



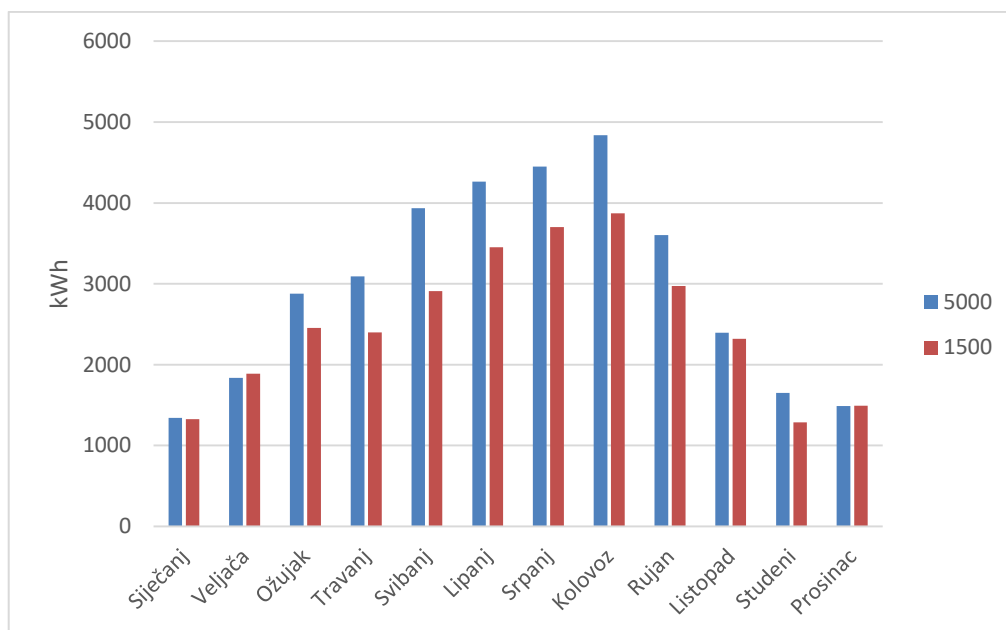
Slika 25. Satni raspored energije pri različitim orijentacijama u Zagrebu

Slika 25. pokazuje kako orijentacija utječe na dnevnu raspodjelu predane energije. Veći dio ozračenja događa se u jutarnjih satima, zato što Sunce izlazi na istoku. Dijagram je izrađen za 21. dan mjeseca lipnja, a krivulje trenda odstupaju od točnih vrijednosti dostavljene energije zbog usrednjavanja.

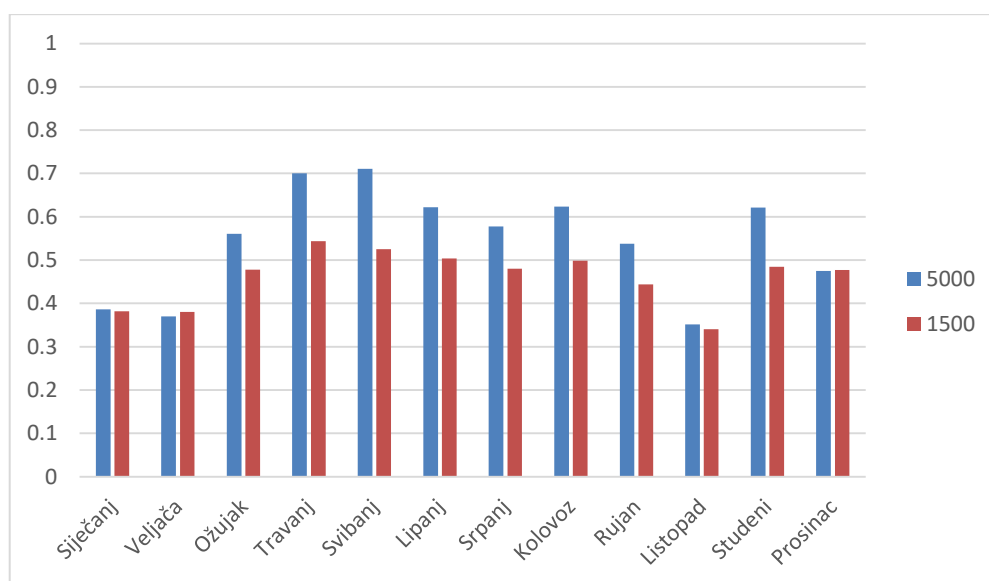
#### 5.3.4. Promjena volumena akumulacijskog spremnika

Promjena volumena spremnika vrši se za lokaciju Split pri nagibu kolektora  $45^\circ$ , orijentaciji jug i 15 instaliranih kolektora, između 1500 i 5000 litara. Veličina akumulacijskog spremnika bitna je stavka solarnog sustava zbog činjenice da u nekom trenutku Sunce može davati energiju, a da ona istovremeno nije potrebna, stoga će veći akumulacijski spremnik omogućiti akumulaciju više energije, no za veći akumulacijski spremnik promjena temperature teče sporije, pa dogrijač spremnika mora biti većeg učina. Prikaz promjene isporučene energije i faktora pokrivanja, u ovisnosti o veličini akumulacijskog spremnika, nalazi se na slikama 26. i 27.





Slika 26. Isporučena energija pri promjeni volumena spremnika u Splitu



Slika 27. Faktori pokrivanja pri promjeni volumena spremnika u Splitu

Promjena faktora pokrivanja i isporučene energije razlikuje se zbog velikih dobitaka dok su opterećenja manja, a što je spremnik manji, manje topline može zadržati. Razlike se najviše ističu u ljetnom razdoblju kada dobiti i jesu najveći.

## 6. Osvrt na norme i rješenja

Norme korištene u radu sadrže greške koje se trebaju ispraviti pri implementaciji. Od normi korištenih u ovom radu nove norme su EN 15316-4-3:2017 i EN 15316-5:2017.

U normi EN 15316-4-3:2017 nema logičkih grešaka.

U normi EN 15316-5:2017 nalaze se sljedeće greške:

1. Korišteni volumen mora se zadati u  $m^3$ , a ne u litrama
2. Toplinski kapacitet vode mora se dijeliti s 1000 zato što mora biti izražen u kWh, a ne u Wh
3. Toplinske bilance većine formula umjesto:

$$Q = \rho * c * V * \Delta T \quad [W] \quad (12)$$

Imaju oblik:

$$Q = \rho + c + V + \Delta T \quad [?] \quad (13)$$

Stoga treba sve jednadžbe tipa (13) treba zamijeniti tipom (12).

4. U normi nije definiran dijagram toka, iako se spominje kako postoji u tekstu
5. Dio proračuna koji se odnosi na povlačenje energije za grijanje krivo je definiran
6. Oznake su nekonzistentne, pa temperaturu na izlazu solarnog izmjenjivača treba korigirati u odnosu na ulaznu, a ne nepostojeću koja je prikazana u formulama
7. Ni na koji način nije definiran smjer prijenosa topline na solarnom izmjenjivaču, odnosno u slučaju da nema dobitaka na solarnim panelima sustav bi davao lažne rezultate zbog grijanja petlje vodom iz spremnika.
8. Kod proračuna izmjenjivača toplina je definirana kao:

$$Q = (H_{exh} + t) * \Delta T \quad [?] \quad (14)$$

Pri čemu je:

$H_{exh}$  - koeficijent prolaza izmjenjivača [ $W/Kh$ ]

9. Toplina koju isporučuje dogrijač namještena je da tako rezultati budu uvećani za 1000kWh, umjesto da dogrijač zagrijava do postavne temperature spremnika.

Prostora za napredak u radu ima na temelju dodatnih proračuna kao promjene raznih drugih parametara koji utječu na sustav: promjena postavnih temperatura, izolacija, vrsta kolektora, protoka itd. Također, može se provesti proračun dopunskih energija kao što su pumpe i implementacija regulacijskih petlji u program, čime se ostvaruje veća sličnost realnom sustavu, to jest simulacija. U slučaju postojanja reprezentativne godine s podacima za satnu metodu može se izvršiti kvalitetnija analiza solarnih panela u ovisnosti o geografskoj lokaciji.

Cijeli sustav može se redefinirati, na primjer pomoću primjene dizalice topline uz sustav solarnih panela te proračunati iskoristivost i primjenjivost tog sustava.

## 7. Zaključak

Solarni sustavi pokazuju se kao visokoučinkovito rješenje za namicanje potreba za potrošnom toplom vodom i grijanjem, pogotovo u toplijim klimama s puno sunčanih sati godišnje. Kako bi se poboljšali sustavi i smanjila potrošnja neobnovljive energije u termotehničkim sustavima, primjena solarne energije skoro je neizostavna, a u kombinaciji s ostalim tipovima obnovljive energije, poput dizalica topline, postiže se sustav sa skoro nultom potrošnjom energije.

U primjeni proračuna uvijek je potrebno osvrnuti se na greške modela i propitati fizikalnu točnost rješenja, a to je posebice bitno kada se radi sa modelima zračenja i akumulacijom energije, kao što je to slučaj kod solarnih panela. Primjena satne metode omogućuje veću sigurnost u proračun, i korigira rješenje do 15%, što može biti značajan udio u potrebnoj energiji. Prilikom primjene satne metode bitno je provjeriti ulazne podatke, zato što o njima uvelike ovisi rezultat proračuna. Posebno je bitno kod usporedbe različitih metoda pripaziti da si ulazni podatci međusobno odgovaraju, kako bi rješenja bila vjerodostojna i usporediva.

Kod instalacije solarnih panela na sjevernoj polutci bitno je što veći broj kolektora smjestiti tako da imaju južnu orijentaciju i postaviti ih na optimalni nagib od SGŠ do SGŠ-10. Ovisno o primjeni treba predvidjeti tip kolektora i prostor za smještaj. Prilikom odabira akumulacijskog spremnika, treba pripaziti da spremnik ne bi bio premalen što bi uzrokovalo manju akumulaciju energije, a ni prevelik što bi predstavljalo trošak vode i energije grijača.

Kada to može predstavljati problem, primjerice kod nedovršenih normi, treba pripaziti na kvalitetu izrade norme i ne previdjeti termodinamičke, logičke i aritmetičke pogreške.

## 8. Literatura

1. Hadorn, Jean-Cristophe: „Solar and Heat Pump Systems for Residential Buildings“, Ernst & Sohn, 2017.
2. EN 15316-4-3:2017, Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Heat generations systems, thermal solar and photovoltaic systems
3. EN 15316-5:2017, Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Space heating and DHW storage systems
4. HRN EN 15316-4-3:2008, Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama – Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode
5. EN ISO 13790:2008, Calculation of energy use for space heating and cooling
6. EN 12831-3:2017, Domestic hot water systems heat load and characterisation of needs