

Utjecaj zoniranja zgrade na potrebnu energiju za grijanje i hlađenje

Polančec, Ksenija

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:360896>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-05**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Ksenija Polančec

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Izv.prof. dr.sc. Tea Žakula, dipl. ing.

Student:

Ksenija Polančec

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem se mentorici izv.prof. dr.sc. Tei Žakuli na ukazanoj prilici, izdvojenom vremenu i korisnim savjetima za vrijeme pisanje ovog rada. Također, zahvala doktorandima Ružici Budim i Nikoli Bađunu koji su bili dostupni za sva pitanja i nedoumice.

Hvala mojoj obitelji na pruženoj ljubavi i bezuvjetnoj podršci. Ovaj rad je rezultat vašeg truda i ulaganja u mene. Na kraju, hvala svim prijateljima i kolegama na nesebičnoj pomoći, razumijevanju i strpljenju tijekom ovih godina studiranja.

Ksenija Polančec



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:



Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 22 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 22 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ksenija Polančec** JMBAG: 0035203514

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Utjecaj zoniranja zgrade na potrebnu energiju za grijanje i hlađenje**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Influence of building zoning on heating and cooling energy needs**

Opis zadatka:

Cilj rada je kvantifikacija utjecaja zoniranja zgrade na izračun potrebne energije za grijanje i hlađenje. Analizu je potrebno provesti na temelju dinamičkih simulacija za minimalno dvije zgrade različitih namjena te tri razine složenosti zoniranja (po zgradi). Pri tome najsloženije zoniranje treba provesti sukladno smjericama norme HRN EN ISO 52016-1:2017, a za najjednostavniji slučaj zoniranja pretpostaviti da je cijela zgrada jedna toplinska zona. Za definiranje geometrije i sastava ovojnice koristiti dostupne arhitektonske podloge. Za unutarnje dobitke, postavne temperature te vrijeme korištenja zgrade koristiti službene podatke Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja za referentne zgrade u kontinentalnoj klimi. Dinamičke simulacije energijskih tokova zgrade u ovisnosti o utjecajnim parametrima provesti u računalnom programu TRNSYS®.

Rad treba sadržavati:

- opis zgrada i načina korištenja,
- opis zoniranja i energijskih modela zgrada,
- rezultate o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje,
- zaključke analize vezano uz utjecaj zoniranja na proračun potrebne energije.

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

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

3. ožujka 2022.

5. svibnja 2022.

9. - 13. svibnja 2022.

Zadatak zadala:

Predsjednik Povjerenstva:

Izv.prof.dr.sc. Tea Žakula

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ:

POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. SVOJSTVA ANALIZIRANIH ZGRADA.....	2
2.1. Stambena zgrada	2
2.1.1. Građevinski podaci stambene zgrade	4
2.1.2. Pogonski režimi.....	7
2.2. Uredska zgrada	7
2.2.1. Građevinski podaci uredske zgrade.....	9
2.2.2. Pogonski režimi.....	13
3. ZONIRANJE ZGRADA.....	14
3.1. Zoniranje stambene zgrade.....	14
3.1.1. Složeno zoniranje	14
3.1.2. Pojednostavljeno zoniranje	16
3.1.3. Jednostavno zoniranje	17
3.2. Zoniranje uredske zgrade	17
3.2.1. Složeno zoniranje	17
3.2.2. Pojednostavljeno zoniranje	21
3.2.3. Jednostavno zoniranje	23
4. MODELIRANJE U RAČUNALNOM PROGRAMU TRNSYS.....	24
4.1. Tijek izrade modela	24
5. REZULTATI	32
5.1. Stambena zgrada	32
5.1.1. Analiza 1 : Modeli bez unutarnjih zidova	32
5.1.2. Analiza 2 : Modeli s unutarnjim zidovima.....	35
5.1.3. Analiza 3 : Modeli bez unutarnjih zidova s jednostrukim prozorima	36

5.2. Uredska zgrada.....	37
5.2.1. Analiza 1: Modeli bez unutarnjih zidova	37
5.2.2. Analiza 2 : Modeli s unutarnjim zidovima.....	41
5.2.3. Analiza 3 : Modeli bez unutarnjih zidova s jednostrukim prozorima.....	42
5.2.4. Analiza 4 : Modeli bez unutarnjih zidova s jednostrukim prozorima i izmijenjenom orijentacijom	43
6. ZAKLJUČAK.....	45
POPIS LITERATURE	47

POPIS SLIKA

Slika 1 Sjeveroistočno i jugoistočno pročelje stambene zgrade	2
Slika 2 Jugozapadno i sjeverozapadno pročelje stambene zgrade	3
Slika 3 Tlocrt karakterističnog kata stambene zgrade.....	3
Slika 4 Istočno pročelje uredske zgrade	7
Slika 5 Zapadno pričelje zgrade uredske zgrade	8
Slika 6 Tlocrt prvog kata uredske zgrade	8
Slika 7 Složeno zoniranje karakterističnog kata stambene zgrade.....	14
Slika 8 Pojednostavljeno zoniranje karakterističnog kata stambene zgrade	16
Slika 9 Složeno zoniranje podruma uredske zgrade.....	18
Slika 10 Složeno zoniranje prizemlja uredske zgrade.....	18
Slika 11 Složeno zoniranje prvog i trećeg kata uredske zgrade	19
Slika 12 Složeno zoniranje drugog i četvrtog kata uredske zgrade.....	20
Slika 13 Pojednostavljeno zoniranje podruma uredske zgrade	21
Slika 14 Pojednostavljeno zoniranje prizemlja uredske zgrade	22
Slika 15 Pojednostavljeno zoniranje katova uredske zgrade	22
Slika 16 Definirane orijentacije za stambenu zgradu u sučelju TRNBuild.....	24
Slika 17 Definirane orijentacije za uredsku zgradu u sučelju TRNBuild	25
Slika 18 Primjer definiranja slojeva zida u sučelju TRNBuild	25
Slika 19 Primjer definiranja zidova u sučelju TRNBuild	26
Slika 20 Primjer definiranja Zone 1 u sučelju TRNBuild.....	27
Slika 21 Definiranje rasporeda korištenja zgrade u sučelju TRNBuild	27
Slika 22 Definiranje infiltracije.....	28
Slika 23 Primjer definiranja režima grijanja i hlađenja u sučelju TRNBuild	29
Slika 24 Primjer definiranja unutarnjih dobitaka u sučelju TRNBuild.....	29
Slika 25 Definirane zone u sučelju TRNBuild.....	30
Slika 26 Povezane komponente u sučelju Simulation studio za stambenu zgradu	31
Slika 27 Povezane komponente u sučelju Simulation studio za uredsku zgradu.....	31
Slika 28 Potrebna energija za grijanje i hlađenje karakterističnog kata stambene zgrade dobivena složenim zoniranjem	33
Slika 29 Potrebna energija za grijanje i hlađenje karakterističnog kata stambene zgrade dobivena pojednostavljenim zoniranjem.....	34

Slika 30 Potrebna energija za grijanje i hlađenje prvog kata uredske zgrade dobivena složenim
zoniranjem 39

Slika 31 Potrebna energija za grijanje i hlađenje prvog kata uredske zgrade dobivena
pojednostavljenim zoniranjem 40

POPIS TABLICA

Tablica 1 Sastav vanjskih zidova stambene zgrade	4
Tablica 2 Sastav ravnog prohodnog krova stambene zgrade	4
Tablica 3 Sastav stropa iznad vanjskog zraka stambene zgrade	5
Tablica 4 Sastav međukatne konstrukcije stambene zgrade	5
Tablica 5 Sastav pregradnih zidova stambene zgrade.....	5
Tablica 6 Sastav PVC parapeta stambene zgrade	6
Tablica 7 Maksimalni dopušteni koeficijent prolaza topline za pojedini građevni dio	6
Tablica 8 Sastav vanjskih zidova uredske zgrade	9
Tablica 9 Sastav podova na tlu uredske zgrade.....	10
Tablica 10 Sastav stropa prema tavanu uredske zgrade	11
Tablica 11 Sastav međukatnih konstrukcija uredske zgrade.....	11
Tablica 12 Sastav pregradnih zidova uredske zgrade	12
Tablica 13 Tlocrtna površina zona pri složenom zoniranju stambene zgrade	15
Tablica 14 Tlocrtna površina zona pri pojednostavljenom zoniranju stambene zgrade	16
Tablica 15 Tlocrtna površina zona pri složenom zoniranju podruma i prizemlja uredske zgrade	19
Tablica 16 Tlocrtna površina zona pri složenom zoniranju katova uredske zgrade	20
Tablica 17 Tlocrtna površina zona pri pojednostavljenom zoniranju uredske zgrade	23
Tablica 18 Rezultati analize za stambenu zgradu bez unutarnjih zidova.....	32
Tablica 19 Rezultati analize za stambenu zgradu s unutarnjim zidovima	35
Tablica 20 Rezultati analize za stambenu zgradu s jednostrukim prozorima	36
Tablica 21 Rezultati analize za uredsku zgradu bez unutarnjih zidova	37
Tablica 22 Rezultati analize za uredsku zgradu s unutarnjim zidovima	41
Tablica 23 Rezultati analize za uredsku zgradu s jednostrukim prozorima.....	42
Tablica 24 Rezultati analize za uredsku zgradu s izmijenjenom orijentacijom	43

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
c_p	J/kgK	specifični toplinski kapacitet
d	m	debljina
g	-	stupanj propuštanja Sunčevog zračenja
$Q_{C,nd}$	kWh/m ² a	potrebna energija za hlađenje
$Q_{H,nd}$	kWh/m ² a	potrebna energija za grijanje
U	W/m ² K	koeficijent prolaza topline
U_{max}	W/m ² K	maksimalni dopušteni koeficijent prolaza topline
α_u	W/m ² K	koeficijent konvektivnog prijelaza topline s unutarnje strane
α_v	W/m ² K	koeficijent konvektivnog prijelaza topline s vanjske strane
λ	W/mK	toplinska provodnost
ρ	kg/m ³	gustoća

SAŽETAK

Zbog sve veće potrebe za modeliranjem energetskih potreba cijelih kvartova i gradova, postavlja se pitanje potrebne razine točnosti pojednostavljenih energijskih modela. Jedan od bitnih koraka u modeliranju, a koji može znatno utjecati na točnost modela jest podjela zgrade na toplinske zone. U ovom radu analizirane su razlike u potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje nastale uslijed različitih načina toplinskog zoniranja. Analizirane su dvije zgrade različitih namjena u gradu Zagrebu na primjeru stambene zgrade u naselju Trnsko te uredske zgrade Energetskog instituta Hrvoje Požar. Zoniranje je provedeno za tri razine složenosti: složeno, pojednostavljeno i jednostavno. Složenim zoniranjem svaka prostorija u zgradi promatrana je kao jedna zona, pojednostavljenim zoniranjem nekoliko prostorija je grupirano u jednu zonu dok je jednostavnim zoniranjem cijela zgrada promatrana kao jedna toplinska zona. Dinamičke simulacije energijskih tokova zgrade provedene su u računalnom programu TRNSYS za svaki sat u godini za referentnu meteorološku godinu. Za svaku zgradu analizirane su razlike u potrebnim energijama za grijanje i hlađenje, a koje nastaju uslijed različitih načina zoniranja ukoliko se modeli rade bez, odnosno s uključivanjem toplinske mase unutarnjih zidova. Također, promatran je utjecaj svojstava prozora na razlike među modelima kroz analizu zgrada s jednostrukim i trostrukim prozorima. Dodatno je analiziran slučaj promijenjene orijentacije uredske zgrade s ciljem kvantifikacije utjecaja orijentacije zgrade na razlike među modelima.

Prema rezultatima potrebne energije za stambenu zgradu, odstupanja od modela sa složenim zoniranjem iznose 12,8% za grijanje i 17,3% za hlađenje u slučaju pojednostavljenog zoniranja, odnosno 28,1% za grijanje i 40,0% za hlađenje u slučaju jednostavnog zoniranja. Za uredsku zgradu iznosi potrebnih energija za grijanje i hlađenje dobiveni složenim i pojednostavljenim zoniranjem su približno isti, odnosno, odstupanja su 0,4% za grijanje i 1,2% za hlađenje. Međutim, jednostavnim zoniranjem dobivena su odstupanja od 37,2% za grijanje i 30,8% za hlađenje. Uzimanjem u obzir unutarnjih zidova, odstupanja potrebnih energija za grijanje i hlađenje između složenog i jednostavnog zoniranja se značajno smanjuju za obje zgrade. Rezultati pokazuju da svojstva i orijentacija prozora također mogu imati značajnu ulogu u odstupanjima među modelima, pri čemu se odstupanja povećavaju za zgrade s jednostrukim prozorima, a kakvi su često slučaj na neobnovljenim, starim zgradama.

Ključne riječi: toplinsko zoniranje, potrebna energija za grijanje i hlađenje, energijsko modeliranje, dinamičke računalne simulacije.

SUMMARY

Due to the growing need to model energy needs of entire neighborhoods and cities, the question arises regarding appropriate model accuracy. One of the important steps in energy modeling that can substantially influence model accuracy is thermal zoning of a building. This thesis analyzes differences in heating and cooling energy needs caused by different methods of thermal zoning. Two buildings with different type-of-use have been analyzed, a residential building in the Trnsko neighborhood and the office building of the Hrvoje Požar Energy Institute, both in the city of Zagreb. Zoning has been done for three levels of complexity: complex, simplified, and simple. For the complex zoning, each room in the building is considered as one zone, for the simplified zoning several rooms are grouped into one zone, while with the simple zoning the whole building is considered as one thermal zone. Dynamic simulations of building energy flows have been performed in the TRNSYS computer program for each hour of the year for the reference meteorological year. For each building, the differences in the heating and cooling energy needs have been analyzed to quantify the impact of zoning. Different approaches have been considered when modeling the thermal mass of internal walls. Also, the impact of window properties on the differences between models has been investigated through the analysis of buildings with single-pane and triple-pane windows. Additionally, the impact of the orientation on differences between models has been quantified for the office building.

Based on the energy need results for the residential building, deviations from the model with complex zoning are 12.8% for heating and 17.3% for cooling in the case of simplified zoning, and 28.1% for heating and 40.0% for cooling in the case of simple zoning. For the office building, the energy needs obtained by the complex and simplified zoning are approximately the same, with the deviations being 0.4% for heating and 1.2% for cooling. However, simple zoning yielded deviations of 37.2% for heating and 30.8% for cooling. When taking into account the thermal mass of interior walls, the deviations between complex and simple zoning are significantly reduced for both buildings. The results also show that window properties and orientation can have a significant impact, and that those deviations are higher for buildings with single-pane windows, as it is often the case for old buildings.

Keywords: thermal zoning, heating and cooling energy needs, energy modeling, dynamic computer simulations.

1. UVOD

Ubrzanim razvojem tehnologije i softvera, inženjeri danas imaju dostupne mnogobrojne alate kojima je moguće na relativno brz i jednostavan način izračunati energetske potrebe zgrade. Tim alatima moguće je odrediti potrebe zgrade, ali i cijelih naselja i gradova. Također, moguće je optimizirati geometriju novih zgrada, svojstva ovojnice te mehaničkih i pasivnih sustava. Točnost izračuna energetskih potreba zgrade ovisi o nekoliko faktora, a jedan od bitnih je i način zoniranja. Toplinsko zoniranje je postupak podjele objekta, u ovom slučaju zgrade, na toplinske zone, pri čemu toplinsku zonu čini jedna ili više prostorija, a može ju činiti i cijela zgrada. Ako se zona sastoji od više prostorija, one bi trebale imati isti režim rada te iste postavne temperature za grijanje i hlađenje. Prilikom analize jedne zgrade, poželjno ju je podijeliti na više toplinskih zona kako bi rezultati bili što točniji. Međutim, prilikom modeliranja cijelih naselja ili gradova, zbog brzine i jednostavnosti modeliranja, svaka će se zgrada promatrati kao jedna toplinska zona. Trenutno ne postoji jasna metodologija o načinu zoniranja zgrade već se ono provodi na temelju iskustva i/ili određenih smjernica, poput onih u normi HRN EN ISO 52016:1:2017 [1].

Tema ovog rada je prikazati kako različiti načini zoniranja zgrade utječu na godišnju potrebnu energiju za grijanje i hlađenje. Analizirane su dvije zgrade različitih namjena, stambena i uredska. Analize su provedene u računalnom programu TRNSYS, a pogonski režimi obje zgrade definirani su u skladu sa službenim podacima za referentne zgrade u kontinentalnoj klimi [2]. Ostali ulazni podaci definirani su na temelju projektne dokumentacije. Za svaku zgradu napravljene su tri razine složenosti zoniranja. Razmatrano je složeno zoniranje kojim svaka prostorija predstavlja jednu toplinsku zonu, pojednostavljeno zoniranje kojim je nekoliko prostorija grupirano u jednu toplinsku zonu i jednostavno zoniranje kojim je cijela zgrada analizirana kao jedna toplinska zona. Analize su također provedene za nekoliko različitih podvarijanti svakog modela kako bi se odredio utjecaj pojedinih parametara na točnost rezultata. Primjerice, analizirane su razlike u točnosti ovisno o načinu modeliranja unutarnjih zidova, a koji mogu znatno utjecati na akumulaciju topline. Također je promatran utjecaj svojstava prozora na razlike u točnosti pojedinih modela. Kod uredske zgrade dodatno su analizirane razlike među spomenutim načinima zoniranja ukoliko bi orijentacija zgrade bila drugačija.

2. SVOJSTVA ANALIZIRANIH ZGRADA

2.1. Stambena zgrada

Analizirana stambena zgrada nalazi se u zagrebačkom naselju Trnsko. Jedna je od šest identičnih zgrada koje svojom formacijom i oblikom stvaraju okvir za ostatak naselja. Izgrađena je 60-ih godina prošlog stoljeća po svim tada važećim principima moderne arhitekture. Energetski pregled i rekonstrukcija dotrajalih elemenata obavljani su 2014. godine.

Zgrada se sastoji od podruma, prizemlja i 12 katova, a sve etaže osim podruma namijenjene su stanovanju. Tlocrtno gledano, zgrada je rotirana u osi i dijagonalno zakrenuta za 45° u odnosu na glavne strane svijeta. Slikama 1 i 2, koje su preuzete iz projektne dokumentacije, prikazana su pročelja zgrade.

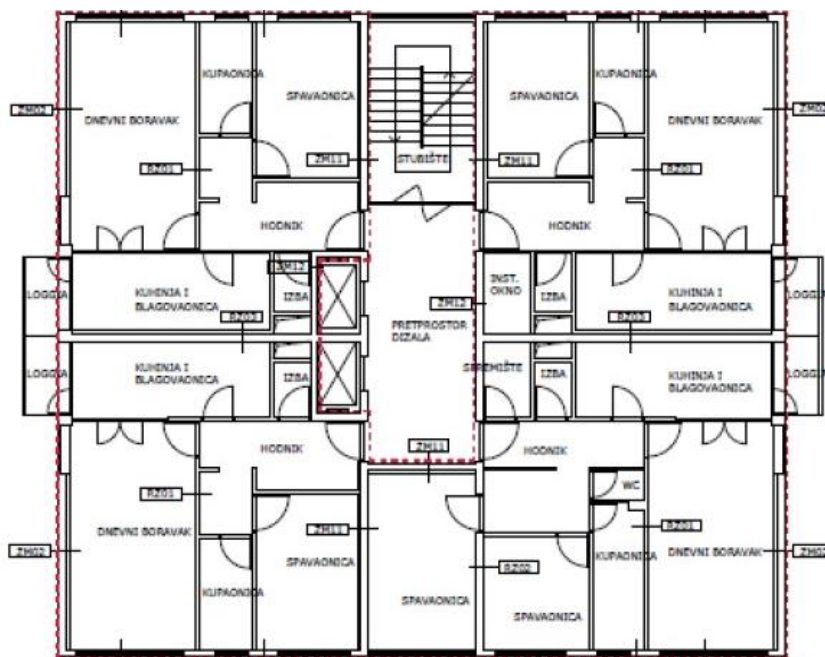


Slika 1 Sjeveroistočno i jugoistočno pročelje stambene zgrade



Slika 2 Jugozapadno i sjeverozapadno pročelje stambene zgrade

Zgrada ima 52 stambene jedinice, od čega na karakterističnom katu po tri dvosobna i jedan trosoban stan. Svi katovi su tlocrtno isti. U prizemlju su svi stanovi dvosobni, odnosno spavaonica trosobnog stana po katovima u prizemlju predstavlja ulazni hodnik. Svaki stan ima dvostranu orijentaciju. Na krovu zgrade smješteni su strojarnica i spremište. Katovi su povezani dvokrakim stubištem smještenim uz sjeverozapadno pročelje, a na njega se nadovezuje hodnik s dva dizala u sredini objekta. Tlocrt karakterističnog kata prikazan je Slikom 3.



Slika 3 Tlocrt karakterističnog kata stambene zgrade

2.1.1. Građevinski podaci stambene zgrade

U sljedećim tablicama prikazana su svojstva svih građevinskih elemenata promatrane stambene zgrade nakon rekonstrukcije, a koja su potrebna za daljnje analize. Svi podaci preuzeti su iz projektne dokumentacije.

Tablica 1 Sastav vanjskih zidova stambene zgrade

	Materijal	d [m]	c _p [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]
Vanjski zid armirani beton	armirani beton	0,2	1000	2500	2,6
	mineralna vuna	0,14	1030	115	0,036
	polimerna žbuka	0,005	1000	1100	0,7
	silikonska žbuka	0,003	1050	1775	0,87
U = 0,24 W/m²K					
Vanjski zid porobeton	porobeton	0,07	1000	600	0,19
	armirani beton	0,2	1000	2500	2,6
	mineralna vuna	0,12	1030	115	0,036
	polimerna žbuka	0,005	1000	1100	0,7
	silikonska žbuka	0,003	1050	1775	0,87
U = 0,25 W/m²K					

Tablica 2 Sastav ravnog prohodnog krova stambene zgrade

Materijal	d [m]	c _p [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]
armirani beton	0,2	1000	2500	2,6
beton - srednje gustoće	0,04	1000	2200	1,65
polimerna hidroizolacijska traka na bazi PVC-P	0,002	1000	1200	0,14
ekstrudirana polistirenska pjena (XPS)	0,14	1450	25	0,03
kulir ploče*	0,04	1000	2200	1,65
U = 0,2 W/m²K				

*sloj ne ulazi u proračun

Tablica 3 Sastav stropa iznad vanjskog zraka stambene zgrade

Materijal	d [m]	c_p [J/kgK]	ρ [kg/m³]	λ [W/mK]
cementni estrih	0,02	1100	2000	1,6
armirani beton	0,2	1000	2500	2,6
ekstrudirana polistirenska pjena (XPS)	0,05	1450	25	0,03
polimerna žbuka	0,005	1000	1100	0,7
silikatna žbuka	0,003	1050	1850	0,87
U = 0,51 W/m²K				

Tablica 4 Sastav međukatne konstrukcije stambene zgrade

Materijal	d [m]	c_p [J/kgK]	ρ [kg/m³]	λ [W/mK]
cementni estrih	0,02	1100	2000	1,6
armirani beton	0,2	1000	2500	2,6
U = 4,36 W/m²K				

Tablica 5 Sastav pregradnih zidova stambene zgrade

	Materijal	d [m]	c_p [J/kgK]	ρ [kg/m³]	λ [W/mK]
Porobeton	porobeton	0,07	1000	600	0,19
	armirani beton	0,2	1000	2500	2,6
U = 1,42 W/m²K					
Armirani beton	armirani beton	0,2	1000	2500	2,6
	U = 2,97 W/m²K				

Tablica 6 Sastav PVC parapeta stambene zgrade

Materijal	d [m]	c _p [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]
PVC homogen	0,006	960	11400	0,23
neprovjetravani sloj zraka	0,005	1005	1	0,045
PVC homogen	0,006	960	1400	0,23
ekspandirani polistiren (EPS)	0,025	1450	15	0,035
PVC homogen	0,006	960	1400	0,23
neprovjetravan sloj zraka	0,005	1005	1	0,045
PVC homogen	0,006	960	1400	0,23
U = 0,83 W/m²K				

Prozirne građevne dijelove čine prozori i vrata, odnosno stijene s ostakljenim izo staklom 4/16Ar/4 mm i jednim staklom s premazom niske emisivnosti. Ukupni koeficijenta prolaza topline iznosi (U) 1,27 W/m²K, a stupanj propuštanja sunčevog zračenja (g) iznosi 0,591.

U Tablici 7. prikazane su maksimalne dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaza topline prema Tehničkom propisu o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN110/08) [2] za pojedine građevne dijelove. Vidljivo je da strop iznad vanjskog zraka i pregradni zidovi koji graniče prema negrijanim prostorijama ne zadovoljavaju navedene vrijednosti.

Tablica 7 Maksimalni dopušteni koeficijent prolaza topline za pojedini građevni dio

Građevni dio	U _{max} [W/m ² K]
Vanjski zidovi	0,3
Zidovi prema negrijanim prostorijama	0,4
Pod na tlu	0,4
Krov; strop iznad vanjskog zraka	0,25
Prozori	1,6
Vrata	2

2.1.2. Pogonski režimi

Prema Algoritmu za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prema HRN EN 13790 [3], unutarnja proračunska temperatura za grijanje referentne stambene zgrade u kontinentalnoj Hrvatskoj iznosi 20°C, a za hlađenje 22°C. S obzirom da je cilj izračunati potrebnu energiju za grijanje i hlađenje, snaga ogrijevnih i rasladnih tijela definirana je kao beskonačna. Postavne temperature grijanja i hlađenja održavaju se svaki dan od 06:00 do 22:00, a ostatak vremena pretpostavlja se da je sustav grijanja i hlađenja isključen.

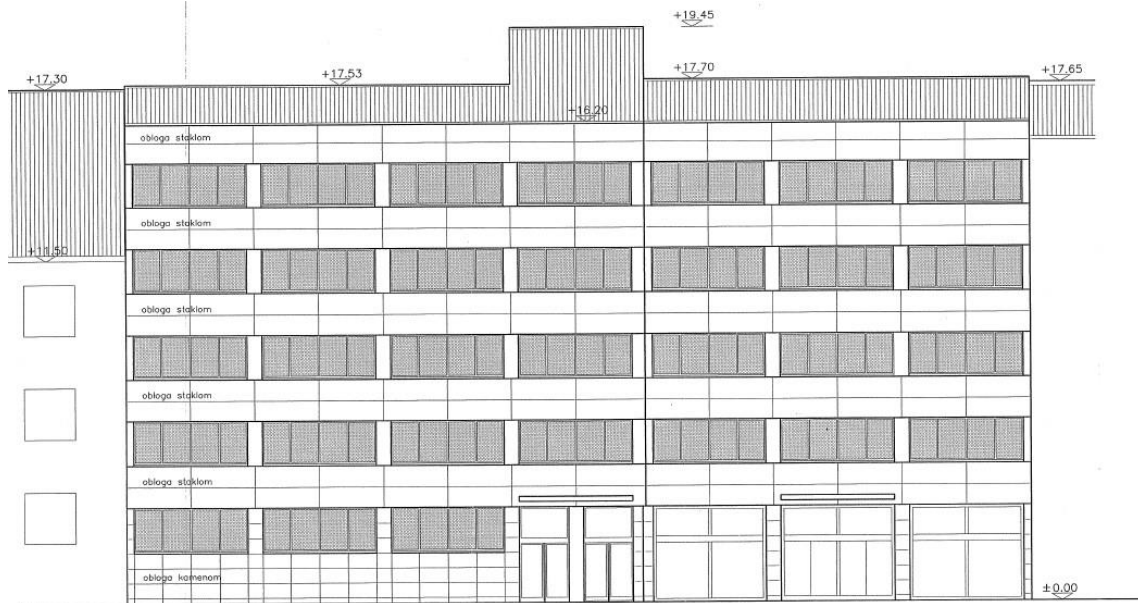
Zrakopropusnost zgrade nije ispitana te je za broj izmjena zraka uzeta minimalna vrijednost od 0,5 h⁻¹. Unutarnji toplinski dobitci od ljudi i uređaja računaju se s vrijednošću od 5 W/m²K korisne površine. Pretpostavljene su konstantne vrijednosti infiltracije i unutarnjih dobitaka za svaki dan u periodu od 00:00 do 24:00.

2.2. Uredska zgrada

Analizirana uredska zgrada je zgrada Energetskog instituta Hrvoje Požara u Zagrebu. Izgrađena je 1975. godine, a u potpunosti je rekonstruirana 2000. godine. Orijentirana je prema glavnim stranama svijeta. Sa sjeverne i južne strane graniči sa susjednim zgradama, a istočno i zapadno pročelje prikazani su na Slici 4 i Slici 5 koje su preuzete iz projektne dokumentacije.

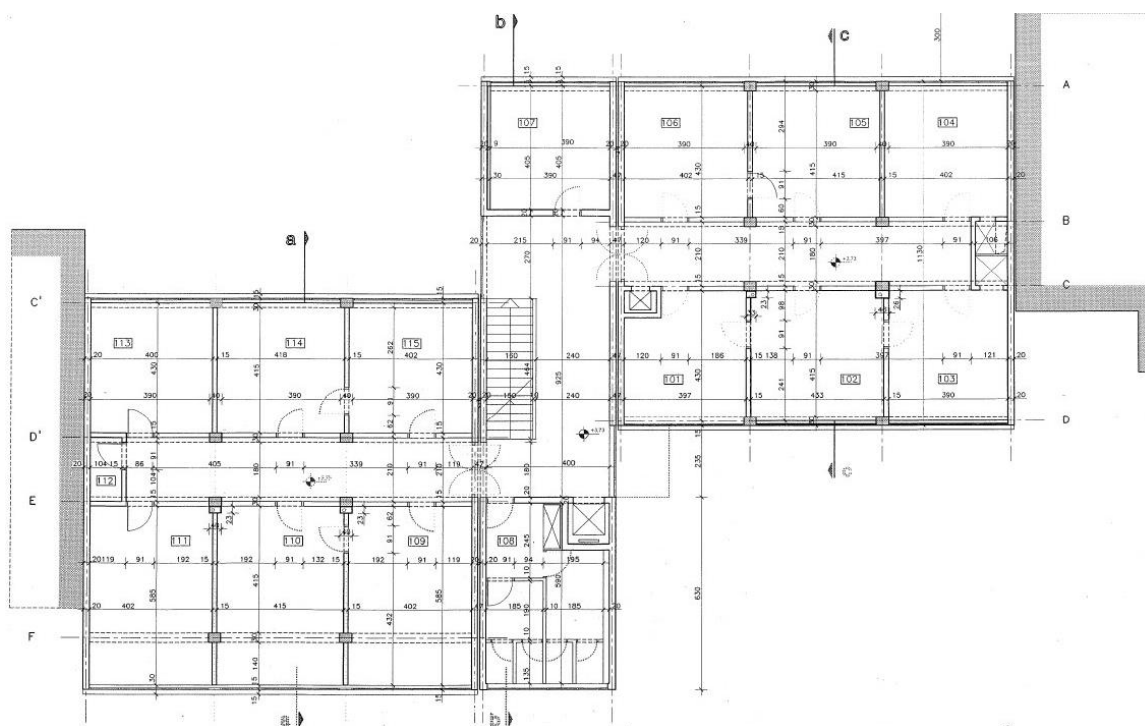


Slika 4 Istočno pročelje uredske zgrade



Slika 5 Zapadno pričelje zgrade uredske zgrade

Zgrada se sastoji od podruma, prizemlja, 4 kata i tavana. U podrumu su smještene biblioteka i arhiva, toplinska podstanica i strojarnica. Prizemlje se sastoji od prostora koji zauzima banka u južnom dijelu i multimedijalna dvorana na sjevernom dijelu. Na katovima se nalaze uredski prostori orijentirani na istočnu ili zapadnu stranu. Tlocrtno gledajući, prvi kat je jednak trećem, a drugi četvrtom. Tavanski prostor je negrijan te se ne koristi.



Slika 6 Tlocrt prvog kata uredske zgrade

2.2.1. Građevinski podaci uredske zgrade

U sljedećim tablicama prikazan je pregled svih građevinskih elemenata promatrane uredske zgrade koji su potrebni za daljnje analize. Svi podaci preuzeti su iz projektne dokumentacije.

Tablica 8 Sastav vanjskih zidova uredske zgrade

	Materijal	d [m]	c _p [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]
Obloga staklom	armirani beton	0,15	960	2500	2,33
	mineralna vuna	0,1	840	120	0,041
	ventilirani sloj zraka*	0,04			
	prozorsko staklo*	0,008	840	2500	0,81
U = 0,374 W/m²K					
Obloga aluminijskim limom	armirani beton	0,2	960	2500	2,33
	mineralna vuna	0,1	840	120	0,041
	ventilirani sloj zraka*	0,04			
	aluminijski lim*	0,0025	879	2700	209
U = 0,371 W/m²K					
Obloga kamenim pločama	armirani beton	0,2	960	2500	2,33
	mineralna vuna	0,1	840	120	0,041
	ventilirani sloj zraka*	0,04			
	kamene ploče*	0,03	880	2750	2,33
U = 0,371 W/m²K					
Vanjski zid prema susjedu	gips-kartonske ploče	0,0125	840	990	0,21
	bitumenska traka + aluminijska folija	0,005	1460	900	0,19
	mineralna vuna	0,07	840	120	0,041
	armirani beton	0,2	960	2500	2,33

	ventilirani sloj zraka*	0,06			
	aluminijški lim*	0,0025	879	2700	209
U = 0,487 W/m²K					
Vanjski zid u tlu	gips-kartonske ploče	0,0125	840	990	0,21
	bitumenska traka + aluminijška folija	0,005	1460	900	0,19
	mineralna vuna	0,05	840	120	0,041
	armirani beton	0,3	960	2500	2,33
	U = 0,639 W/m²K				

*sloj ne ulazi u proračun

Tablica 9 Sastav podova na tlu uredske zgrade

	Materijal	d [m]	c_p [J/kgK]	ρ [kg/m³]	λ [W/mK]
Obloga lamel parketom	lamel parket	0,008	1670	700	0,21
	cementni estrih	0,06	1050	2200	1,4
	polietilenska folija	0,0002	1250	1000	0,19
	polistiren ploče	0,05	1260	30	0,041
	beton od kamenog agregata	0,08	960	2000	1,16
	U = 0,649 W/m²K				
Obloga kamene ploče	kamene ploče	0,03	880	2750	2,33
	cementni estrih	0,06	1050	2200	1,4
	polietilenska folija	0,0002	1250	1000	0,19
	polistiren ploče	0,05	1260	30	0,041
	beton od kamenog agregata	0,08	960	2000	1,16
	U = 0,66 W/m²K				

Epoksidni pod	epoksidni pod	0,005	960	1040	0,7
	cementni estrih	0,06	1050	2200	1,4
	polietilenska folija	0,0002	1250	1000	0,19
	polistiren ploče	0,05	1260	30	0,041
	beton od kamenog agregata	0,08	960	2000	1,16
U = 0,662 W/m²K					
Obloga keramičkim pločicama	keramičke pločice	0,01	920	2300	1,28
	cementni estrih	0,06	1050	2200	1,4
	polietilenska folija	0,0002	1250	1000	0,19
	polistiren ploče	0,05	1260	30	0,041
	beton od kamenog agregata	0,08	960	2000	1,16
U = 0,662 W/m²K					

Tablica 10 Sastav stropa prema tavanu uredske zgrade

Materijal	d [m]	c_p [J/kgK]	ρ [kg/m³]	λ [W/mK]
armirano betonska ploča	0,14	960	2500	2,33
bitumenska traka + aluminijska folija	0,005	1460	900	0,19
mineralna vuna	0,12	840	100	0,041
polietilenska folija	0,0002	1250	1000	0,19
cementni estrih	0,05	1050	2200	1,4
U = 0,311 W/m²K				

Tablica 11 Sastav međukatnih konstrukcija uredske zgrade

	Materijal	d [m]	c_p [J/kgK]	ρ [kg/m³]	λ [W/mK]
Obloga lamel parketom	lamel parket	0,008	1670	700	0,21
	cementni estrih	0,04	1050	2200	1,4

Obloga lamel parket	polietilenska folija	0,0002	1250	1000	0,19
	polistiren ploče	0,02	1260	30	0,041
	armirano betonska ploča	0,14	960	2500	2,33
U = 1,142 W/m²K					
Obloga kamenim pločama	kamene ploče	0,02	880	2750	2,33
	cementni estrih	0,04	1050	2200	1,4
	polietilenska folija	0,0002	1250	1000	0,19
	polistiren ploče	0,05	1260	30	0,041
	armirano betonska ploča	0,14	960	2500	2,33
U = 1,182 W/m²K					
Obloga keramičkim pločicama	keramičke pločice	0,01	920	2300	1,28
	cementni estrih	0,04	1050	2200	1,4
	polietilenska folija	0,0002	1250	1000	0,19
	polistiren ploče	0,02	1260	30	0,041
	armirano betonska ploča	0,14	960	2500	2,33
U = 1,183 W/m²K					

Tablica 12 Sastav pregradnih zidova uredske zgrade

	Materijal	d [m]	c_p [J/kgK]	ρ [kg/m³]	λ [W/mK]
Dilatacijski zid	gips-kartonske ploče	0,0125	840	990	0,21
	bitumenska traka + aluminijaska folija	0,005	1460	900	0,19
	mineralna vuna	0,05	840	120	0,041
	armirani beton	0,2	960	2500	2,33
	polistiren ploče	0,05	1260	15	0,041
	armirani beton	0,2	960	2500	2,33
U = 0,338 W/m²K					

Opeka I	opeka**	0,15	837	1400	0,442
	U = 1,963 W/m²K				
Opeka II	opeka**	0,2	837	1400	0,442
	U = 1,606 W/m²K				

** podaci preuzeti iz Toplinskih tablica [4]

Prozirne građevne dijelove čine stijene ostakljene dvostrukim izo staklom. Ukupni koeficijent prolaza zopline (U) iznosi $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, a stupanj propuštanja sunčevog zračenja (g) iznosi $0,622$. Uspoređujući vrijednosti koeficijenata prolaza topline građevnih dijelova s dopuštenim vrijednostima koje su prikazane Tablicom 7, vidljivo je da samo strop prema tavanu i prozori zadovoljavaju Tehnički propis o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama [2].

2.2.2. Pogonski režimi

Prema Algoritmu za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prema HRN EN 13790 [3], unutarnja proračunska temperatura za grijanje referentne uredske zgrade u kontinentalnoj Hrvatskoj iznosi 20°C , a za hlađenje 22°C . I u ovom slučaju snaga ogrijevnih i rasladnih tijela definirana je kao beskonačna. Postavne temperature grijanja i hlađenja održavaju se svakim radnim danom u trajanju od 06:00 do 18:00, a ostatak vremena i vikendom sustav grijanja i hlađenja je isključen. Mehanička ventilacija postoji samo u multimedijalnoj dvorani u prizemlju, ali ne radi kontinuirano već po potrebi i to samo par sati tjedno (najčešće petkom popodne) te je iz tog razloga zanemarena u izračunima.

Za promatranu uredsku zgradu ispitana je zrakopropusnost pri nametnutoj razlici tlaka od 50 Pa te iznosi $0,4 \text{ h}^{-1}$ pri normalnim uvjetima.

Unutarnji toplinski dobitci od ljudi i uređaja definirani su s vrijednošću od $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ korisne površine u periodu rada. Prostorije bez unutarnjih toplinskih dobitaka su svi hodnici, sanitarni čvorovi, prostor toplinske podstanice i strojarnice.

3. ZONIRANJE ZGRADA

Prije izrade energijskih modela, zgrade su podijeljene na toplinske zone prema smjericama norme HRN EN ISO 52016:1:2017 [1]. Toplinska zona može se sastojati od jedne ili više prostorija koje imaju slična toplinska opterećenja, pogonske režime i raspored korištenja. Najsloženije zoniranje provedeno je na način da je svaka prostorija u zgradi zasebna toplinska zona. Pojednostavljenim zoniranjem prostorije su grupirane prema orijentaciji, a jednostavnim zoniranjem cijela zgrada predstavlja jednu toplinsku zonu.

3.1. Zoniranje stambene zgrade

3.1.1. Složeno zoniranje

Složenim zoniranjem svaka prostorija u zgradi definirana je kao zasebna toplinska zona, a što rezultira s 23 toplinske zone u prizemlju te 24 zone na ostalim katovima. Cijela zgrada se ukupno sastoji se od 311 toplinskih zona.



Slika 7 Složeno zoniranje karakterističnog kata stambene zgrade

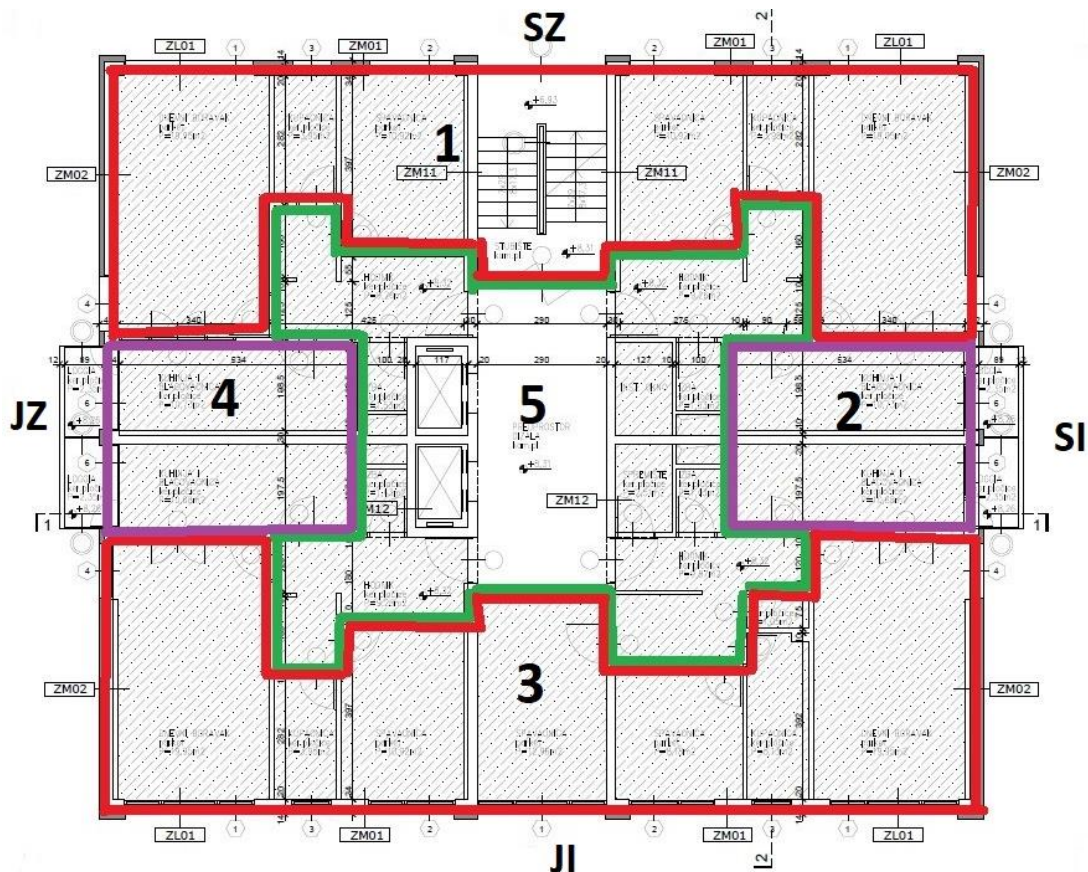
Tablica 13 Tlocrtna površina zona pri složenom zoniranju stambene zgrade

Zona	Površina [m ²]
1	19,95
2	3,95
3	10,92
4	9,26
5	10,73
6	10,68
7	2,96
8	19,95
9	9,26
10	3,95
11	10,92
12	12,96
13	8,18
14	9,87
15	6,18
16	19,95
17	10,68
18	8,02
19	10,73
20	19,95
21	2,26
22	3,95
23	10,92
24	38,42
Σ	281,60

Složenim zoniranjem za svaku se prostoriju može definirati zaseban raspored korištenja i pogonski režim s obzirom da svaka predstavlja zasebnu toplinsku zonu. Spremišta u stanovima, pretprostor dizala i stubište (zone 7, 18 i 24) definirani su kao nekondicionirane zone. Nadalje, hodnici, kupaonice i spremišta definirani su kao zone bez unutarnjih toplinskih dobitaka (zone 2, 4, 7, 9, 10, 14, 15, 18, 21, 22 i 24).

3.1.2. Pojednostavljeno zoniranje

Pojednostavljenim zoniranjem svaki kat stambene zgrade podjeljen je u 5 toplinskih zona. Prostorije na uglovima koje imaju dvostruku orijentaciju pridružene su onoj zoni koja je orijentirana na stranu gdje se nalaze veći prozori. Ovakvim zoniranjem cijela zgrada podijeljena je na 65 toplinskih zona.



Slika 8 Pojednostavljeno zoniranje karakterističnog kata stambene zgrade

Tablica 14 Tlocrtna površina zona pri pojednostavljenom zoniranju stambene zgrade

Zona	Površina [m ²]
1	83,04
2	21,41
3	82,09
4	21,41
5	73,65
Σ	281,60

Sve zone su promatrane kao grijane i hlađenje iako se u njima nalaze prostorije koje to nisu (u zoni 1 i 5). Unutarnji toplinski dobici računati su samo po korisnim površinama kao i kod složenog zoniranja.

3.1.3. Jednostavno zoniranje

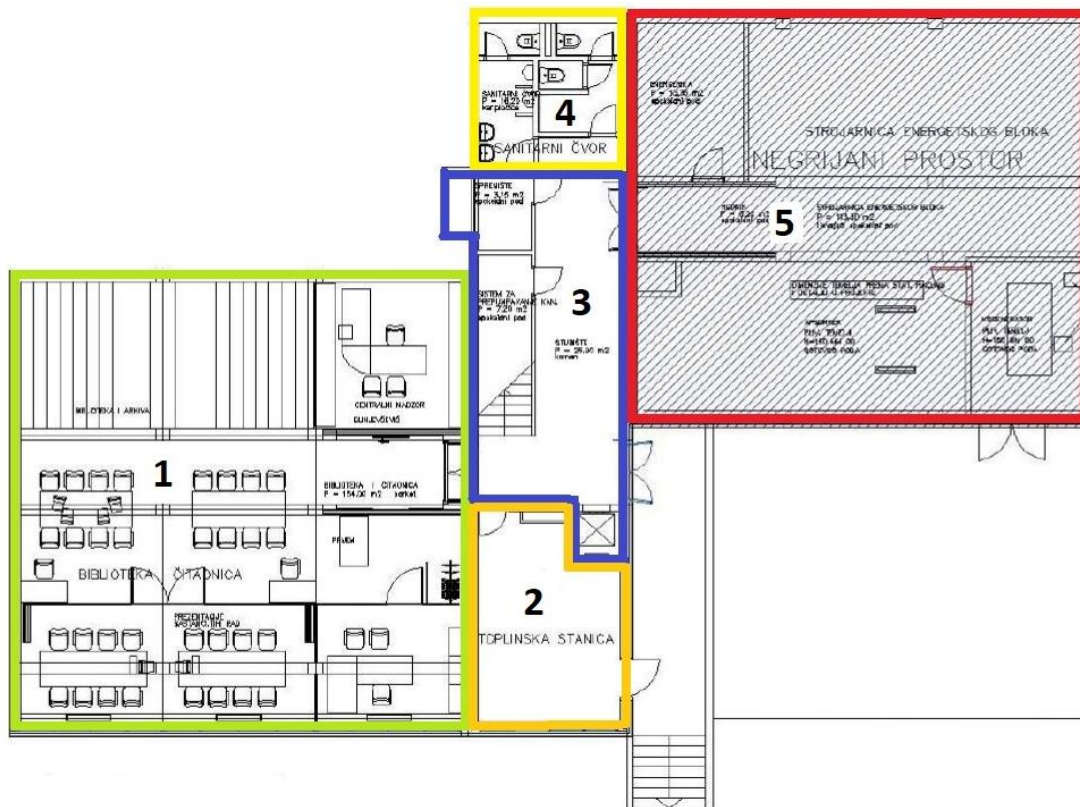
Jednostavnim zoniranjem cijela zgrada promatrana je kao jedna zona. Cijela površina u iznosu od 3657 m² definirana je kao grijana i hlađena. Ovim zoniranjem u obzir nisu uzeti prostor podruma te strojarnice i spremišta na krovu zgrade. Toplinski dobici su definirani prema korisnoj površini zgrade, kao i kod složenog zoniranja.

3.2. Zoniranje uredske zgrade

Kao što je već ranije spomenuto, uredska zgrada sastoji se od 7 etaža pri čemu jednake tlocrte imaju prvi i treći te drugi i četvrti kat. Važno je napomenuti da je prizemlje visine 3,55 m što je više u odnosu na sve ostale etaže koje imaju visinu od 2,70 m.

3.2.1. Složeno zoniranje

Složnim zoniranjem uredske zgrade svaki kat podijeljen je na toplinske zone, pri čemu je svaka prostorija jedna toplinska zona. Cijela zgrada sastoji se od 72 zone. Slikama 9 - 12 prikazano je složeno zoniranje pojedine etaže, a tlocrtne površine svake zone prikazane su Tablicama 15 i 16. Zona 5 u podrumu je uz tavanski prostor jedina nekondicionirana zona u zgradi. Jedina zona u podrumu koja ima definirane unutarnje toplinske dobitke je zona 1. Zone bez unutarnjih toplinskih dobitaka su 5 i 6 u prizemlju, 4, 8, 9 i 14 za prvi i treći kat, odnosno 4, 6, 7 i 11 za drugi i četvrti kat. One predstavljaju prostore hodnika i sanitarnog čvora.



Slika 9 Složeno zoniranje podruma uredske zgrade



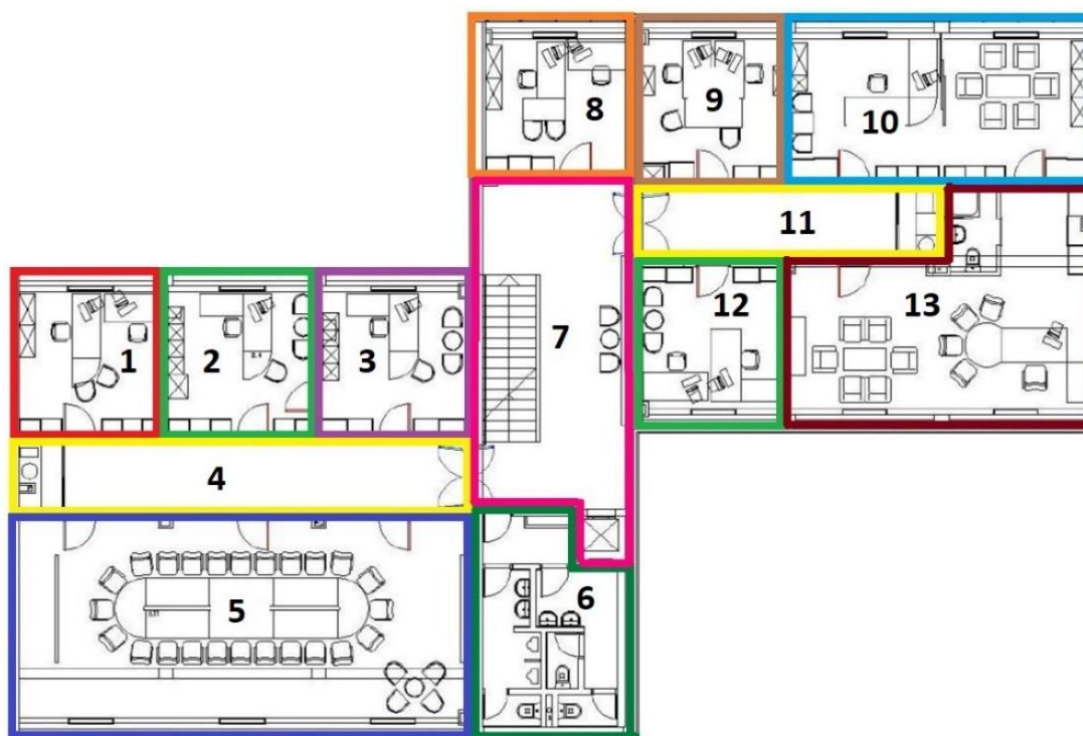
Slika 10 Složeno zoniranje prizemlja uredske zgrade

Tablica 15 Tlocrtna površina zona pri složenom zoniranju podruma i prizemlja uredske zgrade

Zona	Površina [m ²]	
	Podrum	Prizemlje
1	153,76	116,56
2	21,23	11,46
3	40,26	11,83
4	15,60	11,46
5	135,63	13,77
6	-	63,32
7	-	135,63
Σ	366,48	364,03



Slika 11 Složeno zoniranje prvog i trećeg kata uredske zgrade



Slika 12 Složeno zoniranje drugog i četvrtog kata uredske zgrade

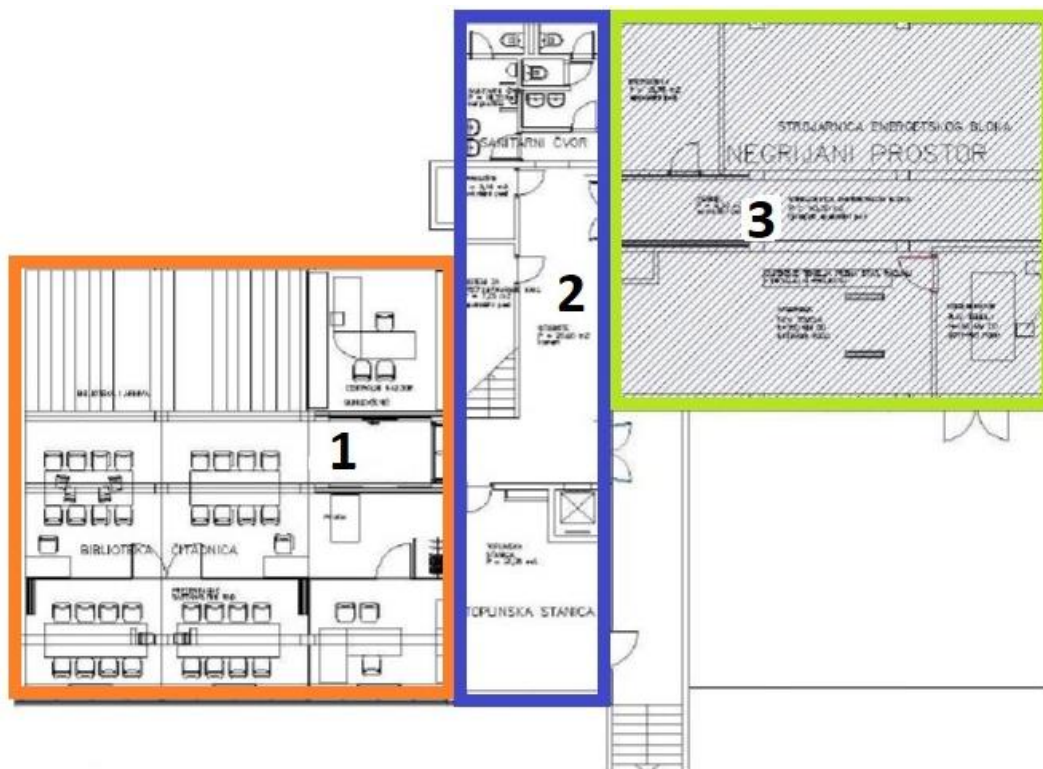
Tablica 16 Tlocrtna površina zona pri složenom zoniranju katova uredske zgrade

Zona	Površina [m ²]	
	1. i 3. kat	2. i 4. kat
1	17,20	17,20
2	17,97	17,97
3	17,29	17,29
4	26,25	26,25
5	23,52	73,13
6	24,28	21,23
7	23,52	39,06
8	21,23	15,80
9	39,06	17,29
10	15,80	35,78
11	17,29	17,49
12	17,85	17,07
13	17,29	45,08
14	26,25	-
15	17,07	-

16	18,62	-
17	16,77	-
Σ	357,26	357,57

3.2.2. Pojednostavljeno zoniranje

Pojednostavljenim zoniranjem uredska zgrada podijeljena je na ukupno 27 zona. U podrumu se nalaze 3 zone, prizemlju 4, a na ostalim katovima je po 5 zona. Podjela na topline zone prikazana je Slikama 13 - 15, a tlocrtno površine svake zona prikazane su Tablicom 17. Kao i složenim zoniranjem, zona 3 u podrumu je ut tavanski prostor definirana kao nekondicionirani prostor. Unutarnji toplinski dobici definirani su po korisnim površinama.



Slika 13 Pojednostavljeno zoniranje podruma uredske zgrade



Slika 14 Pojednostavljeno zoniranje prizemlja uredske zgrade



Slika 15 Pojednostavljeno zoniranje katova uredske zgrade

Tablica 17 Tlocrtna površina zona pri pojednostavljenom zoniranju uredske zgrade

Zona	Površina [m ²]			
	podrum	prizemlje	1. i 3. kat	2. i 4. kat
1	153,76	116,56	52,46	52,46
2	77,09	48,52	92,55	94,36
3	135,63	63,32	91,56	82,80
4	-	135,63	68,23	68,87
5	-	-	52,46	62,15
Σ	366,48	364,03	357,26	360,64

3.2.3. Jednostavno zoniranje

Jednostavnim zoniranjem cijela zgrada (bez tavana) je jedna zona ukupne površine 2166 m². Pretpostavljeno je da je cijela površina grijana i hlađena, a toplinski dobici računati su samo za korisnu površinu.

4. MODELIRANJE U RAČUNALNOM PROGRAMU TRNSYS

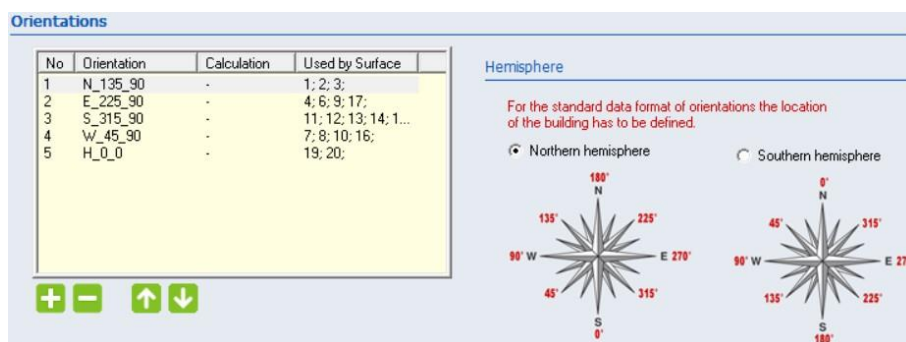
Dinamičke simulacije energijskih tokova zgrade u ovisnosti o utjecajnim parametrima provedene su u računalnom programu TRNSYS. U nastavku je prikazan tijek modeliranja.

TRNSYS (Transient System Simulation Tool) je računalni program namijenjen simulaciji dinamičkih sustava različitih složenosti i namjena, poput sustava grijanja, hlađenja i ventilacije, solarnih sustava, kogeneracijskih sustava, vjetroelektrana, bioloških procesa itd. Program na osnovu ulaznih podataka i ovisnosti komponenti postavlja energetske bilance cijelog sustava.

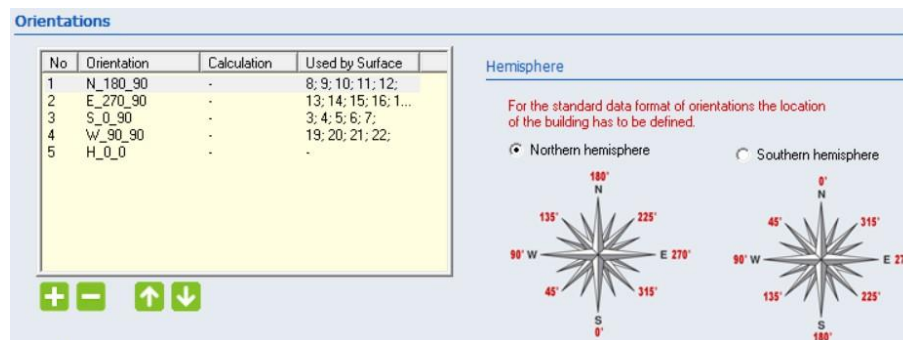
Glavno korisničko sučelje programskog paketa je *Simulation Studio* u kojem se spajaju različite komponente i pokreće simulacija. Komponenta koja opisuje model višezonske zgrade je *Type 56*. Geometrija i pogonski režimi zgrade definiraju se u sučelju *TRNBuild*. U njemu se stvara datoteka zgrade (*.BUI) sa svim potrebnim podacima za učitavanje u *Type 56* i daljnje spajanje s odgovarajućim komponentama koje će biti opisane kasnije.

4.1. Tijek izrade modela

Na početku izrade modela zgrade potrebno je definirati hemisferu na kojoj se zgrada nalazi zbog različito definiranih azimuta za sjevernu i južnu Zemljinu hemisferu. Pri tome se obje analizirane zgrade nalaze na sjevernoj hemisferi. Orijehtacije korištene u modelu definirane su pomoću azimuta i nagiba plohe u odnosu na horizontalu. Pri tome je stambena zgrada zakrenuta za 45° u odnosu na glavne strane svijeta. U idućem koraku potrebno je definirati svojstva zraka kao što su gustoća, tlak, specifični toplinski kapacitet te konstante potrebne za izračun prijelaza topline.

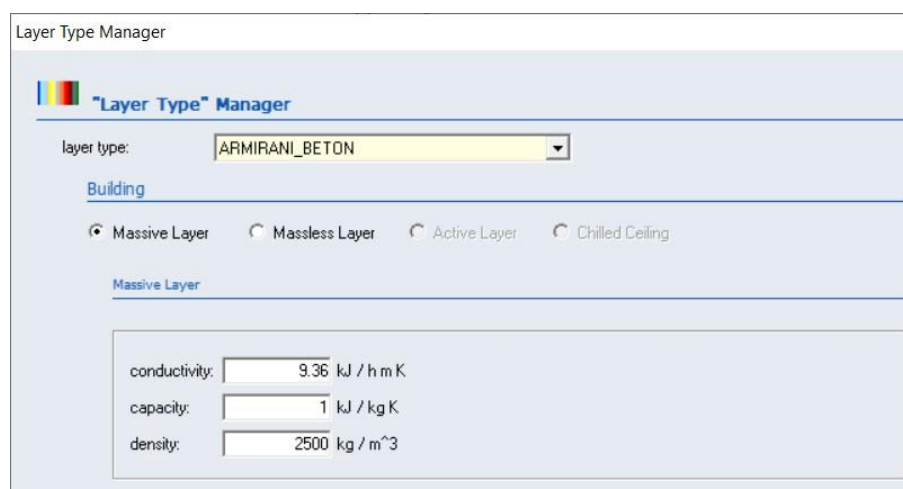


Slika 16 Definirane orijentacije za stambenu zgradu u sučelju TRNBuild



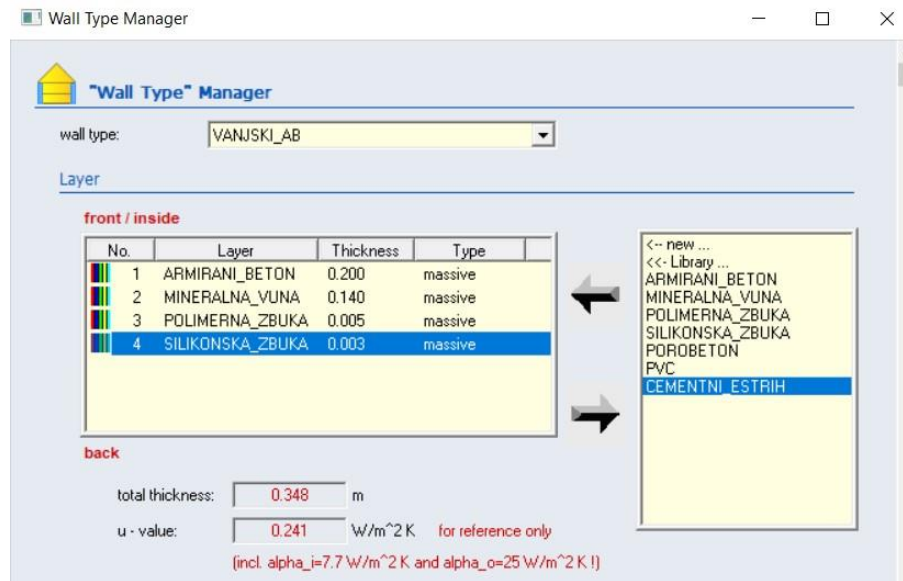
Slika 17 Definirane orijentacije za uredsku zgradu u sučelju TRNBuild

Nakon definiranja orijentacija i konstanta, prelazi se na definiranje geometrije i materijala zgrade. Prvi korak je definiranje svih korištenih građevnih slojeva prema podacima iz Tablica 1 - 6 za stambenu, odnosno Tablica 8 - 12 za uredsku zgradu. Svi su slojevi definirani kao masivni. Opcija *Massless Layer* koristi se za slojeve malog toplinskog kapaciteta, *Active Layer* za modeliranje podnog grijanja ili hlađenja, a *Chilled Ceiling* koristi se za rashlađenu stropnu ploču odvojenu od ostatka zida zbog izolacije.



Slika 18 Primjer definiranja slojeva zida u sučelju TRNBuild

Zidovi se definiraju postavljanjem slojeva pripadajućih debljina od unutarnje strane zida prema vanjskoj. Unosom svih slojeva automatski se izračunava vrijednost koeficijenta prolaza topline, pri čemu vrijednosti koeficijenta konvektivnog prijelaza topline s unutarnje strane zida iznosi $\alpha_u = 7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, a s vanjske strane zida $\alpha_v = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$.

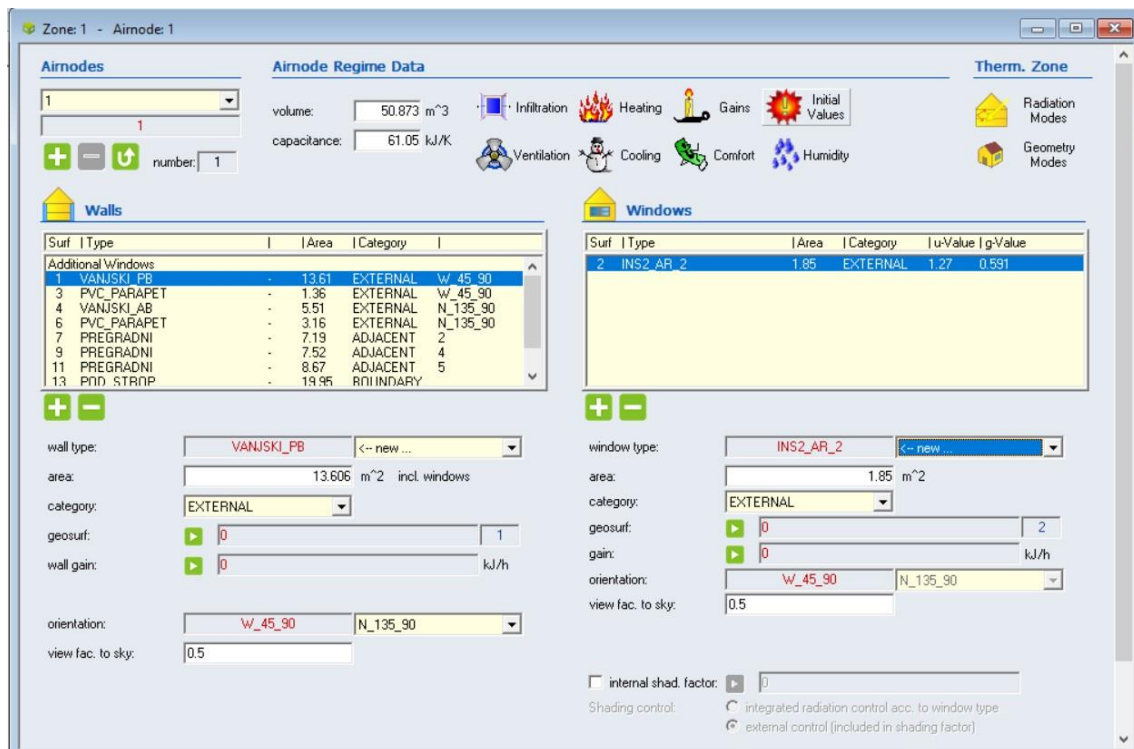


Slika 19 Primjer definiranja zidova u sučelju TRNBuild

U modelu zgrade, svaka je zona definirana volumenom zraka, zidovima i prozorima te pogonskim režimima. Primjer definiranja zone prikazan je na Slici 20. Svaki zid može se definirati kao jedna od sljedećih opcija:

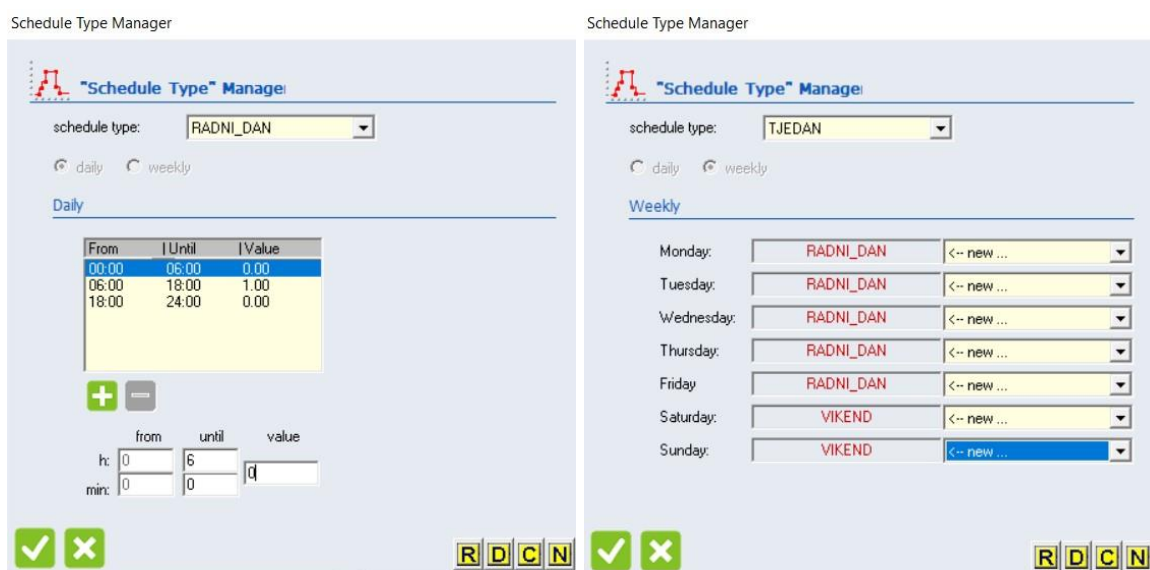
- eng. *external* - zid orijentiran prema vanjskom okolišu. Potrebno je odrediti orijentaciju i *view factor to sky*, odnosno koliki je postotak neba vidljiv s površine zida. Za horizontalne plohe taj faktor iznosi 1, a za ostale zidove 0,5. Zasjenjenja od drveća i susjednih zgrada nisu uzeta u obzir.
- eng. *internal* - zid unutar zone
- eng. *adjacent* - zid koji graniči s drugom zonom
- eng. *boundary* - zid sa zadanim temperaturnim ili adijabatskim rubnim uvjetom.

Prozori se dodaju na zidove u desnom izborniku *Windows* prikazanom na Slici 20 pri čemu površina zida uključuje i površinu prozora. Svaki je prozor definiran faktorom g , koji označava stupanj propuštanja sunčevog zračenja kroz ostakljenje, i koeficijentom prolaska topline U . Kategorija i orijentacija prozora automatski su jednake kategoriji i orijentaciji zida na kojem se prozor nalazi.



Slika 20 Primjer definiranja Zone 1 u sučelju TRNBuild

Za stambenu zgradu definiran je raspored korištenja svakim danom u periodu od 06:00 do 22:00, a za uredsku zgradu radnim danom od 06:00 do 18:00, dok se vikendom zgrada ne koristi. Raspored je definiran u prozoru *Schedule type manager* na dnevnoj i tjednoj bazi što je prikazano Slikom 21.



Slika 21 Definiranje rasporeda korištenja zgrade u sučelju TRNBuild

Nakon definiranja geometrije zone i rasporeda korištenja, potrebno je definirati pogonske režime. U pogonske režime spadaju infiltracija, ventilacija, grijanje, hlađenje, toplinski dobici i vlažnost zraka.

Infiltracija je definirana brojem izmjena zraka po satu te je pretpostavljena kao konstantna. Za stambenu zgradu iznosi $0,5 \text{ h}^{-1}$, a za uredsku zgradu $0,4 \text{ h}^{-1}$. Prozor u kojem se definira infiltracija prikazan je na slici 22.

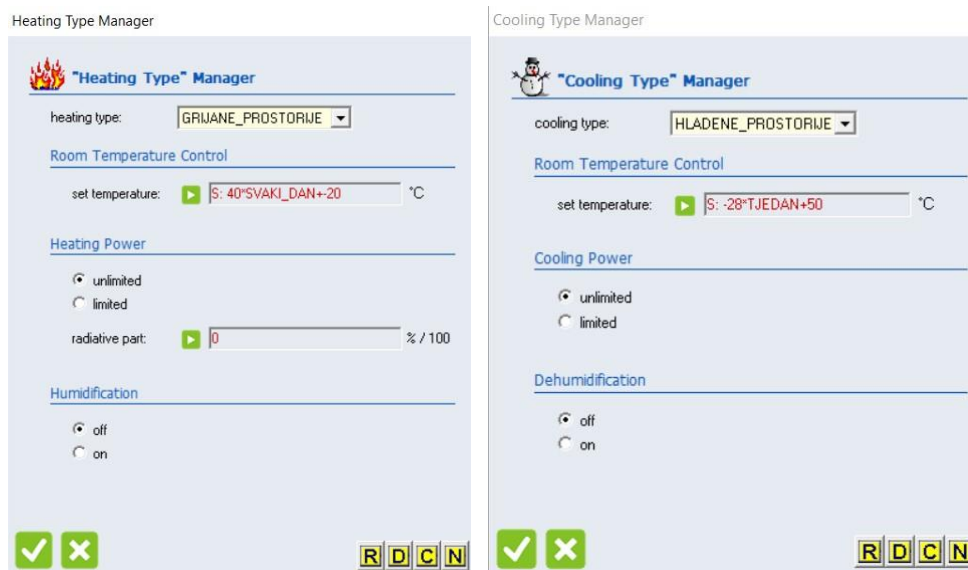


Slika 22 Definiranje infiltracije

Postavna temperatura grijanja obje zgrade za periode korištenja iznosi 20°C . U periodima kada se zgrada ne koristi sustavi grijanja je isključen, što je osigurano jednadžbom (1) za postavnu temperaturu S , pri čemu $x = 1$ predstavlja period korištenja zgrade, a $x = 0$ period u kojem se zgrada ne koristi. Postavna temperatura hlađenja za obje zgrade iznosi 22°C za periode kada se zgrada koristi, a računa se korištenjem jednadžbe (2) pri čemu se vrijednosti x uzimaju analogno kao i za jednadžbu (1). Jednadžbe su dane u nastavku, a Slikom 23 prikazan je prozor u kojem se definira grijanje i hlađenje.

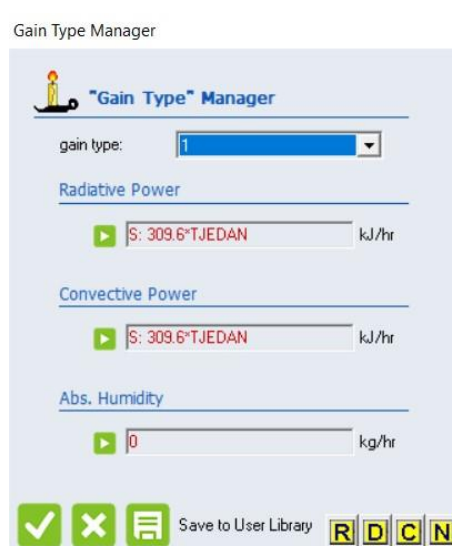
$$S = 40 \cdot x - 20 \quad (1)$$

$$S = -28 \cdot x + 50 \quad (2)$$



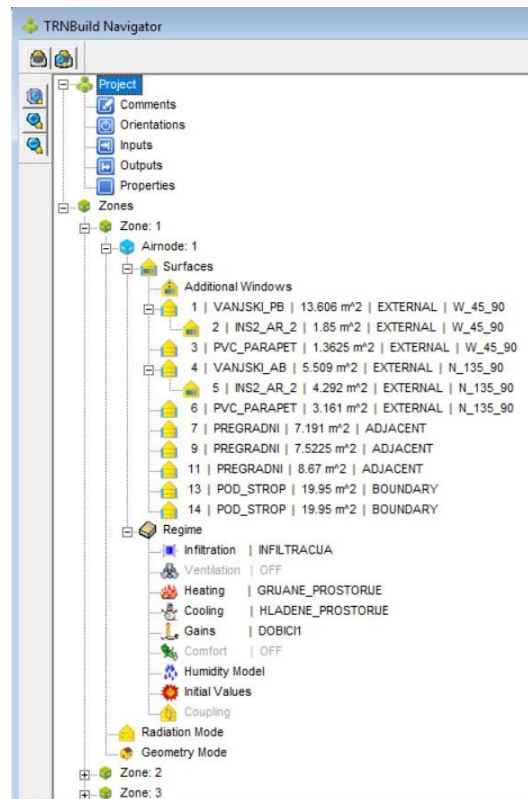
Slika 23 Primjer definiranja režima grijanja i hlađenja u sučelju TRNBuild

Unutarnji dobitci definiraju se u izborniku *Gain type manager*. Kako bi se pojednostavilo kvantificiranje unutarnjih dobitaka od ljudi, računala i rasvjete postoje normirane vrijednosti za te stavke, samo je potrebno unijeti broj osoba, odnosno računala i rasvjetnih tijela. Za navedene zgrade iznosi unutarnjih dobitaka definirani su prema Algoritmu [2], a iznose 5 W/m^2 za stambenu zgradu, odnosno 10 W/m^2 za uredsku zgradu za vrijeme perioda korištenja. Također, pretpostavka je da se unutarnji dobitci predaju prostoru 50% konvekcijom, a 50% zračenjem.



Slika 24 Primjer definiranja unutarnjih dobitaka u sučelju TRNBuild

Navedeni postupak definiranja zone ponavlja se za svaku zonu te se time dobiva razgranata struktura prikazana Slikom 25. Svi podaci spremljeni su u *.BUI datoteku koja se učitava u *Type 56* komponentu u sučelju *Simulation Studio*.



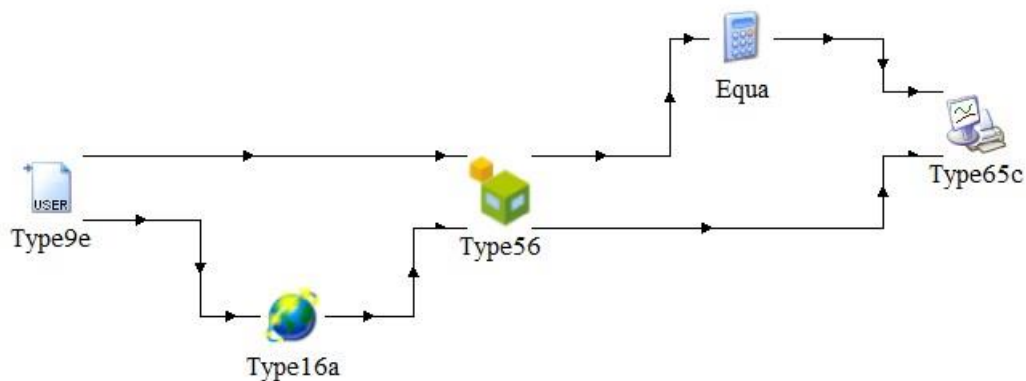
Slika 25 Definirane zone u sučelju TRNBuild

U okviru ovog rada, komponenta *Type 56* u sučelju *Simulation studio* zahtijeva 22 ulazna podatka. Ulazni podaci uključuju meteorološke podatke sadržane u tekstualnoj datoteci koja se učitava korištenjem komponente *Type 9e*. Meteorološki podaci sadrže vrijednosti za svaki sat u tipičnoj meteorološkoj godini za grad Zagreb, a uključuju: temperaturu vanjskog zraka, relativnu vlažnost vanjskog zraka, temperaturu neba, temperaturu zemlje, zenit i azimut Sunca, ukupno Sunčevo zračenje na plohe glavnih strana svijeta, direktno Sunčevo zračenje na plohe glavnih strana svijeta, upadni kut Sunca na plohe glavnih strana svijeta i faktor refleksije tla.

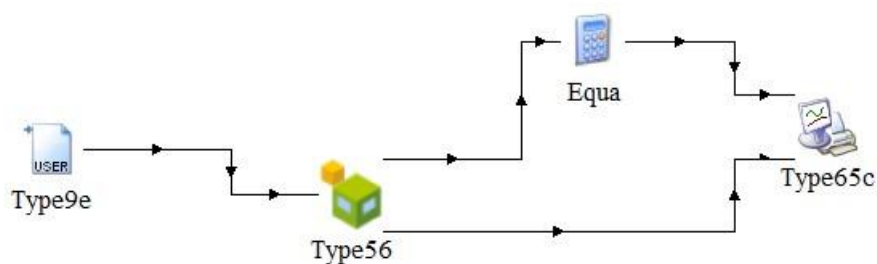
Budući da je stambena zgrada rotirana u odnosu na glavne strane svijeta, potrebno je korigirati meteorološke podatke i odrediti Sunčevo zračenje za zakrenute orijentacije. To je učinjeno koristeći komponentu *Type 16a* koja kao ulazne podatke koristi vrijednosti ukupnog

Sunčevog zračenja na horizontalnu plohu. U komponenti je također potrebno definirati azimute i nagibe stvarnih orijentacija te dobivene rezultate povezati s *Type 56*.

Izlazni podaci komponente *Type 56* su temperatura i potrebna energija za grijanje i hlađenje pojedine zone. Komponenta *Equa* služi za rješavanje jednadžbi, u ovom slučaju pretvara potrebnu energije za grijanje ili hlađenje iz kJ u kWh. Izračunate podatke moguće je grafički prikazati pomoću komponente *Type 65c* ili kao tekstualnu datoteku pomoću komponente *Type 25c*. Spajanje komponenti vrši se opcijom *Link*, a simulacija se pokreće opcijom *Calculate* i *Run simulation*. Slikama 26 i 27 prikazane su sheme spajanja komponenti za stambenu i uredsku zgradu u sučelju *Simulation studio*.



Slika 26 Povezane komponente u sučelju *Simulation studio* za stambenu zgradu



Slika 27 Povezane komponente u sučelju *Simulation studio* za uredsku zgradu

5. REZULTATI

Nakon provedenih analiza za obje zgrade i svaki način zoniranja koji su prethodno opisani, u ovom poglavlju dani su rezultati simulacija i analiza.

5.1. Stambena zgrada

Kao rezultat složenog zoniranja stambene zgrade, dobivene su 23 zone u prizemlju i 24 zone na ostalim katovima zgrade. Takvim načinom zoniranja cijela zgrada sastoji se od ukupno 311 toplinskih zona. Pojednostavljenim zoniranjem svaki kat podijeljen je na 5 zona, a cijela zgrada sastoji se od 65 toplinskih zona. Jednostavnim zoniranjem cijela zgrada je jedna zona. Složenim zoniranjem pojedine su zone definirane kao negrijane i nehlađene (zone 7, 18 i 24 prema Slici 7). Potrebna energija za grijanje i hlađenje u tom je slučaju svedena na kvadratni metar grijane, odnosno hlađene površine. Iako je 82,2% površine zgrade grijano i hlađeno, pojednostavljenim i jednostavnim zoniranjem sve su zone definirane kao grijane i hlađene te je potrebna energija svedena na ukupnu površinu zgrade.

5.1.1. Analiza 1 : Modeli bez unutarnjih zidova

Analiza 1 provedena je bez uključivanja mase unutarnjih zidova u pojednostavljenom i jednostavnom zoniranju. Rezultati takvog zoniranja stambene zgrade prikazani su Tablicom 18, a u kojoj su prikazane godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje zgrade.

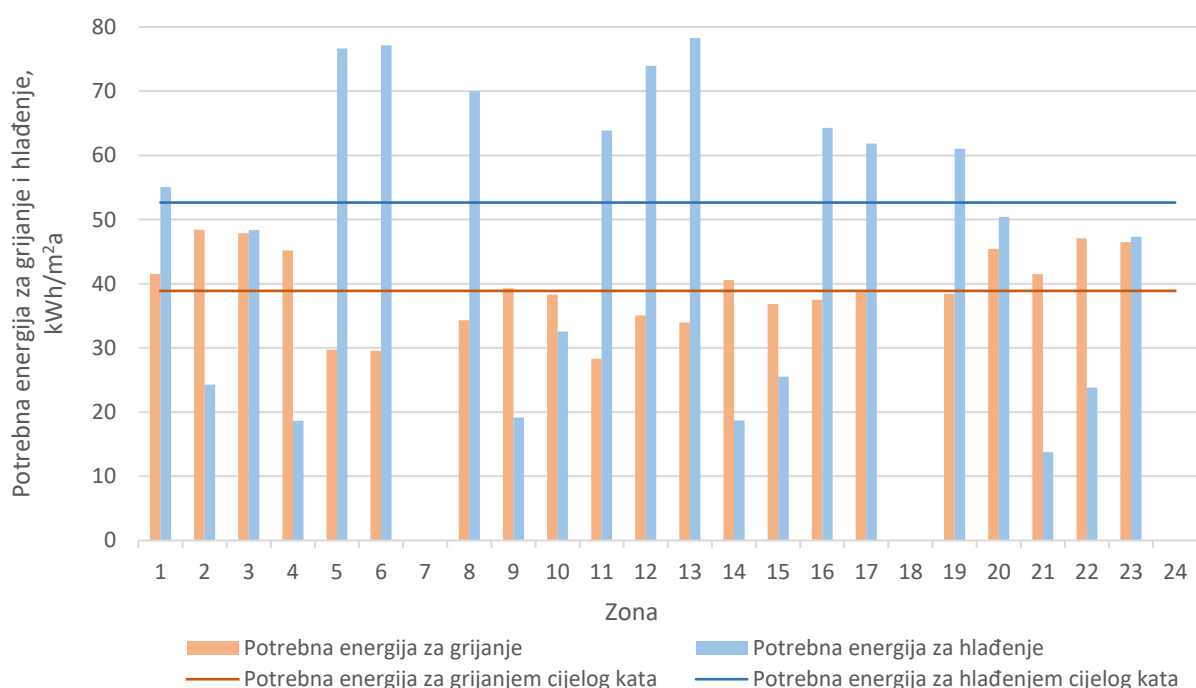
Tablica 18 Rezultati analize za stambenu zgradu bez unutarnjih zidova

		$Q_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	$Q_{C,nd}$ [kWh/m ² a]		
Složeno zoniranje	prizemlje	38,3	52,6	39,9	52,7
	prvi kat	39,2	52,9		
	karakterističan kat	38,9	52,6		
	zadnji kat	52,1	53,2		
	prizemlje	36,6	43,6		
Pojednostavljeno zoniranje	prvi kat	33,9	43,7	34,8	43,6
	karakterističan kat	33,6	43,5		
	zadnji kat	45,5	44,4		
	Jednostavno zoniranje				

Pojednostavljenim zoniranjem potrebna energija za grijanje je za 12,8% manja u odnosu na složeno zoniranje, a potrebna energija za hlađenje je manja za 17,3%. Jednostavnim zoniranjem potrebna energija za grijanje je za 28,1% manja, a potrebna energija za hlađenje za 40,0% manja u odnosu na složeno zoniranje. Jedan od razloga odstupanja je zanemarivanje unutarnjih zidova. Idući razlog je pojednostavljenje kojim se pretpostavlja da su sve prostorije grijane i hlađene kod jednostavnog zoniranja i pojednostavljenog zoniranja. Složenim zoniranjem ukupna potrebna energija svodi se na manju površinu, a javljaju se i gubici topline prema negrijanim i nehlađenim zonama, što dodatno povećava potrebnu energiju.

Ako se uspoređi potrebna energija za grijanje i hlađenje po katovima za složeno i pojednostavljeno zoniranje, vidljivo je da najveću potrebnu energiju za grijanjem i hlađenjem ima zadnji kat. Odstupanje potrebne energije za grijanjem zadnjeg kata u odnosu na potrebnu energiju za grijanjem cijele zgrade je 30,6% za složeno i 30,7% za pojednostavljeno zoniranje. Razlike po katovima u potrebnoj energiji za hlađenje su značajno manje, odstupanje potrebne energije za hlađenjem zadnjeg kata u odnosu na potrebnu energiju za hlađenjem cijele zgrade iznosi 0,9% za složeno i 1,8% za pojednostavljeno zoniranje. Razlog odstupanja u odnosu na ostale katove jest ravni krov koji je izložen atmosferskim utjecajima.

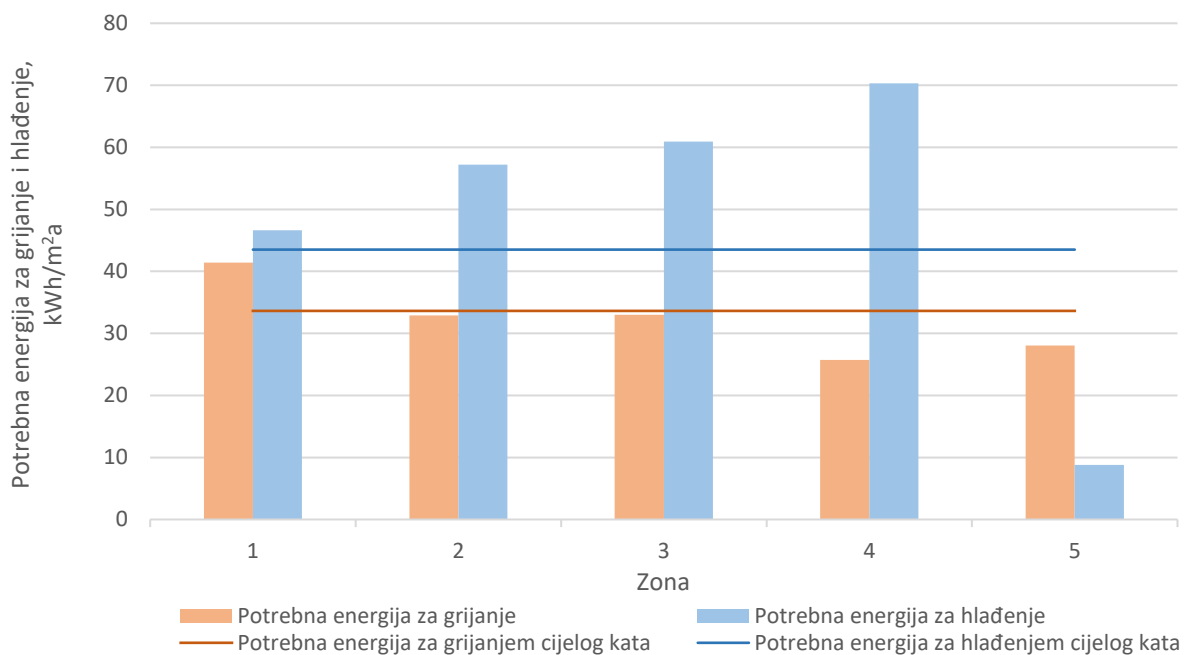
U nastavku je analizirana potrebna energija za grijanje i hlađenje po zonama za karakterističan kat stambene zgrade koja se dobila složenim zoniranjem. Rezultati analize prikazani su Slikom 28.



Slika 28 Potrebna energija za grijanje i hlađenje karakterističnog kata stambene zgrade dobivena složenim zoniranjem

Iz prikaza je vidljivo da najveću potrebu za grijanjem imaju zone orijentirane prema sjeverozapadu, a to su zone 2, 3, 22 i 23 te ta potreba iznosi najviše 48,4 kWh/m²a za zonu 2. Najmanju potrebu za grijanjem imaju zone 5 i 6 koje su orijentirane prema jugozapadu i zona 11 orijentirana prema jugoistoku s 28,3 kWh/m²a. S druge strane, najveću potrebu za hlađenjem imaju prije spomenute zone 5 i 6 te zone 12 i 13 orijentirane prema jugoistoku. Maksimalni iznos potrebne energije za hlađenjem je 78,3 kWh/m² za zonu 13, dok najmanju potrebu za hlađenjem imaju zone 4, 9, 14 i 21. To su zone koje nemaju direktne solarne dobitke pa je i potreba za hlađenjem manja. Minimalni iznos je 13,7 kWh/m²a za zonu 21.

Također, provedena je analiza potrebne energije za grijanje i hlađenje po zonama za karakterističan kat stambene zgrade koja se dobila pojednostavljenim zoniranjem. Rezultati analize prikazani su Slikom 29.



Slika 29 Potrebna energija za grijanje i hlađenje karakterističnog kata stambene zgrade dobivena pojednostavljenim zoniranjem

Iz rezultata na Slici 29 vidljivo je da najveću potrebu za grijanjem ima zona 1 koja je orijentirana prema sjeverozapadu, u iznosu od 41,4 kWh/m²a, a najmanju potrebu za grijanjem ima zona 4 orijentirana prema jugozapadu i to u iznosu od 25,7 kWh/m²a. Veće razlike vidljive su u potrebnoj energiji za hlađenjem, maksimalni iznos je 70,3 kWh/m²a za zonu 4 orijentiranu prema jugozapadu, a najmanji iznos je 8,8 kWh/m²a za središnju zonu 5 koja nema solarnih dobitaka pa je tako i potrebna energija za hlađenjem najmanja.

5.1.2. Analiza 2 : Modeli s unutarnjim zidovima

Unutarnji zidovi u zoni predstavljaju određenu akumulacijsku masu koja utječe na dinamiku izmjene topline, a time i potrebe za grijanjem i hlađenjem. Kako bi se analiziralo na koji način uključivanje unutarnjih zidova u pojednostavljenom i jednostavnom zoniranju utječe na razlike u rezultatima, napravljene su dodatne simulacije s unutarnjim zidovima te su rezultati prikazani u Tablici 19.

Tablica 19 Rezultati analize za stambenu zgradu s unutarnjim zidovima

		$Q_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	$Q_{C,nd}$ [kWh/m ² a]		
Složeno zoniranje	prizemlje	38,6	52,6	39,9	52,7
	prvi kat	39,2	52,9		
	karakterističan kat	38,9	52,6		
	zadnji kat	52,1	53,2		
Pojednostavljeno zoniranje	prizemlje	37,0	44,5	35,1	44,4
	prvi kat	34,2	44,6		
	karakterističan kat	33,9	44,3		
	zadnji kat	46,2	45,5		
Jednostavno zoniranje		34,2	40,9		

Potrebna energija za grijanje u modelu s pojednostavljenim zoniranjem iznosi 12,0%, a u modelu s jednostavnim zoniranjem 14,3% manje u odnosu na složeno zoniranje. Potrebna energija za hlađenje u modelu s pojednostavljenim zoniranjem je 15,7%, a u modelu s jednostavnim zoniranjem 22,4% manja u odnosu na složeno zoniranje.

Usporedbom analize 1 i analize 2 može se zaključiti da se dodavanjem unutarnjih zidova, odnosno akumulacijske mase u pojednostavljenim modelima smanjuju odstupanja u odnosu na složeni model. Poboljšanje je najvidljivije na usporedbi složenog i jednostavnog zoniranja, pri čemu se uzimanjem u obzir unutarnjih zidova odstupanja u potrebnim energijama za grijanje smanjuju s 28,1% na 14,3%, a za hlađenje s 40,0% na 22,4%.

5.1.3. Analiza 3 : Modeli bez unutarnjih zidova s jednostrukim prozorima

Analizom 3 modeliran je slučaj u kojem su postojeći trostruki prozori s koeficijentom prolaza topline $U = 1,27 \text{ W/m}^2\text{K}$ i stupnjem propuštanja Sunčevog zračenja $g = 0,591$ zamijenjeni jednostrukim prozorima s koeficijentom prolaza topline $U = 5,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ i stupnjem propuštanja Sunčevog zračenja $g = 0,855$. Jednostruki prozori imaju veći koeficijent prolaza topline, gubici topline su veći te je samim time povećana potrebna energija za grijanje. Rezultati analize prikazani su u Tablici 20.

Tablica 20 Rezultati analize za stambenu zgradu s jednostrukim prozorima

		$Q_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	$Q_{C,nd}$ [kWh/m ² a]		
Složeno zoniranje	prizemlje	97,0	49,7	98,53	50,6
	prvi kat	94,6	50,8		
	karakterističan kat	98,1	50,5		
	zadnji kat	108,0	51,6		
	prizemlje	87,6	40,8		
Pojednostavljeno zoniranje	prvi kat	85,0	41,5	85,83	41,4
	karakterističan kat	84,8	41,3		
	zadnji kat	95,2	42,8		
	Jednostavno zoniranje		58,3		

Potrebna energija za grijanje složenim zoniranjem u ovom je slučaju povećana 2,47 puta u odnosu na početni slučaj s trostrukim prozorima prikazanim u Analizi 1. Samim time, povećane su i odstupanja u različitim načinima zoniranje. Potrebna energija za grijanje pojednostavljenim zoniranjem je 12,9% manja, a jednostavnim zoniranjem 40,8% manja u odnosu na složeno zoniranje. U odnosu na Analizu 1 u kojoj su analizirani trostruki prozori, potrebna energija za hlađenje složenim zoniranjem i korištenjem jednostukih prozora u modelima se smanjila za 4,0%. Potrebna energija za hlađenje je pojednostavljenim zoniranjem je 18,2% manja, a jednostavnim zoniranjem 54,2% manja u odnosu na složeno zoniranje.

Usporedbom analize 1 i analize 3 može se zaključiti da je zoniranje iznimno bitno u slučaju zgrada s jednostrukim prozorima. U tom slučaju potrebna energija za grijanje je

značajno veća, u slučaju promatrane stambene zgrade 2,47 puta. Međutim, potrebna energija za hlađenje u modelu s jednostrukim prozorima se smanjila za 4,0% iako je stupanj propuštanja Sunčevog zračenja (g) za jednostruke prozore veći nego za trostruke prozore. Zaključak ove analize je da je kod prozora bitniji iznos koeficijent prolaza topline (U) te on više utječe na iznose potrebne energije za grijanje, a manje na potrebnu energiju za hlađenje.

5.2. Uredska zgrada

Složenim zoniranjem uredska zgrada podijeljena je na ukupno 72 toplinske zone, od toga se u podrumu nalazi 5, u prizemlju 7, na prvom i trećem katu 17, a na drugom u četvrtom katu po 13 zona. Pojednostavljenim zoniranjem zgrada je podijeljena na ukupno 27 zona, od toga u podrumu 3, prizemlju 4, a na svim ostalim katovima je po 5 zona. Jednostavnim zoniranjem cijala zgrada promatrana je kao jedna toplinska zona. U cijeloj uredskoj zgradi jedina negrijana zona je zona 5 u prizemlju za složeno zoniranje, odnosno zona 3 za pojednostavljeno zoniranje. Potrebna energija za grijanje i hlađenje prizemlja prikazana je stoga po kvadratu grijane, odnosno hladene korisne površine. Udio grijane i hladene površine zgrade iznosi 93,7%, ali je jednostavnim zoniranjem cijela zgrada definirana kao grijana i hladena te je potrebna energija svedena na ukupnu površinu zgrade.

5.2.1. Analiza 1: Modeli bez unutarnjih zidova

Kao i za slučaj stambene zgrade, analiza 1 napravljena je bez unutarnjih zidova, a rezultati su prikazani u Tablici 21.

Tablica 21 Rezultati analize za uredsku zgradu bez unutarnjih zidova

	$Q_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	$Q_{C,nd}$ [kWh/m ² a]
podrum	21,7	24,5
prizemlje	28,2	59,2
Složeno zoniranje		
prvi kat	24,1	52,6
drugi kat	22,7	54,1
treći kat	24,1	52,6
četvrti kat	34,3	53,7
	26,1	51,0

	podrum	19,4		23,2	
	prizemlje	31,4		58,2	
Pojednostavljeno zoniranje	prvi kat	23,0	26,2	52,8	50,4
	drugi kat	22,6		53,1	
	treći kat	23,0		52,8	
	četvrti kat	35,5		52,2	
Jednostavno zoniranje			16,4		35,3

Složenim zoniranjem podrum ima 16,9% manju potrebnu energiju za grijanje i 52,0% manju potrebnu energiju za hlađenje u odnosu na potrebnu energiju za grijanje i hlađenje cijele zgrade koja je dobivena složenim zoniranjem. Pojednostavljenim zoniranjem potrebna energija za grijanje podruma je 26,0% manja, a potrebna energija za hlađenje 54,0% manja u odnosu na potrebnu energiju za grijanje i hlađenje cijele zgrade koja je dobivena pojednostavljenim zoniranjem. Razlog tome je postavljanje adijabatskog uvjeta za ukopane zidove, odnosno zanemarivanje izmjene topline s tlom, iako u stvarnosti postoji određeni gubitak topline prema tlu.

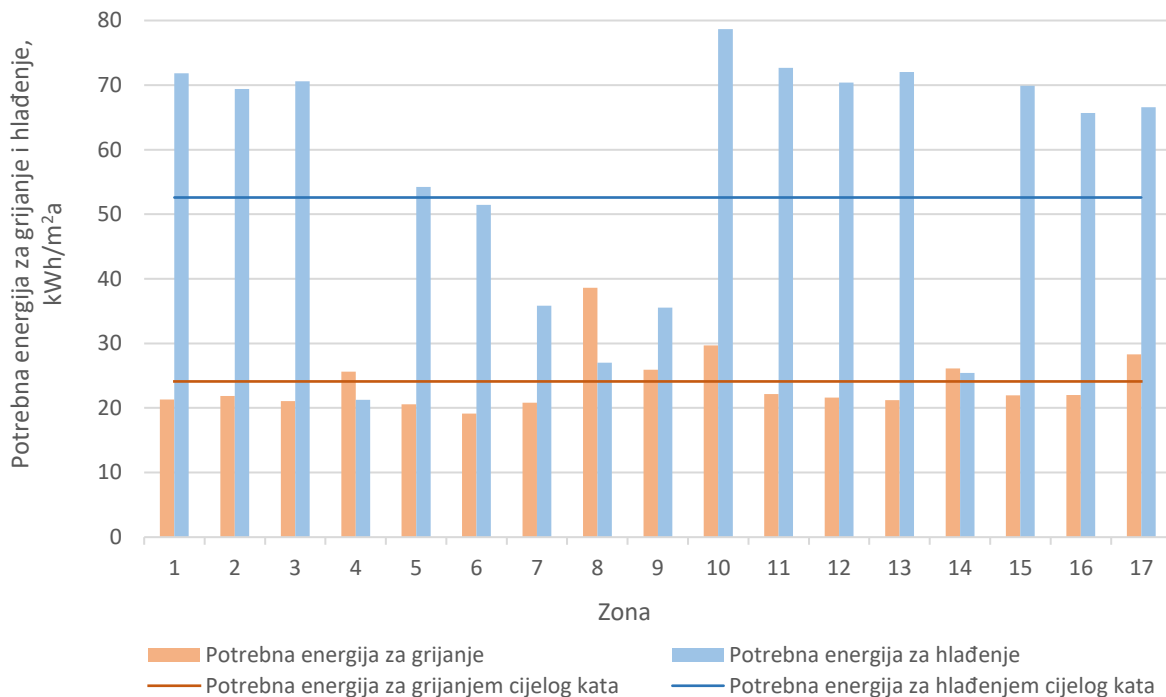
Prizemlje te četvrti kat su, s druge strane, iznad prosjeka u iznosima potrebne energije za grijanje i hlađenje zgrade. Složenim zoniranjem potrebna energija za grijanje prizemlja je za 8,0% veća, a za hlađenje 16,1% veća u odnosu na prosjek zgrade. Pojednostavljenim zoniranjem prizemlja potrebna energija za grijanje je 19,8% veća, a za hlađenje 15,5% veća od prosjeka. Razlog leži u tome što je visina prizemlja veća od ostalih etaža te je samim time volumen zraka veći. Visina prizemlja iznosi 3,55 m, a ostale etaže su visine 2,70 m.

Razlog pozitivnom odstupanju četvrtog kata u potrebnoj energiji za grijanje u odnosu na prosjek cijele zgrade je taj što graniči s negrijanim tavanom uslijed čega se dolazi do gubitaka topline. Potrebna energija za grijanje uslijed složenog zoniranja je 31,4% veća, a uslijed pojednostavljenog zoniranja 35,5% u odnosu na potrebnu energiju za grijanje cijele zgrade. Potrebna energija za hlađenje četvrtog kata ne odstupa značajno od prosjeka cijele zgrade.

Uspoređujući sva tri načina zoniranja zgrade, vidljivo je da pojednostavljenim zoniranjem rezultati ne odstupaju značajno od rezultata dobivenih složenim zoniranjem. Razlika u potrebnoj energiji za grijanje je 0,4%, a za hlađenje 1,2%. Veće razlike su između složenog i jednostavnog načina zoniranja. Jednostavnim zoniranjem potrebna energija za

grijanjem je 37,2% manja, a potrebna energija za hlađenjem 30,8% manja u odnosu na složeno zoniranje. Razlog tom odstupanju je zanemarivanje volumena unutarnjih zidova i pretpostavka da je cijela površina zgrade grijana i hlađenja, iako to nije slučaj.

U nastavku je analizirana potrebna energija za grijanje i hlađenje po zonama za prvi kat koja se dobila složenim zoniranjem. Rezultati analize prikazani su na Slici 30.



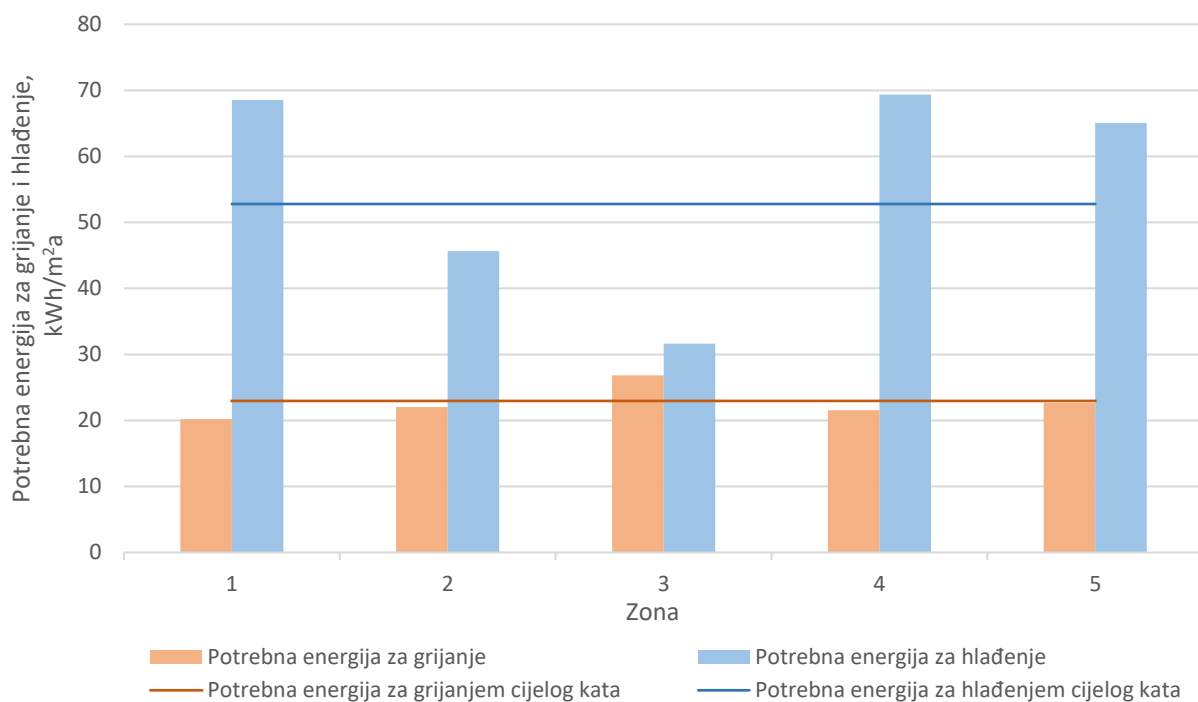
Slika 30 Potrebna energija za grijanje i hlađenje prvog kata uredske zgrade dobivena složenim zoniranjem

Najveću potrebu za grijanjem imaju zone 8, 10 i 17. Tim zonama je zajedničko to što se nalaze na uglovima zgrade, odnosno imaju dva vanjska zida koji su orijentirani sjever-istok za zonu 8 i 17 te jug-zapad za zonu 10. Maksimalni iznos potrebne energije za grijanje iznosi 38,6 kWh/m²a za zonu 8. Manju potrebu za grijanjem imaju zone koje graniče s dvije ili tri okolne zone i imaju jedan vanjski zid, a to su zone 5, 6 i 7. Njihov vanjski zid orijentiran je prema istoku. Zona 5 ima i dio vanjskog zida koji je orijentiran prema jugu, a ostatak graniči sa susjednom zgradom i ima nametnuti adijabatski rubni uvijet. Minimalni iznos potrebne energije za grijanje ima zona 5 i to u iznosu od 19,1 kWh/m²a.

Veću potrebnu energiju za hlađenjem imaju zone orijentirane prema zapadu, a najveću ima zona 10, koja ima orijentaciju vanjskih zidova prema jugu i zapadu, u iznosu od

78,7 kWh/m²a. Manju potrebnu energiju za hlađenje imaju zone 4, 8 i 14. Zone 4 i 14 su unutarnji hodnici bez solarnih dobitaka, a zona 8 je na uglu orijentirana istok-sjever. Minimalni iznos potrebne energije za hlađenje ima zona 4 te iznosi 21,3 kWh/m²a.

Također, provedena je analiza potrebne energije za grijanje i hlađenje po zonama za prvi kat uredske zgrade koja se dobila pojednostavljenim zoniranjem, a rezultati analize prikazani su Slikom 31.



Slika 31 Potrebna energija za grijanje i hlađenje prvog kata uredske zgrade dobivena pojednostavljenim zoniranjem

Najveću potrebu za grijanjem, a ujedno i najmanju potrebu za hlađenjem, ima zona 3. Ona obuhvaća prostorije unutarnjih hodnika koje nemaju unutarnje dobitke topline od ljudi, uređaja ili rasvjete te ima vrlo malo solarnih dobitaka zbog jednog prozora orijentiranog prema sjeveru i jednog prema jugu. Uspoređujući zone čiji su zidovi orijentirani prema zapadu (zone 1 i 4) i prema istoku (zone 2 i 5), vidljivo je da zone prema istoku imaju manju potrebnu energiju za grijanje, a veću potrebnu energiju za hlađenje. Najmanju potrebnu energiju za grijanje ima zona 1 u iznosu od 20,2 kWh/m²a, a najveću potrebnu energiju za hlađenje ima zona 4 u iznosu od 69,4 kWh/m²a

5.2.2. Analiza 2 : Modeli s unutarnjim zidovima

Kako bi se analizirao utjecaj uključivanja unutarnjih zidova u modele s pojednostavljenim i jednostavnim zoniranjem, provedena je analiza 2, a rezultati su prikazani Tablicom 22.

Tablica 22 Rezultati analize za uredsku zgradu s unutarnjim zidovima

		$Q_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	$Q_{C,nd}$ [kWh/m ² a]		
Složeno zoniranje	podrum	21,7	24,5	26,1	51,0
	prizemlje	28,2	59,2		
	prvi kat	24,1	52,6		
	drugi kat	22,7	54,1		
	treći kat	24,1	52,6		
	četvrti kat	34,3	53,9		
	Pojednostavljeno zoniranje	podrum	19,5		
prizemlje	31,4	58,8			
prvi kat	23,7	54,2			
drugi kat	23,0	54,1			
treći kat	23,7	54,2			
	četvrti kat	36,3	53,4		
Jednostavno zoniranje		22,8	45,5		

Potrebna energija za grijanje za model s pojednostavljenim zoniranjem je 2,3% veća, a za model s jednostavnim zoniranjem 12,6% manja u odnosu na model sa složenim zoniranjem. Potrebna energija za hlađenje modela s pojednostavljenim zoniranjem je 1,6% veća, a modela s jednostavnim zoniranjem 10,8% manja u odnosu na model sa složenim zoniranjem.

Usporedbom analize 1 i analize 2 za uredsku zgradu vidljivo je da su odstupanja potrebnih energija za grijanje i hlađenje za pojednostavljeno zoniranje nešto veća ako se u obzir uzmu unutarnji zidovi, ali odstupanja i dalje nisu značajna. S druge strane, jednostavnim zoniranjem odstupanja se smanjuju ako se u obzir uzmu i unutarnji zidovi, i to s 37,2% na

12,6% u potrebnoj energiji za grijanje i s 30,8% na 10,8% u potrebnoj energiji za hlađenje što predstavlja značajno smanjenje.

5.2.3. Analiza 3 : Modeli bez unutarnjih zidova s jednostrukim prozorima

Kao što je spomenuto i kod stambene zgrade, zamjenom postojećih dvostrukih prozora s koeficijentom prolaza topline $U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ i stupnjem propuštanja Sunčevog zračenja $g = 0,622$ jednostrukim prozorima s koeficijentom prolaza topline $U = 5,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ i stupnjem propuštanja Sunčevog zračenja $g = 0,855$, povećavaju se gubici topline i potrebna energija za grijanje. Analiza 3 provedena je kako bi se pokazao utjecaj ovog parametra na razlike među modelima, a rezultati su prikazani u Tablici 23.

Tablica 23 Rezultati analize za uredsku zgradu s jednostrukim prozorima

		$Q_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	$Q_{C,nd}$ [kWh/m ² a]		
Složeno zoniranje	podrum	41,7	21,6	63,3	43,7
	prizemlje	73,6	49,4		
	prvi kat	63,9	45,1		
	drugi kat	58,8	46,0		
	treći kat	63,9	45,1		
	četvrti kat	69,9	46,9		
Pojednostavljeno zoniranje	podrum	42,2	24,4	63,5	42,3
	prizemlje	75,2	47,4		
	prvi kat	62,1	43,5		
	drugi kat	61,6	43,8		
	treći kat	62,1	43,5		
	četvrti kat	70,3	44,4		
Jednostavno zoniranje		36,9	23,6		

Iz rezultata je vidljivo da se potrebna energija za grijanje dobivena složenim zoniranjem u odnosu na postojeće stanje opisano analizom 1 povećala 2,43 puta, a potrebna energija za hlađenje dobivena složenim zoniranjem se smanjila za 14,3%. Razlike u potrebnim energijama

za grijanje i hlađenje između složenog i pojednostavljenog zoniranja i u ovom su slučaju male, te iznose 0,4% za grijanje i 3,2% za hlađenje. Razlike su veće kada se uspoređuju modeli sa složenim i jednostavnim zoniranjem, pri čemu je za jednostavno zoniranje potrebna energija za grijanje 41,7% manja, a potrebna energija za hlađenje 46,0% manja u odnosu na složeno zoniranje.

Usporedbom analize 1 i analize 3 za uredsku zgradu, pokazalo se da je zoniranje bitno u slučaju zgrada s jednostrukim prozorima. U oba slučaja, odstupanja nastala pojednostavljenim zoniranjem za grijanje i hlađenje su mala. Međutim, odstupanja nastala jednostavnim zoniranjem u odnosu na složeno zoniranje rastu ako zgrada ima jednostruke prozore, i to s 37,2% na 41,7% za grijanje i s 30,8% na 46% za hlađenje.

5.2.4. Analiza 4 : Modeli bez unutarnjih zidova s jednostrukim prozorima i izmijenjenom orijentacijom

Ovom analizom promatran je utjecaj orijentacije prozora na razlike na razlike među modelima različite složenosti zoniranja. U ovom slučaju strane svijeta su rotirane za 90° u smjeru kazaljke na satu te su prozori zgrade prvotno smješteni na istočnoj i zapadnoj strani zgrade postali prozori na jugu, odnosno na sjeveru zgrade. Za analizu 4 pretpostavljena je zgrada bez unutarnjih zidova i s jednostrukim prozorima, sukladno analizi 3. Rezultati analize prikazani su u Tablici 24.

Tablica 24 Rezultati analize za uredsku zgradu s izmijenjenom orijentacijom

		$Q_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	$Q_{C,nd}$ [kWh/m ² a]		
Složeno zoniranje	podrum	43,7	16,0	61,6	38,8
	prizemlje	67,2	41,7		
	prvi kat	62,2	41,0		
	drugi kat	59,0	39,0		
	treći kat	62,2	41,0		
	četvrti kat	69,1	45,8		
Pojednostavljeno zoniranje	podrum	41,4	19,2	60,8	36,5
	prizemlje	69,8	41,3		

Pojednostavljeno zoniranje	prvi kat	59,9		37,8	
	drugi kat	59,5	60,8	37,9	36,5
	treći kat	59,9		37,8	
	četvrti kat	67,5		38,7	
Jednostavno zoniranje			35,1		19,8

Iz ove analize vidljivo je da je potrebna energija za grijanje pojednostavljenim zoniranjem 1,3% manja, a potrebna energija za hlađenje 5,9% manja u odnosu na složeno zoniranje. Veće razlike u potrebnoj energiji nastaju između složenog i jednostavnog zoniranja, a iznose 42,6% za grijanje i 49,0% u potrebnoj energiji za hlađenje.

Usporedbom analize 3 i analize 4 pokazalo se da odstupanja u potrebnim energijama za grijanje i hlađenja nisu ista za različite orijentacije prozora. Za uredsku zgradu odstupanja u odnosu na složeno zoniranje manja su za slučaj kada su prozori orijentirani prema istoku i zapadu kao što je stvarno stanje opisano analizom 3.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je kvantifikacija utjecaja zoniranja na izračun potrebne energije za grijanje i hlađenje zgrade. Analiza je provedena za dvije zgrade, stambenu zgradu u zagrebačkom naselju Trnsko te uredsku zgradu Energetskog instituta Hrvoje Požar, također u Zagrebu. Ulazni podaci o geometriji i sastavu građevnih elemenata preuzeti su iz projektne dokumentacije, a postavne temperature grijanja i hlađenja, unutarnji dobici i vrijeme korištenja zgrade definirani u skladu s Algoritmom za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prema HRN EN 13790 za referentnu zgradu u kontinentalnoj klimi.

Zoniranje je provedeno za tri razine složenosti: složeno, pojednostavljeno i jednostavno zoniranje. Složenim zoniranjem svaka prostorija zgrade promatrana je kao zasebna toplinska zona, pojednostavljenim zoniranjem u jednu toplinsku zonu grupirane su prostorije sličnog toplinskog opterećenja (primjerice, iste orijentacije i unutarnjih dobitaka), a u jednostavnom zoniranju cijela je zgrada promatrana kao jedna toplinska zona. Ukupan broj toplinskih zona u modelu sa složenim zoniranjem za stambenu zgradu iznosi 311 zona, u modelu s pojednostavljenim zoniranjem 65 zona te u jednostavnom modelu iznosi 1 zona. Uredska zgrada je u modelu sa složenim zoniranjem podijeljena na ukupno 72 zone, u modelu s pojednostavljenim zoniranjem na 27 zona te u jednostavnom modelu na 1 zonu. Dinamičke simulacije energijskih tokova zgrade u ovisnosti o utjecajnim parametrima provedene su u računalnom programu TRNSYS za svaki sat u godini za referentnu meteorološku godinu u gradu Zagrebu.

Prema rezultatima analize za stambenu zgradu, najveća potrebna energija za grijanje i hlađenje dobivena je složenim zoniranjem te iznosi 39,9 kWh/m²a za grijanje i kWh/m²a za hlađenje. Odstupanja u potrebnim energijama iznose 12,8% za grijanje i 17,3% za hlađenje korištenjem pojednostavljenog zoniranja, odnosno 28,2% za grijanje i 40% za hlađenje korištenjem jednostavnog zoniranja. Odstupanja su rezultat zanemarivanja volumena unutarnjih zidova i stvarnih pogonskih režima s obzirom da su pojednostavljenim i jednostavnim zoniranjem sve zone definirane kao grijane i hlađene. Uključivanjem volumena unutarnjih zidova pojedinih zona u modele, odstupanja potrebnih energija dobivenih pojednostavljenim i jednostavnim zoniranjem u odnosu na složeno zoniranje se smanjuju. Razlika u odstupanjima najviše je vidljiva usporedbom složenog i jednostavnog zoniranja gdje se uzimanjem u obzir unutarnjih zidova odstupanja u potrebnim energijama za grijanje smanjuju s 28,2% na 14,2%, a za hlađenje s 40,0% na 22,3%. Ako bi promatrana zgrada umjesto

postojećih trostrukih prozora imala jednostruke prozore, osim povećane potrebne energije za grijanje, povećane bi bile i razlike u potrebnim energijama između različitih načina zoniranja.

Za uredsku zgradu potrebna energija za grijanje i hlađenje dobivena složenim zoniranjem iznosi 26,1 kWh/m²a za grijanje i 51,0 kWh/m²a za hlađenje. Usporedba potrebne energije između modela sa složenim i pojednostavljenim zoniranjem pokazuje da su odstupanja zanemariva te iznose 0,4% za grijanje i 1,2% za hlađenje. Jednostavnim zoniranjem dobiveni su manji iznosi potrebnih energija, a odstupanja su 37,2% za grijanje i 30,8% za hlađenje. Odstupanja koja nastaju jednostavnim zoniranjem rezultat su zanemarivanja volumena unutarnjih zidova i stvarnih pogonskih režima s obzirom da je cijela zgrada definirana kao grijana i hlađena. Uzimanjem u obzir unutarnjih zidova, odstupanja potrebnih energija za grijanje i hlađenje između složenog i jednostavnog zoniranja se smanjuju, a odstupanja između složenog i pojednostavljenog zoniranja se povećavaju. Zamjenom prozora odstupanja u iznosima se povećavaju jer je i veći iznos potrebne energije za grijanje. Na primjeru uredske zgrade također je pokazano da orijentacija može imati značajan utjecaj na odstupanja među modelima. U slučaju promijenjene orijentacije uredske zgrade koja uključuje prozore orijentirane prema sjeveru i jugu, odstupanja u potrebnoj energiji u odnosu na složeno zoniranje povećala bi se s 0,4% na 1,3% za grijanje i s 3,2% na 5,6% za hlađenje ako bi se koristio model s pojednostavljenim zoniranjem. Korištenjem jednostavnog zoniranja odstupanja bi se povećala s 41,7% na 42,6% za grijanje i 46,0% na 49,0% za hlađenje.

Rezultati provedenih analiza pokazuju da zoniranje zgrade, odnosno podjela volumena zgrade na toplinske zone može biti od velikog značaja za točnost izračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje. To je osobito važno ako se unutar zgrade nalaze prostorije različitih toplinskih režima, bilo da se radi o različitim postavnim temperaturama ili o postojanju negijanih/nehlađenih prostorija. Analize su također pokazale da je u ukupnu toplinsku masu pojedine zone potrebno uključiti i volumen unutarnjih zidova jer on može znatno utjecati na akumulaciju topline i prijelazne pojave u zgradi (primjerice, tijekom jutarnjeg zagrijavanja). Rezultati provedenih analiza posebno su značajni prilikom određivanja energije za grijanje i hlađenje većeg broja zgrada, ali i cijelih naselja s obzirom da se zgrade u takvim analizama uglavnom promatraju kao jedna toplinska zona. Međutim, ovakva pojednostavljena mogu dovesti do značajne greške u izračunu, pri čemu su na dvije analizirane zgrade ova odstupanja iznosila do 37,2% za grijanje i do 40,0% za hlađenje.

POPIS LITERATURE

- [1] HRN EN ISO 52016-1 *Energijska svojstva zgrada - Osjetna i latentna toplinska opterećenja i unutarnje temperature - 1.dio: Opći postupci proračuna*, 2017.
- [2] *Tehnički propis o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*, (NN110/08)
- [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, 2017.
- [4] Boras I., Galović A., Halasz B. : *Toplinske tablice*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2015.