

Numerička analiza toplinske akumulacije zgrade na svojstva i potrošnju sustava grijanja

Prijić, Ana Maria

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:532767>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
Diplomski studij strojarstva

Numerička analiza toplinske akumulacije zgrade na svojstva i potrošnju
sustava grijanja
Diplomski rad

Rijeka, rujan 2024.

Ana Maria Prijić

0069056294

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
Diplomski studij strojarstva

Diplomski rad

**Numerička analiza toplinske akumulacije zgrade na svojstva i potrošnju
sustava grijanja**

Mentor: Izv.prof.dr.sc Boris Delač

Komentor: Prof.dr.sc Branimir Pavković

Rijeka, rujan 2024.

Ana Maria Prijić

0069056294

Rijeka, 10. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za termodinamiku i energetiku**
Predmet: **Računalno modeliranje sustava u termoenergetici i termotehnici**
Grana: **2.11.02 procesno energetska strojarstvo**

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Ana Maria Prijić (0069056294)**
Studij: **Sveučilišni diplomski studij strojarstva**
Modul: **Procesno i energetska strojarstvo**

Zadatak: **Numerička analiza toplinske akumulacije zgrade na svojstva i potrošnju sustava grijanja / Numerical analysis of the thermal accumulation of the building on the characteristics and consumption of the heating system**


Opis zadatka:


Analize u radu provesti na odabranom primjeru zgrade stambene namjene. Analizu utjecaja toplinske akumulacije zgrade ispitati kroz razinu detaljnosti simulacijskog modela (broj toplinskih zona) i konstrukciju zgrade. Utvrditi utjecaj prekida grijanja zimi i primjenu prirodne ventilacije ljeti. Simulacije provesti dinamičkim energetske modelom simulacijskog sučelja TRNSYS. Proračune je potrebno izraditi u skladu s trenutno važećom regulativom u Republici Hrvatskoj. Svi potrebni ulazni podaci bit će dogovoreni s mentorom.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.


Zadatak uručen pristupniku: 10. ožujka 2023.

Mentor:



Doc. dr. sc. Boris Delač


Prof. dr. sc. Branimir Pavković (komentor)

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



Izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić

IZJAVA

Ja, Ana Maria Prijić, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod nazivom „Numerička analiza toplinske akumulacije zgrade na svojstva i potrošnju sustava grijanja“, uz stručno vodstvo mentora izv. prof.dr.sc. Borisa Delača koristeći znanja stečena na fakultetu i navedenu literaturu.

Rijeka, rujan 2024.

Ana Maria Prijić

ZAHVALA

Željela bih se zahvaliti svom mentoru izv. prof. dr. sc. Borisu Delaču na ustupljenom programu TRNSYS, kao i na stručnom vođenju, odvojenom vremenu, prenosom znanju, korisnim savjetima i sugestijama tijekom pisanja ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se svojoj obitelji koja me podupirala u studiranju te hvala suprugu Danijelu koji je moja najveća podrška. Također hvala kolegama iz firme na razumijevanju i strpljenju tijekom pisanja rada.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Računalni program TRNSYS	1
2. 3D MODEL STAMBENOG OBJEKTA.....	4
2.1. Jednostavni toplinski 3D model – Model 1	7
2.2. Srednje složeni toplinski 3D model – Model 2	8
2.3. Detaljni toplinski 3D model – Model 3	9
3. OBLIKOVANJE TOPLINSKOG MODELA STAMBENOG OBJEKTA	10
3.1. Metode građenja	11
3.1.1. Klasična gradnja.....	12
3.1.2. Montažna gradnja.....	13
3.2. Građevni elementi obiteljske kuće	14
3.2.1. Zidovi, podovi i međukatne konstrukcije	15
3.3. Otvori u zidovima.....	17
3.4. Unutarnji dobici topline Q_{int}	18
3.5. Energija za ventilaciju Q_{ve}	19
3.6. Potrebna energija za grijanje i hlađenje.....	21
3.6.1. Potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$	22
3.6.2. Potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{C,nd}$	23
3.7. Sezona grijanja i hlađenja.....	24
3.8. Zasjenjenje.....	27
4. ENERGIJA ZA GRIJANJE I HLAĐENJE OBITELJSKE KUĆE	29
4.1. Godišnja korisna energija u ovisnosti o razini detaljnosti toplinskog modela	30
4.2. Godišnja korisna energija u ovisnosti o vremenskom koraku simulacije	34
4.3. Godišnja korisna energija u ovisnosti o načinu vođenja sustava za grijanje i hlađenje	35
4.4. Godišnja korisna energija u ovisnosti o noćnoj ventilaciji ljeti.....	39
4.5. Specifična godišnja korisna energija $Q_{H,nd}^*$	43
5. PROJEKTIRANA ENERGIJA ZA GRIJANJE I HLAĐENJE	45

5.1. Projektirana energija za grijanje	45
5.2. Projektirana energija za hlađenje.....	48
6. ZAKLJUČAK	51
7. LITERATURA	54
POPIS OZNAKA I KRATICA	55
1. SAŽETAK	56
2. ABSTRACT.....	57
3. POPIS SLIKA	58
4. POPIS TABLICA	60
5. DODATAK.....	61

1. UVOD

Zadatak diplomskog rada je provesti numeričku analizu utjecaja rubnih uvjeta i radnih parametara na toplinsku akumulaciju na priloženom primjeru zgrade stambene namjene te odrediti energiju potrebnu za grijanje i hlađenje s obzirom na dane ulazne parametre. Promatrana stambena zgrada je novogradnja obiteljske kuće koja je smještena na lokaciji grada Rijeke. Analiza utjecaja toplinske akumulacije će se ispitati kroz razine detaljnosti simulacijskog modela i izvedbu konstrukcije zgrade te će se utvrditi utjecaj prekida grijanja zimi i primjene prirodne ventilacije ljeti.

Za provedbu simulacija koristi se 3D model obiteljske kuće kojega je potrebno toplinski ugoditi prema zadanim meteorološkim podacima, karakteristikama materijala itd. Simulacije toplinskih modela bit će provedene s vremenskom korakom od 60 minuta na promatrani period od jedne godine. Kroz rad će se ispitati utjecaj toplinske akumulacije obiteljske kuće kroz tri razine detaljnosti izvedbe toplinskog modela, ovisno o brojnosti toplinskih zona pojedinog simulacijskog modela, te dvije izvedbe konstrukcije građevnih elemenata zgrade koje se odnose na klasičnu i montažnu metodu građenja. Za navedene metode građenja, a obje u tri razine detaljnosti izvedbe modela, izvršit će se dodatna analiza dobivenih podataka u ovisnosti o vremenskom koraku simulacija u trajanju od 30 min, 10 min i 5 min. Također promatrat će se utjecaj prekida grijanja zimi s režimom rada sustava grijanja od 6 do 22 sata, a primijenit će se prirodna ventilacija noću u ljetnom periodu. Za provedbu simulacija dodatno će se definirati period u godini koji je predviđen za grijanje odnosno hlađenje prostorija zgrade.

Sve cjelogodišnje dinamičke simulacije će se provesti uz pomoć simulacijskog programa TRNSYS, a proračuni će se izraditi u skladu s važećom regulativom u Republici Hrvatskoj. Korišteni algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade je prema HRN EN ISO 13790. Po izvršenim simulacijama svih toplinskih modela priložit će se dobiveni rezultati i očitane korisne energije za grijanje i hlađenje te će se njihovi rezultati usporediti.

1.1. Računalni program TRNSYS

Pri provedbi računalnih simulacija koristit će se računalni simulacijski program TRNSYS. TRNSYS [1], odnosno *Transient System Simulation Tool* namijenjen je provedbi simulacija dinamičkih sustava, a programom je moguće simulirati termotehničke i termoenergetske sustave poput sustava klimatizacije, grijanja, i hlađenja, solarnih sustava i mnogih drugih.

Računalni program TRNSYS se sastoji od velikog broja komponenti gdje je svaka komponenta namijenjena modeliranju nekog dijela sustava. U ovom radu koristit će se komponenta Type 56, tj. komponenta višezonske zgrade koja služi pri izračunu potrebne energije za grijanje i hlađenje zgrade te dinamičkog odziva temperatura u pojedinim toplinskim zonama. Komponenta Type 56 radi prema matematičkom modelu koji temelji se na energetskim bilancama toplinske zone, koja u prostoru obuhvaća onaj dio volumena za koji se pretpostavlja jednolika temperaturna raspodjela. Toplinska zona najčešće obuhvaća prostore sličnih toplinskih opterećenja, pogonskih uvjeta, načina rada sustava itd., a može uključivati i više prostorija promatrane zgrade.

Uobičajeni slijed radnji pri korištenju komponente type 56 za provedbu uspješne simulacije su:

- definiranje geometrije zgrade i pripadnih toplinskih zona
- postavljanje rubnih uvjeta koji uključuju svojstva i karakteristika materijala
- postavljanje unutarnjih dobitaka i rasporeda termotehničkog sustava
- unošenje meteoroloških podataka
- postavljanje radnih parametara GVIK sustava
- pokretanje simulacije
- analiza dobivenih rezultata



Slika 1.1: tijek računalne simulacije

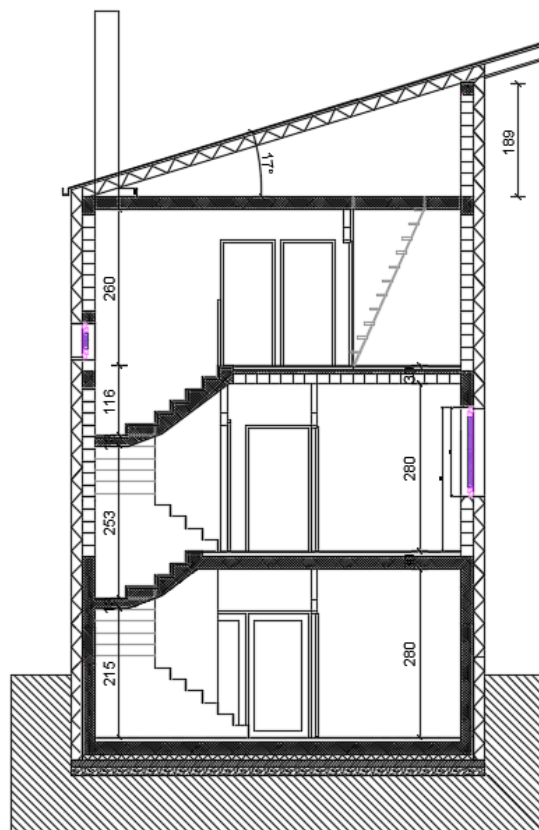
Prvi korak kod računalnog modeliranja je definiranje toplinskih zona iz postojeće geometrije zgrade te raspodjela iste na toplinske zone gdje svaka zona obuhvaća prostor sličnih toplinskih karakteristika kao što su orijentacija, toplinski dobitci te režimi grijanja i hlađenja (npr. spavaća soba ili skup spavaćih soba). Zatim je potrebno u toplinskom modelu definirati rubne uvjete koji se odnose na režime kondicioniranja, ventilacije, toplinske dobitke, rubne uvjete ploha koje omeđuju toplinsku zonu kroz postavke svojstva pripadnih građevinskih elemenata što uključuje zidove, podove, krovove, vrata i prozore. U obzir se uzimaju i definiraju unutarnji dobitci topline

od korisnika prostora, rasvjete, ugrađene opreme i drugih izvora. Dodatno se definira raspored korištenja opreme i rada sustava GVIK-a. Nakon toga uvode se meteorološki podaci za lokaciju na kojoj se zgrada nalazi, a kako bi omogućili vanjske uvjete koje će ta zgrada doživjeti tijekom računalne simulacije. Ti podatci najčešće sadrže informacije o temperaturi i vlažnosti vanjskog zraka, intenzitetu sunčevog zračenja, brzini vjetra itd. Za simulaciju termotehničkog sustava potrebno je postaviti ulazne parametre i režim rada pojedinog GVIK sustava. Po definiranju svih ulaznih podataka i parametara u programu TRNSYS se pokreće simulacija unutar nekog razdoblja za zadani vremenski korak (npr. trajanje simulacije kroz jednu godinu s vremenskim korakom od jednog sata) te se izračunava toplinska izvedba zgrade i očitavaju detaljni izlazni podatci. Na temelju dobivenih izlaznih rezultata simulacije vrši se analiza istih kako bi razumjeli toplinsko ponašanje zgrade, pronašli potencijalni problem te procijenili je li potrebna izvedba različitih dizajna ili korištenje drugih strategija.

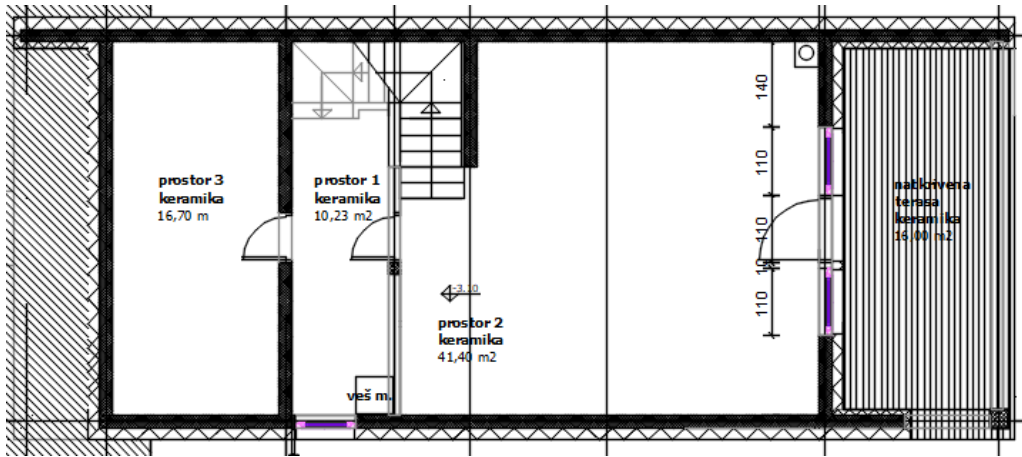
2. 3D MODEL STAMBENOG OBJEKTA

U nastavku rada prikazan je opis i geometrija zgrade na kojoj su provedene analize u ovome radu, postupak provedbe simulacije te dobiveni rezultati proračuna za toplinsko opterećenje grijanja i hlađenja za referentnu godinu. Svi rezultati potrebne energije prikazani su tablicama i dijagramima.

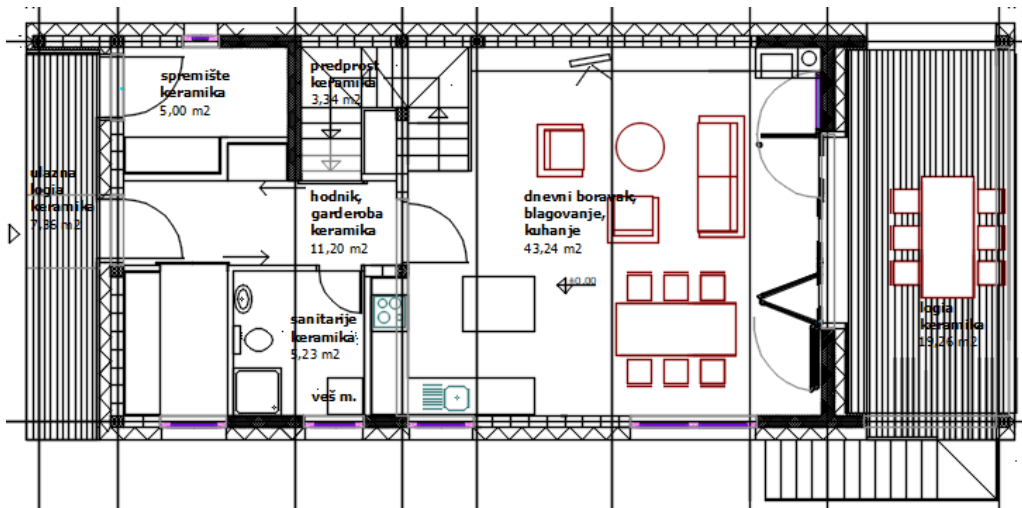
Stambena zgrada pripada novogradnji te je smještena na lokaciji grada Rijeke. Radi se o obiteljskoj kući koja raspolaže korisnom površinom od 273,24 m². Obiteljska kuća se sastoji od ukupno 4 etaže stambene namjene: podrum, prizemlje, prvi kat te potkrovlje. U podrumskoj etaži smješteni su tehnička soba, spremište te društveni prostor koji ima izlaz na natkrivenu terasu. Prizemlje obuhvaća ulazni hodnik, ured, kupaonicu te dnevni boravak s kuhinjom i blagovaonicom, koji imaju pristup vanjskoj terasi. S vanjske strane ulazi se u vanjsko spremište koje je odvojeno od ostatka prizemlja. Na prvom katu nalaze se tri spavaće sobe i kupaonica te su povezane zajedničkim hodnikom od kud imaju pristup na unutarnje stubište. Pristup negrijanom potkrovlju omogućen je preko sklopivih stepenica. Tlocrti i presjeci svih etaža dani su u prilogu ovog rada.



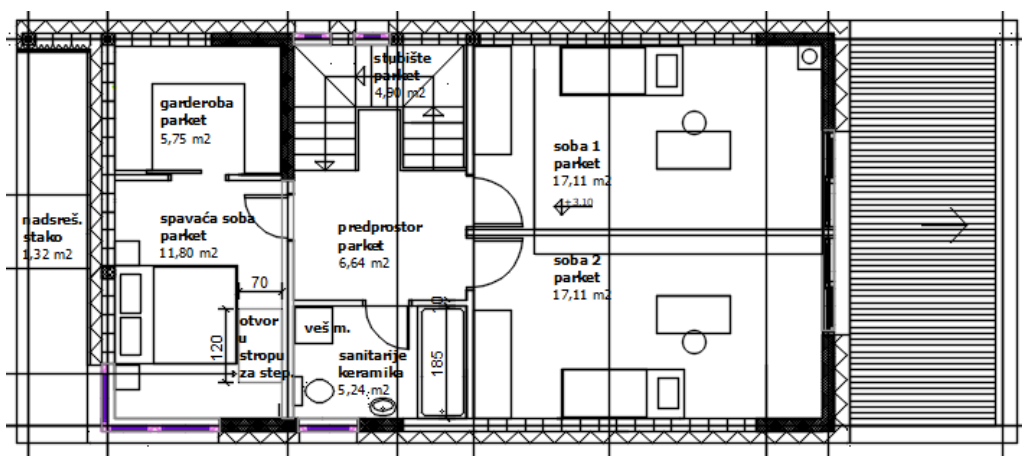
Slika 2.1: obiteljska kuća – presjek 1



Slika 2.2: etaža 1 obiteljske kuće - podrum



Slika 2.3: etaža 2 obiteljske kuće – prizemlje

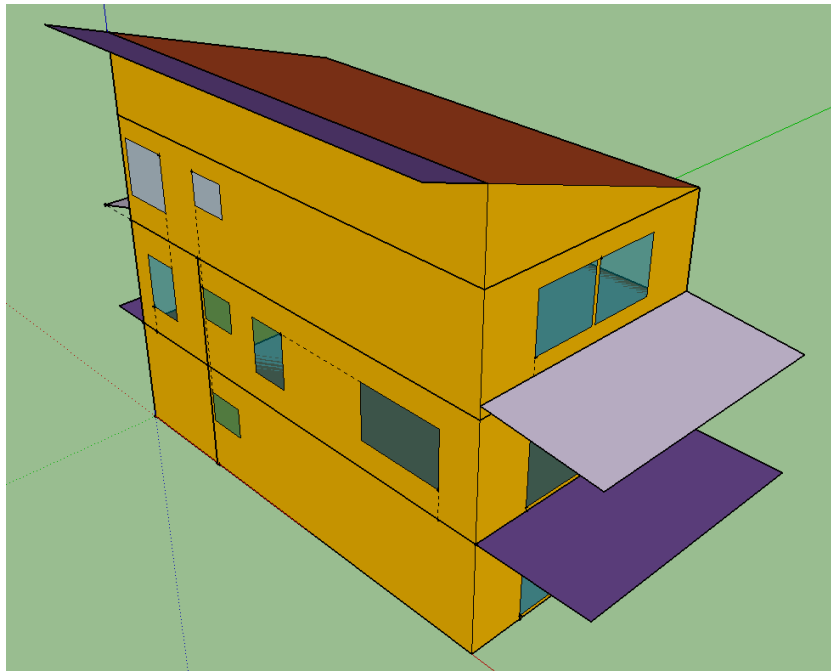


Slika 2.4: etaža 3 obiteljske kuće – kat

Prema priloženim arhitektonskim podlogama ucrtana je geometrija kuće u programu Google SketchUp, koji je programski dodatak simulacijskom sučelju Trnsys. Toplinska zona ne mora strogo definirati jednu prostoriju već može obuhvaćati prostore jednakih toplinskih karakteristika što nam omogućava provedbu analiza na više razina detaljnosti simulacijskog modela. Izrađenom 3D modelu definirani su sljedeći elementi ovojnice zgrade:

- Vanjski zid (EXT_WALL),
- Kosi krov (EXT_ROOF),
- Pod na tlu (GROUND_FLOOR),
- Međukatna konstrukcija (AJD_CEILING),
- Strop prema potkrovlju (ADJ_ATTIC),
- Unutarnji zid (ADJ_WALL),
- Prozor (EXT_WINDOW), i
- ulazna vrata (EXT_DOOR).

Osim konstrukcijskih elemenata u 3D modelu ucrtana su i zasjenjenja na zgradi. Za jasno oblikovanje zona potrebno je odrediti karakteristike pojedinih ploha što obuhvaća tip, konstrukciju, rubne uvjete te granice susjedne zone. Na slici 2.4 prikazan je model kuće.

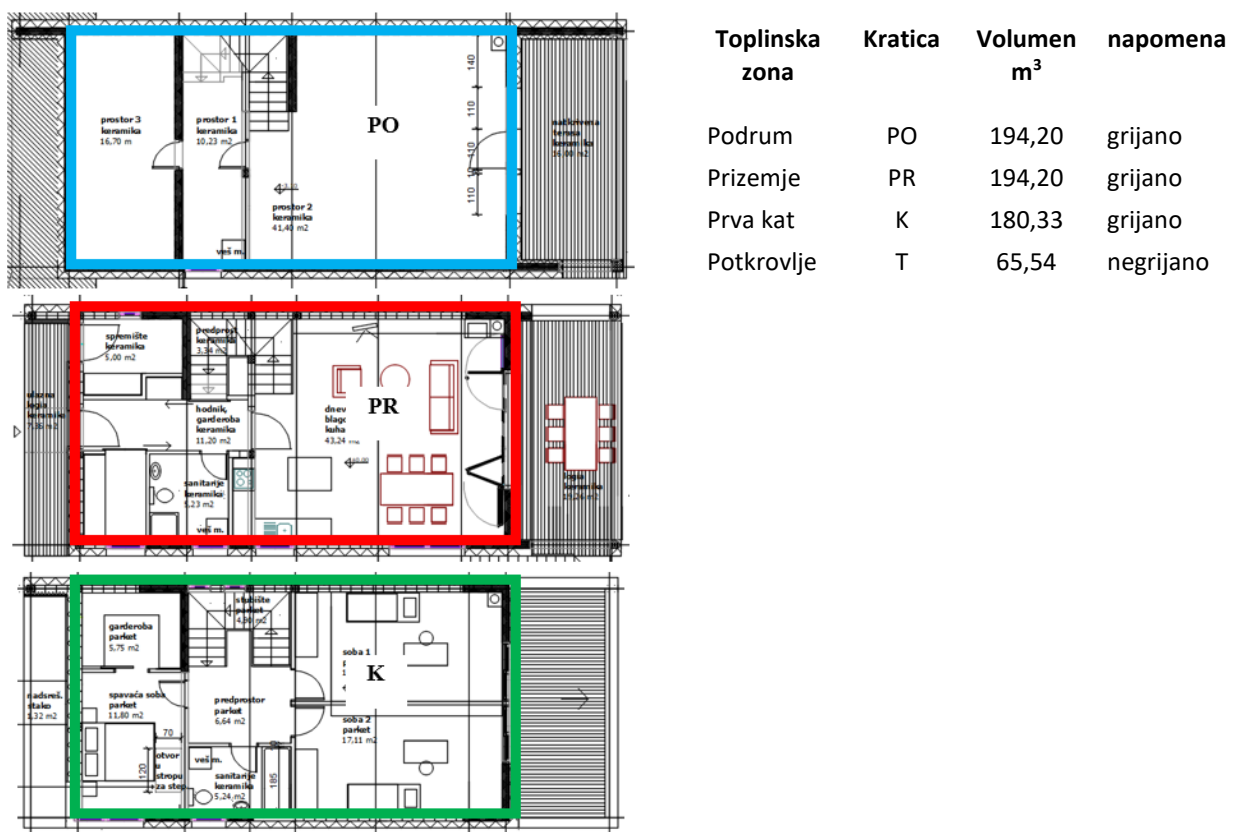


Slika 2.5: 3D model obiteljske kuće

Daljnja razrada geometrije promatrat će se s obzirom na detaljnost izrade toplinskog modela u ovisnosti o broju toplinskih zona. U ovom radu je razmotreno tri stupnja razrade toplinskog modela gdje prvi stupanj ima 4 toplinske zone za treći stupanj 16 toplinskih zona. Karakteristike pojedinih građevnih elemenata opisać će se u zasebnom poglavlju u ovisnosti o metodi građenja. Važno je naglasiti da navedena tri slučaja za potrebe numeričke analize imati jednaku površinu grijanja i hlađenja.

2.1. Jednostavni toplinski 3D model – Model 1

Za prvi toplinski model obiteljske kuće, koji je ujedno i najjednostavniji od ukupno 3, definirana je toplinska zona tako da je jedna etaža jedna toplinska zona, što znači da jedna toplinska zona obuhvaća sve prostorije koje pripadaju obuhvaćenoj etaži pa toplinski model ima ukupno 4 toplinske zone. U daljnjem tekstu ovaj tip toplinskog modela nazivat će se Model 1.



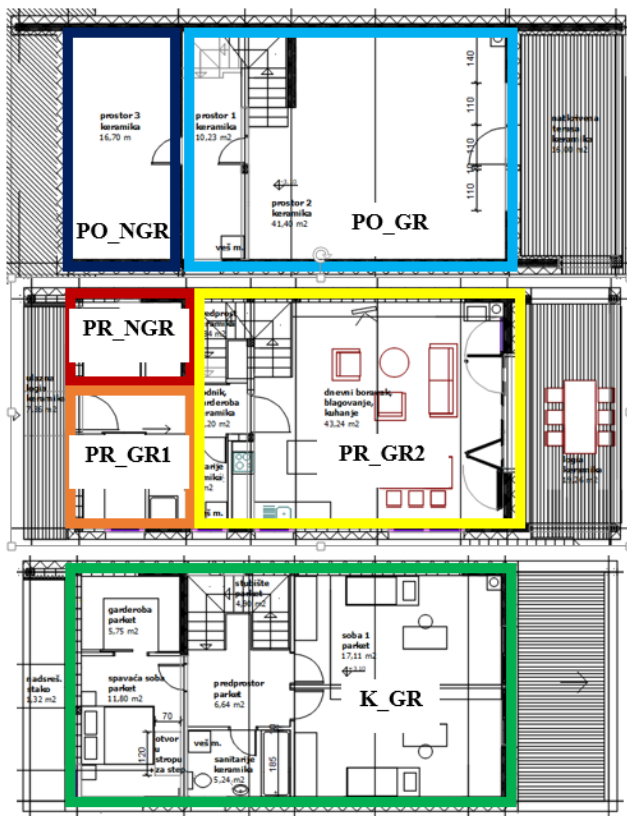
Slika 2.6: smještaj toplinskih zona – 1 etaža, 1 toplinska zona

2.2. Srednje složeni toplinski 3D model – Model 2

Kod drugog toplinskog modela za definiranje toplinske zone uzeta su područja zgrade koja će biti obuhvaćena grijanjem, odnosno jedna toplinska zona je područje obiteljske kuće koje obuhvaća prostorije sličnih toplinskih karakteristika. Stoga je unutar obiteljske kuće definirano 7 toplinskih zona. U daljnjem tekstu ovaj tip toplinskog modela nazivat će se Model 2.

Pripadne zone Modela 2 su:

- Podrum 1: Prostor 1,
- Podrum 2: prostor 2 i prostor 3,
- Prizemlje 1: Vanjsko spremište,
- Prizemlje 2: Ured, dio sanitarija, dio hodnika
- Prizemlje 3: dnevni boravak + kuhinja + blagovaonica, dio hodnika i sanitarija, stubište,
- Prvi kat: sve prostorije na etaži
- Potkrovlje



Toplinska zona	Kratica	Volumen m ³	napomena
Podrum 1	PO_NGR	46,80	grijano
Podrum 2	PO_GR	147,88	grijsno
Prizemlje 1	PR_NGR	16,11	grijano
Prizemlje 2	PR_GR1	30,69	grijano
Prizemlje 3	PR-GR2	147,88	grijano
Prvi kat	K_GR	180,33	grijano
Potkrovlje	T	65,54	negrijano

S

Slika 2.7: smještaj toplinskih zona – zona grijano

2.3. Detaljni toplinski 3D model – Model 3

Treći toplinski model definiran je tako da je svaka prostorija jedna toplinska zona što ovaj model čini najdetaljnijim u pogledu razrade, a time dobivamo ukupno 16 toplinskih zona. U daljnjem tekstu ovaj tip toplinskog modela nazivat će se Model 3.

Toplinska zona	Kratica	Volumen m ³	napomena
PODRUM			
Prostor 1	PO_P1	26,99	grijano
Prostor 2	PO_P2	117,00	grijano
Prostor 3	PO_P3	46,80	grijano
PRIZEMLJE			
ured	PR_U	11,76	grijano
WC	PR_WC	17,27	grijano
DB+kuh	PR_DB	117,00	grijano
Spremište	PR_SP	16,11	grijano
hodnik	PR_H	19,35	grijano
stubište	PR_ST	9,29	grijano
PRVI KAT			
Soba+gar.	K_SG	43,46	grijano
WC	K_WC	13,61	grijano
Soba 1	K_S1	44,41	grijano
Soba 2	K_S2	44,41	grijano
Hodnik	K_H	15,82	grijano
stubište	K_ST	15,45	grijano
Potkrovlje	T	65,54	negrijano

Slika 2.8: smještaj toplinskih zona – 1 prostorija toplinska zona

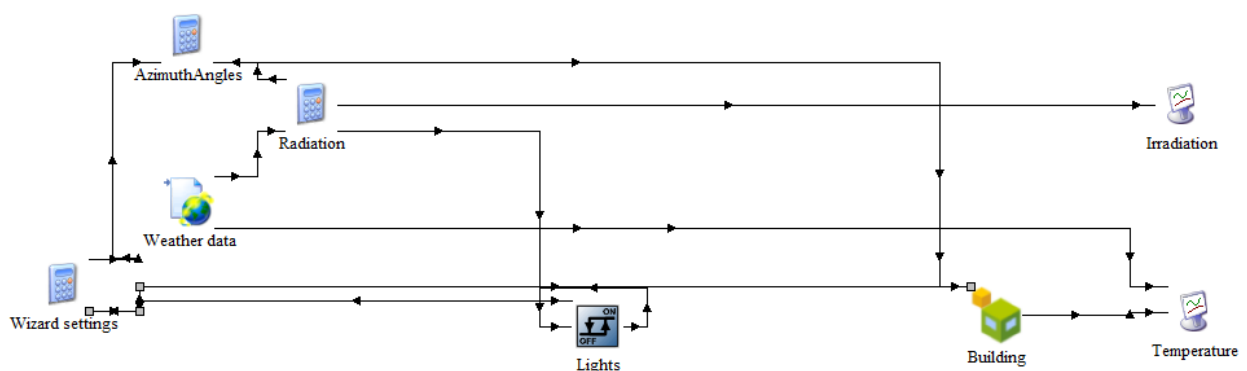
3. OBLIKOVANJE TOPLINSKOG MODELA STAMBENOG OBJEKTA

Ucrtani 3D model obiteljske kuće treba toplinski ugoditi prema zadanim ulaznim podacima. Ulazni podaci koji su potrebni za provođenje numeričke dinamičke simulacije više-zonskog toplinskog modela su:

- Meteorološki podaci
- Orijentacija i geometrija zgrade
- Karakteristika elemenata vanjske ovojnice objekta
- Dobici topline
- Ventilacija
- Režimi i dinamika grijanja i hlađenja

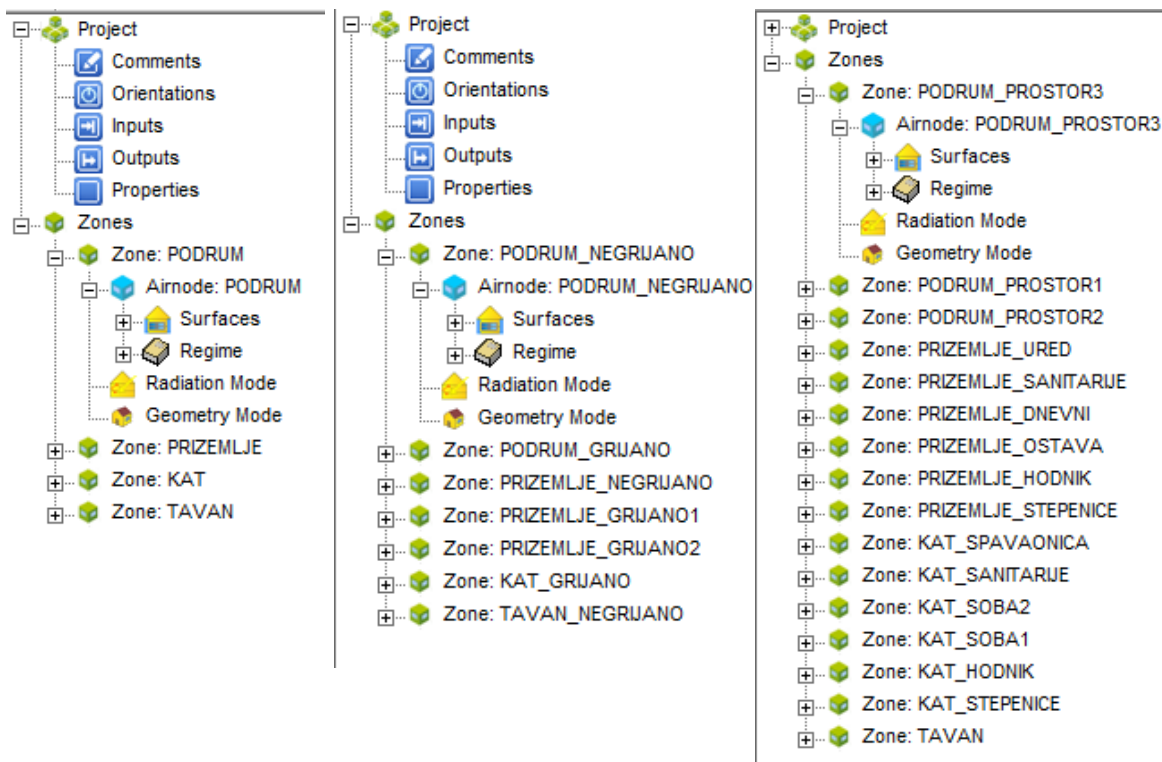
Korišteni meteorološki podaci za izradu ovog rada su podaci za grad Rijeku, i to temperatura, relativna vlažnost, smjer i brzina vjeta i sunčevo zračenje. Vrijednosti temperature vanjskog zraka potrebne su pri proračunu toplinskih opterećenja za sustave grijanja i hlađenja, a sve prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgrada.

Oblikovani 3D modeli obiteljske kuće učitavaju se svaki zasebno u programu Simulation studio program koji sadrži pripremu za učitavanje i rad s višezonskim modelima. Za simulaciju je korišten Type 56 tj. dinamički model koji je zasnovan na bilanci energije toplinske zone te obuhvaća provođenje topline kroz konstrukcijske elemente. Pri postavljanju modela unose se podaci o orijentaciji i lokaciji objekta na području grada Rijeke.



slika 3.1: Osnovni model korisničkog sučelja

Nakon učitanoog osnovnog sučelja, definiraju se ulazni i izlazni podaci, podaci o količini zasjenjenja, svojstva i dimenzije građevnih elemenata, određuje sezona grijanja i hlađenja itd.



slika 3.2: Prikaz detaljnosti modela: Model 1(lijevo), Model 2(sredina) i Model 3(desno)

3.1. Metode građenja

Ključni dio građevinskog procesa su metode građenja jer definiraju način na koji će zgrada biti izgrađena, kolika će biti njezina trajnost, izgled, ekološki otisak te ukupna funkcionalnost. Metode građenja mogu se podijeliti ovisno o izvedbi konstrukcije, brzini gradnje, tipu korištenog materijala, troškovima izvedbe ili energetske i ekološke aspektima. Za provedbu analize razmatrat će se dvije metode građenja: klasična zidana i suvremena montažna gradnja.

a) Tradicionalna metoda građenja:

- Klasično zidanje je jedan od najstarijih i najčešće korištenih načina gradnje te koristi cigle ili blokove (betona, cigle ili kamena) međusobno povezane mortom za izgradnju zidova.
- Drvena konstrukcija koristi drvene okvire ili drvene trupce za izgradnju, a popularna je u područjima koja obiluje drvetom i ima dugu tradiciju u izgradnji stambenih objekata tog tipa.

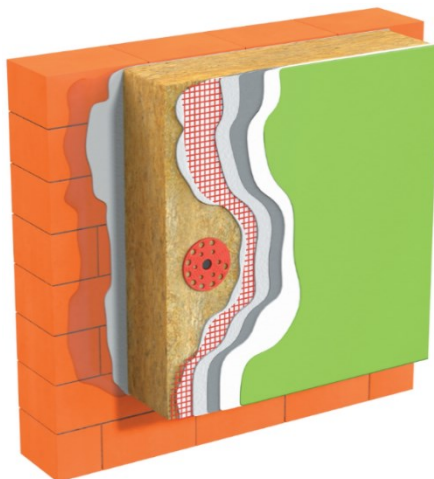
b) Suvremena metoda građenja:

- Montažna gradnja koristi predgotovljene elemente izrađene u tvornici koji se montiraju na gradilištu čime se omogućava bržu izgradnju i često smanjuje troškove rada i materijala.

- Betonske konstrukcije: Koristi se beton, često u kombinaciji s čelikom kao armirani beton, za stvaranje čvrstih i dugotrajnih struktura. Elementi mogu biti izrađeni licu mjesta ili predgotovljeni.
 - Skeletna konstrukcija koristi čelične okvire i staklene fasade za izgradnju modernih, visokih građevina (npr. neboderi).
- c) „Zelene“ metode građenja:
- Pasivna kuća pripada metodi gradnje koja ima fokus na energetske učinkovitost i korištenje obnovljivih izvora energije zbog smanjenja potrošnje energije i emisije CO₂.
 - Gradnja prirodnim materijalima s ciljem smanjenja ekološkog otiska građevine, uz korištenje materijala poput zemlje (nabijena zemlja), slame, gline i drveta.

3.1.1. Klasična gradnja

Klasična gradnja odnosi se na tradicionalne metode i tehnike građenja, temelji se na korištenju tradicionalnih građevinskih tehnika i materijala (kamen, cigla, beton i drvo) te ju karakterizira visoka kvaliteta izgradnje i trajnost. U Hrvatskoj dominiraju klasično zidane stambene kuće zbog naših navika stanovanja i poimanja kuća.



slika 3.3: Presjek ciglenog zida s fasadom s toplinskom izolacijom

Kod klasičnih sustava gradnje nosiva konstrukcija je teža u odnosu na lagane konstruktivne sustave. Karakteriziraju je s omeđeni zidovi, kruti stropovi (Fert, omnia, AB ploče) i drvene krovne konstrukcije. Za ovu metodu građenja nije potrebna primjena zahtjevnih tehnologija, ni nikakva posebna oprema. Međutim, izvođenje građevinskih radova duže traje i potrebno je više radne snage

te postoji velika ovisnost o vremenskim prilikama u periodu izvođenja radova u odnosu na montažnu gradnju. Kod klasične gradnje su uvijek moguće manje rekonstrukcije i adaptacije građevine.

Prednosti:

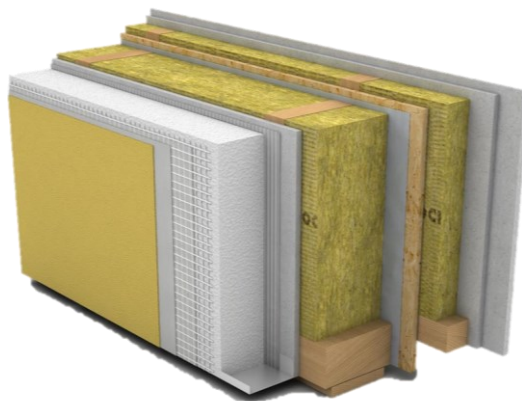
- konstrukcije mogu trajati stotinama godina
- korištenje prirodnih materijala utječe na prirodnu estetiku zgrade
- prirodni materijal kao dobar toplinski i zvučni izolator

Nedostatci:

- dulji period izvedbe te veća ulaganja zbog cijene materijala i potrebne radne snage
- Proces gradnje je spor u usporedni s modernim metodama građenja
- neki prirodni materijali zahtijevaju redovito održavanje

3.1.2. Montažna gradnja

Montažna gradnja je dio suvremenog pristupa građenju te zahtijeva dobro planiranje i koordinaciju poslova kako bi se planirani radovi uspješno implementirali. Kod ove metode građenja koriste se polugotovi proizvodi, tj. polu-proizvedeni elementi koji se kasnije ugrađuju na gradilištu čime se ubrzava proces izgradnje, smanjuju troškovi i povećava efikasnost građenja. Postoji nekoliko sustava montažne gradnje s laganim predgotovljenim drvenim elementima te čeličnih i armiranobetonskih sustava za izvedbu nosive konstrukcije građevine. Kao i kod klasične metode građenja izvedba temelja, nadtemeljnih zidova i podne ploče izvodi se „in situ“ iz armiranog betona.



slika 3.4: Presjek montažnog vanjskog zida

Velika prednost nad klasičnom gradnjom je proizvodnja predgotovljenih elemenata u pogonima neovisno o vremenskim uvjetima čime je omogućena brža izgradnja, odnosno montaža na lokaciji. Mogući problemi javljaju se vezano uz transport predgotovljenih elemenata do lokacije građenja zbog neadekvatne cestovne infrastrukture i potrebe za korištenjem teže mehanizacije pri montaži istih.

Prednosti:

- smanjenje vremena izgradnje korištenjem polugotovih proizvoda
- visoka preciznost i kvaliteta izrade uslijed proizvodnje u kontroliranom okruženju
- smanjenje operativnih troškova uslijed manje radne snage te vremena izvođenja građenja
- mogućnost prilagodbe elemenata različitim arhitektonskim rješenjima
- ekološka održivost

Nedostatci:

- visoka početna ulaganja u proizvodni pogon i transport
- ograničenost dizajna zbog standardiziranih elemenata u odnosu na klasičnu gradnju
- logistički složeniji i skuplji transport velikih polugotovih proizvoda
- korištenje specijaliziranih radnika za ugradnju montažnih elemenata

3.2. Građevni elementi obiteljske kuće

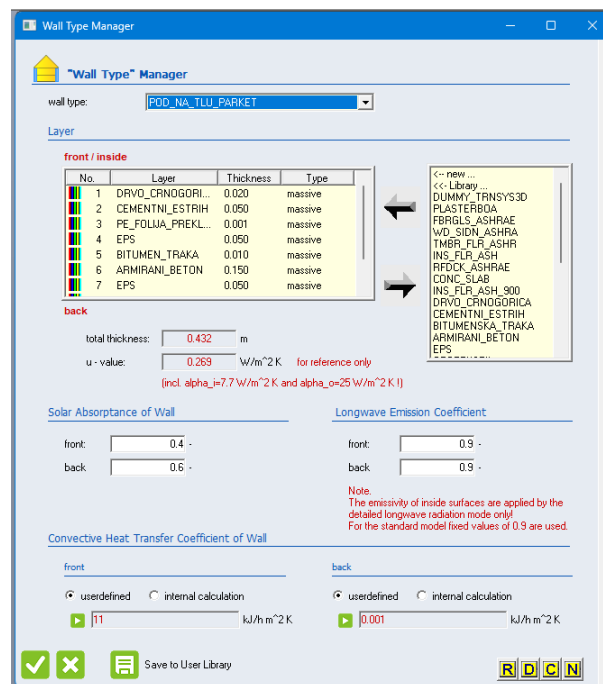
Građevni elementi obiteljske kuće obuhvaćaju sve ključne komponente, od temeljnih strukturalnih dijelova do završnih obloga, koji doprinose estetici, udobnosti i funkcionalnosti kuće. Pravilno planiranje, odabir materijala i izvođenje radova su ključni za izgradnju funkcionalne i energetski učinkovite obiteljske kuće. Neki od glavnih građevnih elemenata obiteljske kuće, mogu biti prozirni i neprozirni, su:

- Temelji, sačinjeni od temeljne ploče, trakastih ili stupni temelja
- Nosiva konstrukcija, koja se sastoji od zidova, stropne konstrukcije, stubišta, itd.
- Krovnište, koje obuhvaća krovnu konstrukciju i krovni pokrov
- Prozori i vrata
- Podovi

3.2.1. Zidovi, podovi i međukatne konstrukcije

Za neprozirni građevni element (zid, strop, pod, kosi krov) određuje se konstrukcija, sastav, karakteristike materijala, koeficijenti konvektivnog prijelaza topline i koeficijenti apsorpcije i emisije sunčevog zračenja. Pri upisivanju slojeva potrebno je pratiti redoslijed nanošenja slojeva kako ne bi imali negativan utjecaj na dobivene rezultate. Iako se navedeni toplinski modeli razlikuju po složenosti i brojnosti toplinskih zona, korišteni konstrukcijski elementi su im isti pa slijedi:

- pod prema tlu
- vanjski zid prema tlu
- vanjski zid
- unutarnji zid
- međukatna konstrukcija
- strop prema potkrovlju
- kosi krov



slika 3.5: prikaz slojeva građevinskog elementa

U stambenom objektu, primjenom funkcije Wall type manager, definirani su sljedeći građevni elementi/konstrukcije s pripadnim svojstvima materijala. Svojstva i karakteristike materijala koje je potrebno definirati su:

- Debljina, d [m]
- Specifični toplinski kapacitet, c [J/kgK]
- Toplinska vodljivost, λ [W/mK]
- Gustoća, ρ [kg/m³]

Za definiranje toplinskog opterećenja prostorije ili toplinske zone potrebno je izračunati koeficijente prolaza topline za svaku površinu koja okružuje tu prostoriju. To podrazumijeva sve građevinske elemente uključujući zidove, stropove, podove, vrata i prozore. U nastavku rada prikazani su tablicom 3.1 usporedni podaci za klasičnu i montažnu gradnju, gdje je:

- Debljina elementa, d [m]
- Koeficijent prolaza topline, U [W/m²K]

Tablica 3.1: koeficijenti konstrukcijskih elemenata za klasičnu i montažnu gradnju

Konstrukcijski element	Klasična gradnja		Montažna gradnja	
	d [m]	U [W/m ² K]	d [m]	U [W/m ² K]
Pod na tlu - parket	0,432	0,269	0,432	0,269
Pod na tlu - keramika	0,432	0,280	0,432	0,280
Zid prema tlu	0,332	0,290	0,332	0,290
Vanjski zid	0,340	0,262	0,316	0,192
Unutarnji zid prema grijanom	0,180	1,151	0,162	0,683
Unutarnji zid prema negrijanom	0,231	0,468	0,163	0,681
Pregradni zid	0,120	2,236	0,122	0,981
Međukatna konstrukcija - parket	0,321	0,587	0,266	0,350
Međukatna konstrukcija - keramika	0,321	0,639	0,266	0,368
Stubište	0,250	3,354	0,250	3,354
Strop prema potkrovlju	0,303	0,531	0,353	0,302
Kosi krov	0,251	0,164	0,251	0,386

Također, u tablici 3.2 navedeni su koeficijenti konstrukcijskih elemenata potrebnih za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje zgrade:

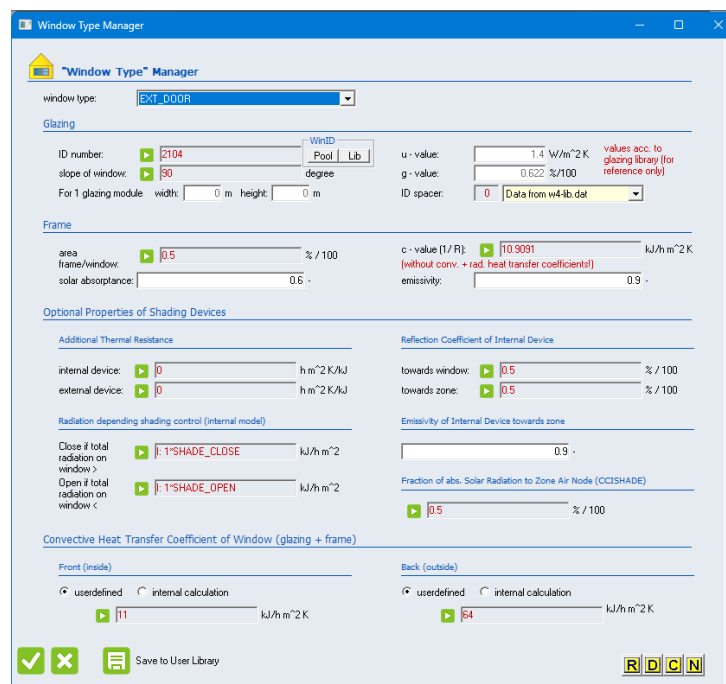
- Koeficijent apsorpcije sunčevog zračenja, ε [-]
- Koeficijent prijelaza topline, α [W/m²K]

Tablica 3.2: koeficijenti konstrukcijskih elemenata

Konstrukcijski element	ϵ [-]		α [W/m ² K]	
	Prednja strana	Stražnja strana	Prednja strana	Stražnja strana
Pod na tlu	0,40	0,60	3,056	0,001
Zid prema tlu	0,25	0,30	3,056	18
Vanjski zid	0,25	0,30	3,056	18
Unutarnji zid	0,25	0,25	3,056	3,056
Međukatna konstrukcija	0,25	0,40	3,056	3,056
Strop prema potkrovlju	0,3	0,40	3,056	18
Kosi krov	0,60	0,40	3,056	18

3.3. Otvori u zidovima

Otvori u zidovima su građevni elementi koji mogu sadržavati prozirne, ostakljene elemente, a u građevinskom kontekstu, se odnose na stvarne otvore u zidovima kao što su vrata, prozori ili ventilacijski otvori, a omogućavaju prolaz svjetlosti i zraka kroz vanjsku ovojnicu zgrade te slobodan prolaz između prostorija zgrade i/ili vanjskog okruženja.



slika 3.6: definiranje otvora na fasadi obiteljske kuće

Funkcijom Wall type manager otvori su podijeljeni prema namjeni u tri skupine :

- Prozor, ostakljena površina (EXT_WINDOW)
- vanjska vrata, puna (EXT_DOOR)
- balkonska vrata, ostakljena površina (EXT_DOOR_GLASS)

Prozori su PVC izvedbe s dvostrukim staklom debljine 4 mm s ispunom plina, udio okvira u ukupnoj površini prozora iznosi 5 %. Ista tehnička specifikacija vrijedi za balkonska vrata. Vanjska vrata su od pune ispune što znači da nema ostakljenog dijela površine. Za toplinski model obiteljske kuće je prisutno unutarnje zasjenjenje poput zavjesa te vanjsko zasjenjenje.

Tablica 3.3: koeficijenti ostakljenih elemenata

Konstrukcijski element	U [W/m ² K]	c [W/m ² K]	α [W/m ² K]	
			Prednja strana	Stražnja strana
vrata	1,40	3,03	3,056	18
Balkonska vrata	1,40	1,1	3,056	18
prozor	1,40	1,1	3,056	18

3.4. Unutarnji dobici topline Q_{int}

Pod unutarnjim dobicima topline mogu se definirati više izvora: prisustvo ljudi u prostoru, postavljena rasvjetna tijela i oprema u prostoru. Prema HRN EN 13970 unutarnji toplinski dobici Q_{int} dobiveni od osoba i ugrađene opreme/uređaja se računaju s vrijednošću 5 W/m² površine korisne površine za stambene prostore, a za nestambene prostore s vrijednošću 6 W/m². Unutarnji toplinski dobici može se opisati izrazom:

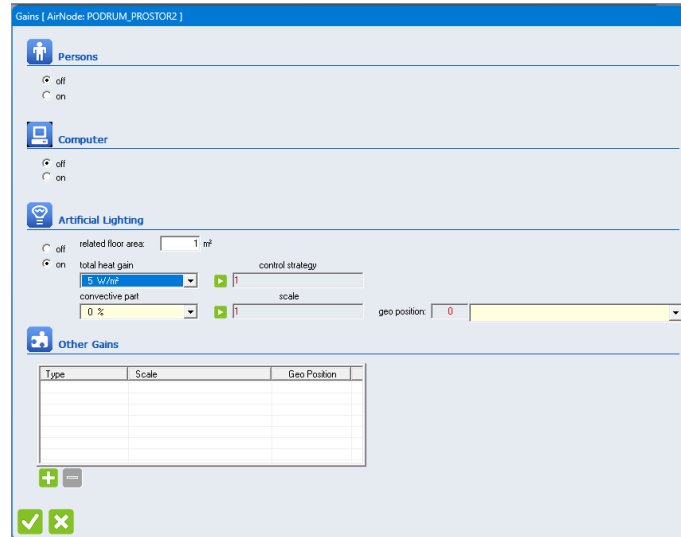
$$Q_{int} = \frac{q_{spec} \cdot A_k \cdot t}{1000} \quad [\text{kWh}]$$

q_{spec} - specifični unutarnji dobitak po m² korisne površine, [W/m²]

A_k - korisna površina, [m²]

t – proračunsko vrijeme, [h]

Za stambenu jedinicu, u kojoj će boraviti četiri osobe, predviđeni su unutarnji dobitci za osobu koje sjedi te lagani rad. Kako bi pojednostavili proračun i smanjili vrijeme simulacije, za potrebe proračuna definirano je za sve toplinske zone u iznosu 5 W/m² po površini promatrane zone.



slika 3.7: određivanje unutarnjih dobitaka pomoću rasvjete za toplinsku zonu podruma

3.5. Energija za ventilaciju Q_{Ve}

Potrebna toplinska energija za ventilaciju zgrade Q_{Ve} se računa na temelju Algoritma za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostora zgrade.

Potrebna energija kod infiltracije vanjskog zraka, prema DIN V 18599-2:

$$Q_{Ve,inf} = \frac{H_{Ve,inf} \cdot (\vartheta_{int} + \vartheta_e)}{1000} \cdot t \text{ [kWh]}$$

A koeficijent za izmjenu topline infiltracijom:

$$H_{H.Ve,inf} = \eta_{inf} \cdot V \cdot \rho_a \cdot c_{p,a} \text{ [W/K]}$$

η_{inf} – broj izmjena zraka infiltracijom, [h⁻¹]

V – volumen zraka u prostoru, [m³]

ρ_a – gustoća zraka, [kg/m³]

$c_{p,a}$ – specifični toplinski kapacitet zraka, $c_{p,a} = 1005 \text{ J/kgK}$

Potrebna energija kod prozračivanja, prema DIN V 18599-2:

$$Q_{Ve,wind} = \frac{H_{Ve,wind} \cdot (\vartheta_{int} + \vartheta_e)}{1000} \cdot t \text{ [kWh]}$$

Pa je koeficijent za izmjenu topline prozračivanjem:

$$H_{H,Ve,wind} = \eta_{wind} \cdot V \cdot \rho_a \cdot c_{p,a} \text{ [W/K]}$$

η_{wind} – broj izmjena zraka prozračivanjem, [h^{-1}]

Unutar obiteljske kuće nije primijenjena mehanička ventilacija, odnosno predviđena je prirodna ventilacija, koja obuhvaća infiltraciju i minimalno provjetravanje prostora, te zadana je kao broj izmjena zraka u periodu jednog sata. U slučaju kad nema mehaničke ventilacije prema normi DIN V 18599-2 za zgrade stambene i nestambene namjene tijekom perioda korištenja mora vrijediti:

$$n_{inf} + n_{wind} = \max[n_{inf} + n_{wind}; 0,5] \text{ [h}^{-1}\text{]}$$

Infiltraciju bez mehaničke ventilacije računamo:

$$n_{inf} = e_{wind} \cdot n_{50} \text{ [h}^{-1}\text{]}$$

n_{50} – broj izmjena zraka pri minimalnoj razlici taka od 50 Pa, [h^{-1}]

e_{wind} – faktor zaštićenosti objekta od vjetra

Prema tablici iz norme, za zgrade bez HVAC sustava (zahtjev zrakopropusnosti $n_{50} \leq 3 h^{-1}$), odabrana je vrijednost $n_{50} = 2 h^{-1}$

Koeficijenti e_{wind} i f_{wind} dobiveni su iz tablice prema normi HRN EN ISO 13789. Za srednje zaklonjene zgrade (zgrade okružene drvećem ili drugim zgradama, predgrađa) kojima je izloženo više od jedna fasade faktor zaštićenosti iznosi $e_{wind} = 0,07$. Faktor izloženosti za istu kategoriju je $f_{wind} = 15$.

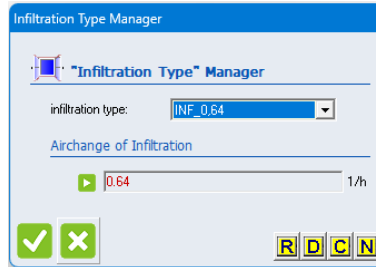
Konačno dobivamo:

$$n_{inf} = 0,07 \cdot 2 = 0,14 \text{ [h}^{-1}\text{]}$$

Minimalna potreba izmjena zraka u objektu, higijenski minimum, iznosi $n_{min} = 0,5 h^{-1}$ pa za sve toplinske zone dobivena je infiltracija prostora u iznosu :

$$n_{inf} + n_{wind} = 0,14 + 0,5 \text{ [h}^{-1}\text{]}$$

$$n = 0,64 \text{ [h}^{-1}\text{]}$$



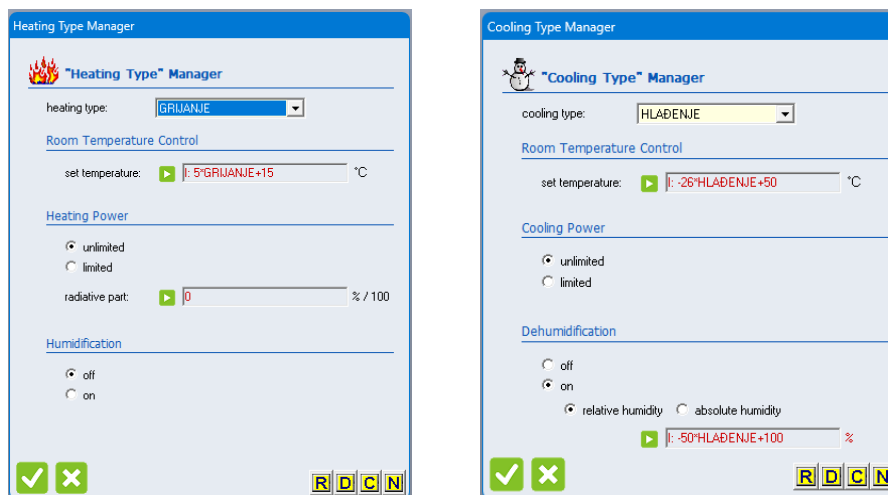
slika 3.8: postavljanje proračunate infiltracije prostorija

3.6. Potrebna energija za grijanje i hlađenje

U ovom poglavlju prikazana je izračunata potrebna energija za grijanje i hlađenje obiteljske za područje grada Rijeke. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje je računski određena ona količina topline koju sustavom grijanja treba dovesti odvesti u zgradu, odnosno sustavom hlađenja iz zgrade tijekom jedne godine za održavanje unutarnje projektne temperature prostora tijekom promatranog razdoblja grijanja i hlađenja zgrade.

Tablica 3.4: unutarnje proračunske temperature na temelju HRN EN 13790

Vrsta prostora	Sezona grijanja, $\vartheta_{int}, ^\circ\text{C}$	Sezona hlađenja, $\vartheta_{int}, ^\circ\text{C}$
Obiteljske kuće	20	24
Stambene zgrade	20	24



slika 3.9: postavljanje temperature prostorija: grijanje (lijevo), hlađenje (desno)

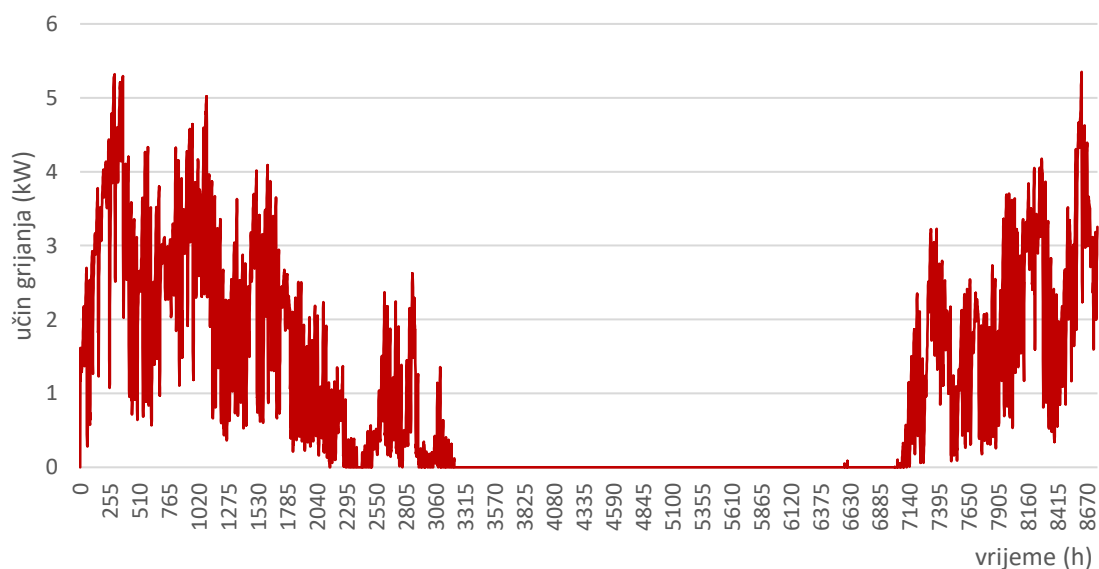
Za obiteljsku kuću u Primorskoj Hrvatskoj definirane su proračunske temperature prostora u sezoni grijanja od 20 °C, a kod sezone hlađenja zadana je projektna temperatura 24 °C uz relativnu vlažnost od 50 %. Toplinskim zonama za obiteljske kuće u kojima borave ljudi definirano je idealno grijanje i hlađenje pri neograničenom učinku.

Kod proračuna godišnje potrebne energije mogu se primijeniti dvije metode: mjesečna metoda gdje je t = ukupan broj sati u mjesecu i satna metoda gdje je $t=1$ h unutar perioda kada radi sustav grijanja. Ako su za proračun dostupni satni meteorološki podaci o temperaturi i sunčevom ozračenju, radi veće točnosti proračuna koristi se satna metoda.

Tablica 3.5: prikaz podataka o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje za sve modele

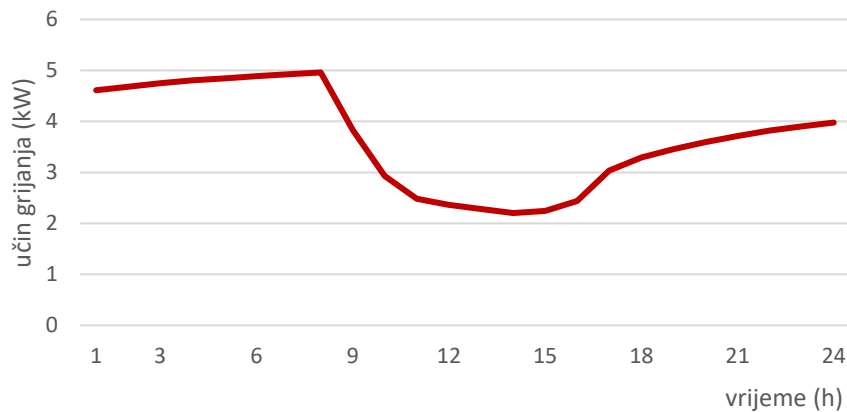
model		Potrebna energija (kWh)	
		Grijanje	Hlađenje
Klasična gradnja	Model 1	9058	5623
	Model 2	8805	6324
	Model 3	8806	6203
Montažna gradnja	Model 1	8272	5544
	Model 2	8064	6559
	Model 3	8098	6464

3.6.1. Potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$



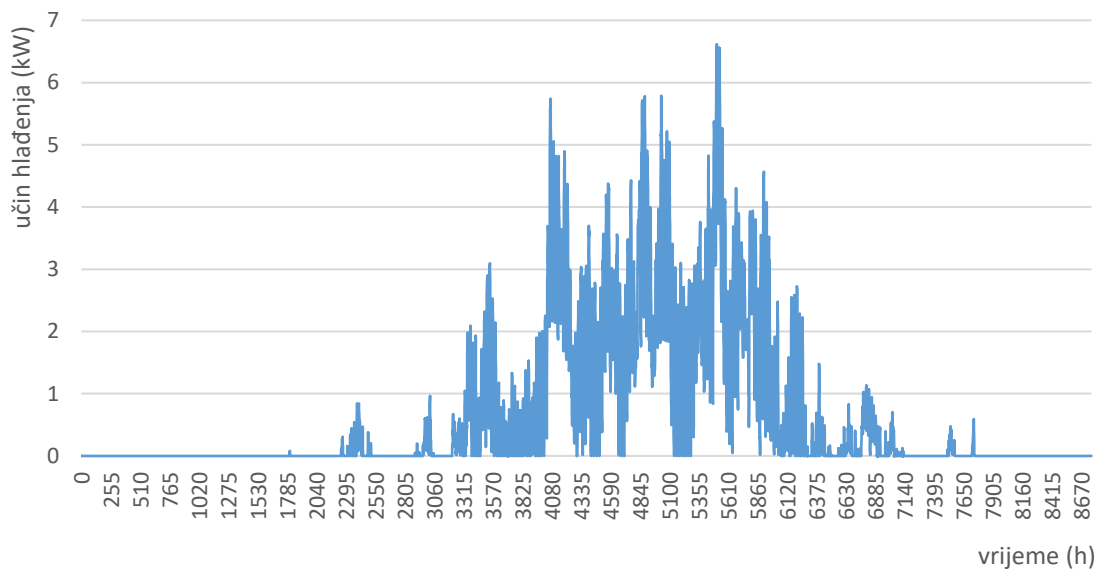
Slika 3.10: satna raspodjela energije grijanja za model 3

Potrebna toplinska energija za grijanje zgrade dobiva se iz bilance toplinske zone u promatranoj godini, uzimajući u obzir klimatske uvjete, karakteristike zgrade i način na koji se prostor koristi. Dijagramom na slici 3.6 je dano toplinsko opterećenje po satima. Na Slici Slika 3.11. dan je prikaz satne raspodjele za jedan dan tijekom sezone grijanja.



Slika 3.11: satna raspodjela energije za jedan dan grijanja: 26. prosinca

3.6.2. Potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{C,nd}$

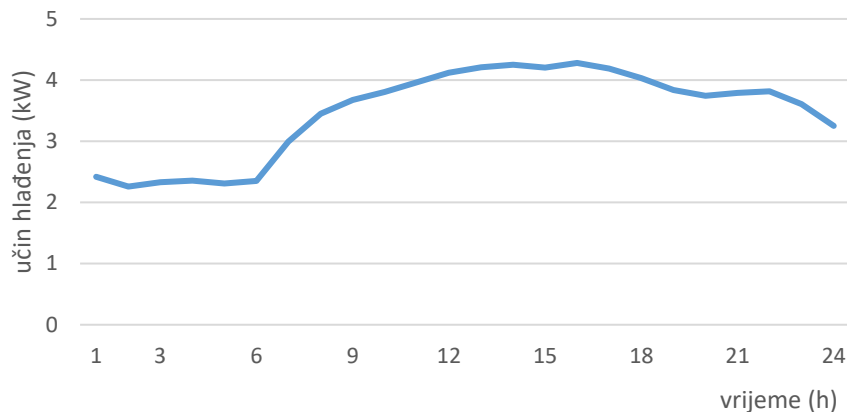


Slika 3.12: satna raspodjela energije hlađenja za model 3

Toplinsko opterećenje opisuje količinu topline koju se mora odvesti iz hlađenog prostora uz uvjet da se održava konstantna temperatura i relativna vlažnost prostora u prihvatljivim granicama. Toplinsko opterećenje najveće je u periodu ljeta no može se javljati tijekom cijele godine za

prostore koji imaju velike toplinske dobitke. Toplinski dobici mogu biti osjetni i latentni. Osjetni toplinski dobici se direktno predaju hladenoj prostoriji prijenosom topline provođenjem, konvekcijom i/ili zračenjem i utječu na temperaturu suhog termometra. Latentni toplinski dobici unosom vlage u prostor i time utječu na temperaturu vlažnog termometra.

Na dijagramu na slici Slika 3.12 je dano rashladno opterećenje po satima u referentnoj godini, a na slici Slika 3.13 prikazana je raspodjela toplinske energije za jedan dan tijekom sezone hlađenja.



Slika 3.13: satna raspodjela energije za jedan dan: 18. kolovoza

3.7. Sezona grijanja i hlađenja

Trajanje sezone grijanja se prema HRN EN ISO 13790 se određuje iz udjela broja dana u mjesecu koji pripadaju sezoni grijanja $f_{H,m}$. Parametar koji je potreban za proračun je granična vrijednost omjera toplinskih dobitaka i gubitaka, $y_{H,lim}$:

$$y_{H,lim} = \frac{a_H + 1}{a_H} \quad [-]$$

Za $y_{H,2} < y_{H,lim} \rightarrow f_{H,m} = 1$, sustav grijanja u radu cijeli mjesec

Za $y_{H,1} > y_{H,lim} \rightarrow f_{H,m} = 0$, nema potrebe za grijanjem

Odnosno za ostale slučajeve:

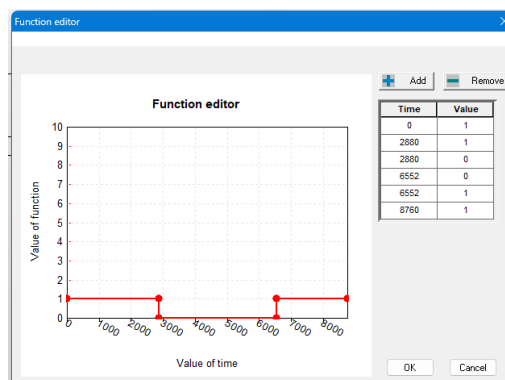
$$y_H > y_{H,lim} \rightarrow f_H = 0,5 \frac{y_{H,lim} - y_{H,1}}{y_H - y_{H,1}}$$

$$y_H \leq y_{H,lim} \rightarrow f_H = 0,5 + 0,5 \frac{y_{H,lim} - y_H}{y_{H,2} - y_H}$$

Za potrebe proračuna sezone grijanja i hlađenja obiteljske kuće inicijalno su odabrani periodi grijanja i hlađenja prikazani tablično po mjesecima. Sezona grijanja traje od prvog do kraja četvrtog mjeseca u prvom dijelu godine te od desetog do kraja dvanaestog mjeseca, a period hlađenja je od petog do kraja devetog mjeseca. U programu Trnsys sezona grijanja i hlađenja definirana je s pomoću forsing funkcije prikazane na slici Slika 3.14.

Tablica 3.6: režim rada sustava grijanja i hlađenja

vrijeme	mjesec u godini	učin grijanja	učin hlađenja	režim rada
744	1	1978	0	grijanje
1416	2	1679	0	
2160	3	1202	1	
2880	4	404	18	
3624	5	140	148	hlađenje
4344	6	0	556	
5088	7	0	1115	
5832	8	0	1090	
6552	9	12	247	
7296	10	212	27	grijanje
8016	11	1143	0	
8760	12	1917	0	

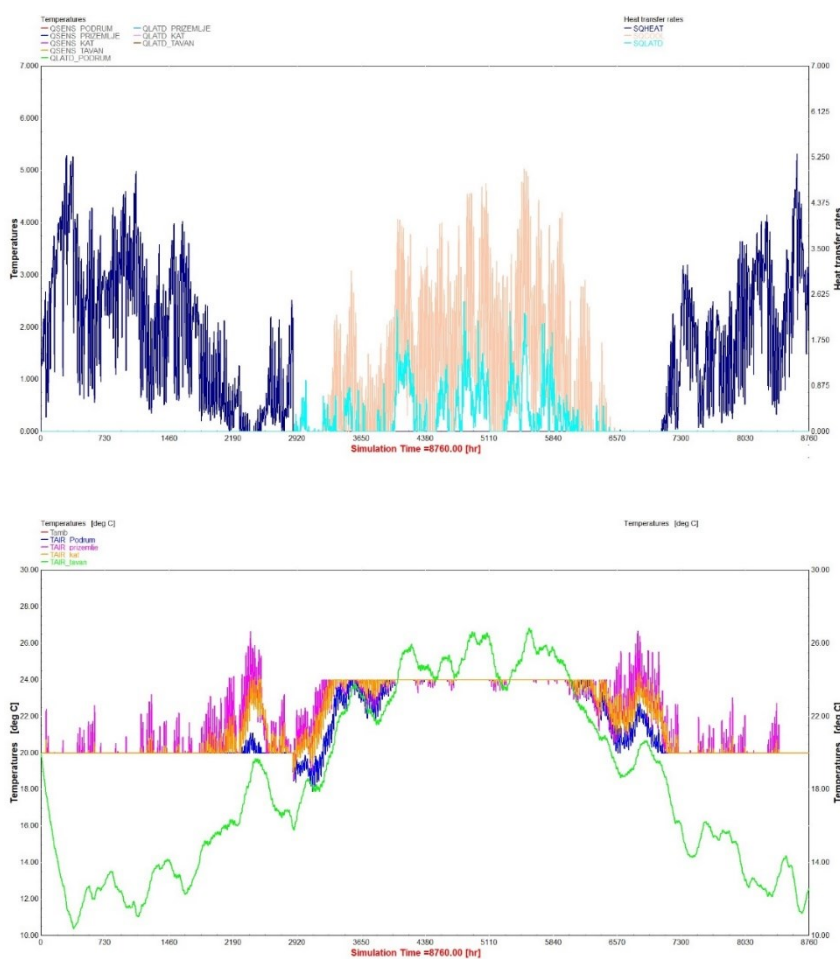


Slika 3.14: sezona grijanja i hlađenja – grijanje 1, hlađenje 0

Prema dobivenim podacima numeričkih simulacija možemo vidjeti da montažna metoda gradnje iziskuje manju količinu potrebne energije za grijanje i hlađenje kuće. Za odabranu sezonu grijanja i hlađenja dobiveni su sljedeći rezultati za sve toplinske modele:

Tablica 3.7: prikaz podataka o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje za sve modele

model		Potrebna energija (kWh)	
		Grijanje	Hlađenje
Klasična gradnja	Model 1	8978	5463
	Model 2	8718	6091
	Model 3	8740	6083
Montažna gradnja	Model 1	8176	4379
	Model 2	7968	4410
	Model 3	7972	4494

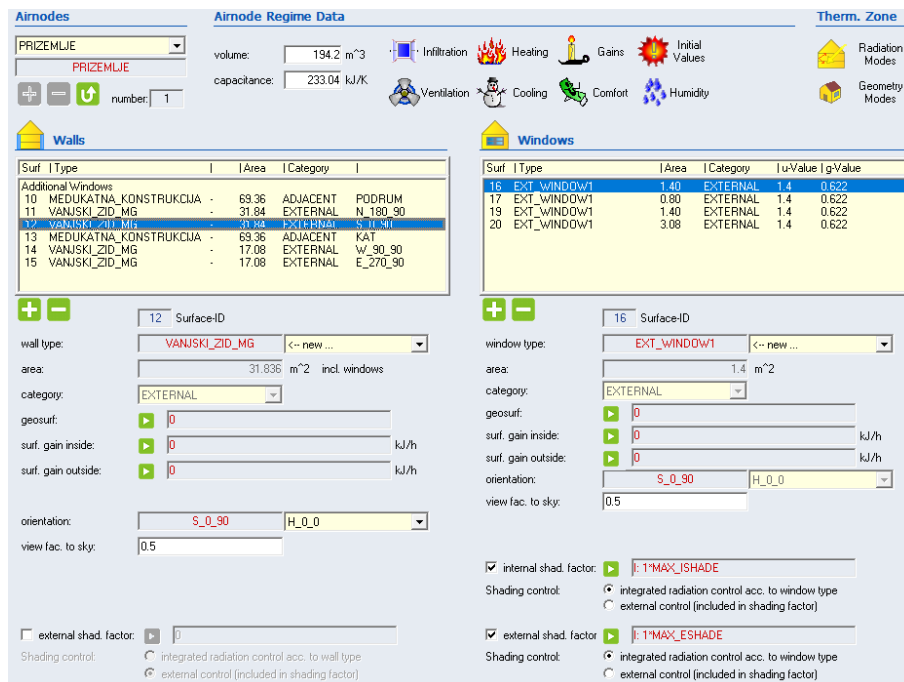


Slika 3.15: godišnja potrebna energija (gore) i temperaturna raspodjela toplinskih zona (dolje)

S obzirom da se kod odabranog rasporeda sezone grijanja i hlađenja javljaju toplinska opterećenja i pothlađenje pojedinih zona u proljeće i jesen u nastavku rada će se prilagoditi zasjenjenje zgrade.

3.8. Zasjenjenje

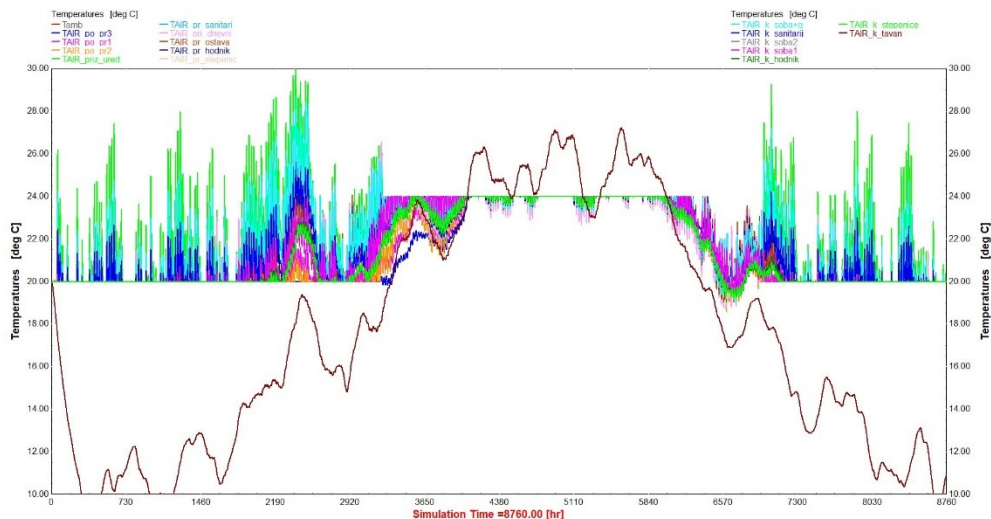
Kako je navedeno u prethodnim poglavljima, na toplinskom modelu obiteljske kuće definirano je zasjenjenje. Za sva 3 toplinska modela prvo je definirano unutarnje zasjenjenje za sve ostakljene elemente (prozori, balkonska vrata). Zbog pregrijavanja pojedinih toplinskih zona u proljeće i jesen dodatno je dodano vanjsko zasjenjenje na ostakljenim elementima koji su orijentirani prema jugu, odnosno nalaze se na južnoj fasadi kuće.



Slika 3.16: postavke toplinske zone prizemlja s aktivnim unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem

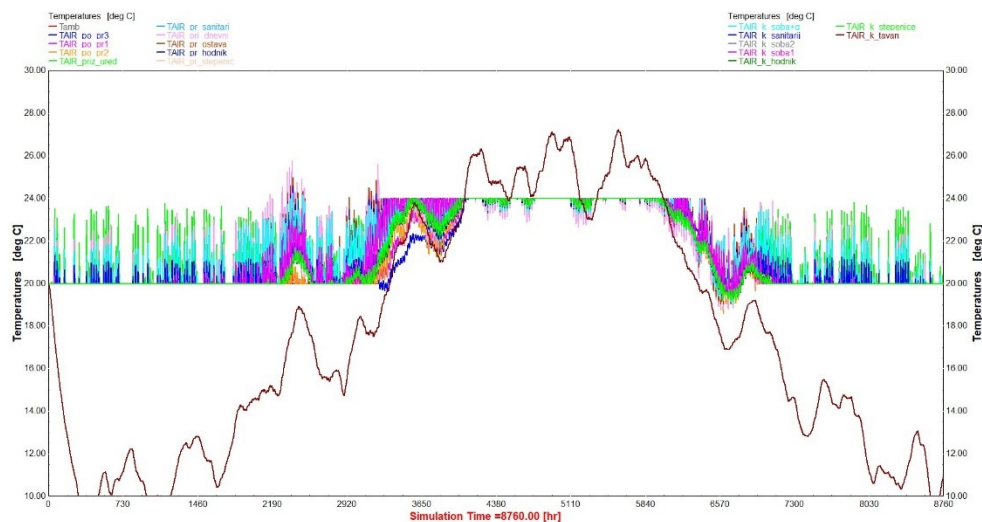
Za aktivno zasjenjenje definirano je područje regulacije sjenila na ostakljenim površinama te maksimalno zasjenjenje:

- Zatvaranje sjenila (SHADE_CLOSE) u iznosu 1040 W/m² zimi i 140 W/m² ljeti
- Otvaranje sjenila (SHADE_OPEN) u iznosu 1020 W/m² zimi i 120 W/m² ljeti
- Maksimalno unutarnje zasjenjenje (MAX_ISHADE) vrijednosti 70/100
- Maksimalno vanjsko zasjenjenje (MAX_ESHADE) vrijednosti 70/100



Slika 3.17: raspored temperatura za model 3 montažne gradnje

Nakon provedene prve numeričke analize zasjenjenja, iz rezultata prikazanih na Slika 3.17 vidljivo da je i dalje prisutno pregrijavanje pojedinih toplinskih zona za sve modele, a odnosi se na toplinske zone koje se nalaze na etaži prizemlja. Kako bi smanjili toplinsko opterećenje zone, uvodi se termostat s pomoću kojeg se regulira temperatura zraka promatrane toplinske zone.



Slika 3.18: korigirani raspored temperatura za model 3 montažne gradnje

Termostat je namješten tako da je polazna temperatura zraka 20 °C, s temperaturnom razlikom regulatora od 1 °C uz zadanu temperaturu 23 °C. Slika 3.18 prikazuje raspodjelu temperatura gdje je pregrijavanje zona unutar dopuštenih granica.

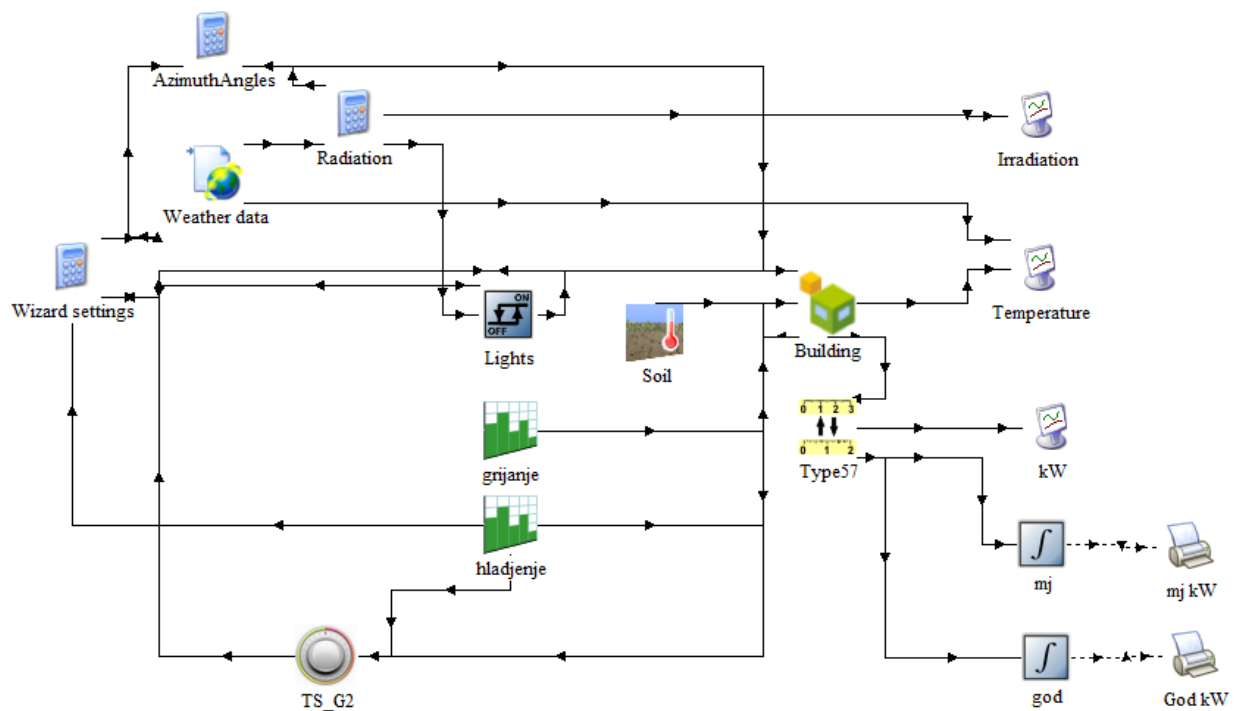
4. ENERGIJA ZA GRIJANJE I HLAĐENJE OBITELJSKE KUĆE

Godišnja korisna energija se odnosi na ukupnu količinu toplinske energije koja je potrebna za postizanje postavljenih zahtjeva stambenog objekta te obuhvaća oblike energije potrebne za grijanje i hlađenje, ventilaciju kao i druge oblike energetske potrebe poput rasvjete. Proračun godišnje korisne energije uključuje niz parametara te može biti složen proces.

Kad su postavljeni parametri može se sada pristupiti izradi analize te obradi dobivenih rezultata. Za analizu potrebno je očitati:

- godišnju potrebnu energiju za grijanje i hlađenje (osjetnu i latentnu) obiteljske kuće
- mjesečnu potrebnu energiju za grijanje i hlađenje (osjetnu i latentnu) kuće

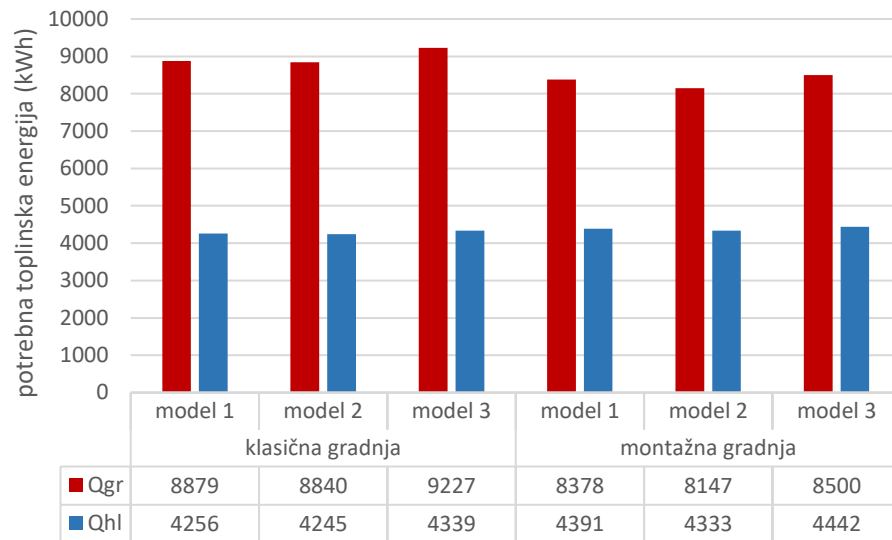
Za potrebnu godišnju energiju grijanja i hlađenja očitava se za cijeli objekt, dok će se kasnije očitati projektna energija za grijanje i hlađenje za cijeli objekt te po pojedinim prostorijama.



Slika 4.1: korisničko sučelje

Za provedbu proračuna koristit će se podaci oba slučaja građenja, klasične i montažne metode građenja, i to na tri razine razrađenosti toplinskog modela. Prikazat će se podatak o godišnjoj potrebnoj energiji te potrebnoj energiji kroz mjesec. Kako je već navedeno na početku ovog rada, grijana površina za sva tri toplinska modela je jednake veličine da bi podaci bili usporedivi. Grafikonom na slici Slika 4.2 prikazana je dobivena potrebna toplinska energija za grijanje i

hlađenje za pojedine toplinske modele uzevši u obzir aktivno zasjenjenje i regulaciju temperature toplinske zone.

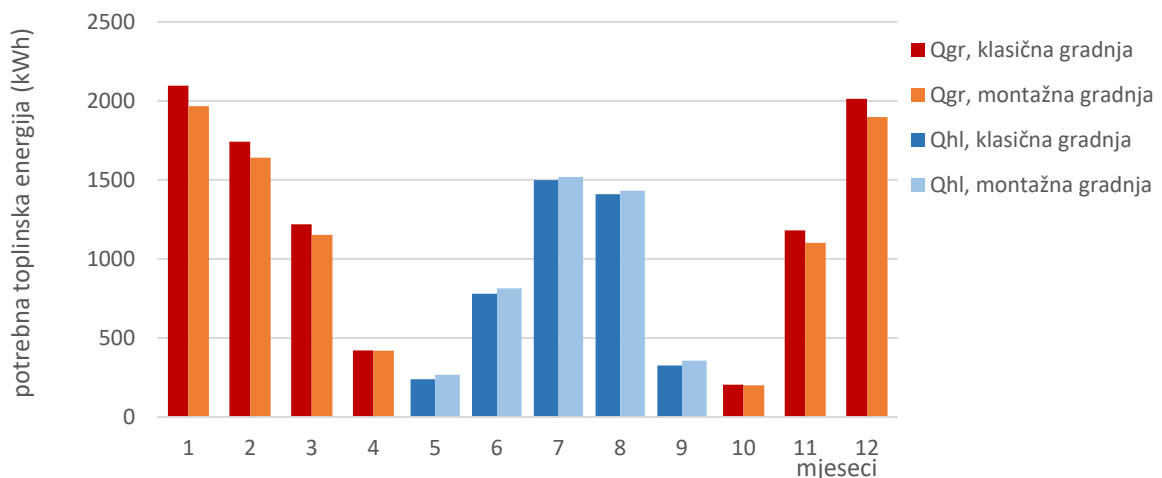


Slika 4.2: godišnja ukupna toplinska energija u referentnoj godini za sve izvedbe

4.1. Godišnja korisna energija u ovisnosti o razini detaljnosti toplinskog modela

a) Jednostavni toplinski 3D model – model 1

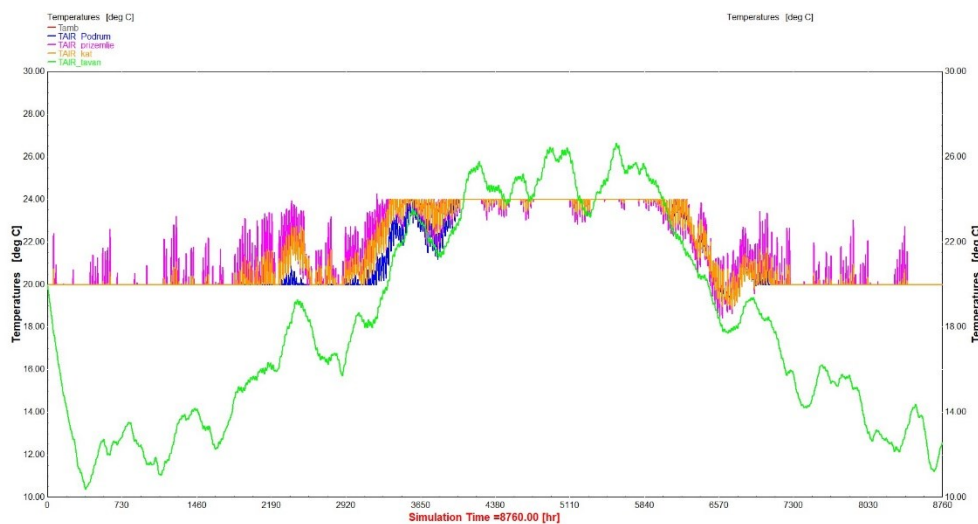
U nastavku rada nalaze se rezultati očitani za jednostavni toplinski model, model 1, koji se sastoji od ukupno 4 toplinske zone. Očitani su podaci za godišnju korisnu energiju ovisno o mjesecima i sezoni grijanja/hlađenja te je dan prikaz raspodjele temperatura toplinskih zona tijekom referentne godine.



Slika 4.3: energija grijanja i hlađenja u referentnoj godini za model 1 za obje gradnje

Tablica 4.1: prikaz podataka o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje za model 1

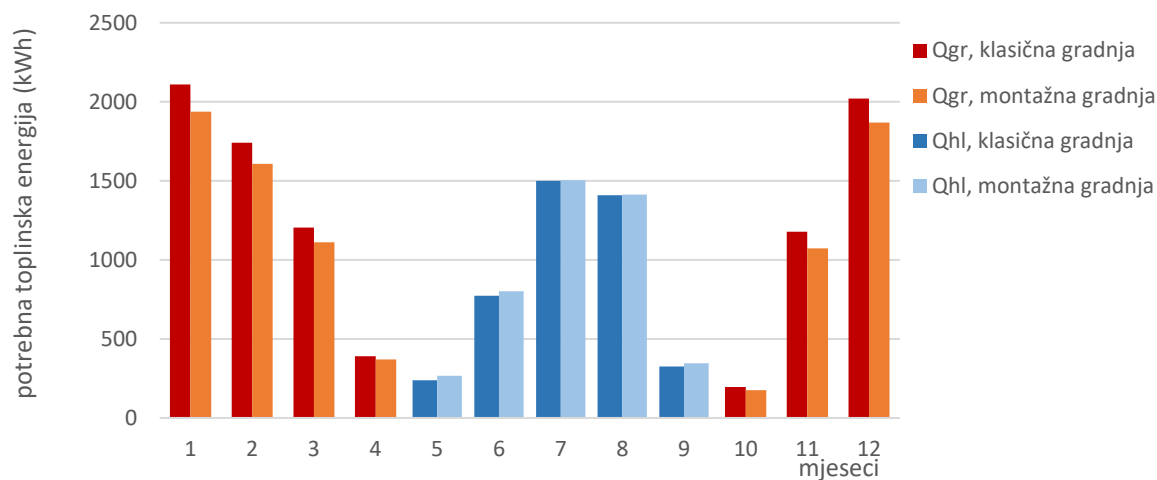
model	Potrebna energija (kWh)	
	Grijanje	Hlađenje
Klasična gradnja	8775	4328
Montažna gradnja	8378	4391



Slika 4.4: raspodjela temperatura tijekom cijele godine za sve etaže modela 1

b) Srednje složeni toplinski 3D model – model 2

Srednje složeni toplinski model, model 2, sastoji se od ukupno 6 toplinskih zona. Također su očitani podaci za godišnju korisnu energiju kroz mjesece i definiranu sezonu grijanja/hlađenja za referentnu godinu te prikazane su raspodjele temperatura toplinskih zona modela.

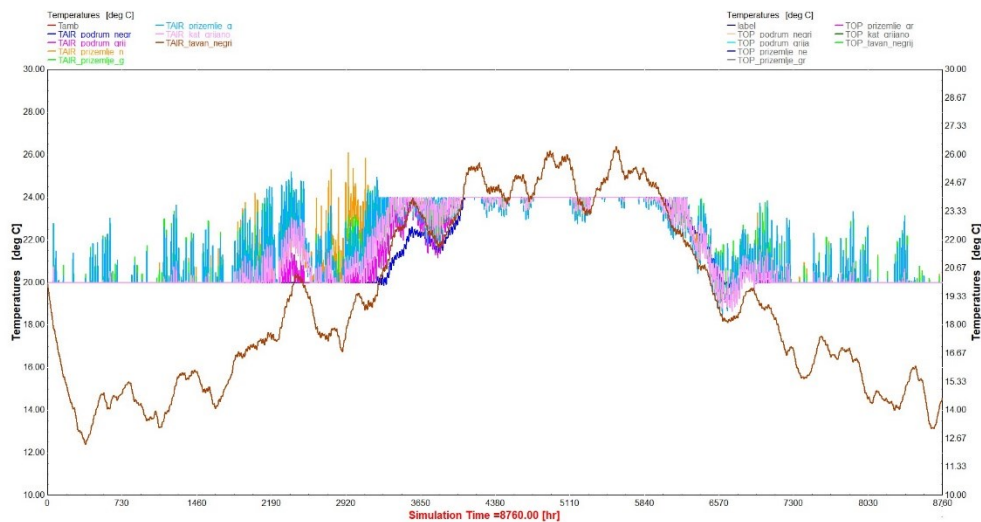


Slika 4.5: energija grijanja i hlađenja u referentnoj godini za model 2 za obje gradnje

Tablica 4.2: prikaz podataka o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje za model 2

model	Potrebna energija (kWh)	
	Grijanje	Hlađenje
Klasična gradnja	8840	4245
Montažna gradnja	8147	4333

Godišnja potrebna energija za grijanje nešto je manja u odnosu na model 1 zato što se u modelu 2 pojavljuje veće toplinsko opterećenje. Razlog tome je što je u modelu dva etaža prizemlja podijeljena na manji broj toplinskih zona, odnosno 3 toplinske zone, gdje se u toplinskoj zoni Prizemlje_Grijano 1 javlja najveće toplinsko opterećenje. U promatranoj zoni dolazi do pregrijavanja pa je ujedno i zona u kojoj se regulira temperatura zraka.



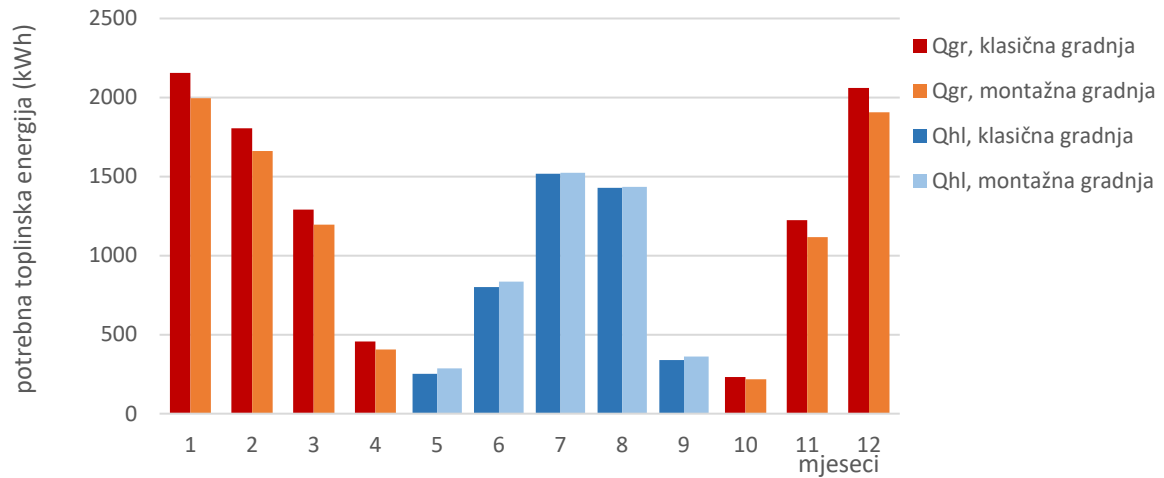
Slika 4.6: raspodjela temperatura tijekom cijele godine za sve zone modela 2

c) Detaljni toplinski 3D model – model 3

Detaljni toplinski model ima najviše toplinskih zona s obzirom na to da jedna prostorija predstavlja jednu toplinsku zonu pa ukupno broji 16 toplinskih zona. Kao i za prethodne modele prikazani su podaci za godišnju korisnu energiju uz raspodjelu temperatura toplinskih zona tijekom referentne godine.

I kod ovog toplinskog modela dolazi do pregrijavanja zona na etaži prizemlja pri čemu najveće toplinsko opterećenje trpi toplinska zona ureda koja je orijentirana na jugozapad te ima jedan prozor na južnom pročelju. Za regulaciju temperature postavljen je termostat prema ranije

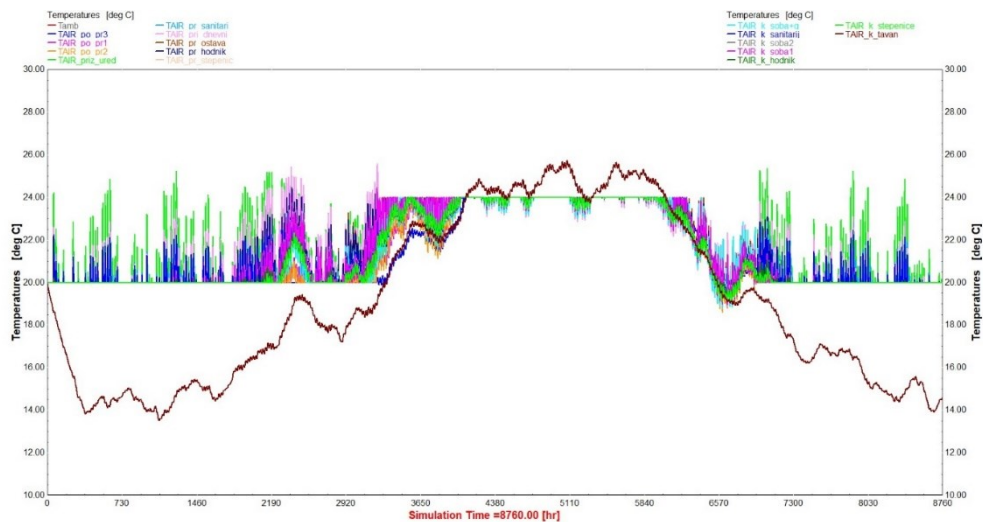
opisanim postavkama regulatora. Nakon regulacije područje pregrijavanja zone je u prihvatljivim granicama.



Slika 4.7: energija grijanja i hlađenja u referentnoj godini za model 3 za obje gradnje

Tablica 4.3: prikaz podataka o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje za model 3

model	Potrebna energija (kWh)	
	Grijanje	Hlađenje
Klasična gradnja	9384	4349
Montažna gradnja	8768	4431



Slika 4.8: raspodjela temperatura tijekom cijele godine za sve prostorije modela 3

4.2. Godišnja korisna energija u ovisnosti o vremenskom koraku simulacije

U nastavku će se razložiti rezultati dobiveni različitim vremenima simulacije. Do sada su sve numeričke simulacije napravljene u vremenskom koraku od 60 min, a za usporedbu koristit će se dodatna tri vremenska koraka: 30 min, 10 min i 5 min.

Tablica 4.4: prikaz podataka za model 1

model	Vremenski korak simulacije	vrijeme	Potrebna energija (kWh)	
			Grijanje	Hlađenje
klasična gradnja	60 min	0:01:12	8879	4256
	30 min	0:02:09	8885	4242
	10 min	0:03:48	8886	4237
	5 min	0:08:16	8886	4237
montažna gradnja	60 min	0:01:21	8378	4391
	30 min	0:02:23	8381	4378
	10 min	0:05:35	8385	4373
	5 min	0:09:16	8384	4373

Za model 1 kod klasične metode građenja smanjenjem vremenskog koraka simulacije u prosjeku se poveća energija za grijanje za 0,07 % dok se energija za hlađenje umanjuje za 0,39 %. Kod montažne gradnje dobiveno je prosječno povećanje energije za grijanje od 0,08 % te umanjenoje energije za hlađenje od 0,43 %.

Tablica 4.5: prikaz podataka za model 2

model	Vremenski korak simulacije	vrijeme	Potrebna energija (kWh)	
			Grijanje	Hlađenje
klasična gradnja	60 min	0:01:35	8840	4245
	30 min	0:02:53	8844	4232
	10 min	0:06:33	8848	4226
	5 min	0:10:56	8847	4225
montažna gradnja	60 min	0:01:36	8147	4333
	30 min	0:03:01	8144	4319
	10 min	0:00:00	8158	4314
	5 min	0:11:04	8156	4313

Model 2 ima vrlo slične rezultate modelu 1, odnosno za klasičnu gradnju dobiveno je uvećanje energije grijanja za 0,07 % te umanjene energija hlađenja od 0,4 %. Montažna gradnja daje rezultat s prosječnim uvećanjem energije grijanja za 0,09 %, dok se energija hlađenja umanjila za 0,45 %.

Tablica 4.6: prikaz podataka za model 3

model	Vremenski korak simulacije	vrijeme	Potrebna energija (kWh)	
			Grijanje	Hlađenje
klasična gradnja	60 min	0:03:24	9227	4339
	30 min	0:06:15	9230	4327
	10 min	0:15:52	9234	4322
	5 min	0:29:08	9234	4321
montažna gradnja	60 min	0:04:10	8500	4442
	30 min	0:07:33	8495	4429
	10 min	0:17:17	8503	4424
	5 min	0:30:01	8507	4423

Kod modela 3 energija za grijanje ima prosječno uvećanje za 0,06 % kod klasične gradnje i 0,07 % kod montažne gradnje. Energija za hlađenje se u prosjeku umanjila za 0,35 % primjenom klasične metode građenja te 0,39 % primjenom montažne gradnje.

Iz priloženih rezultata da se zaključiti da smanjenjem vremenskog koraka simulacije povećava se vrijeme za provedbu simulacije. Isto tako vrijedi da se vrijeme simulacije produljuje u ovisnosti o složenosti toplinskog modela. Između dva načina radnje nema značajnih razlika u vremenu provedene simulacije s obzirom na to da se geometrija toplinskog modela ista uz druge slojeve građevinskog elementa.

4.3. Godišnja korisna energija u ovisnosti o načinu vođenja sustava za grijanje i hlađenje

Sustav grijanja i/ili hlađenja nekog objekta može se izvesti na nekoliko načina ovisno o režimu rada samog sustava. Tako razlikujemo sustave s kontinuiranim i diskontinuiranom načinom rada. Kod sustava s kontinuiranim načinom rada sustav radi neprekidno 0-24 h prema danim parametrima.

Kod diskontinuiranih sustava se zadaje period prekida rada, a on može biti jedna od sljedeći izvedbi:

- prekid rada noću
- prekid rada vikendom

Analiza je provedena na temelju režima rada grijanja i hlađenja, odnosno umjesto kontinuiranog načina rada odabran je rad s prekidom u noćnom periodu u trajanju od 22 do 6 sati. Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790.

Ukupna toplinska energija za grijanje pri nekontinuiranom radu:

$$Q_{H,nd,a} = \sum_i \alpha_{H,red,i} \cdot Q_{H,nd,cont,m,i} \cdot \frac{L_{H,m,i}}{d_{m,i}} \quad [\text{kWh/a}]$$

$\alpha_{H,red,i}$ - redukcijski faktor koji uzima u obzir prekide u grijanju u i-tom mjesecu, [-]

$Q_{H,nd,cont,m,i}$ - toplinska energija za grijanje pri kontinuiranom radu u i-tom mjesecu, [kWh/mj]

$L_{H,m,i}$ - broj dana rada sustava grijanja u i-tom mjesecu, [d/mj]

$d_{m,i}$ - ukupan broj dana u i-tom mjesecu, [d/mj]

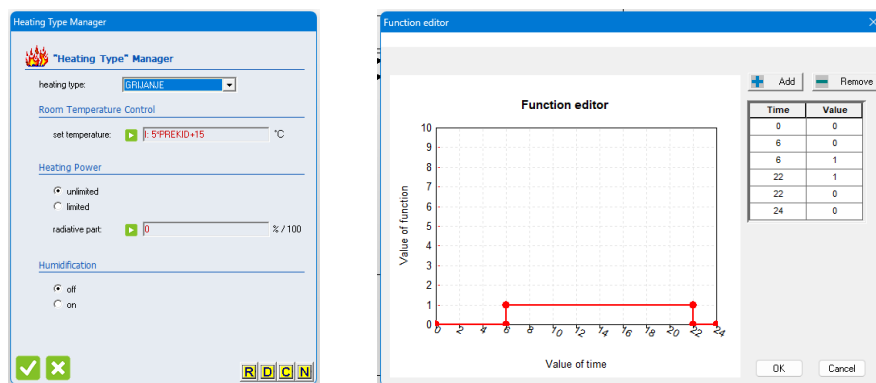
Proračun redukcijskog faktora $\alpha_{H,red}$ uzima u obzir prekid u grijanju i računa se za svaki mjesec:

$$\alpha_{H,red} = 1 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_{H,o}}{\tau} \right) \cdot y_H \cdot (1 - f_{H,hr}) \quad [-]$$

$f_{H,hr}$ – broj sati u tjednu tijekom kojih grijanje radi s normalnom postavnom vrijednošću unutarnje temperature

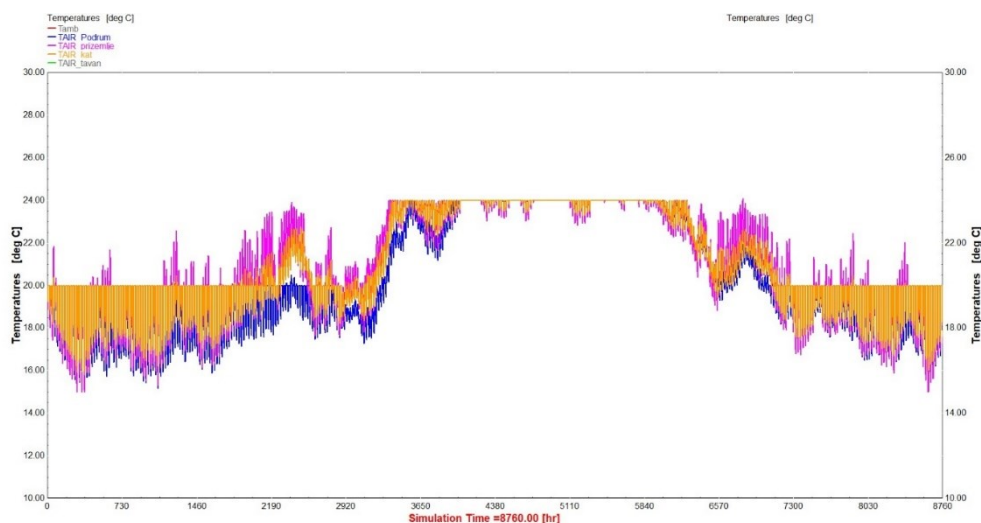
S obzirom na to da se proračun potrebne energije za grijanje $Q_{H,nd}$ provodi na temelju satne metode, faktor $f_{H,hr}$ se računa kao:

$$f_{H,hr} = \frac{d_{use,tj}}{7}$$



Slika 4.9: sustav s prekidom rada noću – rad 1, pauza 0

Sustav je definiran tako da je s pomoću forsing funkcije određen dnevni profil rada, odnosno zadano je da sustav radi od 6 do 22 sata, svaki dan u tjednu. Zatim je u Heating type manageru unesen novi način grijanja prikazano slikom Slika 4.9.



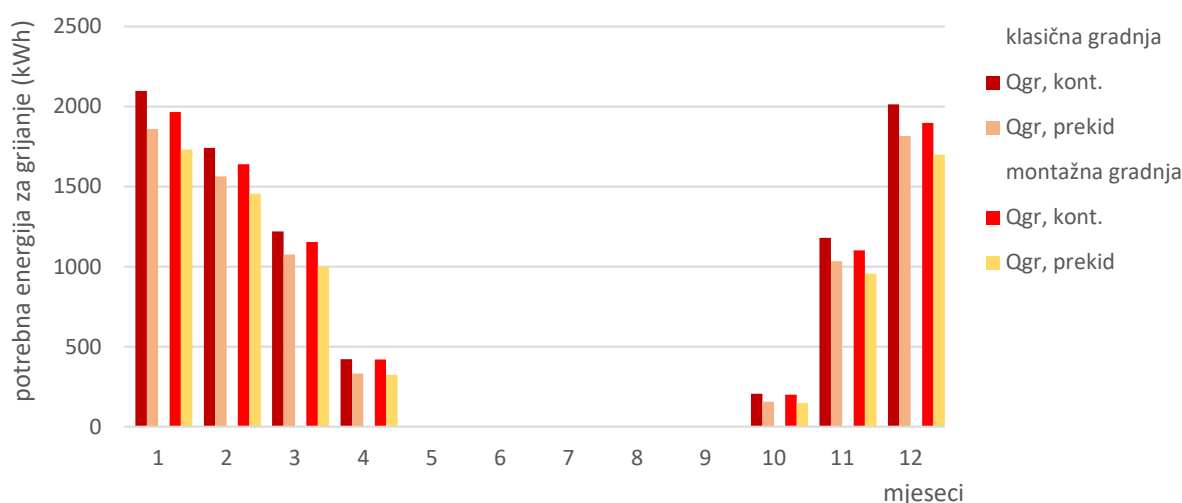
Slika 4.10: godišnja temperaturna raspodjela Modela 1

Kod provedene numeričke simulacije zadanog režima grijanja potrebno je dovesti onu količinu toplinske energije za grijanje kojom se u toplinskim zonama može postići prosječna temperatura viša od $15\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$, što je i zadovoljeno i može se očitati na slici Slika 4.10.

Tablica 4.7: prikaz podataka o potrebnoj energiji za grijanje za sve modele

model		Potrebna energija za grijanje (kWh)		
		Model 1	Model 2	Model 3
Klasična gradnja	kontinuirani rad	8879	8840	9227
	Sustav s prekidima	7837	7909	8424
montažna gradnja	kontinuirani rad	8378	8147	8500
	Sustav s prekidima	7314	7248	7694

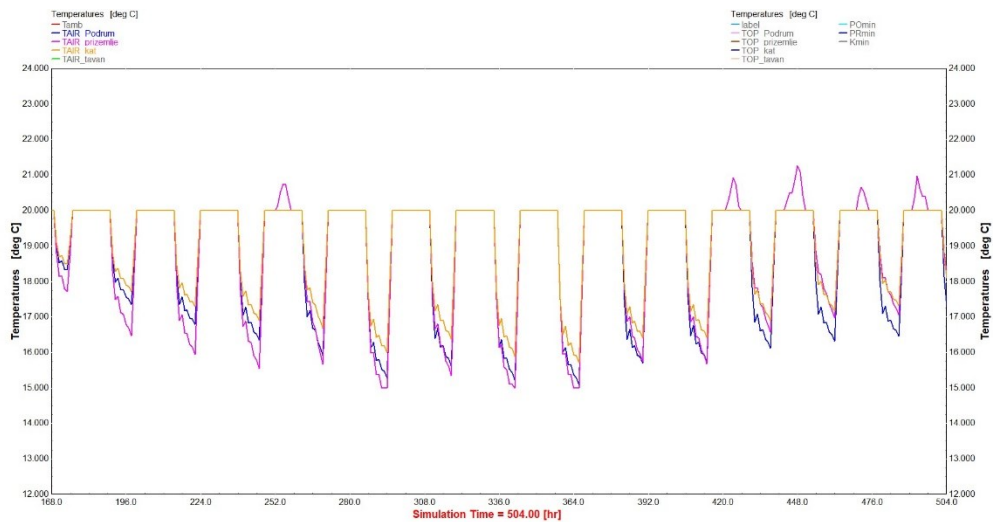
Za model 1 dobili smo umanjene potrebne toplinske energije za 11,74 % za klasičnu gradnju te 12,71 % za montažnu gradnju. Smanjenje potrebne energije za grijanje možemo pripisati manjim satima rada u odnosu na kontinuirani rad sustava.



Slika 4.11: usporedni dijagram montažne i klasične gradnje

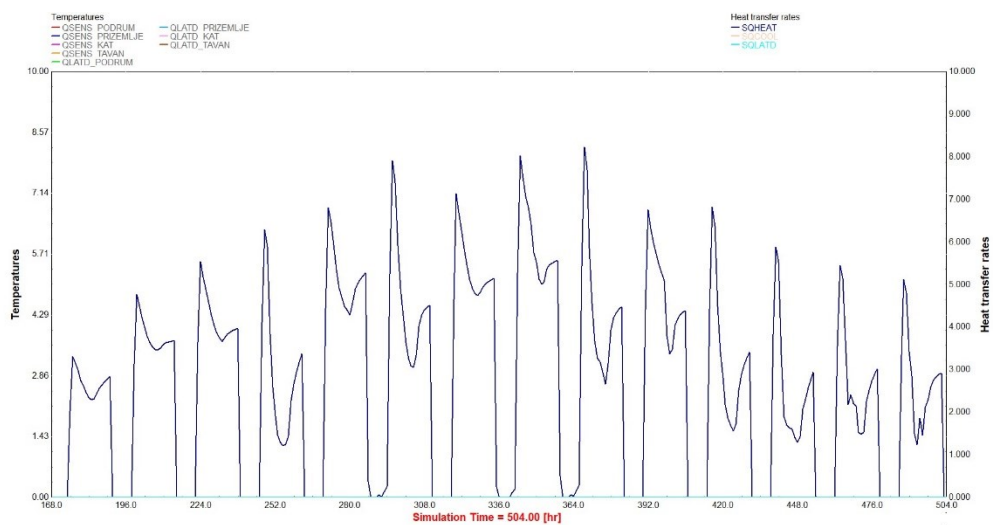
Za režim rada sustava grijanja s prekidom u noćnim satima zimi se smanjila potrebna toplinska energija za grijanje u odnosu na kontinuirani način rada bez utjecaja na toplinsku ugodnost prostora te sustav održava zadane temperature toplinskih zona. Time se ujedno utječe i na smanjenje troškova grijanja obiteljske kuće. Na slikama Slika 4.12 i Slika 4.13 je prikazan karakterističan profil sustava s prekidima na bazi dva tjedna.

Za model 1 minimalna temperatura od 15 °C postignuta je u 293 satu za toplinsku zonu prizemlja kod obje metode građenja. Kod modela 2 je postignut temperaturni minimum u 293 satu s 15,16 °C za klasičnu gradnju i 15,22 °C za montažnu gradnju. Također i kod modela 3 je u 293 satu postignut temperaturni minimum s 15,38 °C kod klasične gradnje i 15,23 °C kod montažne gradnje.



Slika 4.12: raspodjela temperatura za sustav grijanja s prekidom u radu

Kod sustava grijanja s prekidima grijanja dobiven je prosječni projektni učin za klasičnu gradnju u iznosu od 6,37 kW te za montažnu gradnju od 5,96 kW.



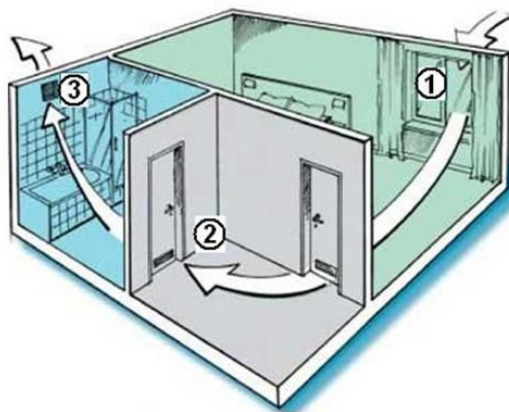
Slika 4.13: profil sustava grijanja s prekidima u radu

4.4. Godišnja korisna energija u ovisnosti o noćnoj ventilaciji ljeti

Kod prirodne ventilacije koristi se „efekt dimnjaka“ koji opisuje strujanje toplijeg zraka prema gore pri pojavi razlika u temperaturi između unutrašnjosti kuće i vanjskog okoliša. Efekt dimnjaka postiže se ulaskom hladnog vanjskog zraka u obiteljsku kuću na nižim katovima (prizemlju ili podrumu) gdje apsorbira toplinu u prostorijama te se uzdiže prema višim katovima kuće i izlazi iz

objekta kroz prozore. Time se stvara područje nižeg tlaka zraka što za posljedicu ima da ulazak svježeg zraka kroz prozore. Dodatno se može stvoriti poprečna ventilacija koristeći vrata i prozore pa se tako prozračuju različiti dijelovi obiteljske kuće.

Cilj je da svježi zrak doveden izvana prolazi što dulji put između ulaza i izlaza iz kuće jer se time prozračuje mnogo veći prostor. Ako je temperatura unutarnjeg zraka manja od temperature vanjskog zraka koji ulazi u zonu, toplinski tok smatra se rashladnim opterećenjem za promatranu zonu. U suprotnom toplinski tok se smatra toplinskim opterećenjem promatrane zone.



Slika 4.14: primjer prirodne ventilacije prostora

Minimalni broj izmjena vanjskog zraka za stambene zgrade, prema tehničkom propisu koji se odnosi na o racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama:

$$n_{req} = \max \left[\frac{\dot{V}_{mech,des}}{V}; 0,5 \right] \quad [h^{-1}]$$

nazivni projektni volumni protok vanjskog zraka da je izrazom:

$$\dot{V}_{mech,des} = \frac{\phi_{max}}{0,34 \cdot \Delta\theta_{des}} \quad [m^3/h]$$

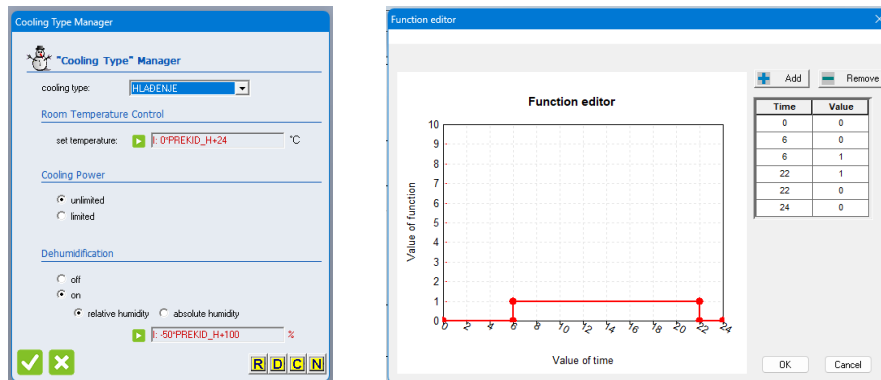
ϕ_{max} - najveće toplinsko opterećenje kod režima grijanja/hlađenja [kW]

$\Delta\theta_{des}$ - projektna razlika temperatura, $\Delta\theta_{des} = 10$ [K] za sezonu grijanja prema DIN V 18599-2

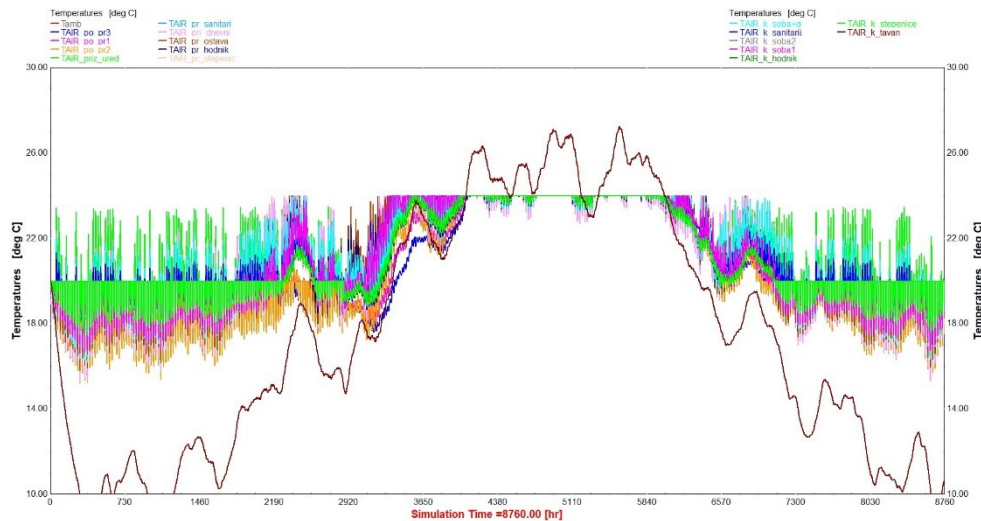
Za provedbu numeričkih simulacija odabrana je sljedeća potrebna količina izmijenjenog zraka:

$$n_{req} = 0,5 \quad [h^{-1}]$$

Za potrebe proračuna prvo je uveden režim prekida hlađenja ljeti, uz uvjet da sustav će prekinuti rad samo ako je temperature okoline manja od temperature prostora koji se hladi $\vartheta_e < \vartheta_{int}$.



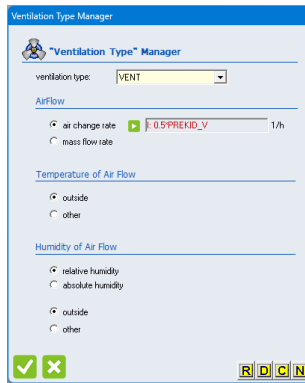
Slika 4.15: sustav s prekidom rada u noćnim sati od 22 do 6 h



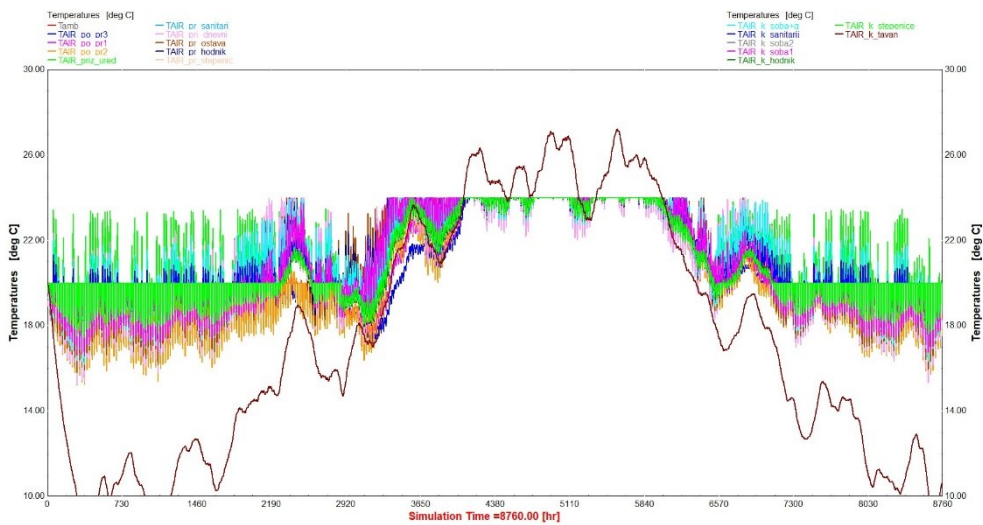
Slika 4.16: raspodjela temperatura kod sustava hrijanja s prekidom rada noću

U odnosu na režim hlađenja s kontinuiranim radom sustava, gdje se hlađenje prostorija obiteljske kuće vrši 0-24 h u sezoni hlađenja, sustav s prekidima bilježi manju potrebnu energiju za hlađenje. Kako ne bi došlo do pregrijavanja toplinskih zona u tijeku noći, uveden je uvjet da se sustav gasi samo u slučaju kada je vanjska temperatura manja od temperature toplinske zone.

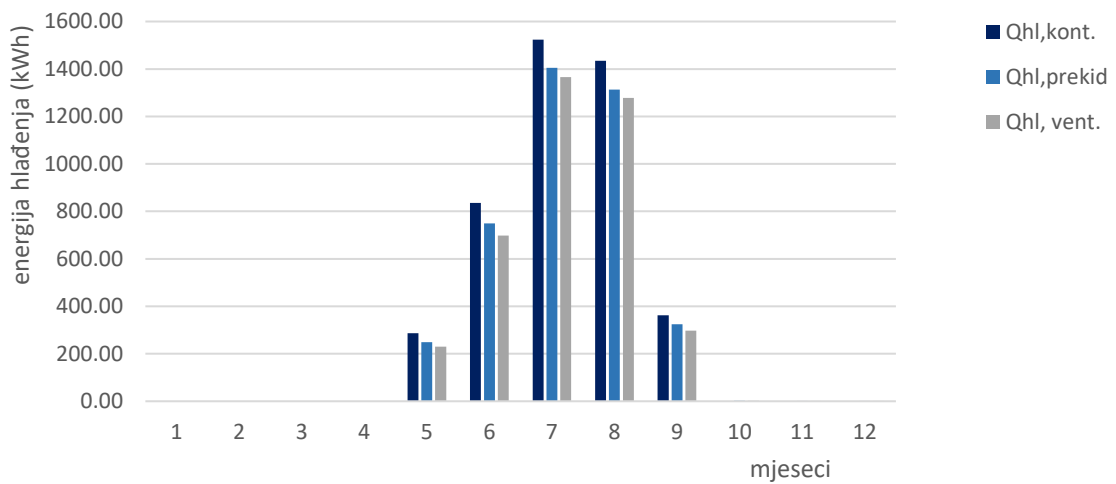
Na sustav hlađenja s prekidima se dodaje noćna ventilacija hlađenih prostora. Način rada ventilacije prilagođen je s pomoću Ventilation type managera.



Slika 4.17: sustav s noćnom ventilacijom



Slika 4.18: raspodjela temperatura za sustav hlađenja s prekidom i noćnom vrtilacijom



Slika 4.19: usporedni dijagram kod montažne gradnje modela 3

Kada je uveden režim rada sustava hlađenja s prekidom te uvedena noćna ventilacija ljeti smanjila se potrebna energija za hlađenje čime utječe na smanjenje troškova. Slikom Slika 4.19 da je prikaz umanjena toplinske energije hlađenja u slučajevima sustava s prekidima hlađenja i noćne ventilacije u odnosu na sustav s kontinuiranim načinom rada. Općenito, sustav s prekidima ima prosječno manju potrebnu energiju za hlađenje za 9,14 % pri klasičnoj gradnji i 8,52 % pri montažnoj gradnji. Sustav s prekidom i noćnom ventilacijom ima prosječno smanjenje potrebne energije hlađenja kod klasične metoda građenja za 12,89 % i 12,52 % kod montažne metode građenja. U nastavku su priloženi očitani podaci za sve toplinske modele.

Tablica 4.8: prikaz podataka o potrebnoj energiji za hlađenje za sve modele

model		Potrebna energija za grijanje (kWh)		
		Model 1	Model 2	Model 3
Klasična gradnja	Kontinuiran rad 20-24 h	4256	4245	4339
	Prekid hlađenja 22-06 h	3833	3835	3931
	Prekid hlađenja s noćnom ventilacijom	3683	4339	3770
montažna gradnja	Kontinuiran rad 20-24 h	4391	4333	4442
	Prekid hlađenja 22-06 h	3974	3940	4045
	Prekid hlađenja s noćnom ventilacijom	3683	3774	3872

4.5. Specifična godišnja korisna energija $Q_{H,nd}$

Konstruktivski, energetski i termotehnički zahtjevi ovisni su o geometriji zgrade. Faktorom oblika zgrade određena je dozvoljena potrošnja korisne toplinske energije za grijanje. Faktor oblika dobijemo tako da se oplošje grijanog dijela zgrade podijeli s obujmom koje to oplošje okružuje:

$$f_0 = \frac{A}{V_e} = \frac{664,77}{757,64} = 0,8774$$

f_0 – faktor oblika, [m^{-1}]

A – oplošje grijanog dijela objekta, [m^2]

V_e – volumen grijanog dijela objekta, [m^3]

Za korisnu površinu kuće $A_k = 273,24 \text{ m}^2$ i ukupnu korisnu energiju $Q_{uk} = 12942 \text{ kWh}$ dobiva se specifična potrošnja energije za grijanje u iznosu $A_k = 47,36 \text{ kWh/m}^2$. Najveća dopuštena vrijednost $Q''_{H,nd}$ za obiteljske kuće, definirana prema Tehničkom propisu za novu zgradu i GE0Z grijanje i/ili hlađenje na temperaturu 18°C ili više, za područje primorske Hrvatske uz faktor oblika $0,2 < f_0 < 1,05$ iznosi:

$$Q''_{H,nd} = 17,16 + 38,42 \cdot f_0$$
$$Q''_{H,nd} = 17,16 + 38,42 \cdot 0,8774 = 50,74 \text{ kWh/m}^2$$

Izračunata specifična korisna energija zadovoljava vrijednosti dane prema tehničkom propisu.

5. PROJEKTNI UČINCI ZA GRIJANJE I HLAĐENJE

Projektirana energija za grijanje i hlađenje je ona količina energije potrebna za održavanje zahtijevane unutarnje temperature unutar prostorije/zgrade tijekom cijele godine, a uključuje dva režima rada: grijanje zimi i hlađenje ljeti. Projektni učinak za grijanje i hlađenje ključni je element za održavanje temperature zgrade u najnepovoljnijim uvjetima, a prema njima se određuje veličina ugrađene opreme tj. termotehničke opreme ogrjevnih i rashladnih tijela.

Kod procjene projektirane energije uzima se nekoliko faktora u obzir, a to su:

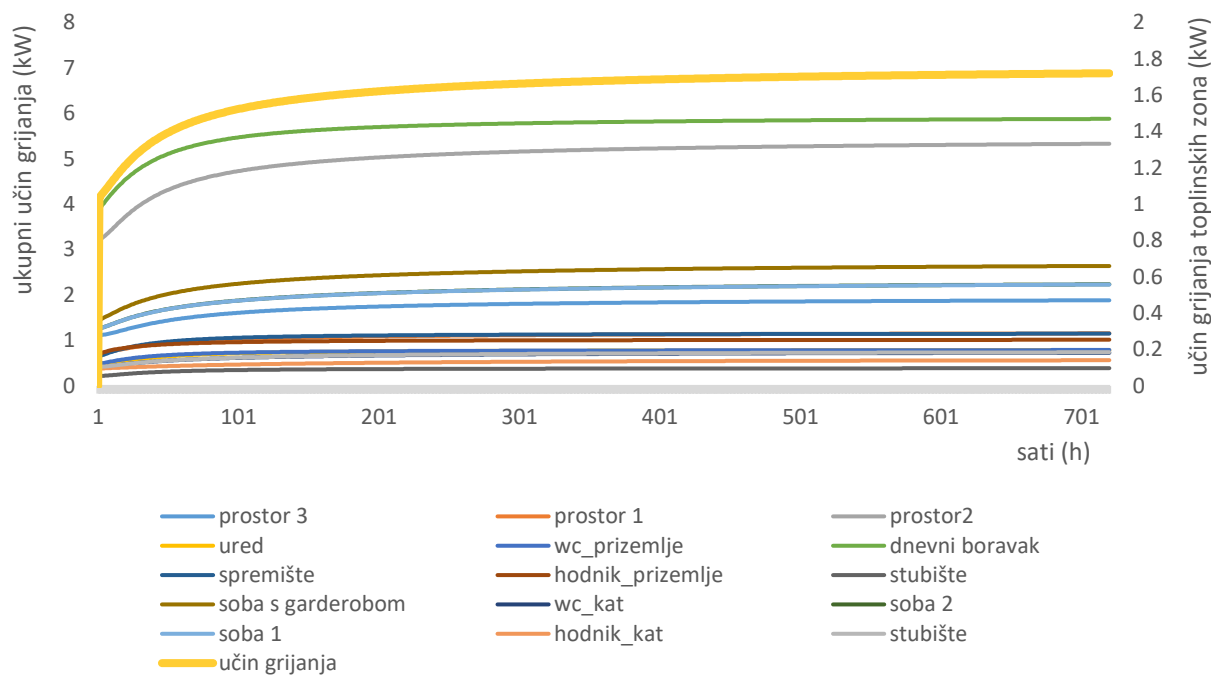
- Klimatski i vremenski uvjeti,
- obilježja zgrade,
- termotehnički sustavi grijanja i hlađenja,
- zahtjevi korisnika

5.1. Projektirani učinak grijanja

Za definiranje projektnog učinka grijanja potrebno je primijeniti stacionarne uvjete provođenja topline uz konstantnu temperaturu vanjskog zraka i tla bez utjecaja sunčevog zračenja i unutarnjih dobitaka. Korišteni su navedeni projektni uvjeti za grijanje, odnosno za područje grada Rijeke vrijede sljedeći vrijednosti za projektiranje prema Tehničkom propisu za zimu:

projektna temperatura prostora	20 °C
temperatura vanjskog zraka	-7,7 °C
temperatura tla	10 °C

Numerička analiza toplinskih modela provedena je za period od 720 sati uz zagrijavanje toplinskih zona na unutarnju projektnu temperaturu bez prekida grijanja.



Slika 5.1: projektirani učin za period grijanja zimi modela 3

Za model 1 očitano je za cijelu obiteljsku kuću učin grijanja od 7,07 kW kod klasične gradnje i 6,70 kW kod montažne gradnje. Kod modela 2 očitani učinci grijanja obiteljske kuće u iznosu od 7,18 kW kod klasične gradnje i 6,72 kW kod montažne gradnje. Model 3 obiteljske kuće bilježi učin grijanja za klasičnu gradnju u iznosu 7,06 kW, dok za montažnu gradnju je očitani učin grijanja od 6,68 kW. U tablicama su prikazani detaljno sva tri toplinska modela. Kratica KG označava klasičnu gradnju a MG montažnu gradnju.

Tablica 5.1: učin grijanja za model 1

etaža	toplinska zona	ϑ [°C]	učin hlađenja, [kW]	
			KG	MG
podrum	20	20	2,14	2,00
prizemlje	prizemlje	20	2,52	2,39
prvi kat	Prvi kat	20	2,40	2,31
SVEUKUPNO			7,07	6,70

Tablica 5.2: učin grijanja za model 2

etaža	toplinska zona	ϑ [°C]	učin hlađenja, [kW]	
			KG	MG
podrum	Podrum 1	20	0,49	0,46
	Podrum 2	20	1,67	1,56
prizemlje	Prizemlje 1	20	0,29	0,27
	Prizemlje 2	20	0,47	0,44
	Prizemlje 3	20	1,80	1,70
prvi kat	Prvi kat	20	2,46	2,30
SVEUKUPNO			7,18	6,72

Tablica 5.3: učin grijanja za model 3

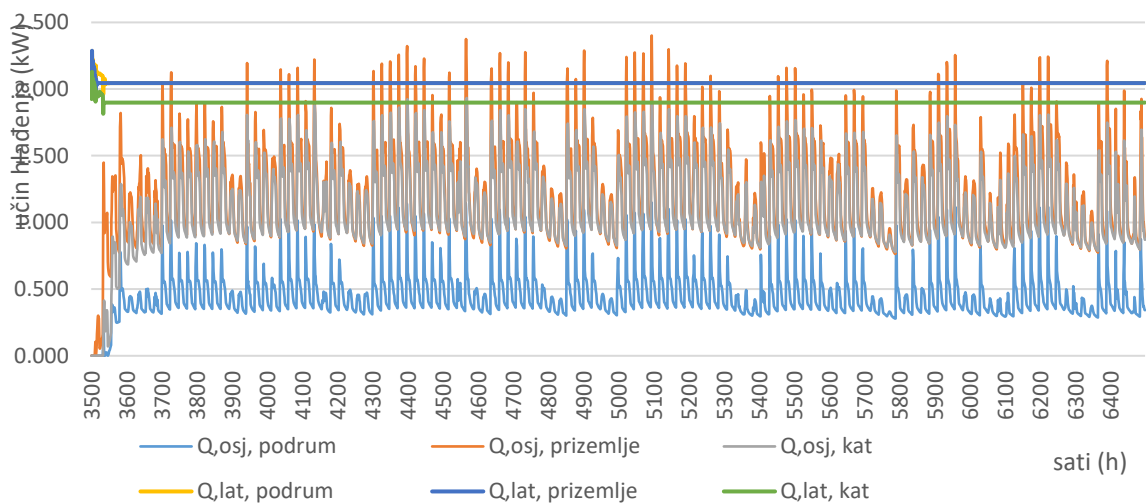
etaža	toplinska zona	ϑ [°C]	učin hlađenja, [kW]	
			KG	MG
podrum	Prostor 3	20	0,49	0,45
	Prostor 1	20	0,30	0,27
	Prostor 2	20	1,37	1,28
prizemlje	Ured	20	0,20	0,18
	Sanitarije	20	0,20	0,18
	Dnevni boravak + kuhinja	20	1,49	1,42
	Vanjsko spremište	20	0,29	0,27
	Hodnik	20	0,26	0,25
	Unutarnje stubište	20	0,10	0,08
Prvi kat	Spavaonica + garderoba	20	0,68	0,66
	Sanitarije	20	0,19	0,18
	Soba 2	20	0,58	0,56
	Soba 1	20	0,58	0,56
	Hodnik	20	0,15	0,14
	Unutarnje stubište	20	0,19	0,18
SVEUKUPNO			7,06	6,68

5.2. Projektirani učinak hlađenja

Sunčevo zračenje kod projektnog hlađenja je uključeno, za razliku od definiranja projektnih učinaka grijanja, te se simulacija se provodi kroz period ljeta. Korišteni su navedeni projektni uvjeti za hlađenje, odnosno za područje grada rijeke vrijede sljedeći projektni podaci za ljeto:

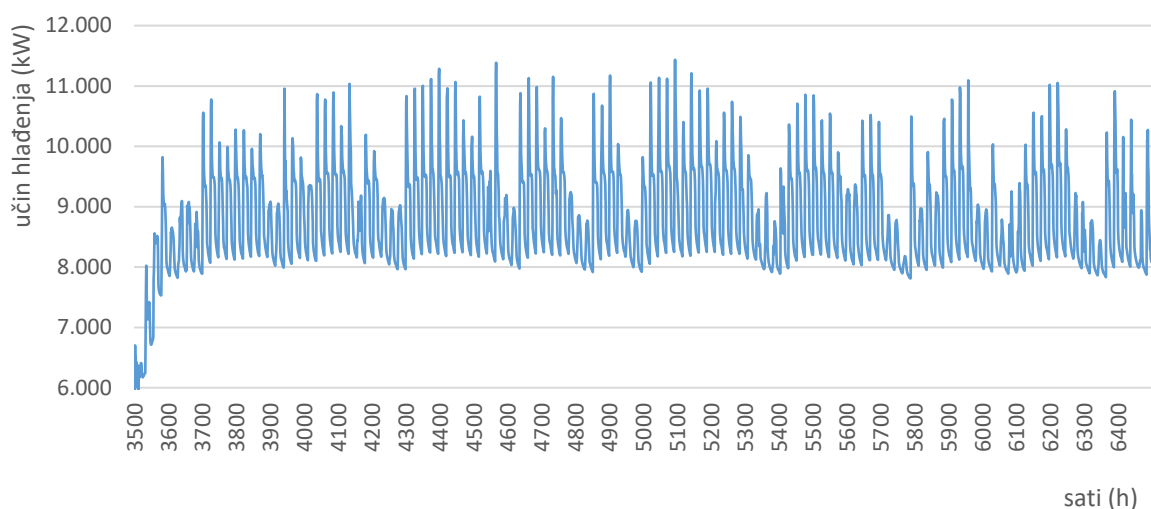
projektna temperatura prostora	24 °C
temperatura vanjskog zraka	31,8 °C
relativna vlažnost	97 %
temperatura tla	10 °C

Numerička analiza za sve toplinske modele provedena je za period od 3500 do 6500 sati uz zagrijavanje toplinskih zona na unutarnju projektnu temperaturu bez prekida hlađenja uz razvlaživanje zraka od 50 %.



Slika 5.2: energija hlađenja uz razvlaživanje za ljetni period po toplinskim zona modela 1

Za model 1 očitano je za cijelu obiteljsku kuću rashladni učin od 11,43 kW kod klasične gradnje i 11,45 kW kod montažne gradnje. Ukupni maksimum za oba slučaja je postignut u 5096. satu, odnosno u kolovozu u 8.00 h. Kod modela 2 očitani su rashladni učinci obiteljske kuće u iznosu od 11,55 kW s maksimumom u 5096. satu kod klasične gradnje i 11,52 kW s maksimumom u 4568. satu kod montažne gradnje, tj u srpnju u 8.00 h. Model 3 obiteljske kuće bilježi rashladni učin za klasičnu gradnju kod maksimuma u 5096.satu u iznosu od 11,13 kW, dok za montažnu gradnju je očitano rashladni učin od 11,43 kW kod maksimuma postignutog u 4568. satu.



Slika 5.3: ukupna energija hlađenja uz razvlaživanje za ljetni period modela 1

Tablica 5.4: učin hlađenja za model

etaža	toplinska zona	ϑ [°C]	učin hlađenja, [kW]			
			t [h]	klasična gradnja	t [h]	montažna gradnja
podrum	podrum	24	5096	3,19	5096	3,17
prizemlje	prizemlje	24	5096	4,45	5096	4,47
prvi kat	Prvi kat	24	4569	3,83	4569	3,88
SVEUKUPNO			5096	11,43	5096	11,45

Tablica 5.5: učin hlađenja za model 2

etaža	toplinska zona	ϑ [°C]	učin hlađenja, [kW]			
			t [h]	klasična gradnja	t [h]	montažna gradnja
podrum	Podrum 1	24	6237	0,49	6237	0,49
	Podrum 2	24	4567	2,74	4567	2,71
prizemlje	Prizemlje 1	24	6113	0,43	4362	0,43
	Prizemlje 2	24	6113	1,81	5490	0,77
	Prizemlje 3	24	5096	3,66	4568	3,68
prvi kat	Prvi kat	24	4569	3,85	4569	3,87
SVEUKUPNO			5096	11,55	4568	11,52

Tablica 5.6: učin hlađenja za model 3

etaža	toplinska zona	ϑ [°C]	učin hlađenja, [kW]			
			t [h]	klasična gradnja	t [h]	montažna gradnja
podrum	Prostor 3	24	6237	0,49	6237	0,50
	Prostor 1	24	6230	0,39	6397	0,38
	Prostor 2	24	5096	2,09	5096	2,10
prizemlje	Ured	24	6229	0,29	6397	0,29
	Sanitarije	24	6397	0,32	6397	0,30
	Dnevni boravak + kuhinja	24	5096	3,17	4568	3,24
	Vanjsko spremište	24	6113	0,53	6114	0,56
	Hodnik	24	6113	0,54	6114	0,57
	Unutarnje stubište	24	5181	0,19	5183	0,48
Prvi kat	Spavaonica + garderoba	24	6232	1,09	6232	1,11
	Sanitarije	24	6229	0,58	4569	0,89
	Soba 2	24	4569	1,18	4569	1,20
	Soba 1	24	4569	1,18	6229	0,58
	Hodnik	24	5177	0,23	5102	0,22
	Unutarnje stubište	24	4381	0,27	4381	0,26
SVEUKUPNO			5096	11,13	4568	11,20

6. ZAKLJUČAK

U diplomskom radu provedena je numerička analiza utjecaja radnih parametara i rubnih uvjeta na toplinsku akumulaciju obiteljske kuće, koja je novogradnja smještena na području grada Rijeke, te je određena potrebna energija za grijanje i hlađenje kuće. Analiza utjecaja toplinske akumulacije ispitala se kroz tri razine detaljnosti izvedbe toplinskog modela, a ovisno o ukupnom broju toplinskih zona pojedinog simulacijskog modela. Također provedena je analiza utjecaja prema izvedbama konstrukcije građevnih elemenata obiteljske kuće koje se odnose na klasičnu i montažnu metodu građenja. Nakon toga utvrđen je utjecaj prekida grijanja zimi na potrebnu energiju za grijanje te utjecaj primjene prirodne ventilacije ljeti tijekom noći na potrebnu energiju za hlađenje. Sve dinamičke simulacije su provedene s pomoću simulacijskog programa TRNSYS, a proračuni izrađeni prema važećoj regulativi u Republici Hrvatskoj.

Simulacije toplinskih modela provedene su na 3D modelima obiteljske kuće s vremenskim korakom od 60 minuta za period od jedne godine. Najjednostavniji toplinski model ima 4 toplinske zone gdje je jedna etaža jedna toplinska zona, srednje složeni ima 7 toplinskih zona, dok detaljni toplinski model ima 16 toplinskih zona jer je svaka prostorija obiteljske kuće jedna toplinska zona. Za obiteljsku kuću definirane su proračunske temperature toplinskih zona od 20 °C u sezoni grijanja te projekte temperature u iznosu od 24 °C uz relativnu vlažnost zraka od 50 % kod sezone hlađenja. Toplinskim zonama predviđeni su unutarnji dobitci u iznosu od 5 W/m² po površini promatrane toplinske zone. Unutar objekta primijenjena je prirodna ventilacija, odnosno infiltracija i minimalno provjetranje prostora koje ukupno iznosi za sve toplinske zone 0,64 h⁻¹. Za provedbu simulacija definiran je period u godini koji je predviđen za grijanje kuće u trajanju od 1.-4. mjeseca te 10.-12. mjeseca, odnosno za potrebe hlađenja kuće odabrana je sezona hlađenja u periodu 5.-9. mjeseca. Primijenjeno je unutarnje aktivno zasjenjenje na svim ostakljenim površinama, dok je vanjsko zasjenjenje primijenjeno samo na ostakljenim elementima, prozorima, na južnom pročelju obiteljske kuće.

Navedena tri slučaja toplinskih modela, za potrebe numeričke analize, imaju jednaku površinu grijanja i hlađenja. Grijana površina toplinskih modela obuhvaća etaže podruma, prizemlja i prvog kata, dok etaža potkrovlja nije obuhvaćena provedenim simulacijama jer za nju nije predviđeno ni grijanje ni hlađenje prostora. Za istu grijanu površinu nismo dobili jednake godišnje potrebne toplinske energije jer model 1, zbog jednostavnosti izvedbe, cijelu etažu promatra kao homogenu cjelinu što nije slučaj kod ostala dva modela, odnosno model 1 nema unutarnjih pregrada, zidova

i sl. što kod preostala dva modela razdvaja toplinske zone. Shodno tome model 1 ima nešto veću potrebnu toplinsku energiju u odnosu na model 2. Kod modela 2 su jednom toplinskom zonom obuhvaćene prostorije sličnih karakteristika, ali se javlja prepravilan raspored toplinske energije u ovisnosti o orijentaciji toplinskih zona. Model 3 je realni prikaz stvarnog stanja obiteljske kuće, zbog preklapanja toplinskih zona s prostorijama kuće, na temelju čega se vide nedostaci preostala dva modela. Primjenom zasjenjenja na obiteljskoj kući na ostakljenim elementima smanjen je utjecaj pregrijavanja pojedinih toplinskih zona u periodu proljeća i jeseni, dok se prilagodbom otvorenosti zasjenjenja zimi omogućili veći sunčani dobici i time smanjili učini grijanja zimi.

Klasična gradnja je jedan od najčešće korištenih načina gradnje koja koristi cigle ili blokove međusobno povezane mortom za izgradnju zidova, dok montažna gradnja koristi polugotove elemente proizvedene u tvornicama koji se zatim montiraju na gradilištu. Montažna gradnja omogućava bržu izgradnju i često smanjuje troškove rada i materijala. Toplinski modeli klasične metode građenja tromiji su sustavi u odnosu na toplinske modele montažne gradnje, odnosno za klasičnu gradnju dobivamo rezultate s manjim konačnim razlikama temperatura i učinaka grijanja i hlađenja. Za slučaj montažne gradnje javlja se potreba za manjom količinom toplinske energije u sve tri razine detaljnosti izvedbe toplinskog modela što je posljedica povoljnijih koeficijenata prolaza topline građevnih elemenata takve metode građenja.

Kroz rad, u ovisnosti o vremenskom koraku simulacija, izvršena je dodatna analiza dobivenih podataka u trajanju vremenskog koraka od 30 min, 10 min i 5 min. Zbog tromosti toplinskog modela dobili smo vrlo male razlike u godišnjoj potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje što znači da kod obiteljskih kuća detaljnost izvedbe toplinskog modela te smanjenje vremena koraka ne utječe znatno na rezultat, već samo produljuje vrijeme proračuna. Za simulaciju jednostavnog toplinskog modela s korakom simulacije 60 min potrebno približno 1 minuta za vrijednost toplinske energije grijanja 8945 kWh, dok za detaljni model s toplinskom energijom grijanja 8839 kWh i vremenskim korakom od 5 min treba 30 min da se izvrše simulacije toplinskog modela.

Uz sustave s kontinuiranim načinom rada provedene su simulacije toplinskih modela s prekidom rada sustava grijanja i hlađenja u noćnom periodu za sve dane u tjednu. Prekid rada sustava grijanja/hlađenja definiran je od 22 sata navečer do 6 sati ujutro. Kod sustava hlađenja s prekidom rada definiran je uvjet da se sustav gasi samo kada je temperatura vanjskog zraka niža od temperature toplinske zone. Prekid rada sustava grijanja utjecao je na potrebnu toplinsku energiju za grijanje pri čemu je došlo do smanjena potrošnje toplinske energije za grijanje 11,74 % za

klasičnu gradnju i 12,71 % za montažnu gradnju. Sustav hlađenja s prekidom rada zahtjeva manju potrebnu energiju za hlađenje u odnosu na kontinuirani sustav hlađenja za 9,14 % pri klasičnoj gradnji i 8,52 % pri montažnoj gradnji. Kod primjene sustava hlađenja s noćnom ventilacijom u periodu do 22 h navečer do 6 h ujutro u ljetnom periodu imamo prosječno smanjenje potrebne energije hlađenja za 12 % za obje metode građenja. Za sustave s prekidima u radu te sustavom s noćnom ventilacijom smanjene su potrebna toplinska energija za grijanje, odnosno hlađenje, u odnosu na kontinuirani način rada bez utjecaja na toplinsku ugodnost uz održavanje zadanih temperatura toplinskih zona. Time se ujedno utječe i na smanjenje troškova obiteljske kuće.

Po provedenim numeričkim simulacijama za projektno grijanje i hlađenje dobili smo iznose učinke grijanja i hlađenja prema kojima se dalje može odabrati potrebna oprema sustava grijanja i hlađenja. Prosječno je dobiven toplinski učin grijanja obiteljske kuće od 7,1 kW, dok je za toplinski učin hlađenja dobivena prosječna vrijednost 6,7 kW. Projektirana energija za grijanje i hlađenje važna je komponenta u planiranju energetske učinkovitosti zgrade. Primjena odgovarajućih mjera i precizna procjena mogu značajno smanjiti potrošnju energije, operativne troškove kao i utjecaj zgrade na okolinu.

Za sve provedene numeričke simulacije toplinskih modela navedenih u ovome radu utrošeno je približno ukupno 13 sati rada, od čega je 2 h i 40 min utrošeno na izradu modela 1, 3 h za izradu modela 2 te 7 h za model 3. Duljina provedenih simulacija ovisna je o detaljnosti samog toplinskog modela, tj. broju toplinskih zona, primjenjenih rubnih uvjeta, načinu vođenja sustava i dr. Stoga slijedi zaključak da je potrebno prilagoditi detaljnost toplinskog modela ovisno o željenom ishodu dobivenih rezultata i informacija iz provedenim dinamičkih simulacija. Za manje, trome sustave poput obiteljskih kuća za dobivanje učinaka grijanja i hlađenja može se primjeniti jednostavniji toplinski model, dok je za provedbu analizu međusobnog utjecaja pojedinih prostorija zgrade poželjno izraditi detaljni toplinski model koji će pružiti približno stvarni prikaz stanja promatrane zgrade.

7. LITERATURA

1. <https://www.trnsys.com/index.html> 15.8.2024.
2. Podloge za predavanja iz kolegija „Računalno modeliranje sustava u termoenergetici i termotehnici“, Tehnički fakultet, Rijeka
3. Soldo V., Novak S., Horvat I.: Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2017.
4. Prijić A.: projekt GVIK sustav stambenog objekta, Rijeka, rujan 2023
5. <https://www.hkig.hr/Vijesti-i-najave/Komora-u-medijima/Vijesti/2021/Klasicna-gradnja-ili-montazne-kuce-u-obnovi/63> 7.8.2024.
6. <https://energokoncept.hr/kucna-ventilacija/> 7.8.2024.
7. <https://ihouse.decorexpro.com/hr/ventilyaciya/estestvennaya-ventilyaciya-domov-i-kvartir-svoimi-rukami-sxemy-ustrojstvo-raschet/> 7.8.2024.
8. <https://www.domprojekt.hr/sistem-euro-p14-40> 18.8.2024
9. <https://www.vranjkovic-linea.rs/project/elementi-kontaktne-fasade/> 18.8.2024
10. <https://interstudio.hr/prirodna-ventilacija-utjece-na-smanjenje-troskova-energije/>

POPIS OZNAKA I KRATICA

oznaka	jedinica	opis
d	m	debljina
ρ	kg/m ³	gustoća
c	J/kgK	specifični toplinski kapacitet
λ	W/mK	Koeficijent toplinske vodljivosti
α	W/m ² K	koeficijent prijelaza topline
U	W/m ² K	koeficijent prolaza topline
ε	-	koeficijent apsorpcije sunčevog zračenja
ϑ_e	°C	vanjska temperatura
$\vartheta_{int,i}$	°C	unutarnja projektna temperatura prostora
t	h	Vrijeme (proračunsko)
$Q_{H,nd}$	kWh	potrebna energija za grijanje
$Q_{C,nd}$	kWh	potrebna energija za hlađenje
$Q_{H,nd}''$	kWh/m ²	specifična potrošnja korisne energije
n	h ⁻¹	broj izmjena zraka u jednome satu

1. SAŽETAK

Za potrebe izrade diplomskog rada analizirane su mogućnosti simulacije toplinskog modela novogradnje obiteljske kuće smještene u okolici grada Rijeke s korisnom površinom od 273,24 m². Analiza utjecaja toplinske akumulacije ispitana je kroz tri razine detaljnosti, ovisno o brojnosti toplinskih zona simulacijskog modela, te dviju metoda građenja konstrukcije građevnih elemenata zgrade, klasične i montažne metode građenja. Za provedbu simulacija toplinskih modela i određivanje potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje kuće se koristio 3D model kojega je potrebno toplinski ugoditi prema zadanim radnim parametrima, rubnim uvjetima itd., a s vremenskim korakom od 60 minuta za referentnu godinu. Toplinskim zonama zgrade definirano je idealno grijanje i hlađenje pri neograničenom učinku s projektiranom temperaturom grijanja u prostorijama od 20 °C a kod hlađenja s temperaturom 24 °C uz relativnu vlažnost od 50 %. Ovisno o vremenskom koraku simulacija toplinskog modela, izvršene su analize dobivenih podataka s vremenskim korakom od 30 min, 10 min i 5 min. Dodijeljeni su unutarnji dobici od 5 W/m² po površini toplinske zone te je primijenjena infiltracija i minimalno provjetravanje prostora od 0,64 h⁻¹ za sve toplinske zone. Promatran je utjecaj na toplinsku akumulaciju s obzirom na prekid grijanja zimi u noćnom periodu od 22 do 6 sati. Na isti način ispitan je utjecaj na toplinsku akumulaciju s obzirom na prekid hlađenja s prekidom rada od 22 h do 6 h ujutro, uz uvjet da je temperatura okoline manja od temperature zraka toplinske zone. Također ispitana je primjena prirodne ventilacije ljeti u noćnom periodu. Za sve izvedbe definirana je sezona grijanja koja traje od prvog do kraja četvrtog mjeseca u prvom dijelu godine te od desetog do kraja dvanaestog mjeseca, a period hlađenja je od petog do kraja devetog mjeseca. Na obiteljskoj kući nalazi se aktivno unutarnje zasjenjenje na svim prozorima te vanjsko zasjenjenje na prozorima koji su smješteni na južnom pročelju kuće.

Ključne riječi: grijanje, hlađenje, toplinska energija, prirodna ventilacija, projektna temperatura, simulacijski model

2. ABSTRACT

For the purposes of the thesis, the possibilities of simulating the thermal model of a new family house located in the vicinity of the city of Rijeka with a usable area of 273.24 m² were analyzed. The analysis of the influence of thermal accumulation was examined through three levels of detail, depending on the number of thermal zones of the simulation model, and two building, classical and prefabricated construction methods. A 3D model was used to perform thermal model simulations and determine the required thermal energy for heating and cooling the house, which needs to be thermally adjusted according to the given operating parameters, boundary conditions, etc., with a time step of 60 minutes for the reference year. The thermal zones of the building define ideal heating and cooling with unlimited effect with a designed temperature in the rooms of 20 °C for heating and a temperature of 24 °C for cooling with a relative humidity of 50%. Depending on the time step of the thermal model simulations, the obtained data were analyzed with a time step of 30 min, 10 min and 5 min. Internal gains of 5 W/m² per surface of the thermal zone, and natural ventilation of 0.64 h⁻¹ was applied for all thermal zones. The impact on heat accumulation was observed due to the interruption of heating in the winter in the night period from 10 pm to 6 am. In the same way, the impact on the heat accumulation was examined with regard to the interruption of cooling with the interruption of operation from 10 pm to 6 am, with the condition that the ambient temperature is lower than the air temperature of the thermal zone. The use of natural ventilation in the summer at night was also tested. For all versions, a heating season is defined that lasts from the first to the end of the fourth month in the first part of the year and from the tenth to the end of the twelfth month, and the cooling period is from the fifth to the end of the ninth month. The family house has active internal shading on all windows and external shading on the windows located on the southern facade of the house.

Keywords: heating, cooling, thermal energy, natural ventilation, design temperature, simulation model

3. POPIS SLIKA

Slika 1.1: tijek računalne simulacije	2
Slika 2.1: obiteljska kuća – presjek 1	4
Slika 2.2: etaža 1 obiteljske kuće - podrum	5
Slika 2.3: etaža 2 obiteljske kuće – prizemlje	5
Slika 2.4: etaža 3 obiteljske kuće – kat	5
Slika 2.5: 3D model obiteljske kuće.....	6
Slika 2.6: smještaj toplinskih zona – 1 etaža, 1 toplinska zona	7
Slika 2.7: smještaj toplinskih zona – zona grijano	8
Slika 2.8: smještaj toplinskih zona – 1 prostorija toplinska zona	9
slika 3.1: Osnovni model korisničkog sučelja.....	10
slika 3.2: Prikaz detaljnosti modela: Model 1(lijevo), Model 2(sredina) i Model 3(desno)	11
slika 3.3: Presjek ciglenog zida s fasadom s toplinskom izolacijom	12
slika 3.4: Presjek montažnog vanjskog zida.....	13
slika 3.5: prikaz slojeva građevinskog elementa	15
slika 3.6: definiranje otvora na fasadi obiteljske kuće	17
slika 3.7: određivanje unutarnjih dobitaka pomoću rasvjete za toplinsku zonu podruma	19
slika 3.8: postavljanje proračunate infiltracije prostorija	21
slika 3.9: postavljanje temperature prostorija: grijanje (lijevo), hlađenje (desno).....	21
Slika 3.10: satna raspodjela energije grijanja za model 3	22
Slika 3.11: satna raspodjela energije za kritični dan: 26. prosinca	23
Slika 3.12: satna raspodjela energije hlađenja za model 3	23
Slika 3.13: satna raspodjela energije za kritični dan: 18. kolovoza	24
Slika 3.14: sezona grijanja i hlađenja – grijanje 1, hlađenje 0	25
Slika 3.15: godišnja potrebna energija (gore) i temperaturna raspodjela toplinskih zona (dolje) ..	26
Slika 3.16: postavke toplinske zone prizemlja s aktivnim unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem ..	27
Slika 3.17: raspored temperatura za model 3 montažne gradnje.....	28
Slika 3.18: korigirani raspored temperatura za model 3 montažne gradnje.....	28
Slika 4.1: korisničko sučelje.....	29
Slika 4.2: godišnja ukupna toplinska energija u referentnoj godini za sve izvedbe.....	30
Slika 4.3: energija grijanja i hlađenja u referentnoj godini za model 1 za obje gradnje	30
Slika 4.4: raspodjela temperatura tijekom cijele godine za sve etaže modela 1	31

Slika 4.5: energija grijanja i hlađenja u referentnoj godini za model 2 za obje gradnje	31
Slika 4.6: raspodjela temperatura tijekom cijele godine za sve zone modela 2	32
Slika 4.7: energija grijanja i hlađenja u referentnoj godini za model 3 za obje gradnje	33
Slika 4.8: raspodjela temperatura tijekom cijele godine za sve prostorije modela 3	33
Slika 4.9: sustav s prekidom rada noću – rad 1, pauza 0.....	37
Slika 4.10: godišnja temperaturna raspodjela Modela 1	37
Slika 4.11: usporedni dijagram montažne i klasične gradnje	38
Slika 4.12: profil sustava grijanja s prekidima u radu.....	39
Slika 4.13: raspodjela temperatura za sustav grijanja s prekidom u radu	39
Slika 4.14: primjer prirodne ventilacije prostora	40
Slika 4.15: sustav s prekidom rada u noćnim sati od 22 do 6 h	41
Slika 4.16: raspodjela temepratura kod sustava hrijanja s prekidom rada noću	41
Slika 4.17: sustav s noćnom ventilacijom	42
Slika 4.18: raspodjela temperatura za sustav hlađenje s prekidom i noćnom vrntilacijom	42
Slika 4.19: usporedni dijagram kod montažne gradnje modela 3	42
Slika 5.1:projektirani učin za period grijanja zimi modela 3	46
Slika 5.2:energija hlađenja uz razvlaživanje za ljetni period po toplinskim zona modela 1.....	48
Slika 5.3:ukupna energija hlađenja uz razvlaživanje za ljetni period modela 1.....	49

4. POPIS TABLICA

Tablica 3.1: koeficijenti konstrukcijskih elemenata za klasičnu i montažnu gradnju.....	16
Tablica 3.2: koeficijenti konstrukcijskih elemenata.....	17
Tablica 3.3: koeficijenti ostakljenih elemenata.....	18
Tablica 3.4: unutarnje proračunske temperature na temelju HRN EN 13790	21
Tablica 3.5: prikaz podataka o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje za sve modele.....	22
Tablica 3.6: režim rada sustava grijanja i hlađenja	25
Tablica 3.7: prikaz podataka o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje za sve modele.....	26
Tablica 4.1: prikaz podataka o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje za model 1	31
Tablica 4.2: prikaz podataka o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje za model 2.....	32
Tablica 4.3: prikaz podataka o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje za model 3.....	33
Tablica 4.4: prikaz podataka za model 1	34
Tablica 4.5: prikaz podataka za model 2.....	34
Tablica 4.6: prikaz podataka za model 3.....	35
Tablica 4.7: prikaz podataka o potrebnoj energiji za grijanje za sve modele	38
Tablica 4.8: prikaz podataka o potrebnoj energiji za hlađenje za sve modele	43
Tablica 5.1: učin grijanja za model 1	46
Tablica 5.2: učin grijanja za model 2	47
Tablica 5.3: učin grijanja za model 3	47
Tablica 5.4: učin hlađenja za model.....	49
Tablica 5.5: učin hlađenja za model 2.....	49
Tablica 5.6: učin hlađenja za model 3.....	50

5. DODATAK

I. U nastavku su prikazani građevni elementi s pripadnim slojevima prema klasičnom načinu građenja. Elementi koji čine vanjsku ovojnicu stambenog objekta:

a) Pod na tlu

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Keramičke pločice	0,020	840	1,300	2300
Cementni estrih	0,050	1100	1,600	2000
PE folija, preklopljena	0,001	1250	0,190	1000
Ekspandirani polistiren	0,050	1260	0,032	12
Bitumenska traka	0,010	1000	0,230	1100
Armirani beton	0,150	1000	2,600	2500
Ekspandirani polistiren	0,050	1260	0,032	12
geotekstil	0,001	960	0,200	900
drobljenac	0,100	1000	0,810	1700

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Drvo, crnogorica	0,020	1600	0,130	500
Cementni estrih	0,050	1100	1,600	2000
PE folija, preklopljena	0,001	1250	0,190	1000
Ekspandirani polistiren	0,050	1260	0,032	12
Bitumenska traka	0,010	1000	0,230	1100
Armirani beton	0,150	1000	2,600	2500
Ekspandirani polistiren	0,050	1260	0,032	12
geotekstil	0,001	960	0,200	900
drobljenac	0,100	1000	0,810	1700

b) Vanjski zid

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Vapneno-cementna žbuka	0,020	1000	1	1800
Armirani beton	0,200	1000	2,6	2500
Bitumenska traka	0,010	1000	0,23	1100
Ekspandirani polistiren	0,100	1260	0,032	12
Čepasta folija	0,002	1000	0,14	1200

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Vapneno-cementna žbuka	0,020	1000	1	1800
Opeka	0,200	900	0,42	900
Ekspandirani polistiren	0,100	1260	0,032	12
Polimerna žbuka	0,010	1000	0,7	1100
Silikatna žbuka	0,010	1000	0,9	1800

c) Kosi krov

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Crijep	0,020	840	1,300	2300
Krovna ljepenka	0,001	1000	0,230	1100
PE folija, preklopljena	0,001	1250	0,190	1000
OSB ploče	0,015	1700	0,130	650
Mineralna vuna	0,200	1030	0,035	120
Paropropusna folija	0,001	1000	0,230	1100
Gipskartonske ploče	0,0125	900	0,250	900

d) Unutarnji zid

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]
Vapneno-cementna žbuka	0,01	1000	1	1800
opeka	0,15	900	0,42	900
Ekspandirani polistiren	0,03	1260	0,032	12
Paropropusna folija	0,001	1000	0,23	1100
Vapneno-cementna žbuka	0,01	1000	1	1800

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]
Vapneno-cementna žbuka	0,01	1000	1	1800
opeka	0,10	900	0,42	900
Vapneno-cementna žbuka	0,01	1000	1	1800

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]
Vapneno-cementna žbuka	0,01	1000	1	1800
Armirani beton	0,15	1000	2,6	2500
Ekspandirani polistiren	0,03	1260	0,032	12
Vapneno-cementna žbuka	0,01	900	0,42	900

e) Međukatne konstrukcije

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]
Keramičke pločice	0,020	840	1,300	2300
Cementni estrih	0,05	900	0,42	900
PE folija, preklopljena	0,001	1250	0,19	1000
Ekspandirani polistiren	0,05	1260	0,032	12
opeka	0,15	900	0,42	900
Vapneno-cementna žbuka	0,02	1000	1	1800

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Drvo, crnogorica	0,020	1600	0,130	500
Cementni estrih	0,050	900	0,42	900
PE folija, preklopljena	0,001	1250	0,19	1000
Ekspandirani polistiren	0,030	1260	0,032	12
Armirani beton	0,045	1000	2,6	2500
opeka	0,155	900	0,42	900
Vapneno-cementna žbuka	0,020	1000	1	1800

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
OSB ploče	0,022	1700	0,13	650
Cementni estrih	0,050	900	0,42	900
Paropropusna folija	0,001	1000	0,23	1100
Mineralna vuna	0,100	1030	0,035	120
Armirani beton	0,160	1000	2,6	2500
Vapneno-cementna žbuka	0,020	1000	1	1800

II. U nastavku su prikazani građevni elementi s pripadnim slojevima prema montažnom načinu građenja:

a) Pod na tlu

III. materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Keramičke pločice	0,020	840	1,300	2300
Cementni estrih	0,050	1100	1,600	2000
PE folija, preklopljena	0,001	1250	0,190	1000
Ekspandirani polistiren	0,050	1260	0,032	12
Bitumenska traka	0,010	1000	0,230	1100
Armirani beton	0,150	1000	2,600	2500
Ekspandirani polistiren	0,050	1260	0,032	12
geotekstil	0,001	960	0,200	900
drobljenac	0,100	1000	0,810	1700

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Drvo, crnogorica	0,020	1600	0,130	500
Cementni estrih	0,050	1100	1,600	2000
PE folija, preklopljena	0,001	1250	0,190	1000
Ekspandirani polistiren	0,050	1260	0,032	12
Bitumenska traka	0,010	1000	0,230	1100
Armirani beton	0,150	1000	2,600	2500
Ekspandirani polistiren	0,050	1260	0,032	12
geotekstil	0,001	960	0,200	900
drobljenac	0,100	1000	0,810	1700

b) vanjski zid

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Vapneno-cementna žbuka	0,005	1000	1,000	1800
Gipskartonske ploče	0,0125	900	0,250	900
Gipsvlaknaste ploče	0,0125	1000	0,380	900
PE folija, preklopljena	0,001	1250	0,190	1000
Kamena vuna	0,200	1470	0,900	500
Gipsvlaknaste ploče	0,0125	1000	0,380	900
Građevinsko ljepilo	0,003	1000	1,600	2000
Ekspandirani polistiren	0,100	1260	0,032	12
Građevinsko ljepilo	0,003	1000	1,600	2000
Silikatna žbuka	0,005	1000	0,900	1800

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Vapneno-cementna žbuka	0,020	1000	1,000	1800
Armirani beton	0,200	1000	2,600	2500
Bitumenska traka	0,008	1000	0,230	1100
Ekspandirani polistiren	0,100	1260	0,032	12
Čepasta folija	0,002	1000	0,140	1200

c) kosi krov

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Crijep	0,010	840	1,300	2300
Krovna ljepenka	0,001	1000	0,230	1100
PE folija, preklopljena	0,001	1250	0,190	1000
OSB ploče	0,015	1700	0,130	650
Kamena vuna	0,060	1470	0,900	500
Paropropusna folija	0,001	1000	0,230	1100
Gipskartonske ploče	0,0125	900	0,250	900

d) unutarnji zid

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Vapneno-cementna žbuka	0,005	1000	1,000	1800
Gipskartonske ploče	0,0125	900	0,250	900
Gipsvlaknaste ploče	0,0125	1000	0,380	900
Kamena vuna	0,060	1470	0,900	500
Gipsvlaknaste ploče	0,0125	1000	0,380	900
Gipskartonske ploče	0,0125	900	0,250	900
Vapneno-cementna žbuka	0,005	1000	1,000	1800

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Vapneno-cementna žbuka	0,005	1000	1,000	1800
Gipskartonske ploče	0,0125	900	0,250	900
Gipsvlaknaste ploče	0,0125	1000	0,380	900
Kamena vuna	0,060	1470	0,900	500
Gipsvlaknaste ploče	0,0125	1000	0,380	900
Gipskartonske ploče	0,0125	900	0,250	900
Vapneno-cementna žbuka	0,005	1000	1,000	1800

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Vapneno-cementna žbuka	0,005	1000	1,000	1800
Gipskartonske ploče	0,0125	900	0,250	900
Gipsvlaknaste ploče	0,0125	1000	0,380	900
Kamena vuna	0,100	1470	0,900	500
PE folija, preklopljena	0,001	1250	0,190	1000
Gipsvlaknaste ploče	0,0125	1000	0,380	900
Gipskartonske ploče	0,0125	900	0,250	900
Vapneno-cementna žbuka	0,005	1000	1,000	1800

e) međukatna konstrukcija

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Drvo, crnogorica	0,020	1600	0,130	500
Cementni estrih	0,050	900	0,420	900
Mineralna vuna	0,200	1030	0,035	120
OSB ploče	0,022	1700	0,130	650
Kamena vuna	0,200	1470	0,900	500
PE folija, preklopljena	0,001	1250	0,190	1000
Gipskartonske ploče	0,0125	900	0,250	900
Vapneno-cementna žbuka	0,020	1000	1,00	1800

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
Keramičke pločice	0,020	840	1,300	2300
Cementni estrih	0,050	900	0,420	900
Mineralna vuna	0,200	1030	0,035	120
OSB ploče	0,022	1700	0,130	650
Kamena vuna	0,200	1470	0,900	500
PE folija, preklopljena	0,001	1250	0,190	1000
Gipskartonske ploče	0,0125	900	0,250	900
Vapneno-cementna žbuka	0,020	1000	1,000	1800

materijal	d [m]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]
OSB ploče	0,022	1700	0,130	650
Cementni estrih	0,050	900	0,420	900
Paropropusna folija	0,001	1000	0,230	1100
Mineralna vuna	0,050	1030	0,035	120
Armirani beton	0,160	1000	2,600	2500
Vapneno-cementna žbuka	0,020	1000	1,000	1800