

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Gorjup, A., 2015. Študija vpliva zasnove stavbnega ovoja na kvaliteto bivalnega okolja in rabo energije. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Dovjak, M.): 128 str.

Datum arhiviranja: 24-07-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Gorjup, A., 2015. Študija vpliva zasnove stavbnega ovoja na kvaliteto bivalnega okolja in rabo energije. Master Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Dovjak, M.): 128 p.

Archiving Date: 24-07-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE STOPNJE
STAVBARSTVO**

Kandidat:

ALEKSANDER GORJUP

**ŠTUDIJA VPLIVA ZASNOVE STAVBNEGA OVOJA NA
KVALITETO BIVALNEGA OKOLJA IN RABO
ENERGIJE**

Magistrsko delo št.: 6/II.ST

**STUDY OF BUILDING ENVELOPE INFLUENCE ON
THE QUALITY OF INDOOR ENVIRONMENT AND
ENERGY USE**

Graduation – Master Thesis No.: 6/II.ST

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentorica:

doc. dr. Mateja Dovjak

Ljubljana, 24. 06. 2015

Gorjup, A. 2015. Študija vpliva zasnove stavbnega ovoja na kvaliteto bivalnega okolja in rabo energije. Mag. d. – B. Ljubljana, UL FGG, Odd. za gradbeništvo, Stavbarstvo.

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVE

Podpisani Aleksander Gorjup izjavljam da sem avtor magistrskega dela z naslovom *Študija vpliva zasnove stavbnega ovoja na kvaliteto bivalnega okolja in rabo energije*.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Bukovica, 15.6.2015

Aleksander Gorjup

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

- UDK:** 699.86: 536.491(043.2)
- Avtor:** Aleksander Gorjup
- Mentor:** doc. dr. Mitja Košir
- Somentorica:** doc. dr. Mateja Dovjak
- Naslov:** Študija vpliva zasnove stavbnega ovoja na kvaliteto bivalnega okolja in rabo energije
- Tip dokumenta:** Magistrsko delo – B.
- Obseg in oprema:** 128 str., 61 pregl., 105 graf., 23 sl.,
- Ključne besede:** bivalno udobje, energetska učinkovitost, stavbni ovoj, PURES 2010

Izveček:

Namen magistrskega dela je ugotoviti, na specifičnem primeru sodobne enostanovanjske stavbe, kako zasnova stavbnega ovoja vpliva na bivalno udobje in rabo energije v stavbah. Primerjali smo dve masivni in dve lahki zasnovi stavbnega ovoja. Masivna stavbna ovoja imata nosilno konstrukcijo iz opeke in armiranega betona in sta z zunanje strani toplotno izolirana. Lahka stavbna ovoja sta primera stavbnega ovoja lahke lesene montažne hiše. Vsi obravnavani stavbni ovoji so v Sloveniji pogosto v uporabi. Magistrsko delo je razdeljeno na več korakov. V prvem koraku smo določili predpisane vrednosti parametrov toplotnega udobja. Nato smo s programskim orodjem EnergyPlus izdelali štiri računske modele in jih postavili na lokacijo Udine. Preverili smo odziv računskih modelov in izvedli dodatne ukrepe za izboljšanje bivalnega udobja. Računski model stavbe smo prestavil na lokacijo Ljubljana. Tudi za to lokacijo smo izdelali primerjavo računskih modelov in izvedli dodatne ukrepe za izboljšanje bivalnega udobja. Ugotovili smo, da se stavbe, ki imajo lahek stavbni ovoj bistveno bolj pregrevajo, so temperaturno manj stabilne in imajo slabše bivalne razmere kot stavbe z masivnim stavbnim ovojem. Na koncu smo za obe lokaciji izdelali še izračun rabe energije s programoma EnergyPlus in KI Energija 2014. Primerjava rezultatov kaže, da je skupna raba energije za ogrevanje in hlajenje pri vseh računskih modelih podobna. Razlika v rabi energije med najučinkovitejšim in najmanj učinkovitim modelom je največ 14 %. Rezultati izračunov, izdelanih s programoma EnergyPlus in KI Energija 2014, niso enaki. Primerjava rezultatov pokaže, da so odstopanja na lokaciji Udine do 20 %, na lokaciji Ljubljana pa do 7 %.

BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 699.86: 536.491(043.2)

Author: Aleksander Gorjup

Supervisor: Assist. Prof. Mitja Košir, Ph. D.

Co-supervisor: Assist. Prof. Mateja Dovjak, Ph. D.

Title: Study of building envelope influence on the quality of indoor environmen and energy use

Document type: Master Thesis

Notes: 128 p., 61 tab., 105 graph, 23 fig.

Key words: living comfort, energy efficiency, building envelope, PURES 2010

Abstract:

This master's thesis aims to determine how – based on the example of a modern single-family house – the design of a building's envelope influences the comfort of the inhabitants and the consumption of energy inside buildings. We compared two massive and two light designs of building envelopes. The massive building envelopes have a load-bearing structure made of bricks and reinforced concrete and are thermally insulated on the outer side. The light building envelopes are examples of envelopes used in wooden prefabricated buildings. All of the above mentioned building envelopes are regularly used in Slovenia. This master's thesis is divided into several stages. Firstly, we calculated the prescribed parameter values of thermal comfort. Then we made four calculation models with the help of the EnergyPlus and placed them at the location Udine. We checked the response of the calculation models and took further steps towards improving the level of comfort. Next, the calculation model was moved to a location in Ljubljana. There we repeated the processes from the previous location – we checked the response of the calculation models and took further steps to improve the level of comfort. The study showed that the buildings with light building envelopes are more likely to overheat, have a less stable temperature, and create a less pleasant living environment than buildings with massive building envelopes. In the end we calculated the energy consumption for both locations with programmes EnergyPlus and KI Energija 2014. The comparison shows that the total energy consumption for heating and cooling is similar in all calculation models. The difference in energy consumption between the most efficient and the less efficient model is not higher than 14%. The results gathered with EnergyPlus and KI Energija 2014 are not the same. The comparison shows a deviation of 20% for the location Udine and 7% for the location in Ljubljana.

ZAHVALA

Zahvala ženi Aniti in družini za vso podporo, potrpežljivost in spodbudo v času študija.

Za strokovno pomoč in nasvete se zahvaljujem doc. dr. Mitji Koširju in doc. dr. Mateji Dovjak, lektorici Sonji Seljak Komel za nasvete in pravopisne popravke. Zahvala tudi vsem, ki so mi na kakršen koli način omogočili študij.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM.....	III
BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA.....	V
KAZALO VSEBINE.....	VI
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	XI
KAZALO GRAFIKONOV	XII
1.0 UVOD.....	1
1.2 Cilji	2
1.3 Hipoteze	2
2.0 OPIS OBRAVNAVANE STAVBE.....	3
2.1 Analiza klimatskih značilnosti lokacije in nabor vhodnih podatkov	3
2.2 Arhitekturna zasnova stavbe in lastnosti konstrukcijskih sklopov	5
3.0. ZAKONSKE ZAHTEVE NA PODROČJU RABE ENERGIJE IN KVALITETE BIVALNEGA OKOLJA.....	8
3.1. Raba energije	8
3.2 Kvaliteta bivalnega okolja	10
4.0 ZASNOVA SIMULACIJSKEGA MODELA.....	11
4.1 Simulacijsko orodje: EnergyPlus in OpenStudio	11
4.2 Uporabljeni klimatski podatki: Udine	16
4.3 Gradbeno-fizikalne lastnosti izhodiščne stavbe (model OPEKA) – netransparentni elementi stavbnega ovoja.....	21
4.4 Gradbeno-fizikalne lastnosti izhodiščne stavbe – transparentni del ovoja stavbe.	24
4.5 Notranji viri in vgrajeni sistemi	28
4.6 Zasnova simulacijskega modela	28
4.7 Variante stavbnih ovojev.....	34

5.0 REZULTATI.....	42
5.1 Rezultati izračunov parametrov bivalnega okolja v stavbah	42
5.2 Rezultati simulacije na lokaciji Udine	45
5.2.1 Bivalno udobje v nekondicionirani stavbi	45
5.2.2 Bivalno udobje v ogrevani stavbi	52
5.3 Ukrepi za izboljšanje bivalnih razmer v stavbi.....	67
5.4 Nočno prezračevanje.....	68
5.5 Nočno prezračevanje in senčenje zastekljenih površin	74
5.6 Prestavitev na lokacijo Ljubljana.....	87
5.7 Nočno prezračevanje.....	91
5.8 Senčenje zastekljenih površin	100
5.9 Raba energije.....	106
5.10 Komentar rezultatov	116
6.0 ZAKLJUČEK.....	121
VIRI.....	124

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Povprečne in ekstremne temperature zraka [°C] po mesecih na izbrani lokaciji	3
Preglednica 2: Dnevne vsote energije sončnega obsevanja [Wh/m ² dan] in skupna energija sončnega obsevanja [kWh/m ² a]. Referenčno obdobje 1971–2000	4
Preglednica 3: Povprečna relativna vlažnost zraka v [%] po mesecih v letu v referenčnem obdobju 1971–2000.....	4
Preglednica 4: Osnovni podatki o stavbi.....	5
Preglednica 5: Pogoji, ki morajo biti izpolnjeni v PURES 2010, da je dosežena energetska učinkovitost stavbe [3]	8
Preglednica 6: Največje dopustne toplotne prehodnosti [W/(m ² K)] gradbenih elementov po TSG4 [7].....	8
Preglednica 7: Model OPEKA. Sestava in lastnosti zunanje stene	22
Preglednica 8: Model OPEKA. Sestava in lastnosti ravnih streh	22
Preglednica 9: Model OPEKA. Sestava in lastnosti stropa proti neogrevanemu podstrešju ..	22
Preglednica 10: Model OPEKA. Sestava in lastnosti stropa toplotno izolirane poševne strehe	23
Preglednica 11: Model OPEKA. Sestava in lastnosti tal na terenu.....	23
Preglednica 12: Model OPEKA. Sestava in lastnosti medetažne konstrukcije	23
Preglednica 13: Model OPEKA. Sestava lesene strehe brez toplotne izolacije	24
Preglednica 14: Model OPEKA. Sestava in lastnosti notranje stene	24
Preglednica 15: Razlaga pojmov pri zasteklitvi	25
Preglednica 16: Okenske in vratne površine, združene po fasadah.....	26
Preglednica 17: Sistem tesnjenja oken.....	29
Preglednica 18: Geometrijske lastnosti toplotnih con.....	33
Preglednica 19: Model BETON. Sestava in lastnosti obodne stene	35
Preglednica 20: Model BETON. Sestava in lastnosti notranje stene	35
Preglednica 21: Model CLASIC. Sestava in lastnosti zunanje stene.....	36
Preglednica 22: Model CLASIC. Sestava in lastnosti ravnih streh	37
Preglednica 23: Model CLASIC. Sestava in lastnosti stropa proti neogrevanemu podstrešju	37
Preglednica 24: Model CLASIC. Sestava in lastnosti stropa proti poševni strehi	37
Preglednica 25: Model CLASIC. Sestava in lastnosti medetažne konstrukcije.....	38
Preglednica 26: Model CLASIC. Sestava in lastnosti notranje stene	38
Preglednica 27: Model BIOPASIV. Sestava in lastnosti zunanje stene	39
Preglednica 28: Model BIOPASIV. Sestava in lastnosti ravnih streh.....	39

Preglednica 29: Model BIOPASIV. Sestava in lastnosti stropa proti neogrevanemu podstrešju.....	40
Preglednica 30: Model BIOPASIV. Sestava in lastnosti stropa proti poševni strehi.....	40
Preglednica 31: Model BIOPASIV. Sestava in lastnosti medetažne konstrukcije	41
Preglednica 32: Model BIOPASIV. Sestava in lastnosti notranjih sten.....	41
Preglednica 33: Kategorije toplotnega okolja po standardu ISO 7730:2005(E)	42
Preglednica 34: PMV in PPD–indeks v zimskem obdobju pri 1,0 clo in metabolizmu 70 W/m ² v odvisnosti od občutene temperature in relativne vlažnosti zraka.....	43
Preglednica 35: PMV in PPD–indeks pri 0,7 clo in metabolizmu 70 W/m ² v odvisnosti od občutene temperature in relativne vlažnosti zraka	44
Preglednica 36: PMV in PPD–indeks pri 0,5 clo in metabolizmu 70 W/m ² v odvisnosti od občutene temperature in relativne vlažnosti zraka	45
Preglednica 37: Izračunani parametri bivalnega udobja v toplotni coni 1, model BETON	48
Preglednica 38: Izračunani parametri bivalnega udobja v toplotni coni 3, model CLASIC....	48
Preglednica 39: Bivalne razmere v toplotnih conah na dan 10. 5.....	49
Preglednica 40: Obdobje, ko je treba toplotne cone hladiti. Rdeča vertikalna črta predstavlja začetek in konec kurilne sezone.	63
Preglednica 41: Maksimalna izmenjava zraka v toplotnih conah [h ⁻¹].....	68
Preglednica 42: Najvišje občutene temperature po toplotnih conah na dan 11. 7. brez nočnega prezračevanja	70
Preglednica 43: Najvišje občutene temperature [°C] po conah na dan 11. 7. z nočnim prezračevanjem.....	70
Preglednica 44: Razlike med občutenimi temperaturami [°C] po conah na dan 11. 7. brez nočnega prezračevanja in z nočnim prezračevanjem	70
Preglednica 45: Najvišje občutene temperature [°C] po conah na dan 5. 8. brez nočnega prezračevanja in brez senčenja	87
Preglednica 46: Razlika med absolutno najvišjimi občutenimi temperaturami [°C] na lokacijah Udine in Ljubljana brez nočnega prezračevanja.....	90
Preglednica 47: Maksimalna izmenjava zraka po toplotnih conah [h ⁻¹]	91
Preglednica 48: Najvišje občutene temperature [°C] po conah na dan 8. 5. z nočnim prezračevanjem.....	92
Preglednica 49: Razlike med občutenimi temperaturami [°C] po conah na dan 11. 7. Brez nočnega prezračevanja in z nočnim prezračevanjem	92
Preglednica 50: Potrebna toplota $Q(NH)$ [kWh/m ² a] za stavbo na lokaciji Udine	107
Preglednica 51: Primerjava rabe energije $Q(NH)$ v [%] za stavbo na lokaciji Udine	108
Preglednica 52: Potrebna toplota $Q(NH)$ [kWh/m ² a] za stavbo na lokaciji Ljubljana.....	108
Preglednica 53: Primerjava rabe energije $Q(NH)$ [%] za stavbo na lokaciji Ljubljana	108

Preglednica 54: Potrebna toplota $Q(NC)$ [kWh/m ² a] za hlajenje stavbe na lokaciji Udine ..	109
Preglednica 55: Potrebna toplota $Q(NC)$ [kWh] za hlajenje stavbe na lokaciji Ljubljana.....	110
Preglednica 56: Potrebna toplota [kWh] za ogrevanje in hlajenje stavbe na lokaciji Udine. Zastekljene površine niso senčene.....	111
Preglednica 57: Potrebna toplota [kWh] za ogrevanje in hlajenje stavbe na lokaciji Udine. Zastekljene površine so senčene.	112
Preglednica 58: Potrebna toplota [kWh] za ogrevanje in hlajenje stavbe na lokaciji Ljubljana. Zastekljene površine niso senčene.....	114
Preglednica 59: Potrebna toplota [kWh] za ogrevanje in hlajenje stavbe na lokaciji Ljubljana. Zastekljene površine so senčene	115
Preglednica 60: Največja potrebna moč (Peak Demand) [kW].....	116
Preglednica 61: Izpolnjevanje pogojev po PURES 2010.....	118

KAZALO SLIK

Slika 1 : Lokacija vremenska postaje. Referenčno obdobje: 1961–1990: vir [11].....	3
Slika 2: Stavba na lokaciji Volčja Draga.....	5
Slika 3: Tloris pritličja. Vir: projektna dokumentacija [14]	6
Slika 4: Tloris nadstropja. Vir: projektna dokumentacija [14].....	7
Slika 5: Prerez A-A. Vir: projektna dokumentacija [14].....	7
Slika 6: Shema delovanja programa EnergyPlus: vir [22]. str. 1.....	11
Slika 7: Simultana procesna shema (ang. simultaneous solution scheme)	12
Slika 8: Primer elementa z dvema vozliščema. Vir [22], str. 37	14
Slika 9: Prikaz prehajanja svetlobe skozi transparentno in difuzno steklo. Vir: EnergyPlus Documentation, Input/Output Reference [24]. str. 96	16
Slika 10: Izračun lastnosti zasteklitve s programom Window6 [29]	25
Slika 11: Prikaz geometrije simulacijskega modela stavbe	30
Slika 12: Model vplivov na ovoju in notranjosti stavbe	31
Slika 13: Toplotne cone, pogled z južne strani stavbe	32
Slika 14: Toplotne cone, pogled z vzhodne strani stavbe	32
Slika 15: Pogled okna za vnos konstrukcije v model – opečni zidovi in masivne plošče	34
Slika 16: Občutene temperature [°C] na najhladnejši dan, 10. januar, v TC1, TC2, TC3 in TC7	47
Slika 17: Občutene temperature [°C] na najhladnejši ob koncu kurilne sezone v TC1, TC2, TC3 in TC7	50
Slika 18: Občutene temperature [°C] v TC1, TC2, TC3 in TC7 na dan 10. 7.....	51
Slika 19: Prikaz prehajanja svetlobe skozi senčilo: vir EnergyPlus InputOutput Reference str. 126.....	75
Slika 20: Model senčila: razdalja med nitmi in premer niti: vir EnergyPlus InputOutput Reference str. 128.....	75
Slika 21: Toplotna cona, v kateri smo določil vrednosti osvetlitve.	76
Slika 22: Vrednost dnevne osvetlitve [lx] na dan 4. 7. ob 10:00.	77
Slika 23: Vrednost dnevne osvetljenosti v lx na dan 5. 8 ob 12:00.....	100

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Temperatura zunanjega, zraka merjena s suhim termometrom [°C], za lokacijo Udine.....	17
Grafikon 2: Direktno in difuzno sončno sevanje na lokaciji Udine [W]. Na horizontalni osi so prikazani meseci v letu, na vertikalni osi pa Wh/m ² uro.	18
Grafikon 3: Oblačnost po mesecih, v [%] pokritosti neba z oblaki.	19
Grafikon 4: Hitrost vetra po mesecih [m/s].	20
Grafikon 5: Temperatura suhega termometra in relativna vlažnost [°C, %].	21
Grafikon 6: : Diagram zunanjih temperatur zraka in občutenih temperatur [°C] v TC3 model BIOPASIV v obdobju med 19. 6. in 22. 7.	52
Grafikon 7: Gibanje občutenih temperatur [°C] v TC1, model OPEKA	53
Grafikon 8: Gibanje občutenih temperatur [°C] v TC1, model BETON	53
Grafikon 9: Gibanje občutenih temperatur [°C] v TC1, model CLASIC.....	54
Grafikon 10: Gibanje občutenih temperatur [°C] v TC1, model BIOPASIV	54
Grafikon 11: Temperature [°C] v TC1 in zunanje temperature suhega termometra pri modelu OPEKA.....	55
Grafikon 12: Temperature [°C] v TC1 in zunanje temperature suhega termometra pri modelu CLASIC	55
Grafikon 13: Gibanje občutene temperature [°C] v TC2, model OPEKA	56
Grafikon 14: Gibanje občutene temperature [°C] v TC2, model BETON	56
Grafikon 15: Gibanje občutene temperature [°C] v TC2, model CLASIC	57
Grafikon 16: Gibanje občutene temperature [°C] v TC2, model BIOPASIV	57
Grafikon 17: Temperature v TC2 [°C] in zunanje temperature suhega termometra pri modelu OPEKA.....	58
Grafikon 18: Temperature v TC2 [°C] in zunanje temperature suhega termometra pri modelu CLASIC	58
Grafikon 19: Gibanje občutene temperature [°C] v TC3, model OPEKA	59
Grafikon 20: Gibanje občutene temperature [°C] v TC3 model BETON	59
Grafikon 21: Gibanje občutene temperature [°C] v TC3, model CLASIC	59
Grafikon 22: Gibanje občutene temperature [°C] v TC 3, model BIOPASIV	59
Grafikon 23: Temperature v TC3 [°C] in zunanje temperature suhega termometra pri modelu OPEKA.....	60
Grafikon 24: Temperature v TC3 [°C] in zunanje temperature suhega termometra pri modelu CLASIC	60
Grafikon 25: Gibanje občutene temperature [°C] v TC7, model OPEKA	61
Grafikon 26: Gibanje občutene temperature [°C] v TC7, model BETON	61

Grafikon 27: Gibanje občutene temperature [°C] v TC7, model CLASIC	61
Grafikon 28: Gibanje občutene temperature [°C] v TC7, model BIOPASIV	62
Grafikon 29: Maksimalne občutene temperature [°C] po toplotnih conah.....	62
Grafikon 30: Relativna vlažnost zunanjega zraka [%] na obravnavani lokaciji v obdobju od 1.1. do 31.12.	64
Grafikon 31: Relativna vlažnost zraka [%] v TC2 model OPEKA v obdobju 1.1. do 31.12. ...	65
Grafikon 32: Relativna vlažnost zraka [%] v TC2 model BETON v obdobju 1.1. do 31.12. ...	65
Grafikon 33: Relativna vlažnost zraka [%] v TC2 model CLASIC v obdobju 1.1. do 31.12. ...	65
Grafikon 34: Relativna vlažnost zraka [%] v TC2 model BIOPASIV v obdobju 1.1. do 31.12.	66
Grafikon 35: Relativna vlažnost zraka [%] v TC3 model BIOPASIV v obdobju 1.1. do 31.12.	66
Grafikon 36: Relativna vlažnost zraka [%] v TC2 model BETON v obdobju 1.1. do 31.12. ...	66
Grafikon 37: Relativna vlažnost zraka [%] v TC3 model CLASIC v obdobju 1.1. do 31.12. ...	67
Grafikon 38: Relativna vlažnost zraka [%] v TC3 model BIOPASIV v obdobju 1.1. do 31.12.	67
Grafikon 39: Intenzivnost mehanskega prezračevanja v obdobju od 1.1. do 31.12., model OPEKA TC3	69
Grafikon 40: Delovanje regulatorja prezračevanja, model OPEKA TC3, v obdobju od 26.6 do 1.7.	69
Grafikon 41: Najvišje občutene temperature [°C] po toplotnih conah na dan 11. 7. z nočnim prezračevanjem.....	71
Grafikon 42: Gibanje občutene temperature [°C] v TC1 za modele OPEKA, BETON, CLASIC in BIOPASIV.....	71
Grafikon 43: Gibanje občutene temperature [°C] v TC3 za modele OPEKA, BETON, CLASIC in BIOPASIV.....	72
Grafikon 44: Občutena temperatura [°C] v TC3 model BETON, z nočnim prezračevanjem ..	72
Grafikon 45: Občutena temperatura [°C] v TC1 model CLASIC z nočnim prezračevanjem...	73
Grafikon 46: Relativna vlažnost zraka [%] v TC2, model BETON	74
Grafikon 47: Relativna vlažnost zraka [%] v TC2, model CLASIC.....	74
Grafikon 48: Osvetlitev z dnevno svetlobo [lx] na referenčni točki v obdobju od 1. 7 do 15. 7	77
Grafikon 49: Osvetlitev z dnevno svetlobo [lx] na referenčni točki na dan 11. 7.	78
Grafikon 50: TC1 in TC3 z nočnim prezračevanjem in senčenjem. Primerjava med občutenimi temperaturami [°C] med modeloma OPEKA in BETON v obdobju od 1. 7 do 15. 7.	79

Grafikon 51: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu BETON v TC1 z nočnim prezračevanjem in senčenjem	80
Grafikon 52: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu BETON v TC2 z nočnim prezračevanjem in senčenjem	80
Grafikon 53: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu BETON v TC3 z nočnim prezračevanjem in senčenjem	80
Grafikon 54: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu BETON v TC7 z nočnim prezračevanjem in senčenjem	80
Grafikon 55: Model BETON. Primerjava občutene temperature z nočnim prezračevanjem [°C] v TC1 brez senčenja in s senčenjem.	81
Grafikon 56: Model BETON. Primerjava občutene temperature z nočnim prezračevanjem [°C] v TC3 brez senčenja in s senčenjem.	81
Grafikon 57: Model BETON. Primerjava občutene temperature [°C] v TC1, TC2, TC3 in TC7 s senčenjem	82
Grafikon 58: Senčenje z nočnim prezračevanjem. Primerjava občutenih temperatur [°C] med modeloma BIOPASIV TC1 in TC3 in CLASIC TC1 in TC3	83
Grafikon 59: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu CLASIC v TC1 z nočnim prezračevanjem in senčenjem	84
Grafikon 60: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu CLASIC v TC2 z nočnim prezračevanjem in senčenjem	84
Grafikon 61: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu CLASIC v TC3 z nočnim prezračevanjem in senčenjem	84
Grafikon 62: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu CLASIC v TC7 z nočnim prezračevanjem in senčenjem	84
Grafikon 63 Model CLASIC: Primerjava občutene temperature z nočnim prezračevanjem [°C] v TC1 brez senčenja in s senčenjem	85
Grafikon 64: Model CLASIC: Primerjava občutene temperature z nočnim prezračevanjem [°C] v TC3 brez senčenja in s senčenjem	86
Grafikon 65: Model CLASIC: Primerjava občutene temperature [°C] v TC1, TC2, TC3 in TC7 z nočnim prezračevanjem in senčenjem	86
Grafikon 66: Model BETON: Občutene temperature [°C] v TC1 na lokaciji Ljubljana.....	87
Grafikon 67: Model BETON: Občutene temperature [°C] v TC2 na lokaciji Ljubljana.....	88
Grafikon 68: Model BETON: Občutene temperature [°C] v TC3 na lokaciji Ljubljana.....	88
Grafikon 69: Model BETON: Občutene temperature [°C] v TC7 na lokaciji Ljubljana.....	88
Grafikon 70: Model CLASIC: Občutene temperature v [°C] TC1 na lokaciji Ljubljana	89
Grafikon 71: Model CLASIC: Občutene temperature v [°C] TC2 na lokaciji Ljubljana	89
Grafikon 72: Model CLASIC: Občutene temperature v [°C] TC3 na lokaciji Ljubljana	90

Grafikon 73: Model CLASIC: Občutene temperature v [°C] TC7 na lokaciji Ljubljana	90
Grafikon 74: Delovanje regulatorja prezračevanja za TC3 model OPEKA, v obdobju od 1. 1. do 31. 12.	91
Grafikon 75: Delovnje regulatorja prezračevanja model OPEKA v TC3 v obdobju od 29. 7. do 3. 8.	92
Grafikon 76: Najvišje občutene temperature [°C] po conah na dan 5. 8. z nočnim prezračevanjem.....	93
Grafikon 77: Nočno prezračevanje. Gibanje občutene temperature [°C] v TC1 za modele OPEKA, BETON, CLASIC IN BIOPASIV.	94
Grafikon 78: Nočno prezračevanje. Gibanje občutene temperature [°C] v TC3 za modele OPEKA, BETON, CLASIC IN BIOPASIV.	95
Grafikon 79: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu BETON v TC1 z nočnim prezračevanjem.	96
Grafikon 80: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu CLASIC v TC1 z nočnim prezračevanjem.	96
Grafikon 81: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu BETON v TC2 z nočnim prezračevanjem.	96
Grafikon 82: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu CLASIC v TC2 z nočnim prezračevanjem.	97
Grafikon 83: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu BETON v TC3 z nočnim prezračevanjem.	97
Grafikon 84: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu CLASIC v TC3 z nočnim prezračevanjem.	97
Grafikon 85: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu BETON v TC7 z nočnim prezračevanjem.	98
Grafikon 86: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu CLASIC v TC7 z nočnim prezračevanjem.	98
Grafikon 87: Relativna vlažnost modela [%] BETON v TC2, vremenski podatki Ljubljana. ...	99
Grafikon 88: Relativna vlažnost modela [%] CLASIC v TC2, vremenski podatki Ljubljana. ...	99
Grafikon 89: Osvetlitev z dnevno svetlobo [lx] na referenčni točki od 1. 8. so 10. 8.	100
Grafikon 90: Osvetlitev z dnevno svetlobo [lx] na referenčni točki na dan 5. 8.	101
Grafikon 91: Občutene temperature [°C] model BETON v TC1, nočno prezračevanje in senčenje.....	101
Grafikon 92: Občutene temperature [°C] model CLASIC v TC1, nočno prezračevanje in senčenje.....	102
Grafikon 93: Občutene temperature [°C] model BETON v TC2, nočno prezračevanje in senčenje.....	102

Grafikon 94: Občutene temperature [°C] model CLASIC v TC2, nočno prezračevanje in senčenje.....	102
Grafikon 95: Občutene temperature [°C] model BETON v TC3, nočno prezračevanje in senčenje.....	102
Grafikon 96: Občutene temperature [°C] model CLASIC v TC3, nočno prezračevanje in senčenje.....	103
Grafikon 97: Občutene temperature [°C] modela BETON v TC7, nočno prezračevanje in senčenje.....	103
Grafikon 98: Občutene temperature [°C] modela CLASIC v TC7, nočno prezračevanje in senčenje.....	103
Grafikon 99: Primerjava občutenih temperatur [°C] pri modelu BETON v TC1 z nočnim prezračevanjem ter z nočnim prezračevanjem in senčenjem.....	104
Grafikon 100: Primerjava občutenih temperatur [°C] pri modelu BETON v TC3 z nočnim prezračevanjem ter z nočnim prezračevanjem in senčenjem.....	105
Grafikon 101: Primerjava občutenih temperatur [°C], pri modelu CLASIC v TC1 z nočnim prezračevanjem ter z nočnim prezračevanjem in senčenjem.....	105
Grafikon 102: Primerjava občutenih temperatur [°C] pri modelu CLASIC v TC3 z nočnim prezračevanjem ter z nočnim prezračevanjem in senčenjem.....	106
Grafikon 103: Toplotni tok ki teče v TC1 skozi zastekljene površine	113
Grafikon 104: Raba energije $Q(NC)$ in $Q(NH)$. Primerjava med EnergyPlus in KI Energija 2014 na lokaciji Udine.	119
Grafikon 105: Raba energije $Q(NC)$ in $Q(NH)$. Primerjava med EnergyPlus in KI Energija 2014 na lokaciji Ljubljana.	120

1.0 UVOD

Tradicionalna stavba v Sloveniji je zidana. Zidovi so iz kamna ali opeke, stropovi in streha iz lesa ali armiranega betona. Okna so lesena z dvoslojno zasteklitvijo, ki ji v pogovornem jeziku pravimo termopan, ali pa vezana z dvojno zasteklitvijo. V preteklosti skoraj nobena stavba ni bila toplotno izolirana. Za toplotno izolacije je služila samo masa stavb. Zaradi velike mase stavbnega ovoja in dnevnega cikla nihanja zunanje temperature zraka je toplotni tok, ki teče iz stavbe, manjši, kot bi bil, če bi bila razlika med zunanjo in notranjo temperaturo zraka konstantna. Ta pojav imenujemo kapacitivna toplotna izolacija [1]. Kljub temu so te stavbe v zimskem času energijsko potratne, zato so se z naftno krizo v 70. letih prejšnjega stoletja, ko se je cena energije zvišala, začele pojavljati zahteve po zmanjšanju stroškov, ki so posledica drage energije za ogrevanje stavb. Leta 1980 stopi v veljavo standard z obvezno uporabo JUS.U.J5.600., ki za III. klimatsko cono za zunanje stene predpisuje največjo dovoljeno toplotno prehodnost $U \leq 0,83 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [2]. Z leti so se zahteve po manjšanju toplotne prehodnosti zaostrovale, tako da trenutno veljavni Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010), objavljen v Uradnem listu RS, št. 52/2010 [3], za zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom predpisuje največjo dovoljeno toplotno prehodnost $U \leq 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Zaradi novih tehnologij in težnje po hitrejši gradnji in manjši porabi materiala se je spremenila tudi debelina zunanjih sten. Če je bila pred drugo svetovno vojno običajna zunanja stena iz polne opeke debeline 38 cm, se ta do 80. let prejšnjega stoletja zmanjša na 29 cm debel zid iz votle opeke ali armiranobetonsko steno debeline 20 cm. Spremenile so se tudi zasteklitve. Leta 1979 je prvič predstavljeno Low-e steklo [4], ki se za dvojno zasteklitev množično pojavi pred približno 15 leti. V zadnjem času pa se s predpisi in subvencijami stimulira vgrajevanje troslojnih zasteklitev. Ta zmanjšuje toplotno prehodnost steklenih površin, hkrati pa prepušča vse manj sončnega sevanja [4]. Zaradi estetskih zahtev projektantov in naročnikov stavb in težnje po večjem zajemu sončnega sevanja se povečuje delež steklenih površin v stavbnem ovoju. V zadnjih letih je v Sloveniji zaznati trend uporabe lahke montažne gradnje. Običajna konstrukcija je iz lesenega nosilnega okvirja, toplotnoizolacijskega polnila in zaključnih plošč. V javnosti velja prepričanje, da so stavbe z lahkim konstrukcijskim ovojem energetsko učinkovitejše in za bivanje udobnejše kot stavbe z masivnim ovojem. Na področju rabe energije se zakonodaja v Evropski uniji zaostrojuje saj Direktiva o energetski učinkovitosti stavb EPBD-r 2010/31/ES, ki je stopila v veljavo z 19. maja 2010 [5], predpisuje, da morajo biti do leta 2020 vse stavbe skoraj ničenergijske (sNES). Direktiva je v naši zakonodaji uveljavljena s Energetskim zakonom [6]. Tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za zagotavljanje učinkovite rabe energije v stavbah, določata PURES 2010 [3] in Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije (TSG4) [7]. Dokumenta predpisujeta majhne toplotne prehodnosti

konstrukcijskih sklopov in majhno rabo energije za ogrevanje in hlajenje, zato se na netransparentnem delu ovoja stavbe povečuje debelina toplotne izolacije, okenski okvirji so vedno debelejši, zasteklitev pa je skoraj praviloma troslojna. Bivalno udobje je obravnavano v Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb [8], ki predpisuje parametre za doseganje toplotnega udobja. V magistrskem delu bomo na specifičnem primeru sodobne enostanovanjske stavbe primerjali različne sestave stavbnega ovoja in ugotavljali, kako njihova zasnova vpliva na izbrane parametre bivalnega udobja v stavbi in rabo energije za ogrevanje in hlajenje. Za ta namen smo izdelal 4 variante simulacijskega modela: dve masivni (poimenovani OPEKA in BETON) in dve lahki montažni (poimenovani CLASIC in BIOPASIV).

1.2 Cilji

Glede na namen magistrskega dela smo si zastavil naslednje cilje:

1. Definirati klimatske značilnosti lokacije stavbe in pripraviti nabor vhodnih podatkov.
2. Definirati zakonske zahteve na področju bivalnega ugodja in rabe energije.
3. Izdelati 4 variante simulacijskega modela v programskem orodju EnergyPlus [9].
4. Izračunati izbrane parametre bivalnega udobja v obravnavanih objektih s programom EnergyPlus [9].
5. Izračunati porabo energije za ogrevanje in hlajenje.
6. Izvesti primerjavo med posameznimi izračunanimi variantami.
7. Na osnovi rezultatov analize definirati predloge ukrepov za izboljšanje. Predvideni ukrepi so: nočno prezračevanje, senčenje in sprememba lokacije stavbe.

1.3 Hipoteze

Z računskimi modeli preizkušamo naslednji temeljni hipotezi:

1. Predvidevamo da bo stavba z masivnim ovojem (OPEKA, BETON) energijsko manj učinkovita kot tista z lahkim montažnim ovojem (CLASIC, BIOPASIV).
2. Predvidevamo da bo bivalno udobje v stavbah z lahkim ovojem in majhno toplotno prehodnostjo stavbnega ovoja boljše kot v stavbah z masivnim ovojem in večjo toplotno prehodnostjo stavbnega ovoja.

2.0 OPIS OBRAVNAVANE STAVBE

2.1 Analiza klimatskih značilnosti lokacije in nabor vhodnih podatkov

Obraavnana stavba je zgrajena v primorskem delu Slovenije, v kraju Volčja Draga. Koordinate stavbe po D48/GK so: GKY 397265, GKX 85427. Podnebje na obravnavani lokaciji po Köppen-Geigerjevi klasifikaciji označujemo s Cwa tipom. To je zmerno toplo deževno podnebje. Za to podnebje Kottek in sod. [21] navajajo, da povprečna temperatura najhladnejšega meseca ni nižja od 3 °C, vsaj en mesec ima povprečno temperaturo nad 10 °C in da sušno obdobje nastopi pozimi. V najbolj sušnem mesecu, v hladni polovici leta, je 10 krat manj padavin kot v najbolj namočenem poletnem mesecu. Poletja so vroča. Srednja temperatura najtoplejšega meseca je nad 22 °C. Stavbi najbližja vremenska postaja je Bilje. Za to postajo so podrobni meteorološki podatki na voljo pri Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO)[10], [11]. Vremenska postaja, lokacija je prikazana na sliki 1, leži le 3,7 km zahodno od obravnavane stavbe.



Slika 1 : Lokacija vremenska postaje. Referenčno obdobje: 1961–1990: vir [11]

Koordinate vremenska postaje so naslednje: zemljepisna širina: 45° 54', zemljepisna dolžina: 13° 38', nadmorska višina 55 m. Temperaturni primanjkljaj znaša 2500 Kdan/a, projektna temperatura -10,0°C, povprečna letna temperatura pa 12,8°C. Podatki o temperaturah po mesecih za obdobje 1961–1990 so prikazani v preglednici 1.

Preglednica 1: Povprečne in ekstremne temperature zraka [°C] po mesecih na izbrani lokaciji

Mesec v letu	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec
Povp. temperatura zraka [°C]	2,7	4,1	7,2	11,0	15,7	19,2	21,4	20,5	16,8	12,3	7,5	3,5
Povp. najvišja dnevna temperatura zraka [°C]	7,3	9,3	12,9	17,2	22,0	25,4	28,2	27,7	24,1	19,0	12,8	8,3
Povp. najnižja dnevna temperatura zraka [°C]	-2,0	-0,6	1,7	5,3	9,3	12,8	14,6	14,1	11,0	6,7	2,6	1,1
*Absolutna najvišja temperatura zraka [°C]	19,0	22,4	26,7	27,5	31,7	33,4	35,6	36,2	34,0	28,2	23,7	17,5
*Absolutna najnižja temperatura zraka [°C]	-15,6	-12,3	-11,2	-4,3	-0,6	3,8	6,2	5,5	-0,3	-4,0	-12,1	-12,4

*obdobje 1963–1990

Na spletni strani ARSO [12] so zbrani tudi podatki o energiji sončnega obsevanja, ki pade dnevno na 1 m² različno orientirane in nagnjene zunanje površine. Podatki so prikazani v preglednici 2. Na obravnavani stavbi največ energije prejme streha. Najbolj je osončena jugozahodna (JZ) streha. Na leto prejme 1304 kWh/m². Pri fasadah je prav tako najbolj osončena JZ fasada, ki na leto prejme 829 kWh/m². Najmanj je osončena severna fasada (S), ki na leto prejme le 315 kWh/m².

Preglednica 2: Dnevne vsote energije sončnega obsevanja [Wh/m²dan] in skupna energija sončnega obsevanja [kWh/m²a]. Referenčno obdobje 1971–2000

Orientacija	Naklon [°]	jan [Wh/m ² dan]	feb [Wh/m ² dan]	mar [Wh/m ² dan]	apr [Wh/m ² dan]	maj [Wh/m ² dan]	jun [Wh/m ² dan]	jul [Wh/m ² dan]	avg [Wh/m ² dan]	sep [Wh/m ² dan]	okt [Wh/m ² dan]	nov [Wh/m ² dan]	dec [Wh/m ² dan]	Letna energija [kWh/m ² a]
S	90	313	475	712	1086	1322	1594	1424	1140	886	657	421	315	315
SV	90	320	509	869	1394	1789	1989	1859	1548	1108	733	440	320	393
SZ	90	351	660	1096	1568	1956	2317	2276	1877	1265	762	443	323	454
JV	90	1142	1686	2061	2319	2534	2484	2584	2573	2271	1752	1161	1021	718
J	90	1722	2488	2612	2456	2344	2262	2369	2593	2669	2260	1472	1397	810
JZ	90	1522	2330	2591	2582	2655	2767	2888	2907	2623	2011	1209	1153	829
Z	90	858	1487	1973	2268	2614	2928	3009	2715	2062	1342	736	632	689
Streha JZ nakl. 15°	15	1359	2357	3363	4337	5328	5803	6004	5217	3930	2553	1388	1120	1304
Streha SV nakl. 15°	15	784	1474	2496	3721	4869	5391	5466	4514	3155	1905	1008	719	1083
Vodor.	0	1118	1999	3087	4273	5392	5926	6055	5132	3750	2366	1274	968	1260

Podatki o povprečni relativni vlažnosti zraka so prav tako pridobljeni s spletne strani ARSO [11] in so prikazani v preglednici 3. Ta je vse leto visoka. Najnižja je marca 67%, najvišja pa oktobra 78%. Povprečna letna vlažnost je 72%.

Preglednica 3: Povprečna relativna vlažnost zraka v [%] po mesecih v letu v referenčnem obdobju 1971–2000.

Relativna vlažnost	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	Povprečna letna
[%]	74	69	67	68	70	72	68	71	77	78	76	76	72

2.2 Arhitekturna zasnova stavbe in lastnosti konstrukcijskih sklopov

Obravnavana stavba je enostanovanjska samostoječa stavba, ki je namenjena bivanju ene družine. Lokacija stavbe je Volčja Draga na Goriškem. Zgrajena je bila leta 2013. Ima pritličje in nadstropje. Svetla etažna višina pritličja znaša od 2,70 do 3,00 m. Izjema je dnevna soba, ki je izvedena kot dvovišinski prostor, pri katerem se v nadstropju pojavlja galerija, strop je v povprečju visok 5,55 m. V stavbi so dnevna soba, jedilnica, kuhinja, 5 spalnic, 2 kopalnici, sanitarije in pomožni prostori (slike 3, 4 in 5). Osnovni podatki so povzeti v preglednici 4. Stavbe ne senčijo drugi objekti, prav tako ni senčenja z okoliškimi drevesi (slika 2). Orientacija stavbe je taka, da je daljša stranica stavbe od smeri sever zasukana za 38° v smeri urnega kazalca.

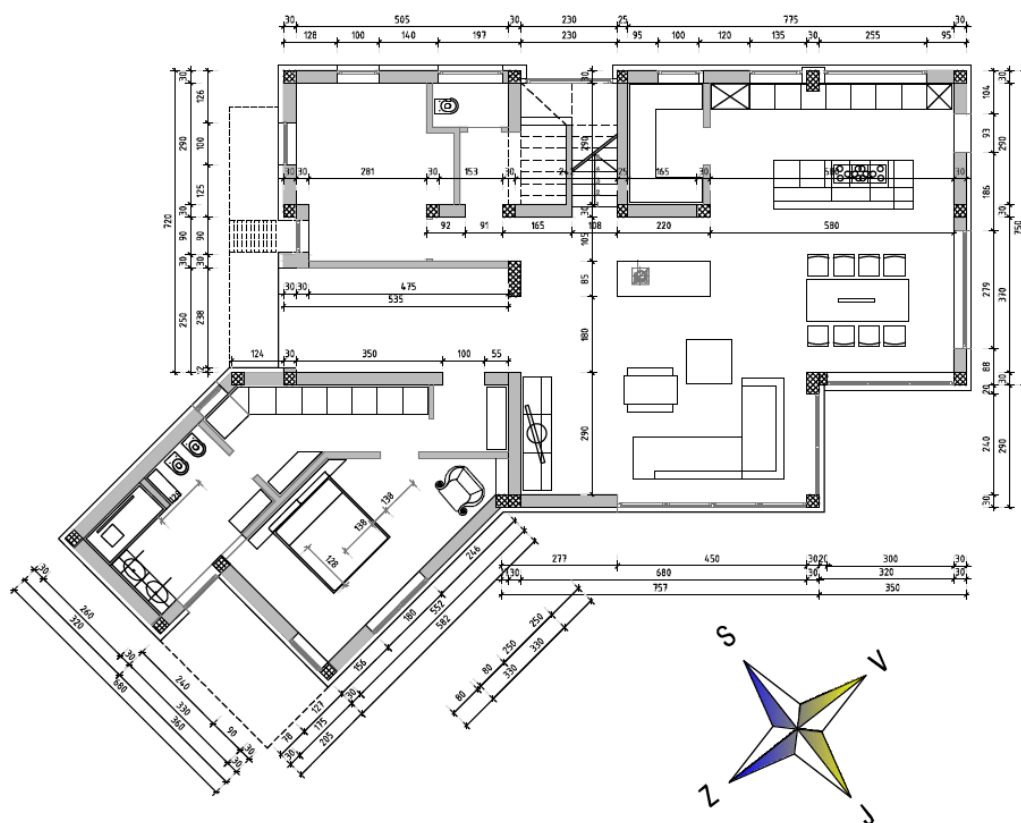


Slika 2: Stavba na lokaciji Volčja Draga

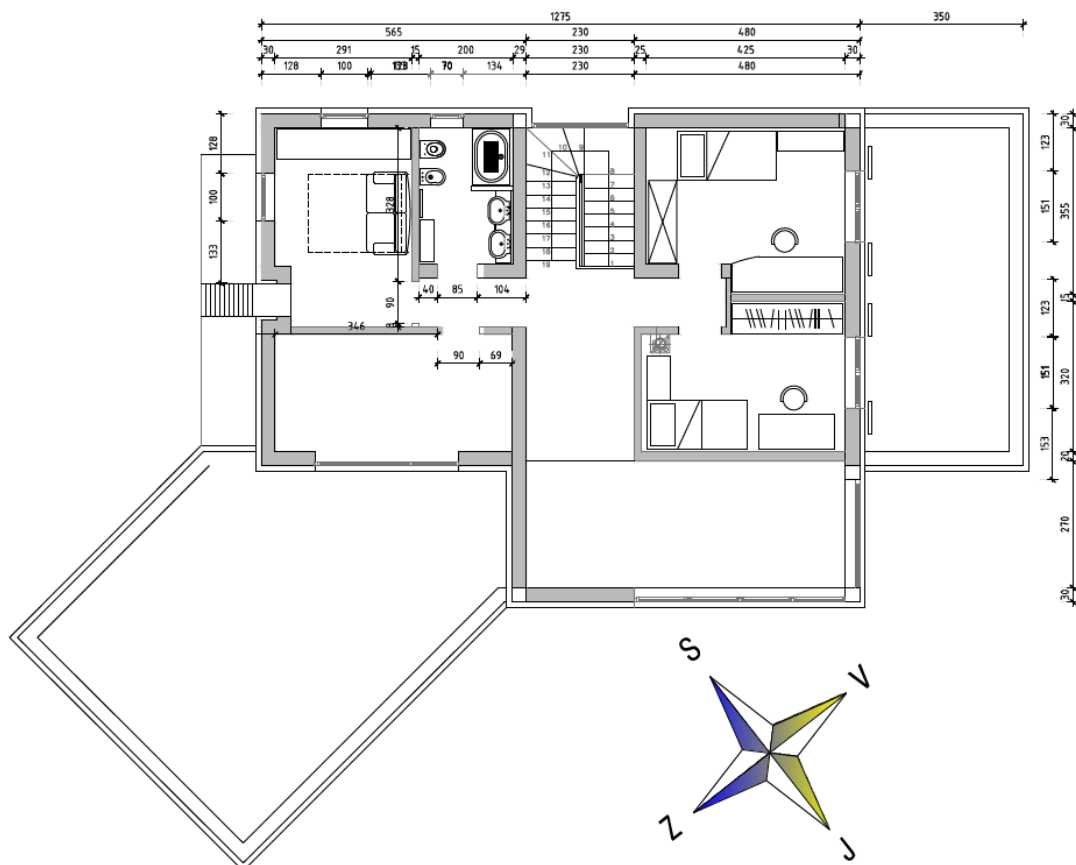
Preglednica 4: Osnovni podatki o stavbi

Lokacija stavbe	Volčja Draga, k. o. 2319 Bukovica
Regija	Goriška
Koordinate stavbe po D48/GK	Y = 397265, X = 85427
Etažnost	P+1
Dolžina sten v stiku s tlemi	68,15 m
Kondicionirana površina stavbe	235,13 m ²
Kondicionirana prostornina stavbe	1065,80 m ³
Površina toplotnega ovoja stavbe	790 m ²
Oblikovni faktor f_0	0,74 m ⁻¹

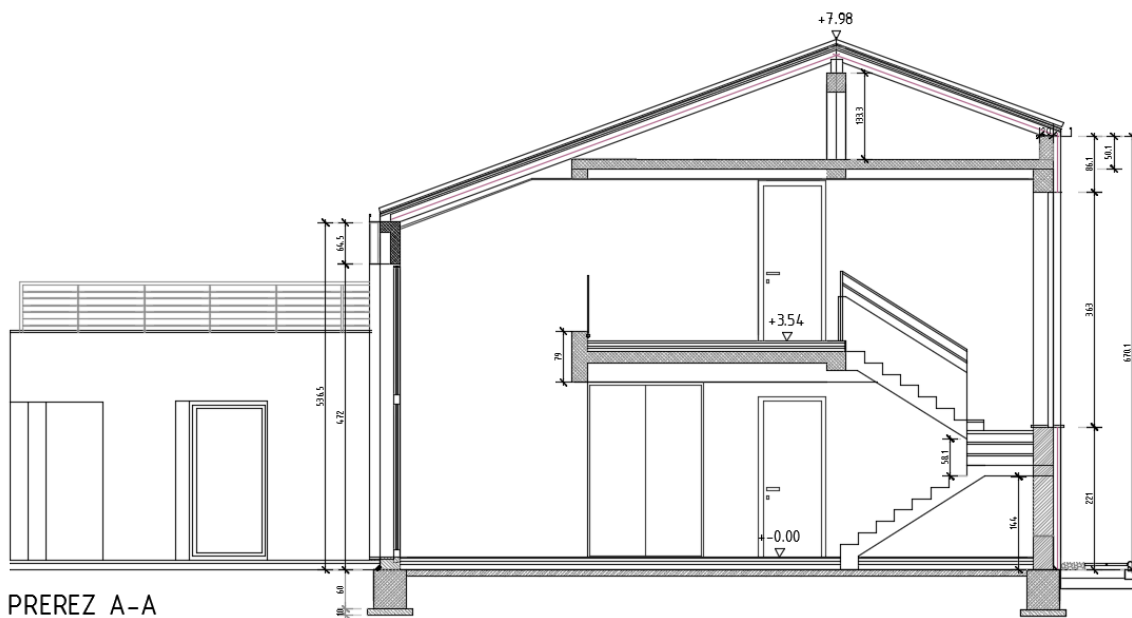
Stavba je temeljena na armiranobetonskih pasovnih temeljih. Nosilne stene so opečne iz modularnih blokov tlačne trdnosti 15 MPa. Medetažne konstrukcije so iz armiranobetonskih plošč debeline 20 cm. Streha je nad višjim delom lesena dvokapnica, krita s korci, nad nižjim delom pa je izdelana kot pohodna ravna streha na armiranobetonski stropni plošči. Fasada je tankoslojna s toplotno izolacijo iz ekspaniranega polistirena debeline 12 cm. Zaključni sloj je v svetlem tonu. Plošča pod hladnim podstrešjem je toplotno izolirana z 20 cm izolacije iz kamene volne, $\lambda = 0,04\text{W}/(\text{mK})$. Ravna streha je klasična, izvedena z bitumenskimi trakovi in toplotno izolacijo iz ekspaniranega polistirena debeline 22 cm. Zaščita hidroizolacije so cementni estrih in keramične ploščice. Tla na terenu so toplotno izolirana z 12 cm ekspaniranega polistirena. Na toplotno izolacijo je položen sistem talnega ogrevanja, ki je zalit s samorazlivnim estrihom debeline 4 cm. Finalna obloga tal so keramične ploščice, razen v spalnici in garderobi, kjer je položen laminat. Stene so ometane, armiranobetonski stropovi pa brušeni in glajeni z disperzijskim kitom. Toplotno prehodnost vseh linijskih toplotnih mostov smo preverili s katalogom toplotnih mostov [13], ki ga je izdal švicarski zvezni urad za energijo OFEN, in je v pri vseh toplotnih mostovih manjša od $0,20\text{W}/(\text{mK})$.



Slika 3: Tloris pritličja. Vir: projektna dokumentacija [14]



Slika 4: Tloris nadstropja. Vir: projektna dokumentacija [14]



Slika 5: Prerez A-A. Vir: projektna dokumentacija [14]

3.0. ZAKONSKE ZAHTEVE NA PODROČJU RABE ENERGIJE IN KVALITETE BIVALNEGA OKOLJA

Področje rabe energije neposredno urejata PURES 2010 in TSG4. Skladnost projekta s PURES 2010 in TSG4 je pogoj za izdajo gradbenega dovoljenja. Področje kvalitete bivalnega okolja neposredno ureja Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Uradni list RS št. 42/2002 [8]. Izvleček iz Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb je objavljen tudi v TSG4.

3.1. Raba energije

PURES 2010 [3], predpisuje pogoje za doseganje energijske učinkovitosti stavbe, predstavljene v preglednici 5:

Preglednica 5: Pogoji, ki morajo biti izpolnjeni v PURES 2010, da je dosežena energetska učinkovitost stavbe [3]

Mejne vrednosti učinkovite rabe energije	Zahtevane vrednosti
Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub $H'T$ skozi površino toplotnega ovoja stavbe	$H'T \leq \frac{T_L}{300} + \frac{0,04}{f_0} + \frac{z}{4} [W/(m^2K)] \quad (1)$
Dovoljena letna poraba toplote za ogrevanje za stanovanjske stavbe $Q(NH)$, preračunana na enoto kondicionirane površine $A(u)$, ne sme presegati	$Q(NH)/A(u) \leq 45 + 60f_0 - 4,4T_L [kW/(m^2a)] \quad (2)$
Dovoljeni letni hlad za hlajenje $Q(NC)$ stanovanjske stavbe, preračunan na enoto hlajene površine stavbe $A(u)$, ne sme presegati	$\frac{Q(NH)}{A(u)} \leq 50 kWh/(m^2a) \quad (3)$

Hkrati ne sme biti presežena nobena od mejnih vrednosti, določenih v tabeli 1 točke 3.1.1 TSG4. V nadaljevanju povzemamo tiste zahteve v TSG4 [7], ki so bistvene za to magistrsko delo.

Preglednica 6: Največje dopustne toplotne prehodnosti $[W/(m^2K)]$ gradbenih elementov po TSG4 [7]

Gradbeni elementi stavb, ki omejujejo ogrevane prostore	Maksimalna toplotna prehodnost elementov zunanje površine stavbe $U_{max} [W/(m^2K)]$
Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom	0,28
Tla na terenu, nad neogrevano prostorom ali garažo in zunanja stena proti terenu	0,35
Strop proti neogrevnem prostoru, strop v sestavi ravnih ali poševnih streh	0,2
Vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi z okvirji iz lesa ali umetnih mas	1,3
Vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi z okvirji iz kovin in vhodna vrata	1,6

Linijski toplotni mostovi morajo biti čim manjši. Če je linijska toplotna prehodnost $\psi_e > 0,2 \text{ W/(mK)}$, je treba popraviti načrtovane detajle. Če to ni mogoče, je treba dokazati, da vodna para na mestih toplotnih mostov ne bo kondenzirala. Za zasteklitev ogrevanih prostorov se lahko uporablja zasteklitev s toplotno prehodnostjo $U_{st} \leq 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Zmanjševanje pregrevanja stavbe je potrebno zagotoviti s pasivnimi ukrepi, kot so primerna arhitekturna zasnova, senčenje in naravno prezračevanje v hladnem delu dneva. Zastekljene površine, ki so večje od $0,50 \text{ m}^2$, razen tistih, ki so obrnjene od severovzhoda prek severa do severozahoda, ali pa so poleti trajno zasenčene, morajo imeti tako zaščito pred sončnim obsevanjem, da je faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja stekla g_{st} in senčila g , manjši od 0,50.

Zaradi obsežnosti izračunov se ustreznost projektov za pridobitev gradbenega dovoljenja dokazuje s pomočjo programov, ki so namenjeni izdelavi elaborata gradbene fizike za področje učinkovite rabe energije v stavbah. V Sloveniji so za ta namen prosto dostopni in v uporabi štiri komercialni programi (KI Energija 2014, Gradbena fizika URSA 4, ArchiMAID [15] in Trim Expert) [16]. Na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani pa se za ta namen uporabljata programa TEDI [17] in TOST [18]. Ti programi temeljijo na uporabi kvazi-dinamične mesečne metode [19] po standardu SIST EN ISO 13790. To pomeni, da je za izračun rabe energije upoštevano stacionarno stanje prehoda toplote skozi konstrukcijo. Potrebna toplota za ogrevanje $Q(NH)$ in hlad za hlajenje stavbe $Q(NC)$ se po standardu SIST EN 13790 določita na podlagi transmisijskih in prezračevalnih izgub, dobitkov sončnega sevanja in dobitkov notranjih virov. Dovoljena letna toplota energije za ogrevanje in hlajenje je omejena s PURES 2010. Na Finskem sta natančnost te metode v hladnih klimatskih razmerah, v članku proučevala Jokisalo J. in Kurnitski J. [20]. Rezultate izračunov po standardu SIST EN ISO 13790 in klimatskih razmerah, kot so na Finskem, sta primerjala z validirano dinamično simulacijo (dinamični izračun). Ugotovila sta, da pri stavbah izračun po standardu SIST EN ISO 13790, odvisno od tipa stavbe in toplotne kapacitete, daje od 46 % višje do 59 % nižje potrebe po toploti v primerjavi z dinamičnim izračunom. Po kalibraciji vhodnih parametrov so se rezultati močno izboljšali. Odstopanja do 29 % so bila samo še pri dobro izoliranih stanovanjskih stavbah. Pri poslovnih stavbah pa je bila ne glede na vrsto vhodnih parametrov potreba po toploti za ogrevanje vedno močno podcenjena.

Na podlagi podatkov o rabi energije za ogrevanje so stavbe tudi razvrščene v razrede. Rezultati, ki jih dobimo, povedo veliko o učinkovitosti rabe energije v stavbi, o kvaliteti bivalnega okolja pa lahko sklepamo le posredno, na podlagi nizkih vrednosti potrebne toplote za ogrevanje $Q(NH)$ in hladu za hlajenje stavbe $Q(NC)$.

3.2 Kvaliteta bivalnega okolja

TSG4 [7] o zahtevah notranjega toplotnega okolja v dodatku 2 vsebuje izveček iz Pravilnika o klimatizaciji in prezračevanju stavb (Uradni list RS, št. 42/02 in 105/02). Predpisane so naslednje zahteve:

- Če obleka in aktivnost nista opredeljeni, znašata vrednosti za obleko v času brez ogrevanja v povprečju 0,50 clo (0,078 m²K/W), v ogrevalnem obdobju pa 1,0 clo (0,155 m²K/W). Upoštevana aktivnost je 1,2 met (sedenje)
- Indeks PPD mora biti manjši od 15%, indeks PMV pa v mejah $-0,7 < PMV < +0,7$.
- Pri temperaturi zraka med 20 °C in 26 °C je dopustna relativna vlažnost med 30 % in 70 %. V stanovanjskih prostorih je priporočljiva relativna vlažnost pod 60 %. Pri klimatizaciji prostorov mora biti relativna vlažnost pod 60 %.
- Parametri za sedečo osebo v toplotni coni so:
 1. temperatura zraka:
 - v času brez ogrevanja med 22 °C in 26 °C, priporočljivo 23 °C do 25 °C
 - v času ogrevanja med 19 °C in 24 °C, priporočljivo 20 °C do 24 °C
 2. navpična temperatura zraka med glavo in gležnji sedeče osebe (med 0,1 m in 1,1 m nad podom) manjša od 3 K, v vseh drugih primerih manjša od 4 K.
 3. Površinska temperatura poda med 17 °C in 26 °C, pri talnem ogrevanju do 29 °C.
 4. Sestava poda mora biti taka, da zaradi neposrednega vpliva ne sme onesnaževati zraka v prostoru in ne sme vplivati na zdravje in udobje uporabnikov prostorov
 5. največja sevalna temperaturna asimetrija
 - za hladno steno < 13 °C
 - za toplo steno < 35 °C
 - za hladen strop < 18 °C
 - za topel strop < 7 °C
 - z oblikovanjem stavbe in senčil moramo v času hlajenja preprečiti neposreden vpliv neposrednega sončnega sevanja v bivalni coni.
 6. Priporočena srednja hitrost zraka je v času ogrevanja in hlajenja 0,15 m/s, v preostalem delu 0,2 m/s.

Pri oceni bivalnega udobja v stavbi smo se osredotočili na oceno toplotnega udobja na osnovi PMV–indeksa. Drugih parametrov bivalnega udobja v stavbi, kot so kvaliteta notranjega zraka in zvočno ter svetlobno udobje, nismo obravnavali.

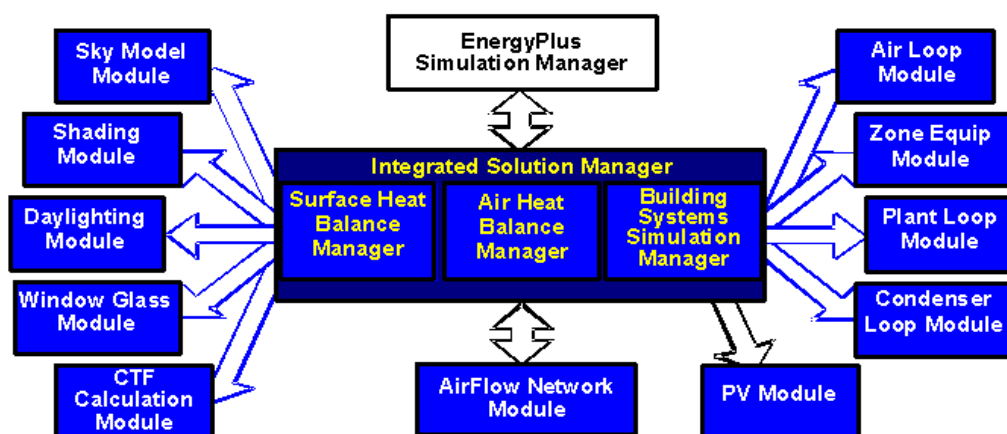
4.0 ZASNOVA SIMULACIJSKEGA MODELA

4.1 Simulacijsko orodje: EnergyPlus in OpenStudio

S programi za izdelavo elaborata o učinkoviti rabi energije ni mogoče določiti kvalitete notranjega bivalnega okolja. Zaradi tega smo se pri simulacijah odločili za uporabo programskega orodja EnergyPlus [9]. Je validirano programsko orodje, ki omogoča dinamično simulacijo toplotnih tokov med zunanjim okoljem in stavbo in toplotnih tokov med toplotnimi conami v stavbi. Uporabniku omogoča modeliranje rabe energije in bivalnega okolja v stavbah. Omogoča optimizacijo konstrukcij stavbe in sistemov ogrevanja, hlajenja, prezračevanja, razsvetljave in fotovoltaičnih sistemov. Stavba je lahko razdeljena na eno ali več toplotnih con. Rezultat izračunov so raba energije, temperature površin in zraka v conah ter energijski tokovi v stavbi. Program omogoča tudi izračun osvetljenosti prostorov z dnevno svetlobo. Običajni časovni korak pri izračunih je ena ura. Če so potrebni natančnejši rezultati, se lahko korak izračunov zmanjša na 30 ali 15 minut.

V nadaljevanju predstavljamo osnovne značilnosti delovanja programa in način izračuna bistvenih elementov, ki so potrebni za izračun simulacije. Delovanje programa je podrobno predstavljeno v EnergyPlus informacijah za inženirje (Engineering Reference) [22].

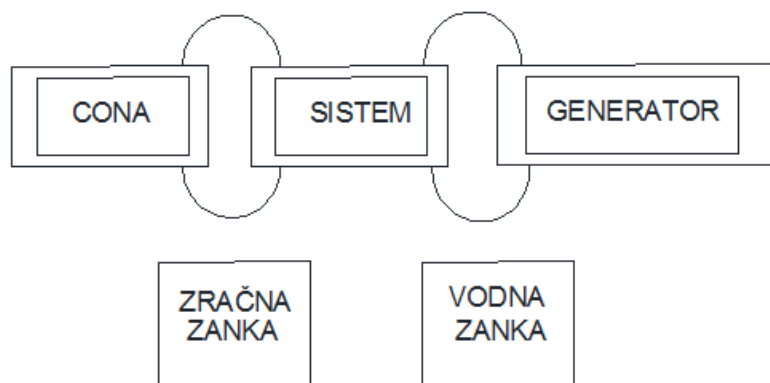
Program EnergyPlus je zbirka več programskih modulov, ki skupaj izračunajo potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje. Pri tem lahko uporabi veliko različnih sistemov in energetskega virov. To naredi tako, da stavbo in energijo v stavbi, izpostavi različnim vplivom okolja in načinom uporabe. Jedro simulacije je model, ki temelji na osnovnih principih prenosa toplote. Na sliki 6 je prikazana shema delovanja programa .



Slika 6: Shema delovanja programa EnergyPlus: vir [22]. str. 1

Program EnergyPlus izvaja integrirane simulacije. To pomeni, da je vse tri glavne elemente sistema, torej stavbo, razvodni sistem in generatorje, rešuje istočasno. Tak prijem je potreben, ko je mora za izračun upoštevati veliko parametrov. Na primer: funkcija energije, ki iz okolice prehaja v prostor, je sestavljena iz več parametrov (toplotni tok skozi stene, okna, dobitki zaradi infiltracije...). Tako funkcijo je težko enolično določiti, saj je sestavljena iz več neodvisnih funkcij, zato je treba sistem reševati kot presečišče več funkcij dobave in povpraševanja.

Rešitev (na primer potrebna energija za ogrevanja ali hlajenje, intenzivnost prezračevanja, delovanje regulatorjev na senčilih....) se mora premikati naprej in nazaj po funkciji povpraševanja. Če hočemo dobiti informacijo, ki je fizikalno realistična, moramo elemente med seboj povezati v simultane procesne sheme (simultaneous solution scheme). Celoten sistem lahko predstavimo kot niz funkcijskih elementov, ki so med seboj povezani z mehкими zankami, prikazanimi na sliki 7. V programu EnergyPlus so vsi elementi združeni in regulirani z »integrirano reševalno shemo«. Zanke so razdeljene na strani ponudbe in povpraševanja, rešitvena shema v glavnem temelji na Gauss-Seidell filozofiji nenehnega posodabljanja, zaporednih zamenjavah in iteracijah za uskladitev ponudbe in povpraševanja [22].



Slika 7: Simultana procesna shema (ang. simultaneous solution scheme)

Prezračevanje prostorov

Prezračevanje prostorov se modelira s enačbo ravnotežja med temperaturo in zračno vlago zraka v coni. Rešuje se s sistemom navadnih diferencialnih enačb. Uporablja se metoda predvidevanja in korigiranja. Podlaga za izračun toplote je diferencialna enačba temperature. Formulacija rešitvene sheme je osnovana s temperaturno enačbo zraka v coni.

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{površin}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{con}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + m_{inf} \dot{C}_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (4)$$

Kjer so:

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$ = vsota konvekcijskih dobitkov notranjih virov

$\sum_{i=1}^{N_{površin}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ = konvekcijski toplotni dobitki z notranjih površin

$m_{inf} \dot{C}_p (T_{\infty} - T_z)$ = toplotni dobitki zaradi infiltracije zunanjega zraka

\dot{Q}_{sys} = toplotni dobitki zaradi prezračevalnega sistema

$C_z \frac{dT_z}{dt}$ = energija, shranjena v zraku cone

Enačbe privzemajo, da je količina zraka, ki vteka v cono, enaka količini zraka, ki iz nje odteka, in da ima zračni tok, ki odteka iz cone, povprečno temperaturo zraka v coni.

Za podrobno razlago enačbe (4) glej [22], str. 7-33.

Prevajanje toplote skozi steno

Metoda, ki jo uporablja program EnergyPlus, za izračun funkcije kondukcijskega prehoda toplote skozi steno je znana kot metoda stanja prostora (state space method), (Ceylan and Myers 1980; Seem 1987, Ouyang in Haghghat 1991) [22]. Definirana je z linearnim sistemom matričnih enačb:

$$\frac{d[x]}{dt} = [A][x] + [B][u] \quad (5)$$

$$[y] = [C][x] + [D][u] \quad (6)$$

Kjer je:

x= vektor spremenljivk

u= vektor vhodnih podatkov

y= vektor izhodnih podatkov

A, B, C, D so koeficienti matrike

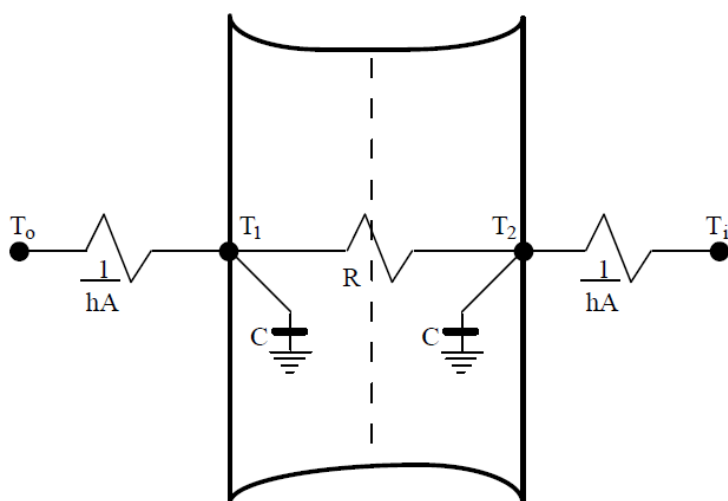
Z uporabo matrične algebre lahko vektorsko spremenljivko (x) izločimo iz sistema enačb. Izhodni vektor (y) lahko neposredno povežemo z vhodnim vektorjem (u) in časovnim zapisom vhodnih in izhodnih vektorjev.

Ta zapis lahko uporabimo pri reševanju enačbe za toplotno prehodnost po metodi končnih elementov. V tem primeru so spremenljivke temperature na vozliščih, temperatura okolja (zunanja in notranja) so vhodni podatki, toplotni tok na obeh površinah pa izhodni podatki. Tako dobimo enačbe za izračun končnih elementov na tej obliki:

$$\frac{d \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix}}{dt} = [A] \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + [B] \begin{bmatrix} T_1 \\ T_0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} q_i'' \\ q_0'' \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + [D] \begin{bmatrix} T_1 \\ T_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Kjer so $T_1, T_2, \dots, T_{n-1}, T_n$ temperature v vozliščih končnih elementov, n je število vozlišč, T_i, T_0 so notranje in zunanje temperature okolja in q_i'' in q_0'' sta toplotna tokova.



Slika 8: Primer elementa z dvema vozliščema. Vir [22], str. 37

Vhodni podatki za določitev koeficientov za vsak sloj posebej so: debelina, toplotna prevodnost, gostota in specifična toplota. EnergyPlus vsak sloj razdeli na 6 do 18 vozlišč. Za konstrukcije z več plastmi so vozlišča nameščena na stičišču dveh plasti. Ta stičiščna vozlišča imajo polovico vozlišča v prvem sloju in pol v drugem.

Zastekljene površine

Energija se skozi steklene površine prevaja na dva načina: s prevajanjem toplote ter dolgovalovnim in kratkovalovnim sevanjem, ki prehaja skozi zastekljene površine. To poglavje je zelo obsežno. Podrobno je obrazloženo v EnergyPlus informacijah za inženirje (Engineering Reference) [22], stran od 134 do 360.

Delo s programom EnergyPlus

Program EnergyPlus od uporabnika potrebuje podatke o geometriji konstrukcij, materialih in vremenske podatke. Delo s programom EnergyPlus poteka posredno s pomočjo programa OpenStudio in SketchUp. Vhodne datoteke za delo s programom EnergyPlus je najlažje ustvariti s programskih orodjem OpenStudio [9], ki so ga razvili pri NREL (National

Renewable Energy Labolatory). Z njim je močno olajšan in poenostavljen vnos podatkov o konstrukciji, uporabljenih materialih, vgrajenih sistemih ogrevanja, hlajenja in prezračevanja ter meteoroloških podatkih. V aplikaciji OpenStudio je prednaloženih veliko različnih materialov, tipov konstrukcij, konstrukcijskih sklopov, instalacijskih sistemov, obremenitev z notranjimi viri, urnikov uporabe in obratovalnih pogojev, po katerih delujejo sistemi v stavbi. Geometrija in orientacija stavbe sta definirana s programom SketchUp [23].

Netransparentni del ovoja stavbe

Vhodni podatki za netransparentne materiale [6] so enaki kot pri programih za izračun učinkovite rabe energije v stavbah, dodatno je treba vnesti še podatke o hrapavosti, toplotni absorptivnosti, solarni absorptivnosti in absorptivnosti v vidnem delu spektra.

Hrapavost površine gradbenega materiala, vpliva samo na konvekcijski koeficient na zunanji strani gradbene konstrukcije.

Toplotna absorptivnost [α_{IR}] materiala predstavlja delež dolgovalovnega valovanja, ki se absorbira v materialu. Uporablja se, ko se izračunava prevajanje toplote med površinami posameznih slojev materiala v konstrukciji. Za dolgovalovno sevanje velja, da je toplotna absorptivnost enaka toplotni emisivnosti. Vrednosti morajo biti med 0 in 1,0.

Sončna absorptivnost [α_s] materiala predstavlja delež sončnega sevanja v vidnem, infrardečem in ultravijoličnem delu spektra, ki se absorbira v material. Uporablja se za izračun količine vpadnega sončnega sevanja, ki ga površine absorbirajo, in vpliva na zunanje in notranje površinske toplotne bilance. Če je za material na voljo podatek o odbojnosti [R], potem velja, da je $\alpha_s = 1 - R$. Vrednosti morajo biti med 0 in 1,0.

Absorptivnost v vidnem delu spektra [α_v] materiala predstavlja delež sončnega sevanja v vidnem delu spektra, ki se absorbira v material. Uporablja se za izračun količine vpadnega sončnega sevanja, ki ga površine absorbirajo, in vpliva na zunanje in notranje površinske toplotne bilance. Uporablja se tudi za izračune osvetljenosti prostorov z dnevno svetlobo. Če je za material na voljo podatek o odbojnosti [R], potem velja, da je absorptivnost $\alpha_s = 1 - R$. Vrednosti morajo biti med 0 in 1,0

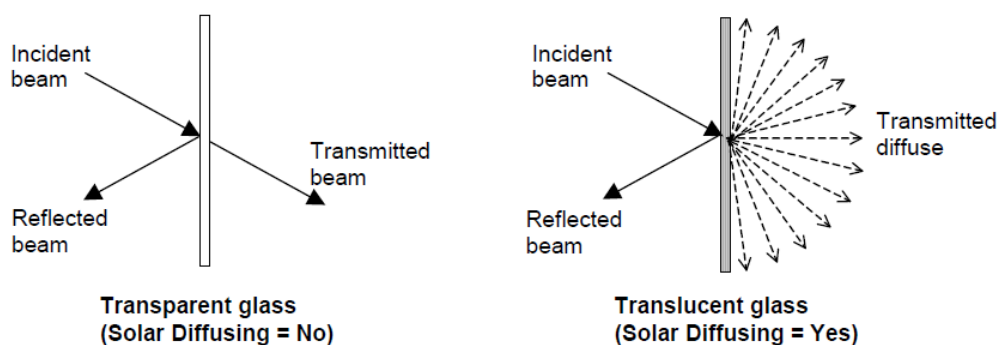
Transparentni del ovoja stavbe

To so površine, ki so namenjene zadovoljevanju potreb po dnevni svetlobi in solarnih dobitkov. To so okna in vrata. Načina za določanje oken in vrat sta dva.

Poenostavljena obravnava zasteklitev. Vhodni podatki so U faktor [$W/(m^2K)$], Solar Heat Gain Coeficient (SHGC), vrednost je lahko med 0 in 1,0 in prepustnost za vidno svetlobo, pri kateri je lahko vrednost prav tako med 0 in 1,0. SHGC se uporablja v ZDA in se nanaša na

delež sončnega sevanja, ki neposredno in posredno skozi okno prehaja v prostor. Nanaša se na prepustnost okna kot celote, z okvirjem, medstekelnimi distančniki in križi. Nižja kot je ta vrednost, manj energije prehaja skozi okno. V Evropi se uporablja vrednost g, ki se nanaša na skupno prepustnost zasteklitve za vso energijo, ki pade na stekleno površino. Okenski okvir, medstekelni distančniki in križi se obravnavajo posebej.

Kompleksnejša obravnava zasteklitev. Okna so sestavljena iz posameznih stekel in medstekelnega plina. Pri steklih se določajo debelina, toplotna prevodnost ter emisivnost in reflektivnost za sončno, vidno in infrardečo svetlobo, ki pade na površino stekla pod pravim kotom. Ti podatki so pri steklih z nizkoemisivskim nanosom (Low-e) razlikujejo. Odvisni so od tipa stekla, tipa nanosa in orientacije stekla v zasteklitvi. Prepustnost stekla za sončno in vidno svetlobo, se lahko zmanjša za faktor umazanosti stekla. Steklo je lahko transparentno ali prosojno. Svetloba skozi transparentno steklo prehaja ravno, brez difuzije, skozi difuzno pa se razprši (slika 9).



Slika 9: Prikaz prehajanja svetlobe skozi transparentno in difuzno steklo. Vir: EnergyPlus Documentation, Input/Output Reference [24]. str. 96

V medstekelnem prostoru je lahko zrak ali žlahtni plin argon. Druge vrste plinov se lahko določi poljubno.

Zračni zid – Air Wall

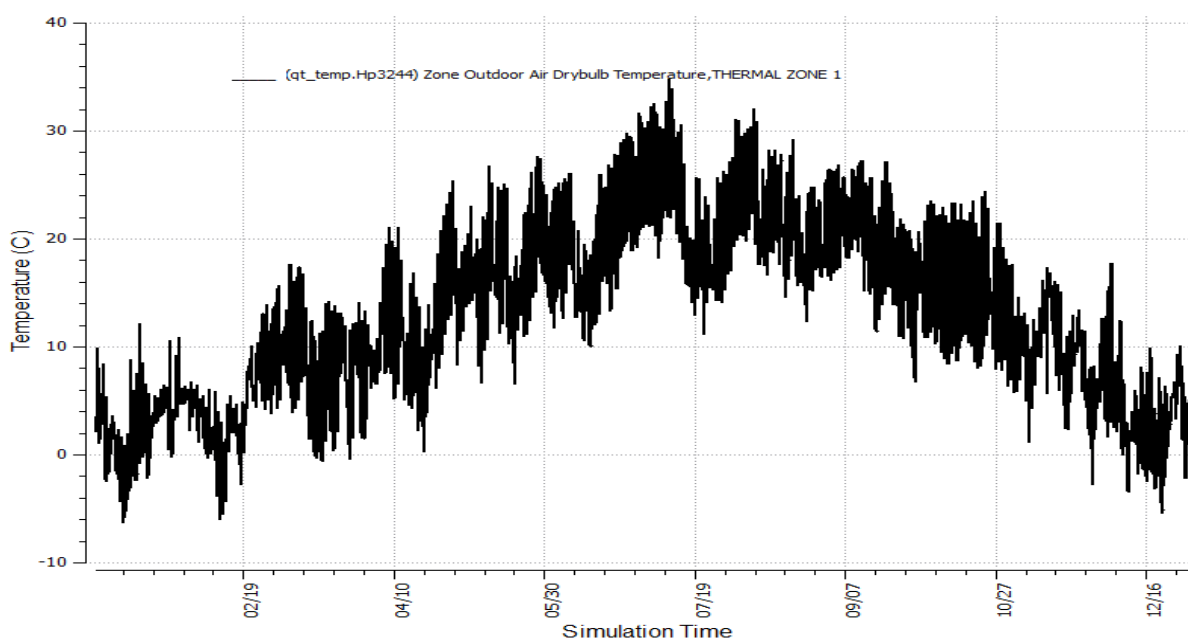
Notranje površine v stavbi imajo lahko večje odprtine. Zaradi načina definiranja konstrukcije stavbe, ko vse stene definiramo kot polne, so v programu OpenStudio izdelali element Air Wall, ki v primeru, ko so v steni odprtine, omogoča neovirano izmenjavo toplote in svetlobe med prostori.

4.2 Uporabljeni klimatski podatki: Udine

Program EnergyPlus potrebuje za izračun meteorološke podatke. Ti so shranjeni v EPW datoteki [25] [26]. Za Evropo so ti podatki pripravljene samo za večja mesta. Lokaciji stavbe najbližje mesto so Udine (Videm, Udin) v Italiji, ki ležijo 41 km severozahodno od

obravnane lokacije. Razdalja je sicer kar velika, vendar med krajema ni nobenih naravnih ovir, nadmorska višina je obeh krajev je skoraj enaka, Volčja Draga 90 m.n.m, Udine 92 m.n.m., topografija je primerljiva. Poglavitni vhodni meteorološki podatki za EPW datoteko, iz katere program EnergyPlus črpa podatke, so: zunanja temperatura zraka, temperatura rosišča, relativna vlažnost zraka, zračni tlak, direktno in difuzno sončno sevanje, oblačnost ter hitrost in smer vetra. Podatki v EPW datoteki so sestavljeni iz meteoroloških podatkov v različnih mesecih v različnih letih. Izbrani so tako, da tvorijo tipično oziroma reprezentativno leto. Pomembnejše meteorološke podatke, ki so zapisani v EPW datoteki in jih prikazujemo v grafikonih od 1 do 5, smo prikazali s pomočjo programa ClimateConsultant [27].

Zunanja temperatura zraka je temperatura zunanjega zraka, merjena s suhim termometrom. Najnižja je januarja $-6,34\text{ }^{\circ}\text{C}$, najvišja junija $34,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, povprečna letna $12,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Gibanje temperature v obdobju reprezentativnega leta je prikazano v grafikonu 1.

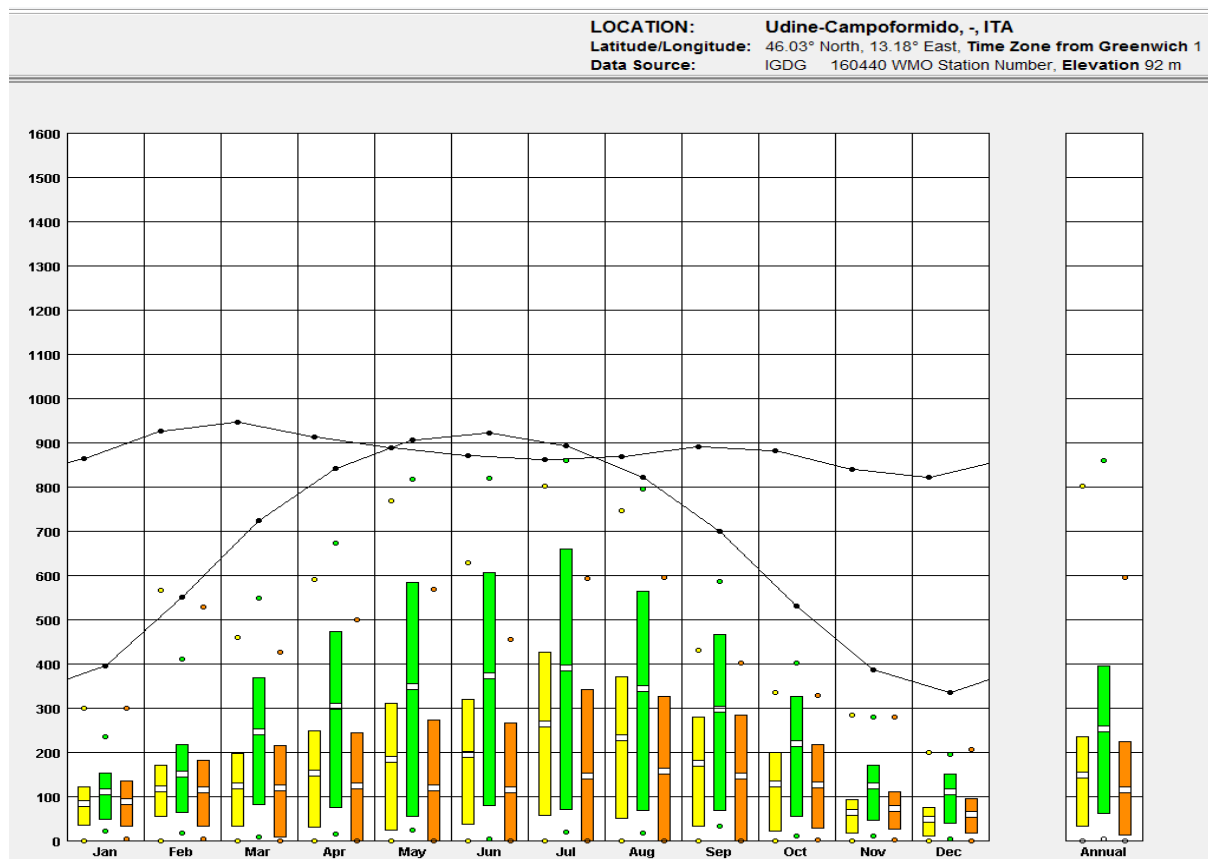


Grafikon 1: Temperatura zunanjega, zraka merjena s suhim termometrom [$^{\circ}\text{C}$], za lokacijo Udine.

Opomba: Grafikoni so izdelani s programom EnergyPlus. Oznak na koordinatnih oseh ni mogoče posloveniti, zato podajamo razlago pojmov na grafikonih:

- Simulation time – čas simulacije.
- Temperature – temperatura.
- Ach – število menjav zraka na uro.
- Datumi na grafikonih so zapisani v ameriški angleščini: mesec, datum, ura.

Sončnega sevanja je največ poleti, najmanj pa pozimi. Na grafikonu 2 prikazujemo vrednosti za površino, ki je od horizontalne ravnine nagnjena za 90° (navpična stena) in od smeri jug zarotirana za 38° v smeri urnega kazalca (na tej steni je največ zastekljenih površin). Rumeni stolpci predstavljajo direktno sončno sevanje, zeleni globalno na horizontalni ravnini in oranžni skupno sončno sevanje, ki pade na površino. Izračunan je tudi teoretični maksimum sončnega sevanja za direktno in skupno sončno sevanje. Prikazan je kot polna črta. Podatek o največjem izmerjenem urnem sevanju je prikazan kot krogec. Pozimi je sevanje najmanjše decembra, približno 200 W/m², poleti pa najvišje junija, približno 820 W/m².

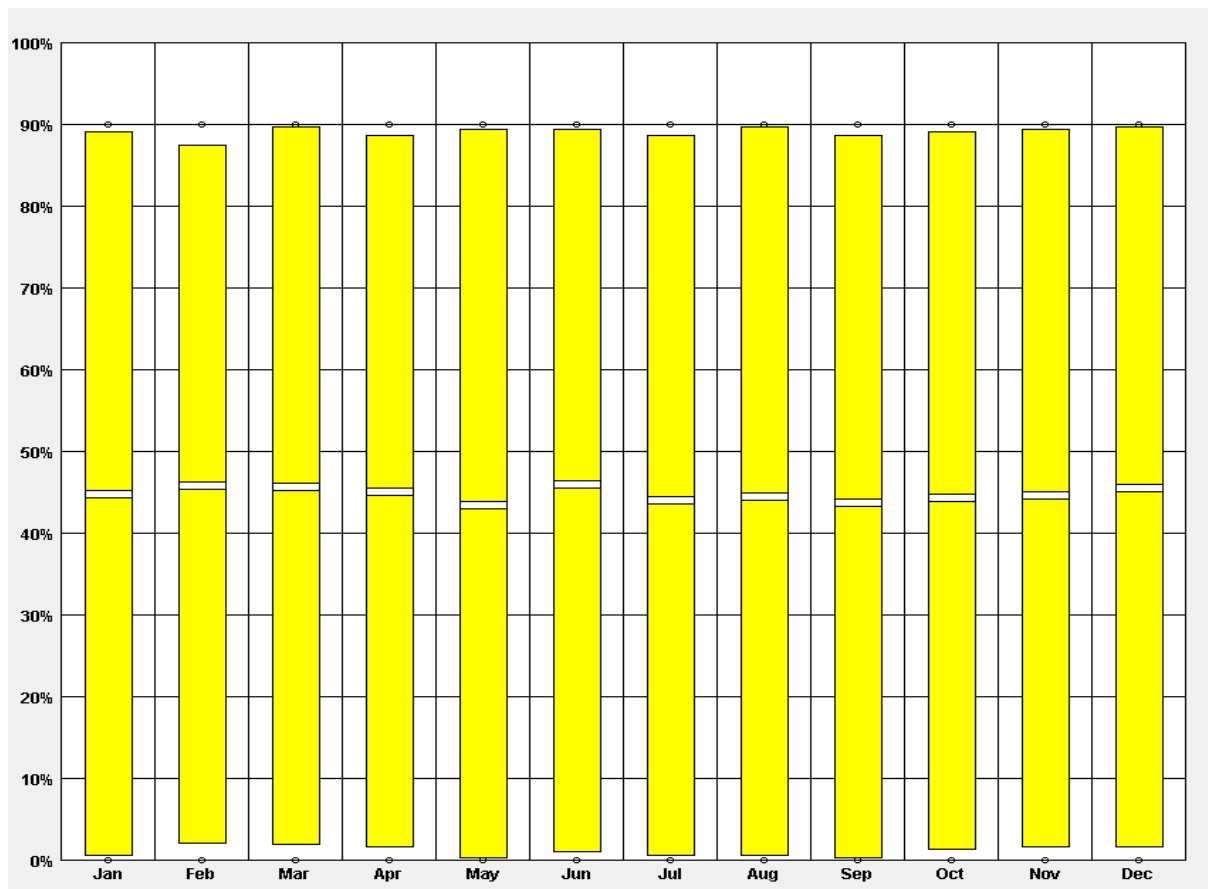


Grafikon 2: Direktno in difuzno sončno sevanje na lokaciji Udine [W]. Na horizontalni osi so prikazani meseci v letu, na vertikalni osi pa Wh/m²uro.

Legenda: Urne povprečne vrednosti

- Najvišja izmerjena
- Povprečna najvišja
- Povprečna
- Povprečna najnižja
- Najnižja izmerjena
- Direktno sončno sevanje
- Globalno sončno sevanje na horizontalni ravnini
- Skupno sončno sevanje ki pade na površino
- Teoretične vrednosti

Pokritost neba z oblaki. Prikazana na grafikonu 3 je od 0 % do 90%. Povprečno se ne glede na mesec v letu giblje okoli 45%.

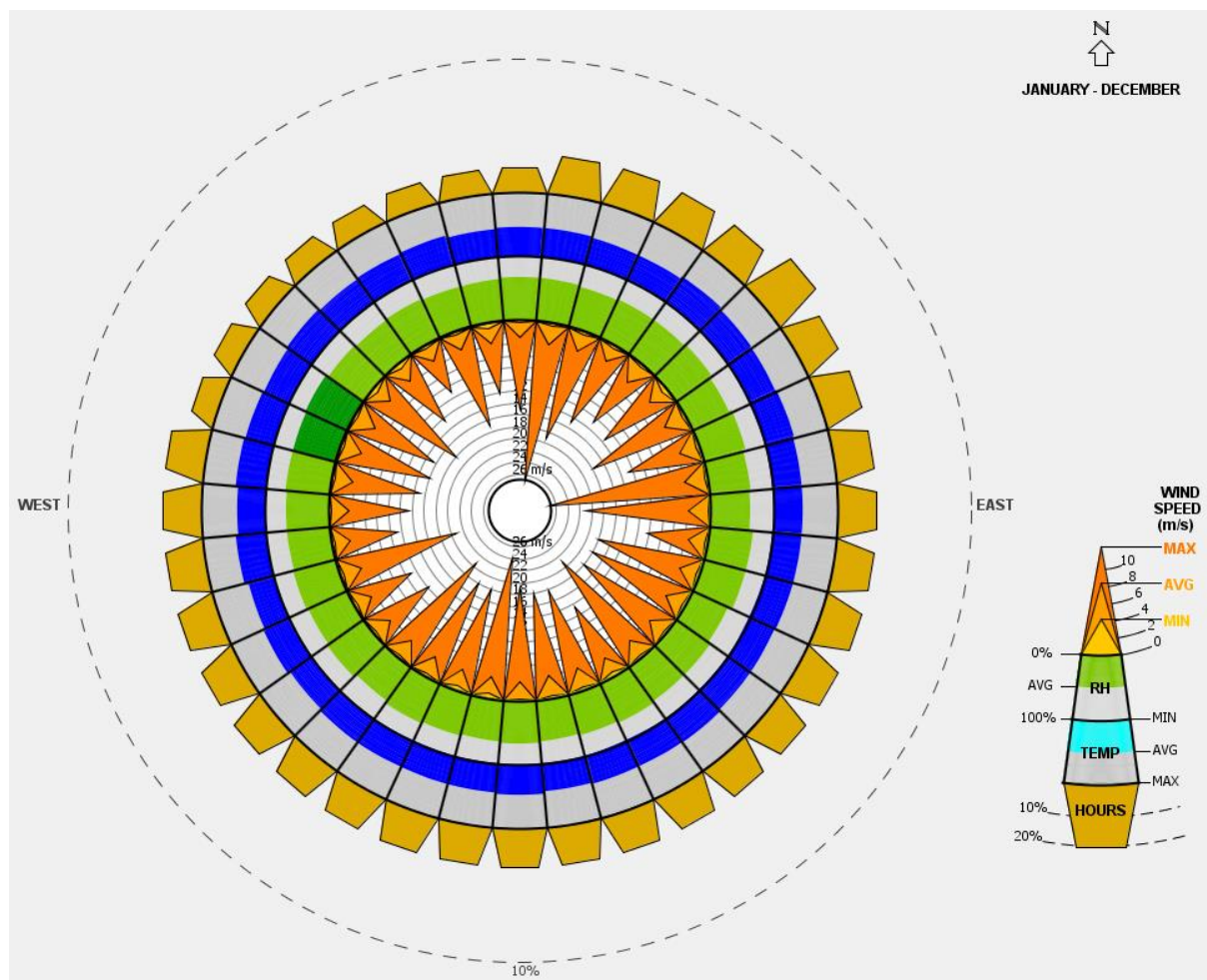


Grafikon 3: Oblačnost po mesecih, v [%] pokritosti neba z oblaki.

Legenda: Povprečne vrednosti

- Najvišja izmerjena
- Povprečna najvišja
- Povprečna
- Povprečna najnižja
- Najnižja izmerjena

Vetra je v povprečju zelo malo. Iz grafikona 4 je razvidno, da je povprečna hitrost vetra okoli 2 m/s. Izjema so ekstremni pojavi, burja pozimi in nevihte poleti, ko veter doseže največjo hitrost 27 m/s.



Grafikon 4: Hitrost vetra po mesecih [m/s].

Legenda:

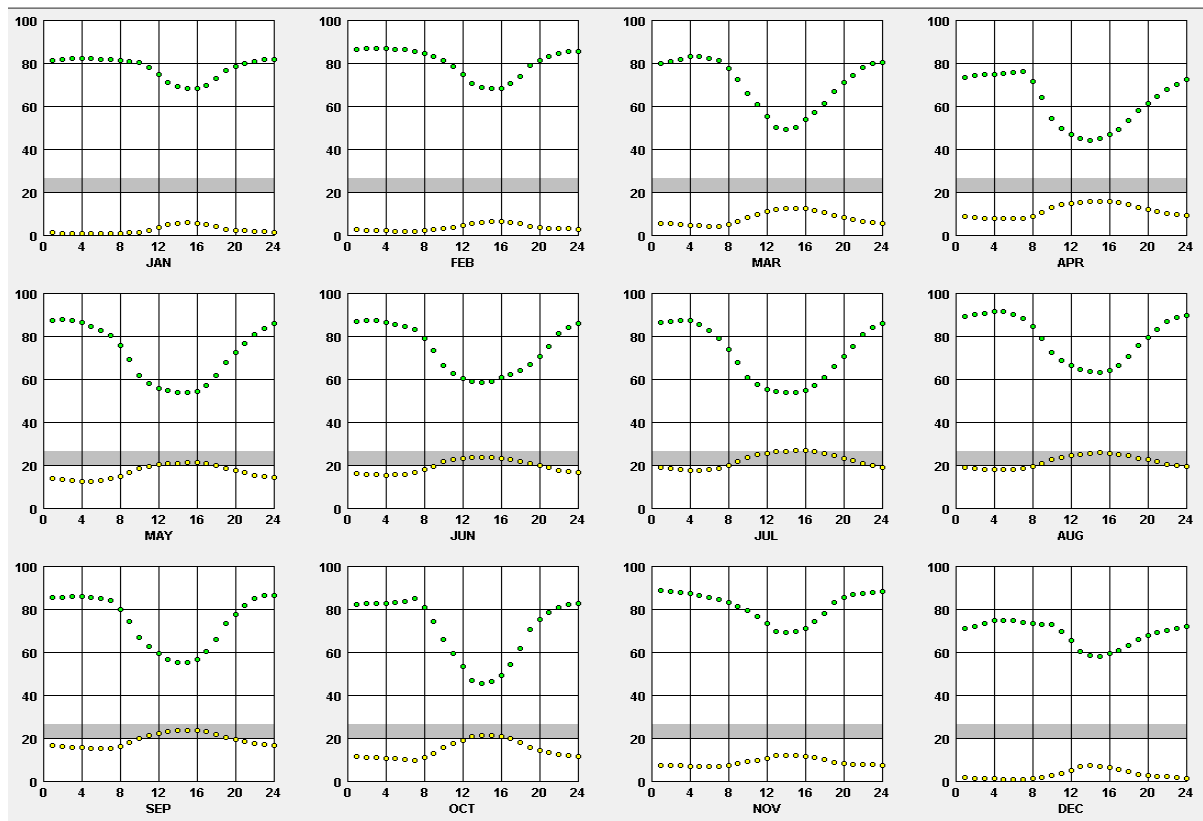
Temperatura [°C]

- < 0
- 0 - 21
- 21 - 27
- 27 - 38
- > 38

Relativna vlažnost zraka [%]

- <30
- 30-70
- >70

Relativna vlažnost zraka je visoka. Giblje se od 45 % do 95 %, v povprečju pa je 73 %. Na grafikonu 5 so prikazane urne povprečne vrednosti temperature suhega termometra (DBT) in relativne vlažnosti zraka za vsak mesec v letu. Vidimo, da se relativna vlažnost zraka spreminja s dnevno spremembo temperature zraka. Najvišja je ponoči, najnižja pa podnevi.



Grafikon 5: Temperatura suhega termometra in relativna vlažnost [°C, %].

Legenda:

- Temperatura suhega termometra
- Relativna vlažnost zraka

4.3 Gradbeno-fizikalne lastnosti izhodiščne stavbe (model OPEKA) – netransparentni elementi stavbnega ovoja

V preglednicah od 7 do 14 so opisane sestave konstrukcijskih sklopov zunanjega ovoja stavbe in notranjih sten. Sestava ovoja je enaka kot na izvedeni stavbi. To zasnovo stavbnega ovoja smo imenovali model OPEKA. Zaradi poenostavitve vnosa konstrukcij so vse notranje stene iz opečnega modularnega bloka debeline 19 cm, obojestransko ometane z apneno cementno malto. Izračuni toplotnih prehodnosti konstrukcij so narejeni s pomočjo programa KI Energija 2014 [42]. Lastnosti konstrukcijskih sklopov so prikazane v preglednicah 7–14.

Preglednica 7: Model OPEKA. Sestava in lastnosti zunanje stene

Naziv konstrukcije Obodne stene	Toplotna prehodnost 0,239 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Zunanja stena		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji – prvi sloj je zunaj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Silikatni zariban omet 2,0	0,3	1	1400	1050	0,9	0,65
EPS lepilna malta	0,5	1	1600	1050	0,9	0,65
Fragmat EPS F	12	0,039	15	1260	0,9	0,6
Modularni blok 29–19	29	0,32	800	920	0,93	0,65
Podaljšana apnena malta (1800)	2	0,87	1800	105	0,9	0,65

Preglednica 8: Model OPEKA. Sestava in lastnosti ravnih streh

Naziv konstrukcije Ravna streha	Toplotna prehodnost 0,168 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Ravna streha		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji – prvi sloj je zunaj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Keramične ploščice	1	1,28	2300	920	0,95	0,45
Cementni estrih	6	1,44	2200	960	0,9	0,65
Polimer bitumenska HI	0,8	0,19	1000	1470	0,9	0,7
EPS 70	22	0,039	15	1260	0,9	0,6
Cementni estrih	6	1,44	2200	960	0,9	0,65
Betoni s kam. agregati (2500)	20	2,33	2500	960	0,9	0,65

Preglednica 9: Model OPEKA. Sestava in lastnosti stropa proti neogrevanemu podstrešju

Naziv konstrukcije Strop proti podstrešju	Toplotna prehodnost 0,189 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Strop proti neogrevanemu prostoru		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji – prvi sloj je zunaj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Steklana volna Knauf insul. Classic 040	20	0,04	12	840	0,9	0,6
Betoni s kam. agregati (2500)	20	2,33	2500	960	0,9	0,65

Preglednica 10: Model OPEKA. Sestava in lastnosti stropa toplotno izolirane poševne strehe

Naziv konstrukcije Streha nad galerijo	Toplotna prehodnost 0,182 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Poševna streha nad ogrevanim podstrešjem		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji – prvi sloj je zunaj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Strešniki	2	0,76	1800	920	0,93	0,7
Zračni sloj, d=5cm	5	0,18	1			
Les-smreka, bor	2,54	0,14	550	1670	0,9	0,6
Steklena volna Knauf insul. Classic 040	20	0,04	12	840	0,9	0,6
Mavčno- kart. plošče do 15mm	1,25	0,21	900	840	0,9	0,4

Preglednica 11: Model OPEKA. Sestava in lastnosti tal na terenu

Naziv konstrukcije Tla na terenu	Toplotna prehodnost 0,200 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Tla na terenu s talnim ogrevanjem		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji – prvi sloj je znotraj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Keramične ploščice	1	1,28	2300	920	0,95	0,45
Cementni estrih	6	1,44	2200	960	0,93	0,65
EPS 70	6	0,04	15	1260	0,9	0,6
EPS 70	6	0,04	15	1260	0,9	0,6
Polimer bitumenska HI	0,4	0,19	1000	1470	0,9	0,7

Preglednica 12: Model OPEKA. Sestava in lastnosti medetažne konstrukcije

Naziv konstrukcije Medetažna konstrukcija	Toplotna prehodnost 0,749 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Strop med ogrevanimi prostori		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji – prvi sloj je znotraj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Keramične ploščice	1	1,28	2300	920	0,95	0,45
Cementni estrih	6	1,44	2200	960	0,93	0,65
EPS 70	4	0,04	15	1260	0,9	0,6
Betoni s kam. agregati (2500)	20	2,33	2500	960	0,9	0,65

Preglednica 13: Model OPEKA. Sestava lesene strehe brez toplotne izolacije

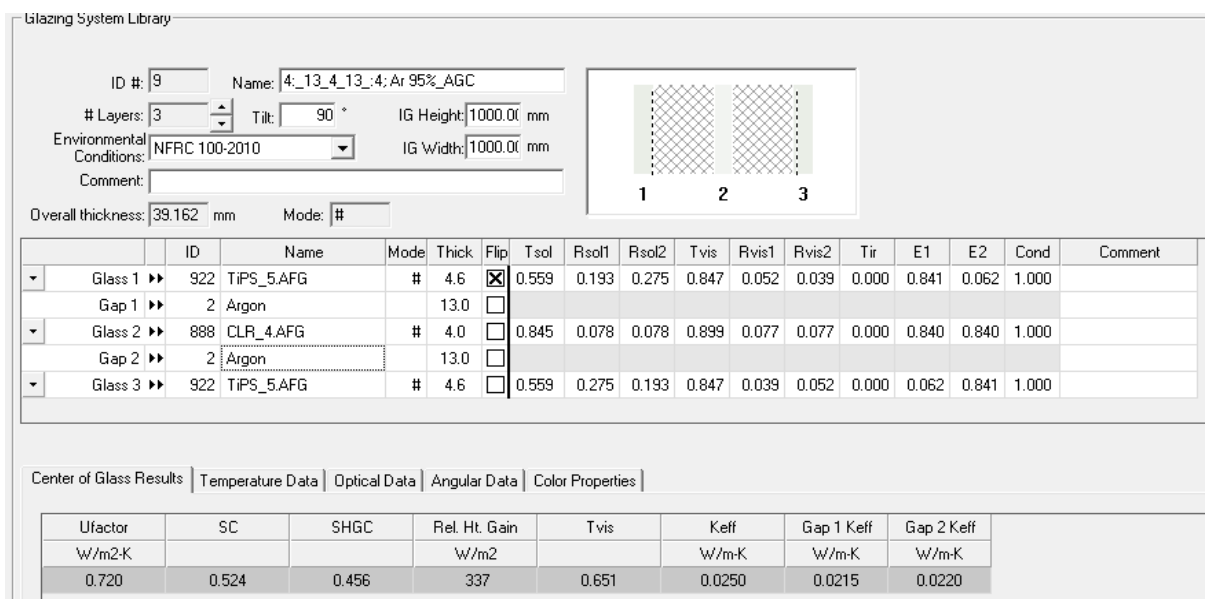
Naziv konstrukcije Poševna streha brez TI	Toplotna prehodnost 2,261 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Streha		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji – prvi sloj je zunaj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Strešniki	2	0,76	1800	920	0,93	0,7
Zračni sloj, d=5cm	5	0,18	1			
Les-smreka, bor	2,4	0,14	550	1670	0,9	0,6

Preglednica 14: Model OPEKA. Sestava in lastnosti notranje stene

Naziv konstrukcije Notranje stene	Toplotna prehodnost 1,235 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Tla na terenu s talnim ogrevanjem		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Podaljšana apnena malta (1800)	2	0,87	1800	105	0,9	0,65
Modularni blok 29-19	19	0,32	800	920	0,93	0,65
Podaljšana apnena malta (1800)	2	0,87	1800	105	0,9	0,65

4.4 Gradbeno-fizikalne lastnosti izhodiščne stavbe – transparentni del ovoja stavbe.

Transparentni del ovoja je sestavljen iz oken in vhodnih vrat, ki niso senčena. Okvir oken, tip IN68 HA, je lesen debeline 68 mm in na zunanji strani zaščiten z aluminijastimi profili. Po podatkih proizvajalca, Inles Ribnica [28], je toplotna prehodnost okvirja $U_f = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Zasteklitev oken je troslojna. Zunanji stekli imata kovinski nanos (t.i. Low-e steklo). Steklo v sredini je brez tega nanosa. Prostor med stekli je širok 13 mm in zapolnjen z žlahtnim plinom argonom. Lastnosti zasteklitve so bile določene s pomočjo programa Window6 [29]. Izbrana so stekla proizvajalca AGC Glass Co. N.A. Steklo z Low-e nanosom je debelo 4,6 mm, steklo brez nanosa pa 4 mm. Stekla so vgrajena tako, da je Low-e nanos na notranjih straneh zunanjih stekel. Na grafičnem prikazu v programu Window6 (slika 10), je Low-e nanos označen s prekinjeno črto. Fizikalne lastnosti stekel in zasteklitve so prikazane na sliki 10, pomen oznak pa je razložen v preglednici 15.



Slika 10: Izračun lastnosti zasteklitve s programom Window6 [29]

Preglednica 15: Razlaga pojmov pri zasteklitvi

Thick [mm]	Thicknes	debelina
Tsol [-]	Solar Transmittance At Normal Incidence	Prepustnost stekla za celoten spekter sončne svetlobe, ki pade na površino pod pravim kotom
Rsol1 [-]	Front Side Solar Reflectance At Normal Incidence	Refleksivnost sprednje strani stekla za celoten spekter sončne svetlobe, ki pade na površino pod pravim kotom
Rsol2 [-]	Back Side Solar Reflectance At Normal Incidence	Refleksivnost zadnje strani stekla za celoten spekter sončne svetlobe, ki pade na površino pod pravim kotom
Tvis [-]	Visible Transmittance At Normal Incidence	Prepustnost stekla za svetlobo v vidnem delu spektra, ki pade na površino pod pravim kotom
Rvis1 [-]	Front Side Visible Reflectance At Normal Incidence	Refleksivnost sprednje strani stekla za svetlobo v vidnem delu spektra, ki pade na površino pod pravim kotom
Rvis2 [-]	Back Side Visible Reflectance At Normal Incidence	Refleksivnost zadnje strani stekla za svetlobo v vidnem delu spektra, ki pade na površino pod pravim kotom
Ti [-]	Infrared Transmittance At Normal Incidence	Prepustnost za infrardečo svetlobo, ki pade na površino pod pravim kotom
E1 [-]	Front Side Infrared Hemispherical Emissivity	Emisivnost sprednje strani za infrardečo svetlobo
E2 [-]	Back Side Infrared Hemispherical Emissivity	Emisivnost zadnje strani za infrardečo svetlobo
Cond [W/(m ² K)]	Conductivity	Toplotna prevodnost

Okna so na obravnavanem objektu zelo različnih dimenzij. Dimenzijsko so si najbolj podobna okna na JZ in JV fasadni steni dnevne sobe, zato smo za izračun lastnosti okna izbrali fiksno

okno dim 2,47×2,48 m. Zasteklitev v tem oknu je 2,33×2,34 m. Izračunane lastnosti veljajo za sredino okna. U_g vrednost zasteklitve znaša 0,72 W/(m²K), $SHGC = 0,456$ in $T_{vis} = 0,651$. Okno kot celota pa ima naslednje lastnosti: $U_w = 0,956$ W/(m²K), $SHGC = 0,409$ in $VT = 0,581$. Izračun smo opravili s programom Window6, ki temelji na standardu ISO 15099 [29].

Skoraj vsa okna na stavbi so med seboj različna. To pomeni, da je različen tudi U_w . Izračunani U_w posameznih oken znaša od 0,91 do 1,28 W/(m²K). Vnašanje podatkov o vsakem oknu posebej je zelo zamudno, zato je smiselno rezultate povprečiti. Povprečno U -vrednost oken smo izračunal po enačbi, ki jo predpisuje TSG4. V preglednici 16 so prikazane povprečne vrednosti oken po posameznih fasadah.

$$U_w = \frac{A_s \cdot U_s + A_f \cdot U_f + \psi \cdot l}{A_s + A_f} \quad (9)$$

Preglednica 16: Okenske in vratne površine, združene po fasadah

Orientacija oken in vrat	TIP okna	Površina okna [m ²]	Površina stekel A_s [m ²]	Dolžina medstekelnega distančnika l [m]	U_w [W/(m ² K)]	Površina oken × U_w [W/K]
Okno S	IN 68 HA	2,13	1,03	6,74	1,28	2,73
Okno SV	IN 68 HA	15,57	11,10	34,43	1,05	16,35
Okno SZ	IN 68 HA	2,96	1,72	3,82	1,17	3,46
Okno J napušč	IN 68 HA	2,38	1,28	5,52	1,19	2,83
Okno J	IN 68 HA	5,19	3,41	12,02	1,10	5,71
Okno JV	IN 68 HA	21,42	13,92	29,42	1,09	23,35
Okno JV dnevna soba	IN 68 HA	9,79	8,33	16,33	0,91	8,91
Okno JZ	IN 68 HA	36,49	29,53	59,07	0,95	34,67
Okno Z	IN 68 HA	2,38	1,28	5,52	1,19	2,83
Vhodna vrata SZ	VV	5,50	4,60	13,80	1,28	7,04
	Skupaj:	103,82	76,20			107,88

Skupna površina oken in vrat znaša 103,82 m², pri čemer znaša povprečen $U_w = 1,039$ W/(m²K). Površina stekel znaša 76,20 m², površina okenskih okvirjev pa 28,10 m². Delež zasteklitev v okenskih in vratnih površinah je 73 %. Faktor prepustnosti za energijo celotnega sončnega sevanja $g_{st} = 0,524$. V prospektih proizvajalca stekel (izračun po EN 410, cit. po ERTEL GLAS STEKLO d.o.o.) [30] je navedeno, da znaša g_{st} za obravnavano zasteklitev 0,5. To je samo 0,024 manj, kot je izračunano s programom Window6, vendar to pomeni, da je zasteklitev po TSG4 na meji, ko oken ni treba dodatno senčiti. TSG4 v točki

3.2.2 namreč določa, da morajo biti vse zastekljene površine, ki so večje od $0,5\text{m}^2$, razen tistih, ki so obrnjene od severovzhoda prek severa do severozahoda, poleti trajno senčene tako, da omogočajo tako zaščito pred sončnim sevanjem, da bo faktor $g < 0,5$.

$$g = g_{st} * g_s \quad (10)$$

g_s – Faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja senčila

Okna in vrata se lahko v simulacijski model v EnergyPlusu vnašajo na dva načina.

- Enostaven model, ki za izračun uporablja U -vrednost okna kot celote in se uporablja v programih za izdelavo elaboratov učinkovite rabe energije v stavbah.
- Podroben model, ki za izračun uporablja optične lastnosti posameznih stekel v zasteklitvi, U -vrednost posameznih stekel in lastnosti medstekelnega plina. Rezultat tega modela je U -vrednost, $SHGC$ koeficient in delež prepustnosti za vidno svetlobo. Pri takem načinu vnos okenskih okvirjev v model ni mogoč, zato smo izračunali, za koliko se poveča U -vrednost fasade zaradi deleža, ki ga prispevajo okenski okvirji. Tako se izravna toplotna prehodnost sten kot celote.

Površina fasade A_{fasade} znaša $299,28\text{ m}^2$, $U_{fasade} = 0,24\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, površina okenskih okvirjev A_f znaša $27,3\text{ m}^2$ $U_f = 1,5\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Napako lahko zmanjšamo tako, da okna prištejemo k fasadi in ustrezno povečamo toplotno prehodnost fasade.

$$\frac{A_{fasade} \times U_{fasade} + A_f \times U_f}{A_{fasade} + A_f} = 0,34\text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \quad (11)$$

U -vrednost fasade se poveča za $0,10\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, kar pomeni poslabšanje za $41,7\%$. Vseeno smo se odločili, da v simulaciji uporabimo podroben model z optičnimi lastnostmi zasteklitev. Takšen način priporočajo avtorji programa. V navodilih za uporabo programa EnergyPlus-Input-Output Reference, Group – Surface Construction Elements, WindowMaterial: SimpleGlazingSystem, stran 109 [24], avtorji navajajo, da je pri uporabi enostavnega modela potrebna previdnost, ker lahko pride do pomembnih odstopanj med lastnostmi enostavnega modela in podrobnejšega modela. Enostaven model je smiselno uporabiti samo takrat, ko imamo omejene informacije o lastnosti zasteklitev ali pa potrebujemo samo informacijo o ravni učinkovitosti. Odločili smo se, da vpliva okenskih okvirjev pri toplotni prehodnosti fasadnih sten ne bomo upoštevali. Razlika v toplotnem toku skozi fasadno steno je zaradi neupoštevanja okenskih okvirjev enaka, ne glede na sestavo konstrukcije. Podrobna analiza lastnosti okenskega okvirja in izdelava posebnega računskega modela pa presega namen magistrskega dela.

4.5 Notranji viri in vgrajeni sistemi

TSG4 predpisuje prispevek notranjih toplotnih virov. Prispevek notranjih virov in razsvetljave za stanovanjske stavbe po poenostavljeni metodi znaša 4 W/m^2 uporabne površine stavbe. Zajema notranje toplotne vire zaradi ljudi, delovanja naprav, procesov materialnih tokov in razsvetljave v stavbi. Program EnergyPlus upošteva bruto površino stavbe, zato smo prispevek notranjih virov ustrezno zmanjšali, tako da prispevek notranjih virov znaša $3,31 \text{ W/m}^2$.

Obravnavana stavba je v 24-urni uporabi. V njej pozimi ves čas deluje sistem talnega in toplozračnega ogrevanja. Talno ogrevanje deluje s pomočjo toplotne črpalke zrak voda in kaminske peči, ki sta prek izmenjevalca toplote priključena na sistem talnega ogrevanja. Kaminska peč omogoča tudi toplozračno ogrevanje s konvekcijskim vpihovanjem toplega zraka. Poleti se stavba hladi s talnim hlajenjem. Generator hladu je toplotna črpalka zrak voda. Stavbno pohištvo je vgrajeno po RAL smernicah [31], ki jih je izdalo nemško združenje za kakovost oken in vrat (Gutegemeinschaft Fenster und Hausturen e. V) leta 2006, zato je naravno prezračevanje skozi netesnosti v konstrukciji majhno. Kvaliteta zraka v prostorih se zagotavlja s prisilnim centralnim mehanskim prezračevanjem z rekuperacijo.

4.6 Zasnova simulacijskega modela

Izhodiščne nastavitve simulacije so takšne, da stavba ni ogrevana niti hlajena, torej je v t.i. prostem teku. Vnos geometrije objekta je bil izveden s pomočjo programa SketchUp 8 [23] in programskega dodatka OpenStudio [9], ki omogočajo urejanje lastnosti konstrukcij. SketchUp 8 je grafični modelirnik, s katerim se na preprost način z izdelavo grafičnega modela v program EnergyPlus vnese podatke o simulirani stavbi. Mogoči so tri osnovni elementi stavbnega ovoja: stene, strop in tla. Na stenah so možne podelitve: fiksna in odpirajočase okna, vrata, steklena vrata in dvižna vrata, na stropovih pa strešna okna, strešne kupole in difuzorji. Posebej se lahko v model dodajo notranje stene in vrata.

Pri vnosu geometrij je kar nekaj posebnosti in omejitev. Vnos poteka po principu zunanjih mer, kar pomeni, da je v vseh rezultatih upoštevana bruto površina objekta, skupaj z zidovi. Linijskih in točkovnih toplotnih mostov program ne upošteva. Mogoče jih je dodati kot podpovršine, ki se jim definira drugačna sestava ali določi ustrezno toplotno prehodnost. V modelu, ki smo ga izdelali, linijski toplotni mostovi niso upoštevani. Okna so bila v model vnesena s podrobnim modelom, ki upošteva optične lastnosti posameznih stekel in medstekelnega plina. Pri tem modelu ni mogoče definirati lastnosti okenskega okvirja, zato so upoštewane samo steklene površine.

Meja za izračun rabe energije in bivalnega okolja so površine, ki omejujejo prostor. Te so lahko zunanje ali notranje. Skozi površine lahko prehajajo toplota, svetloba, zrak in vlaga. Za simulacijo morajo biti te površine združene v toplotne cone. Toplotna cona (TC) predstavlja meje prostora, v katerih se izvaja simulacija. Toplotne cone imajo lahko:

- samo zunanje površine, kar pomeni, da je cela stavba ena toplotna cona. Rezultati bodo izračunani za vsako površino posebej. Stavba bo obravnavana kot en sam prostor, zato bodo tudi rezultati izračunani za stavbo kot celoto.
- zunanje in notranje površine, kar pomeni, da bodo rezultati izračunani za vsako površino posebej. Stavba bo obravnavana kot več prostorov, med katerimi lahko prehajata energija in zrak. Rezultati izračuna bodo za vsako toplotno cono ločeni. Ni nujno, da je vsak prostor, omejen s površinami samostojna toplotna cona, mora pa biti cona zaključena celota. Več prostorov se lahko po potrebi združi v eno toplotno cono.

V modelu, ki smo ga izdelali za obravnavano stavbo, je 11 toplotnih con. Toliko con je bilo potrebnih, ker je geometrija stavbe zelo razgibana in smo predvidevali, da bodo rezultati simulacije po prostorih – toplotnih conah, različni.

Vsak prostor ima lahko tudi notranje površine. To so običajno predelne stene, lahko pa tudi površine brez mase, kot na primer pohištvo. Pri notranjih površinah se energija, ki jo ima, lahko izmenjuje samo z drugimi površinami, ki so v tej coni. Prenos na ostale površine v stavbi zunaj cone ni mogoč. Notranje površine, na primer pohištvo, lahko pokriva velike površine, kar lahko vpliva na osončenost in distribucijo svetlobe po coni. V obravnavanem modelu smo zaradi poenostavitve vse notranje površine simulirali z enim tipom konstrukcije, ki je enaka v vseh prostorih. V modelu ni zajet vpliv pohištva in okenskih zaves.

Infiltracija zraka je pretok zraka iz okolice v toplotno cono. Omogočena je z odpiranjem in zapiranjem oken in vrat, skozi razpoke in preboje v konstrukciji in z netesnostjo oken in okenskega okvirja. Obravnavana stavba ima vse površine zatesnjene. V Sloveniji ni predpisa, ki bi določal način vgradnje stavbnega pohištva, zato smo upoštevali, da je vgrajeno po RAL [31] smernicah. Sistem tesnjenja je povzet po [32] in prikazan v preglednici 17.

Preglednica 17: Sistem tesnjenja oken

ZUNANJE TESNENJE	VMESNO TESNENJE	NOTRANJETESNENJE
TEKATRAK WINFLEX OUTSIDE	TEKAPUR PU PENA	TEKATRAK WINFLEX INSIDE

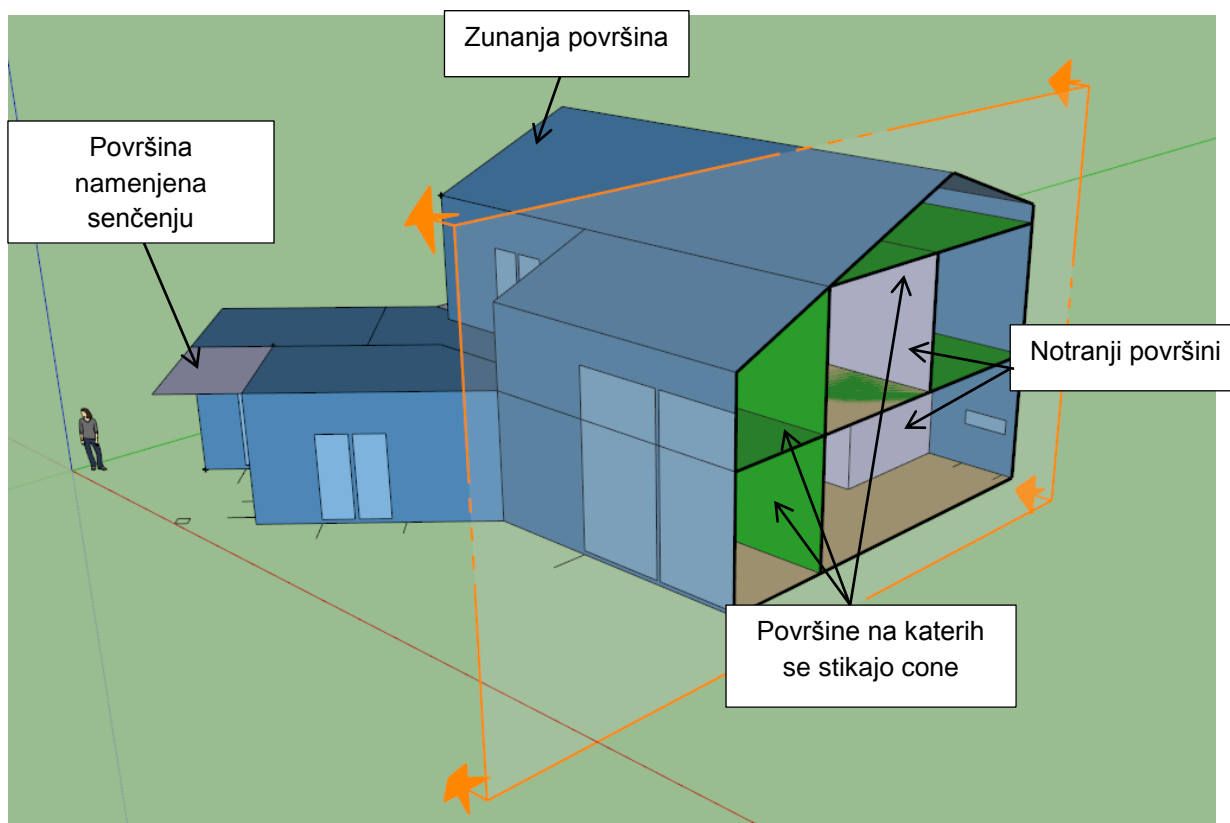
Infiltracije zunanjega zraka v stavbo naj bi bila tako zelo majhna. Dejanske infiltracije brez meritev ni mogoče določiti [33]. Odstopanja od želenih vrednosti se lahko zgodijo zaradi

napak pri vgradnji, prebojev obodnih konstrukcij in odpiranja ter zapiranja oken in vrat. Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [8] v drugi alineji 8. člena zahteva, da morajo imeti stavbe, ki so namenjene za delo in bivanje ljudi, v času njihove prisotnosti, volumsko izmenjavo zraka vsaj $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$, zato smo za izdelavo modela to vrednost uporabil kot privzeto vrednost prezračevanja stavbe. V njej smo upoštevali tudi infiltracijo zraka skozi ovoj stavbe. Po vnosu geometrije in določitvi lastnosti površin je videti geometrijski simulacijski model stavbe tako kot na sliki 11.



Slika 11: Prikaz geometrije simulacijskega modela stavbe

V modelu moramo definirati zunanje in notranje površine. Na zunanje površine, ki so na sliki označene z modro barvo, lahko delujejo vsi zunanji vplivi. Na notranjih površinah – konstrukcijah, pa se lahko energija izmenjuje samo tam, kjer se površine različnih con med seboj stikajo. Te površine so na sliki 12 označene z zeleno barvo. Ostale notranje površine so svetle sivo modre barve in "ne vidijo" površin v ostalih toplotnih conah, torej z njimi ne izmenjujejo energije. Lahko pa te površine sprejemajo in oddajajo energijo sončnega sevanja, zato lahko zelo močno vplivajo na potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje TC. Na stavbi so lahko tudi površine, ki so namenjene senčenju. Taka površina je na sliki 12 na ravni strehi, prikazana s temno sivo modro barvo.



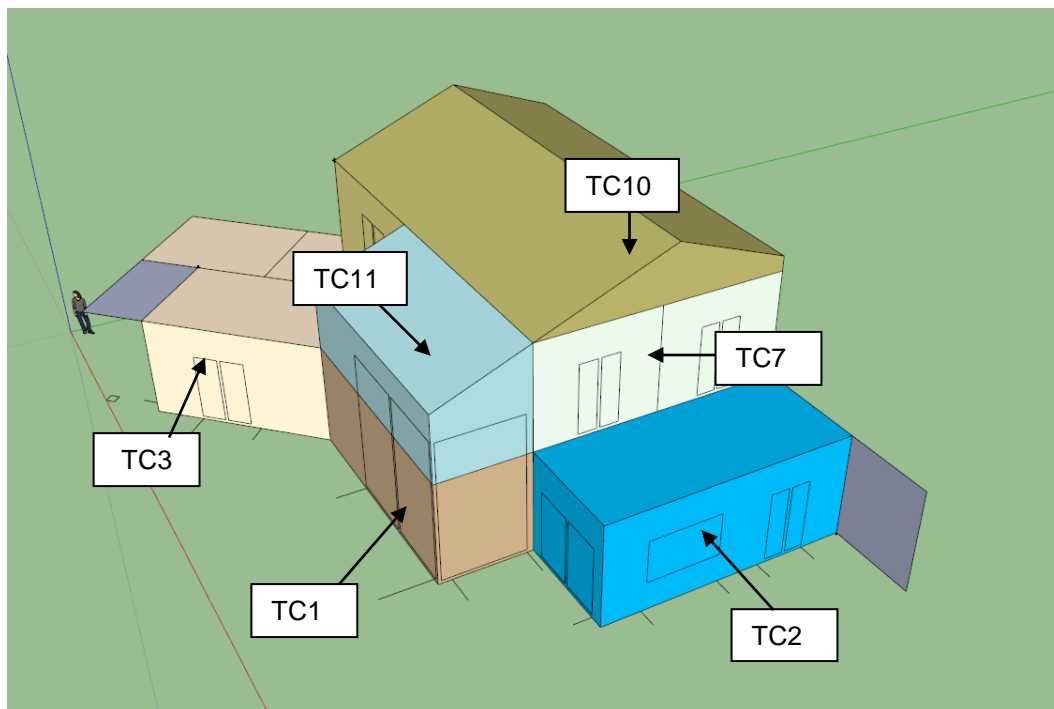
Slika 12: Model vplivov na ovoju in notranjosti stavbe

Določiti je treba stične površine med posameznimi conami. To naredimo z orodjem Surface Matching. Po dokončanem vnosu geometrije konstrukcije je za model treba določiti lastnosti izbranih prostorov in konstrukcijskih elementov (Set Attributes for Selected Spaces). Določiti moramo:

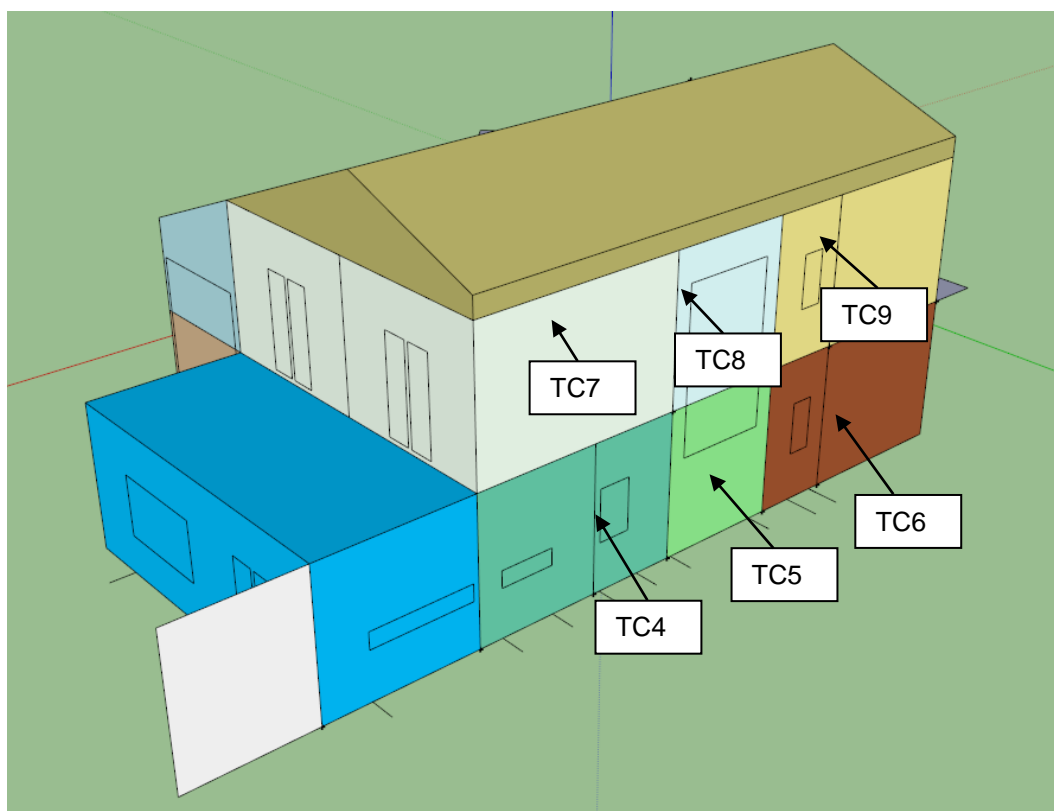
- Tip prostora (Space Type). Z njim določimo različnim prostorom ustrezne obremenitve z notranjimi viri in urnike uporabe.
- Etažo (Building Story). Določimo etažo, v kateri je prostor.
- Konstrukcijske sklope (Construction Sets).
- Toplotne cone.
- Nastavitve delovanja sistemov ogrevanja in hlajenja brez izdelave modela instalacij (Ideal Air Loads Status).
- Nastavitve termostатов po conah.

Toplotne cone

Stavba je razdeljena na 11 toplotnih con (TC), ki so prikazane na slikah 13 in 14. Postavljene so na mejah, ki jih določajo osi nosilnih konstrukcij.



Slika 13: Toplotne cone, pogled z južne strani stavbe



Slika 14: Toplotne cone, pogled z vzhodne strani stavbe

Toplotne cone 1, 2, 4, 5, 8 in 11 so na stavbi dejansko združene v en prostor. Med njimi je samo nekaj kratkih sten, tako da je pretok zraka med njimi neoviran. Razlog za to, da smo jih

obravnaval kot posamezne cone, je v različni namembnosti prostorov. Geometrijske lastnosti toplotnih con so prikazane v preglednici 18.

Preglednica 18: Geometrijske lastnosti toplotnih con

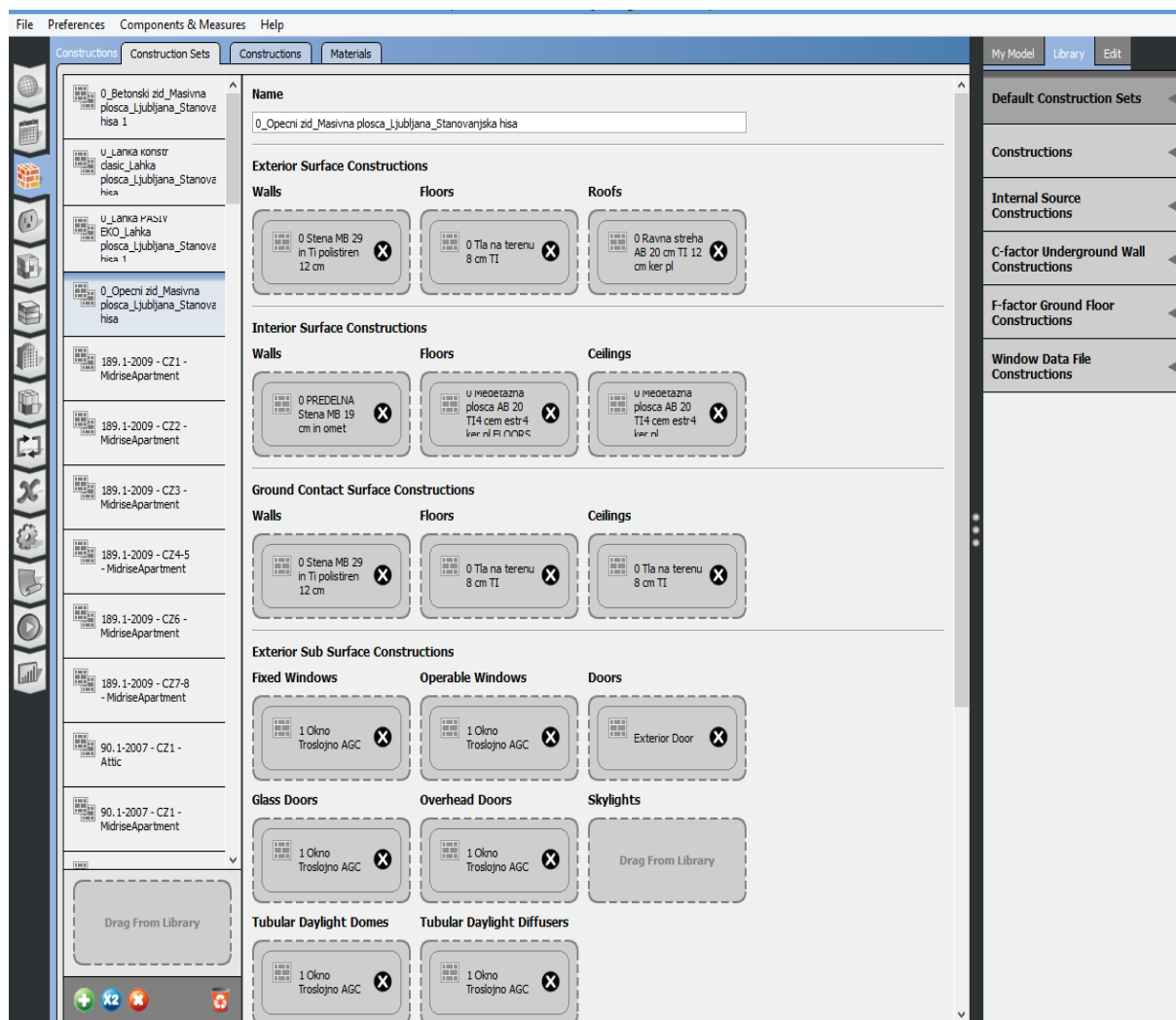
	Tlorisna površina cone [m ²]	Volumen cone [m ³]	Zunanje stene z zasteklitvijo [m ²]	Zastekljene površine [m ²]	Razmerje zastekljene površine / tlorisna površina [m ² /m ²]	Strop proti neogrevanemu prostoru [m ²]	Tla na terenu [m ²]	Medetažna konstrukcija [m ²]	Notranje stene med conami [m ²]	Notranje stene med conami -zračni zid [m ²]	Notranje stene v coni [m ²]
TC1	22,16	73,13	34,78	23,10	1,04		22,16			47,37	
TC2	27,09	89,40	48,64	11,21	0,41	27,09	27,09			25,54	
TC3	49,18	162,29	101,31	7,56	0,15	49,18	49,18		17,66		37,55
TC4	37,31	123,11	15,91	1,32	0,04		37,31	37,31		41,45	17,99
TC5	21,83	72,03	9,31	2,38	0,11		21,83	21,83	36,93	14,16	
TC6	41,41	136,65	43,20	1,45	0,04		41,41	41,41	43,20		38,78
TC7	37,31	123,11	41,45	5,03	0,13	37,31		37,31	41,45		15,91
TC8	21,83	72,03	9,31	5,28	0,24	21,83		21,83	51,08	8,46	
TC9	41,41	136,65	60,85	4,84	0,12			41,41	25,54		38,78
TC10	100,54	97,04	20,79			104,06		100,54			
TC11	22,16	60,28	32,05	9,10	0,41	22,94			23,79	30,62	

Namembnosti prostorov v toplotnih conah so:

- TC1: dnevna soba
- TC2: kuhinja z jedilnico
- TC3: spalnica, garderoba in kopalnica
- TC4: del kuhinje in shramba
- TC5: stopnišče in prehod v servisni del stavbe
- TC6: Vhodna avla in servisni prostor
- TC7: otroški sobi
- TC8: povezovalni hodnik
- TC9: otroški sobi in kopalnica
- TC10: hladno podstrešje
- TC11: zračni prostor nad dnevno sobo

V modelu je 11 toplotnih con, vendar bomo v analizi rezultatov obravnavali samo toplotne cone 1, 2, 3 in 7. Te predstavljajo prostore, v katerih se ljudje največ zadržujejo in so zato z gledišča vpliva na uporabnika ključne.

Po vnosu geometrije stavbe, določitvi TC, podatkov o konstrukcijskih sklopih in notranjih virih lahko zaženemo aplikacijo OpenStudio [9]. Tukaj lahko pregledamo vse predhodne nastavitve in jih po potrebi dopolnimo ali popravimo. Vnosno okno programa OpenStudio je predstavljeno na sliki 15.



Slika 15: Pogled okna za vnos konstrukcije v model – opečni zidovi in masivne plošče

4.7 Variante stavbnih ovojev

Za analizo vpliva zasnove stavbnega ovoja na notranje bivalno okolje in porabo energije smo izbral štiri različne variante. Poimenoval smo jih OPEKA, BETON, CLASIC in BIOPASIV. Vsi modeli imajo enake geometrijske lastnosti, a različne strukture konstrukcijskih sklopov.

Lastnosti modela OPEKA

Model OPEKA predstavlja izhodiščni model, ki odraža zasnovo dejanske stavbe. Podrobna sestava in lastnosti konstrukcijskih sklopov je opisana v poglavju 4.3 in 4.4.

Lastnosti modela BETON

Nosilne in notranje stene so pri tem modelu iz betona z maso 2500 kg/m^3 . Vse ostale konstrukcije in obdelave površin so enake kot pri modelu OPEKA. Spremenjene lastnosti konstrukcij so prikazane v preglednicah 19 in 20.

Preglednica 19: Model BETON. Sestava in lastnosti obodne stene

Naziv konstrukcije Obodne stene	Toplotna prehodnost 0,297 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Zunanja stena		Ustreza PURES 2010 NE	
Sloji v konstrukciji – prvi sloj je zunaj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Silikatni zariban omet 2,0	0,3	1	1400	1050	0,9	0,65
EPS lepilna malta	0,5	1	1600	1050	0,9	0,65
Fragmat EPS F	12	0,039	15	1260	0,9	0,6
Betoni s kam. agregati (2500)	20	2,33	2500	960	0,9	0,65
Podaljšana apnena malta (1800)	2	0,87	1800	105	0,9	0,65

Konstrukcija nosilne stene ne ustreza PURES 2010. Razlika med zahtevano toplotno prehodnostjo po PURES 2010 in izračunano toplotno prehodnostjo je $0,017 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, vendar smo se zaradi primerjave modelov OPEKA in BETON odločili, da oba modela toplotno izoliramo z enako debelino toplotne izolacije, zaradi česar pride do razlike pri vrednosti U faktorja.

Preglednica 20: Model BETON. Sestava in lastnosti notranje stene

Naziv konstrukcije Notranje stene	Toplotna prehodnost 3,31 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Tla na terenu s talnim ogrevanjem		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Podaljšana apnena malta (1800)	2	0,87	1800	105	0,9	0,65
Betoni s kam. agregati (2500)	20	2500	960	0,9	0,65	20
Podaljšana apnena malta (1800)	2	0,87	1800	105	0,9	0,65

Lastnosti modela CLASIC

Model CLASIC je primer lahke montažne gradnje, ki se je v Sloveniji v zadnjih letih zelo močno uveljavlja. Sestava konstrukcije je povzeta po slovenskem proizvajalcu montažnih hiš Lumar IG, d.o.o, iz Maribora [34]. Ker materiali, iz katerih je sestavljena konstrukcija, niso znani, smo jih inženirsko ocenili na podlagi lastnih izkušenj. Nosilna konstrukcija sten in stropov je iz lesenih okvirjev. Prazen prostor v stenskih okvirjih je zapolnjen s toplotno izolacijo iz kamene volne, v stropnih in strešnih okvirjih pa s stekleno volno. Zunanje površine sten so zaključene z mavčnimi ploščami in po montaži dodatno obložene s tankoslojno fasado. Na stropni konstrukciji je položen plavajoči pod z zaključnim finalnim podom. Tako se pri sorazmerno majhni debelini konstrukcij doseže veliko toplotno izolativnost. Izvedba strehe je podobna izvedbi stropov, le da je zaključni sloj kritina, pri ravnih strehah pa ustrezna hidroizolacija in zaščita glede na namen uporabe. V spodnjih preglednicah je opisana sestava zunanjega ovoja stavbe in notranjih sten. Zaradi poenostavitve vnosa konstrukcij so vse notranje stene lahke montažne stene, debeline 15 cm, in obojestransko obložene z mavčno ploščo. Sestave konstrukcij so prikazane v preglednicah 21–26:

Preglednica 21: Model CLASIC. Sestava in lastnosti zunanje stene

Naziv konstrukcije Obodne stene	Toplotna prehodnost 0,145 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Zunanja stena		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji – prvi sloj je zunaj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Silikatni zariban omet 2,0	0,3	1	1400	1050	0,9	0,65
EPS lepilna malta	0,5	1	1600	1050	0,9	0,65
Fragmat EPS F	10	0,039	15	1260	0,9	0,6
Mavčna plošča 15mm	1,5	0,21	900	840	0,9	0,4
Kamena volna DP3, z nosilno konstrukcijo stavbe	16	0,039	30	840	0,9	0,6
Mavčna plošča 15mm	1,5	0,21	900	840	0,9	0,4
Mavčna plošča 10mm	1,0	0,21	900	840	0,9	0,4

Preglednica 22: Model CLASIC. Sestava in lastnosti ravnih streh

Naziv konstrukcije Ravna streha	Toplotna prehodnost 0,083 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Ravna streha		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji – prvi sloj je zunaj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Keramične ploščice	1	1,28	2300	920	0,95	0,45
Cementni estrih	6	1,44	2200	960	0,9	0,65
EPS 70	6	0,039	15	1260	0,9	0,6
Strešna membrana	0,1	0,16	1121	1460	0,9	0,7
OSB plošča 15	1,5	0,13	690	2090	0,9	0,5
Steklena volna Knauf insul. Classic 040, z nosilno konstrukcijo	30	0,04	12	840	0,9	0,6
Mavčna plošča 12,5mm	1,25	0,21	900	840	0,9	0,4

Preglednica 23: Model CLASIC. Sestava in lastnosti stropa proti neogrevanemu podstrešju

Naziv konstrukcije Strop proti podstrešju	Toplotna prehodnost 0,127 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Strop proti neogrevanemu prostoru		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji – prvi sloj je zunaj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
OSB plošča 18	1,8	0,13	690	2090	0,9	0,5
Steklena volna Knauf insul. Classic 040, z nosilno konstrukcijo	30	0,04	12	840	0,9	0,6
OSB plošča 18	1,8	0,13	690	2090	0,9	0,5
Mavčna plošča 12,5mm	1,25	0,21	900	840	0,9	0,4

Preglednica 24: Model CLASIC. Sestava in lastnosti stropa proti poševni strehi

Naziv konstrukcije Streha nad galerijo	Toplotna prehodnost 0,125 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Poševna streha nad ogrev. podstrešjem		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji – prvi sloj je zunaj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Strešniki	2	0,76	1800	920	0,93	0,7
Zračni prostor d=5cm	5	0,18	1			
Les-smreka, bor	2,54	0,14	550	1670	0,9	0,6

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 24

Steklena volna Knauf insul. Classic 040 z nosilno konstrukcijo	30	0,04	12	840	0,9	0,6
Parna ovira	0,015	0,19	450	1100	0,9	0,7
Mavčna plošča 12,5mm	1,25	0,21	900	840	0,9	0,4

Preglednica 25: Model CLASIC. Sestava in lastnosti medetažne konstrukcije

Naziv konstrukcije Medetažna konstrukcija	Toplotna prehodnost 0,291 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Strop med ogrevanimi prostori		Ustreza PURES-u 2010 DA	
Sloji v konstrukciji	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Keramične ploščice	1	1,28	2300	920	0,95	0,45
Cementni estrih	6	1,44	2200	960	0,93	0,65
EPS 70	2	0,04	15	1260	0,9	0,6
OSB plošča 18	1,8	0,13	690	2090	0,9	0,5
Zračni prostor	10	0,18	1			
Steklena volna Knauf insul. Classic 040 z nosilno konstrukcijo	10	0,04	12	840	0,9	0,6
OSB plošča 15	1,5	0,13	690	2090	0,9	0,5
Mavčna plošča 12,5mm	1,25	0,21	900	840	0,9	0,4

Preglednica 26: Model CLASIC. Sestava in lastnosti notranje stene

Naziv konstrukcije Notranje stene	Toplotna prehodnost 0,352 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Tla na terenu s talnim ogrevanjem		Ustreza PURES-u 2010 DA	
Sloji v konstrukciji	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Mavčno-vlakenne plošče 10mm	1,0	0,21	900	840	0,9	0,4
Mavčno-vlakenne plošče 15mm	1,5	0,21	900	840	0,9	0,4
Steklena volna Knauf insul. Classic 040	10	0,04	12	840	0,9	0,6
Mavčno-vlakenne plošče 15mm	1,5	0,21	900	840	0,9	0,4
Mavčno-vlakenne plošče 10mm	1,0	0,21	900	840	0,9	0,4

Sestava strehe brez toplotne izolacije in sestava in lastnosti tal na terenu so enake kot pri modelu OPEKA.

Lastnosti modela BIOPASIV

Model BIOPASIV je tako kot CLASIC primer lahke lesene montažne gradnje. Sestava konstrukcije je povzeta po slovenskem proizvajalcu montažnih hiš Lumar Ig, d.o.o, iz Maribora [34]. Ker materiali, iz katerih je sestavljena konstrukcija niso znani, smo jih inženirsko določili na podlagi lastnih izkušenj. Nosilna konstrukcija sten in stropov je iz lesenih okvirjev. Prazen prostor v stenskih in stropnih okvirjih je zapolnjen s toplotno izolacijo. Poglavitna razlika med modelom BIOPASIV in CLASIC je v debelini in vrsti toplotne izolacije. Pri modelu CLASIC je uporabljena toplotna izolacija iz steklene volne in ekspanziranega polistirena, pri modelu BIOPASIV pa toplotna izolacija iz lesenih vlaken proizvajalca Gutex [35]. Pri modelu CLASIC je skupna debelina toplotne izolacije zunanje stene 26 cm, pri modelu BIOPASIV pa 42 cm. Pri ostalih konstrukcijskih sklopih je razmerje v debelini toplotne izolacije podobno. Sestave konstrukcij so prikazane v preglednicah od 27 do 32.

Preglednica 27: Model BIOPASIV. Sestava in lastnosti zunanje stene

Naziv konstrukcije Obodne stene	Toplotna prehodnost 0,086 W/(m ² K)		Tip konstrukcije Zunanja stena		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji - prvi sloj je zunaj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Silikatni zariban omet 2,0	0,3	1	1400	1050	0,9	0,65
EPS lepilna malta	0,5	1	1600	1050	0,9	0,65
Gutex Thermovall gf	6	0,043	190	2100	0,9	0,5
Gutex Thermofibre, z nosilno konstrukcijo	36	0,04	54	2100	0,9	0,5
Mavčna plošča 15mm	1,5	0,21	900	840	0,9	0,4
Mavčna plošča 10mm	1,0	0,21	900	840	0,9	0,4

Preglednica 28: Model BIOPASIV. Sestava in lastnosti ravnih streh

Naziv konstrukcije Ravna streha	Toplotna prehodnost 0,069 (W/m ² K)		Tip konstrukcije Ravna streha		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji - prvi sloj je zunaj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Keramične ploščice	1	1,28	2300	920	0,95	0,45
Cementni estrih	6	1,44	2200	960	0,9	0,65
EPS 70	6	0,039	15	1260	0,9	0,6
Strešna membrana	0,1	0,16	1121	1460	0,9	0,7

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 28

OSB plošča 18	1,5	0,13	690	2090	0,9	0,5
Gutex Thermofibre, z nosilno konstrukcijo	40	0,04	54	2100	0,9	0,5
OSB plošča 15	1,5	0,13	690	2090	0,9	0,5
Mavčna plošča 12,5mm	1,25	0,21	900	840	0,9	0,4

Preglednica 29: Model BIOPASIV. Sestava in lastnosti stropa proti neogrevanemu podstrešju

Naziv konstrukcije Strop proti podstrešju	Toplotna prehodnost 0,096 (W/m ² K)		Tip konstrukcije Strop proti neogrevanemu prostoru		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji – prvi sloj je zunaj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
OSB plošča 18	1,8	0,13	690	2090	0,9	0,5
Gutex Thermofibre z nosilno konstrukcijo stropa	40	0,04	54	2100	0,9	0,5
OSB plošča 18	1,8	0,13	690	2090	0,9	0,5
Mavčna plošča 12,5mm	1,25	0,21	900	840	0,9	0,4

Preglednica 30: Model BIOPASIV. Sestava in lastnosti stropa proti poševni strehi

Naziv konstrukcije Streha nad galerijo	Toplotna prehodnost 0,095 (W/m ² K)		Tip konstrukcije Poševna streha nad ogrevanim podstrešjem		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji – prvi sloj je zunaj	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Strešniki	2	0,76	1800	920	0,93	0,7
Zračni prostor d=5cm	5	0,18	1			
Les-smreka, bor	2,54	0,14	550	1670	0,9	0,6
Gutex Thermofibre z nosilno konstrukcijo	40	0,04	54	2100	0,9	0,5
Parna ovira	0,015	0,19	450	1100	0,9	0,7
Mavčna plošča 12,5mm	1,25	0,21	900	840	0,9	0,4

Preglednica 31: Model BIOPASIV. Sestava in lastnosti medetažne konstrukcije

Naziv konstrukcije Medetažna konstrukcija	Toplotna prehodnost 0,749 (W/m ² K)		Tip konstrukcije Strop med ogrevanimi prostori		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Keramične ploščice	1	1,28	2300	920	0,95	0,45
Cementni estrih	6	1,44	2200	960	0,93	0,65
EPS 70	2	0,04	15	1260	0,9	0,6
OSB plošča 18	1,8	0,13	690	2090	0,9	0,5
Zračni prostor	10	0,18	1			
Gutex Thermofibre z nosilno konstrukcijo	10	0,04	54	2100	0,9	0,5
OSB plošča 15	1,5	0,13	690	2090	0,9	0,5
Mavčna plošča 12,5mm	1,25	0,21	900	840	0,9	0,4

Preglednica 32: Model BIOPASIV. Sestava in lastnosti notranjih sten

Naziv konstrukcije Notranje stene	Toplotna prehodnost 0,352 (W/m ² K)		Tip konstrukcije Notranje in predelne stene		Ustreza PURES 2010 DA	
Sloji v konstrukciji	Debelina	Topl. prevodnost	Gostota	Toplotna kapaciteta	Toplotna absorptivnost	Solarna absorptivnost
	[cm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[J/(kgK)]	α_{IR}	α_s
Mavčno- vlaknene plošče 10mm	10	0,21	900	840	0,9	0,4
Mavčno- vlaknene plošče 15mm	1,5	0,21	900	840	0,9	0,4
Gutex Thermofibre	10	0,04	54	2100	0,9	0,5
Mavčno- vlaknene plošče 10mm	1,5	0,21	900	840	0,9	0,4
Mavčno- vlaknene plošče 10mm	1,0	0,21	900	840	0,9	0,4

5.0 REZULTATI

5.1 Rezultati izračunov parametrov bivalnega okolja v stavbah

Ocena bivalnega okolja v stavbi

Osredotočili smo se na oceno toplotnega udobja v stavbi. Ocenili smo ga na podlagi indeksa PMV, ki je lahko med $\pm 0,7$ in PPD–indeksa, ki mora biti v skladu s pravilnikom o prezračevanju in klimatizaciji stavb [8] za toplotno udobne razmere manjši od 15. Indeks določata objektivno oceno zadovoljstva uporabnikov s toplotnim okoljem v stavbi. Po standardu ISO 7730:2005 (E) [36] lahko toplotno udobje razdelimo v tri razrede: A, B in C. V razredu A je nezadovoljnih najmanj ljudi, manj kot 6%, v razredu B manj kot 10% in v razredu C manj kot 15% vseh ljudi, ki so v stavbi (preglednica 33).

Preglednica 33: Kategorije toplotnega okolja po standardu ISO 7730:2005(E)

Razred	PMV	PPD [%]
A	$-0,2 < PMV < 0,2$	< 6
B	$-0,5 < PMV < 0,5$	< 10
C	$-0,7 < PMV < 0,7$	< 15

PMV indeks je odvisen od [36] :

- Človeškega metabolizma [W/m^2]
- Mehanskega dela, ki ga človek opravlja [W/m^2]
- Temperature zraka v prostoru [$^{\circ}C$]
- Srednje sevalne temperature v prostoru ($^{\circ}C$)
- Relativne vlažnosti [%]
- Efektivna izolativnost obleke [clo]

Za določitev pogojev toplotnega obdobja smo leto razdelil na dve glavni obdobji in eno prehodno. Glavni obdobji sta zimsko in poletno. Zimsko traja od 1. januarja do 10. maja, ko se konča kurilna sezona, in od 12. Oktobra, ko se kurilna sezona začne, pa do 31. decembra. Poletno obdobje se začne 11. maja in traja do 11. oktobra [12]. Zahtevane občutene temperature poleti in pozimi se zelo razlikujejo, zato smo uvedli prehodno obdobje, ki se prekriva 20 dni z zimskim in 20 dni s poletnim obdobjem. Izračunana temperatura zraka v prostoru je zelo podobna srednji sevalni temperaturi. Primerjali smo podatke o temperaturah in ugotovili, da je razlika med občuteno temperaturo in temperaturo zraka na najbolj hladen dan, ki je 10. Januarja, le $0,6^{\circ}C$. 10. maja, ob koncu kurilne sezone, je razlika med občuteno temperaturo in temperaturo zraka le $0,3^{\circ}C$. Ker je razlika zelo majhna, smo se odločili, da kot prvo spremenljivko upoštevamo izračunano občuteno temperaturo, ki je v

teh razmerah aritmetična sredina med temperaturo zraka in srednjo temperaturo sten [8]. Druga spremenljivka je relativna vlaga. Opazovali smo relativno vlažnost v območju med 20 % in 70 %, v koraku po 10 %. PMV in PPD indeks smo izračunali s pomočjo spletnega kalkulatorja [38] in ga prikazali kot funkcijo relativne vlažnosti in občutene temperature.

Zimsko obdobje

Za izračun v zimskem obdobju smo uporabili naslednje vrednosti: stopnja človeškega metabolizma 70 W/m^2 , kar predstavlja stoječo osebo, mehansko delo, ki ga človek opravlja 0 W/m^2 in efektivna izolativnost obleke 1,0 clo, kar predstavlja osebo oblečeno v spodnje hlače, majico, hlače, jakno, nogavice in čevlje. Te vrednosti so konstantne za celotno zimsko obdobje in so prikazane v preglednici 34.

Preglednica 34: PMV in PPD–indeks v zimskem obdobju pri 1,0 clo in metabolizmu 70 W/m^2 v odvisnosti od občutene temperature in relativne vlažnosti zraka

Občutena temperatura [°C]	Relativna vlažnost [%]									
	30		40		50		60		70	
	PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD
18									-0,69	15,1
19	-0,67	14,4	-0,62	13,1	-0,57	11,9	-0,52	10,7	-0,47	9,7
20	-0,46	9,4	-0,41	8,5	-0,36	7,6	-0,3	6,9	-0,25	6,3
21	-0,25	6,3	-0,19	5,8	-0,14	5,4	-0,08	5,1	-0,03	5
22	-0,04	5	0,02	5	0,08	5,1	0,14	5,4	0,2	5,8
23	0,17	5,6	0,24	6,2	0,3	6,9	0,36	7,7	0,43	8,8
24	0,39	8,2	0,46	9,3	0,52	10,7	0,59	12,3	0,66	14
25	0,6	12,7	0,68	14,6						

- Legenda:
- Območje A (SIST ISO 7730)
 - Območje B (SIST ISO 7730)
 - Območje C (SIST ISO 7730)

Iz preglednice 34 je razvidno, da je v zimskem obdobju toplotno udobje ustrezno, ko so občutene temperature med $19 \text{ }^\circ\text{C}$ in $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Pri $18 \text{ }^\circ\text{C}$ je PMV $-0,69$, kar še ustreza Pravilniku o klimatizaciji in prezračevanju stavb [8], je pa PPD–indeks, ki prikazuje odstotek nezadovoljnih, $15,1$, kar je več, kot je dovoljeno po Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji

stavb [8]. Meje območij udobja so ozke. Območje A je med 21 °C in 22 °C, Območje B med 20 °C in 23 °C in območje C med 19 °C, in 25 °C.


Prehodno obdobje

Za izračun v prehodnem obdobju smo uporabili naslednje vrednosti: stopnja človeškega metabolizma 70 W/m², kar predstavlja stoječo osebo, mehansko delo, ki ga človek opravlja 0 W/m², in efektivna izolativnost obleke 0,7 clo, kar predstavlja osebo, oblečeno v spodnje perilo, majico, hlače, nogavice in čevlje. Te vrednosti so konstantne za vse prehodno obdobje.

Preglednica 35: PMV in PPD–indeks pri 0,7 clo in metabolizmu 70 W/m² v odvisnosti od občutene temperature in relativne vlažnosti zraka

Občutena temperatura [°C]	Relativna vlažnost [%]									
	30		40		50		60		70	
	PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD
21					-0,65	14	-0,6	12,5	-0,54	11,2
22	-0,51	10,5	-0,46	9,3	-0,4	8,3	-0,34	7,4	-0,28	6,6
23	-0,26	6,4	-0,2	5,8	-0,14	5,4	-0,07	5,1	-0,01	5
24	-0,01	5	0,06	5,1	0,13	5,3	0,19	5,8	0,26	6,4
25	0,25	6,3	0,32	7,1	0,39	8,2	0,46	9,4	0,53	10,9
26	0,5	10,3	0,58	12	0,65	14				

Legenda:  Območje A (SIST ISO 7730)

 Območje B (SIST ISO 7730)

 Območje C (SIST ISO 7730)


Poletno obdobje

Za izračun v poletnem obdobju smo uporabili naslednje vrednosti: stopnja človeškega metabolizma 70 W/m², kar predstavlja stoječo osebo. Mehansko delo, ki ga človek opravlja 0 W/m². efektivna izolativnost obleke 0,5 clo, kar predstavlja osebo oblečeno v spodnje hlače, majico s kratkimi rokavi, lahke hlače, nogavice in sandale. Te vrednosti so konstantne za vse poletno obdobje in prikazane v preglednici 36.

Preglednica 36: PMV in PPD–indeks pri 0,5 clo in metabolizmu 70 W/m² v odvisnosti od občutene temperature in relativne vlažnosti zraka

Občutena temperatura [°C]	Relativna vlažnost [%]									
	30		40		50		60		70	
	PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD
23	-0,67	14,3	-0,6	12,6	-0,54	11,1	-0,48	9,8	-0,42	8,6
24	-0,38	7,9	-0,31	7	-0,24	6,2	-0,18	5,6	-0,11	5,2
25	-0,08	5,1	-0,01	5	0,06	5,1	0,13	5,3	0,2	5,8
26	0,21	5,9	0,29	6,7	0,36	7,7	0,44	9	0,51	10,4
27	0,51	10,4	0,59	12,2	0,67	14,3				

Legenda:  Območje A (SIST ISO 7730)

 Območje B (SIST ISO 7730)

 Območje C (SIST ISO 7730)

Iz preglednice 36 je razvidno, da je območje, kjer je v poletnem obdobju toplotno udobje ustrezno, med 23 °C in 27 °C. Tudi tukaj je temperaturno območje, ki določa meje udobja, ozko. Območje A je med 24 °C in 25 °C, Območje B med 23 °C in deloma 24 °C ter 26 °C, in območje C med 23 °C in 27 °C. Relativna vlažnost zraka ima manjši vpliv. Še najbolj vpliva na rezultate pri temperaturah, ki so na mejah sprejemljivosti. Izračunani rezultati so primerljivi s tabelo 5, priloge 1 Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb [8], ki določa, da mora biti občutena temperatura v pisarnah, učilnicah, avditorijih in konferenčnih dvoranh poleti 24,5 °C ± 2,5 °C in pozimi 22,0 °C ± 3,0 °C. Te zahteve so primerljive z izračunanimi, le najnižja dovoljena občutena temperatura poleti je po pravilniku za 1 °C nižja kot izračunana.

5.2 Rezultati simulacije na lokaciji Udine

5.2.1 Bivalno udobje v nekondicionirani stavbi

Bivalne udobje ob najnižji temperaturi zunanega zraka v zimskem obdobju

Stavba ni ogrevana in hlajena (stavba je v prostem teku). Izmenjava zunanega zraka z notranjim je 0,5 h⁻¹. Za izračun bivalnih razmer smo si izbrali za pogoj najnižjo temperaturo zunanega zraka. Po v modelu uporabljenih vremenskih podatkov je to 10. januarja ob 6:00. Takrat znaša zunanja temperatura zraka -6,34 °C. Temperatura zunanje površine fasade je takrat nižja in znaša -8,2 °C, temperatura zasteklitve na zunanji strani pa -7,4 °C.

Temperatura zraka v stavbi pri modelu OPEKA je ta dan ob 6:00 9,2 °C. Na ta dan temperatura zraka v stavbi ni najnižja izmerjena, vendar se najnižja temperatura zraka pri različnih zasnovah fasadnih sistemov, zaradi različnih odzivov na vremenske razmere ne pojavlja na isti dan. Najnižja in najvišja temperatura v prostoru se tako ne ulemata z najnižjo in najvišjo temperaturo zunanjega zraka, saj sta odvisni tudi od sevalnih izgub in v konstrukcijskih sklopih akumulirane toplotne energije. Tako tudi dan, ko je temperatura zraka v prostoru najnižja, ni za vse konstrukcije enak. Pri modelu OPEKA in BETON je najnižja temperatura zraka v prostoru dne 18. 2 in sicer 8. 1. °C, in 8,3 °C, pri modelu CLASIC in BIOPASIV pa 12. januarja, in sicer 6,4 °C in 7,5 °C. Zaradi primerjave rezultatov smo morali vhodne pogoje poenotiti, zato smo se odločili, da bodo vsi modeli stavb obravnavani na isti dan. Izbrane toplotne cone so opazovane ob 6:00, 14:00 in 22:00. Ob teh urah smo odčitali izračunane temperature zraka v prostorih in srednjo sevalno temperaturo. Občutena temperatura se po Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb [8] izračuna po enačbi:

$$\theta(0) = u\theta(1) + (1 - u)\theta(s) \quad (12)$$

kjer je:

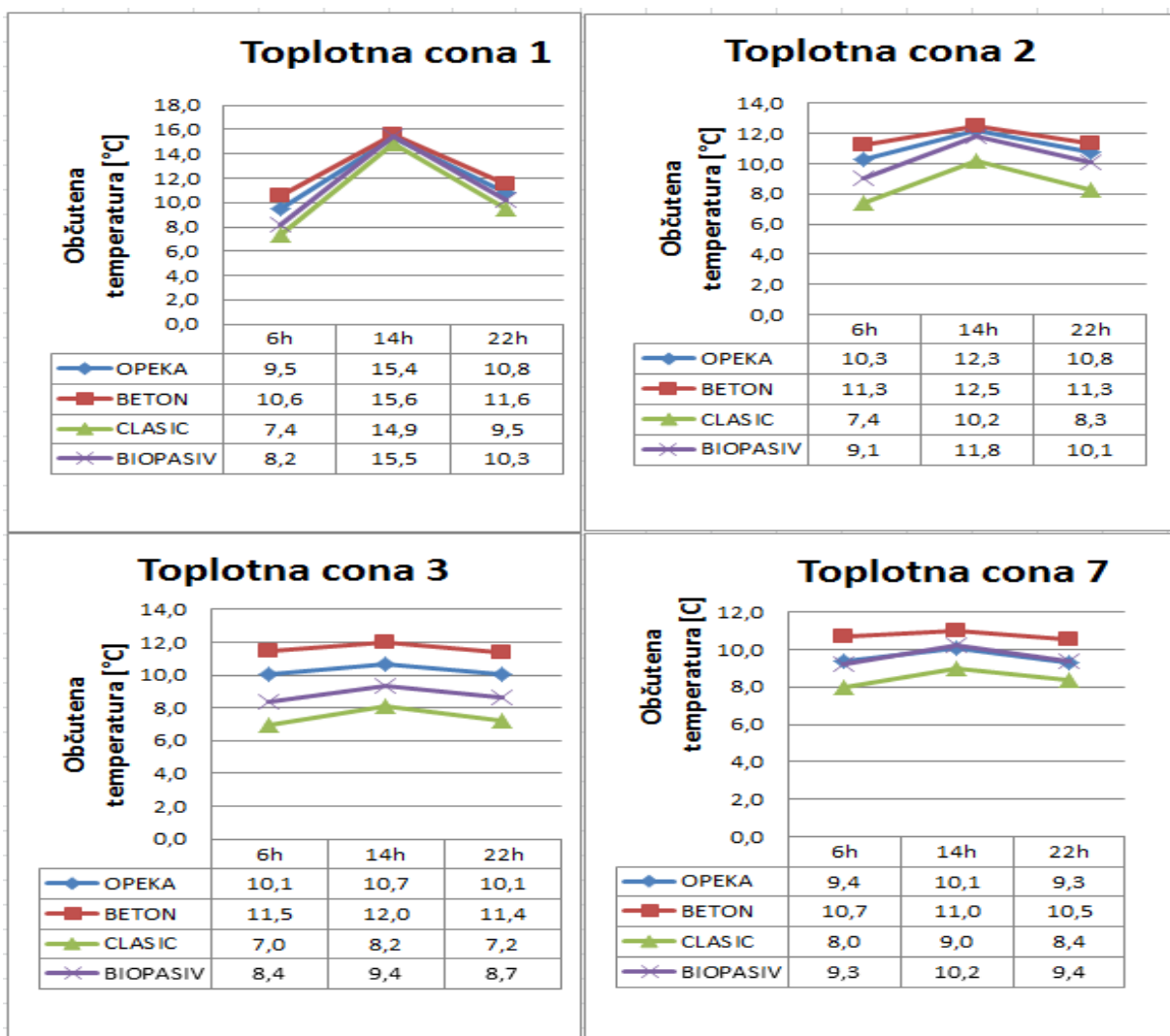
$\theta(0)$ - občutena temperatura zraka v izbrani lokaciji prostora [°C],

$\theta(1)$ - občutena temperatura zraka v izbrani lokaciji prostora [°C],

$\theta(s)$ - srednja sevalna temperatura obdajajočih površin glede na izbrano lokacijo v prostoru [°C],

u – vrednost, ki je odvisna od hitrosti zraka. Predvidena hitrost zraka v [m/s] je manjša od 0,2 m/s, zato je po Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb $u=0,5$.

Rezultati simulacij pokažejo, da čeprav je zunanja temperatura $-6,34$ °C, v nobeni coni občutena temperatura zraka ne pade pod 0 °C. Občutene temperature po conah so prikazane na sliki 16.



Slika 16: Občutene temperature [°C] na najhladnejši dan, 10. januar, v TC1, TC2, TC3 in TC7

Iz grafikonov je razvidno, da v nobeni coni niso izpolnjeni parametri toplotnega udobja, ki jih predpisuje pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Takšen rezultat je bil tudi pričakovan, saj stavba ni kondicionirana. Stavbo je zato potrebno ogrevati. Podroben opis razmer v prostorih bomo opisali za TC1 model BETON in TC3 model CLASIC. Ti zasnovi stavbnega ovoja predstavljata ekstrema med vsemi analiziranimi zasnovami. Rezultati so prikazani v preglednicah 37 in 38.

Preglednica 37: Izračunani parametri bivalnega udobja v toplotni coni 1, model BETON

Toplotna cona 1, model BETON							
ura	Temperatura zraka v prostoru $\theta(1)$, [°C]	Srednja temperatura sten – radiacijska temperatura [°C]	Občutena temperatura [°C]	Najvišja temperatura površine notranje stene [°C]	Temperatura notranje površine zasteklitve [°C]	Temperatura poda [°C]	Relativna vlažnost zraka [%]
6:00	10,2	11	10,6	11,7	6,1	11,9	24
14:00	15,2	16	15,6	13,2	20,4	15,6	22
22:00	11,2	11,9	11,6	12,4	7,9	13,5	25

Preglednica 38: Izračunani parametri bivalnega udobja v toplotni coni 3, model CLASIC

Toplotna cona 3, model CLASIC							
ura	Temperatura zraka v prostoru $\theta(1)$, [°C]	Srednja temperatura sten – radiacijska temperatura [°C]	Občutena temperatura [°C]	Najvišja temperatura površine notranje stene [°C]	Temperatura notranje površine zasteklitve [°C]	Temperatura poda [°C]	Relativna vlažnost zraka [%]
6:00	6,7	7,3	7	7	5,5	7,9	31
14:00	8,1	8,2	8,15	8,1	12,3	8,4	35
22:00	7,1	7,3	7,2	7,6	5,9	8,3	33

Iz preglednic je razvidno, da so občutene temperature skoraj enake temperaturam zraka v prostoru. Stene so nekoliko hladnejše, k izravnani temperaturi pa pripomorejo zastekljene površine, ki se v TC1 modela BETON segrejejo do 20,4 °C. Največja temperaturna asimetrija med temperaturo zraka in notranjim površinami se pojavi ob 14:00 in znaša 5,2 °C. Relativna vlažnost zraka je nizka in se giblje med 22 % in 35 %.


Toplotno udobje ob koncu kurilne sezone

Konec kurilne sezone ni več zakonsko predpisan, vendar ARSO [37] na svojih spletnih straneh še vedno omogoča izračun začetka in konca kurilne sezone. Za konec kurilne sezone ARSO uporablja definicijo: "*Kurilna sezona se konča, ko je zunanja temperatura zraka ob 21. uri zadnjič v sezoni tri dni zapored večja od 12 °C. Tretji dan je konec kurilne sezone, naslednji dan, to je četrti, je že izven kurilne sezone. S to metodo je simulirano delovanje toplarn in večjih kurišč.*" Za obravnavano lokacijo po tej definiciji velja, da je začetek kurilne sezone 13. oktober, konec pa 10. maj. Na dan, ko je kurilne sezone konec, smo iz rezultatov računskih modelov odčitali temperature notranjega zraka, temperaturo najtoplejše stene in zasteklitve, temperaturo poda in relativno vlažnost zraka. Rezultate smo

primerjal s predpisanimi vrednostmi, ki so navedene v Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb [8] in jih prikazali v preglednici 39.

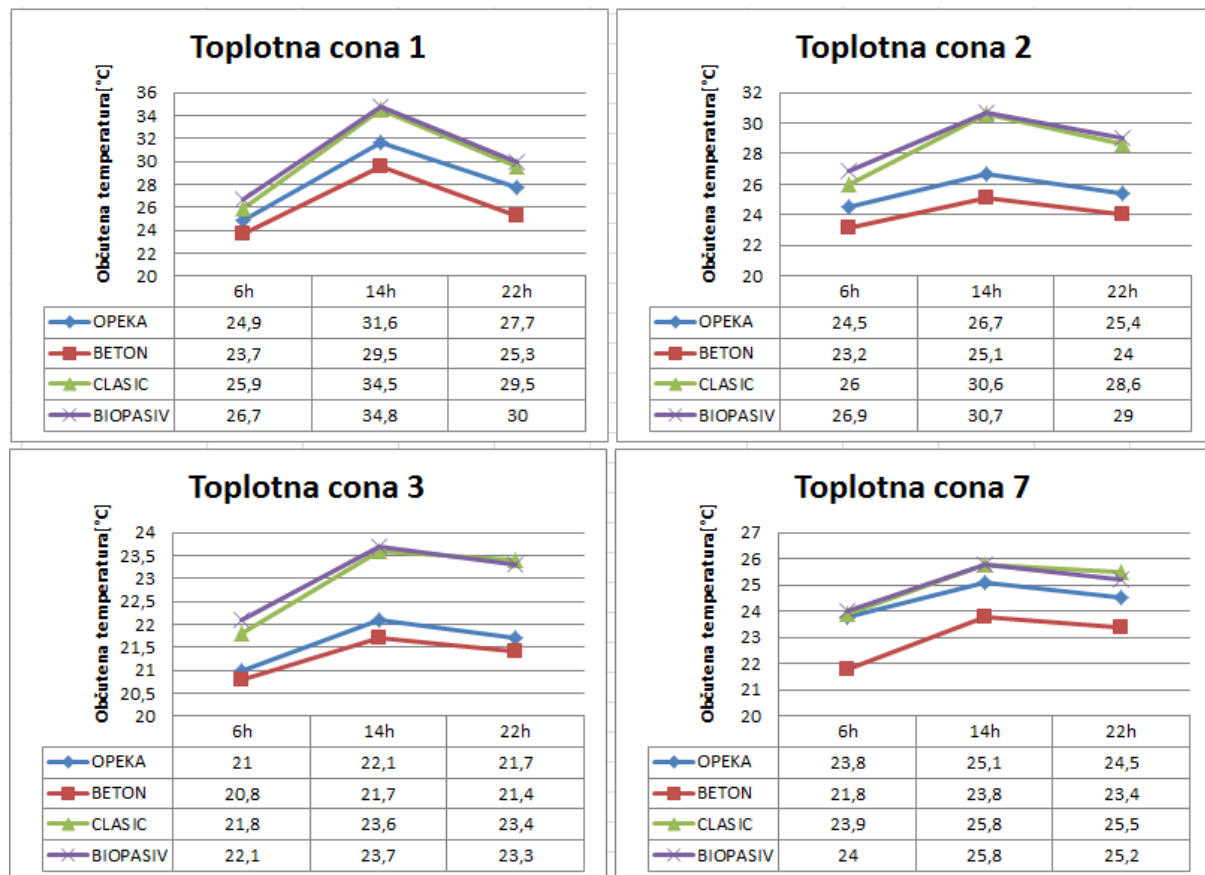
Preglednica 39: Bivalne razmere v toplotnih conah na dan 10. 5.

	Toplotna cona	Občutena temperatura [°C]			Najvišja temperatura notranje stene [°C]			Najvišja temperatura notranje površine zasteklitve [°C]			Temperatura poda [°C]			Največja sevalna temperaturna asimetrija [°C]			Relativna vlažnost v zraku [%]		
		ura	6h	14h	22h	6h	14h	22h	6h	14h	22h	6h	14h	22h	6h	14h	22h	6h	14h
OPEKA	TC1	24,9	31,6	27,7	26,1	29,7	28,1	23,9	39,7	25,6	26,2	30	28,9	1,3	8,2	-2,1	35	25	30
	TC2	24,5	26,7	25,4	25	26,4	25,8	23,1	33,6	24,2	25	26,1	25,9	-1,4	7	-1,2	36	31	33
	TC3	21	22,1	21,7	21,3	21,7	21,7	20,3	27,9	20,7	21,3	21,6	21,6	-0,7	5,8	-1	44	41	44
	TC4	23,8	25,1	24,5	23,8	24,3	24,3	23,4	27,3	23	23,6	23,8	23,6	-0,4	2,2	-1,5	38	35	35
BETON	TC1	23,7	29,5	25,3	25,3	27,1	26,4	22,7	36,3	23,9	24,7	28,4	27	1,6	6,9	1,8	38	27	32
	TC2	23,2	25,1	24	23,7	24,4	24,3	22,4	32,1	22,8	20,9	21,2	21,2	-2,3	7,1	-2,8	39	35	36
	TC3	20,8	21,7	21,4	20,9	21,1	21,3	20	27,6	20,3	20,9	21,2	21,3	-0,8	6	-0,1	45	42	41
	TC4	21,8	23,8	23,4	22,9	23,2	23,3	22,8	26,5	22,2	22,7	23	22,9	1,1	2,8	2	40	37	37
CLASIC	TC1	25,9	34,5	29,5	26,3	33,7	30,4	24,9	40,6	27,9	27,8	32,1	31,6	2	6,2	2,2	33	21	26
	TC2	26	30,6	28,6	26,3	30,6	29,1	24,9	37	27,2	27,1	29,2	29,3	1,2	6,5	-1,4	33	26	28
	TC3	21,8	23,6	23,4	22	23,3	23,7	21,1	29,3	22,2	22,3	22,8	23,3	-0,7	5,8	-1,2	42	38	37
	TC4	23,9	25,8	25,5	24,1	25,7	25,8	23,9	28,3	24,2	24,2	24,6	24,7	0,3	2,5	-1,3	37	33	33
BIOPASIV	TC1	26,7	34,8	30	27,5	33,7	31	25,6	40,9	28,3	28,4	32,6	32	1,7	6,1	2,1	32	20	25
	TC2	26,9	30,7	29	24,5	30,5	29,2	25,8	37,1	27,5	27,7	29,6	29,6	-2,4	6,5	-1,5	32	25	27
	TC3	22,1	23,7	23,3	22,5	23,3	23,4	21,3	29,4	22,1	22,6	23	23,3	-0,8	5,8	-1,2	41	38	38
	TC4	24	25,8	25,2	24,4	25,6	25,4	24	28,3	23,9	24,2	24,6	24,6	0,4	2,5	-1,3	37	33	34

 Z rdečo so označene vrednosti, ki ne ustrezajo zahtevam glede na Pravilnik o klimatizaciji in prezračevanju stavb [8]

Iz preglednice je razvidno, da v nobenem od računskih modelov, na dan ko je konec kurilne sezone, bivalne razmere niso v skladu s pravilnikom o prezračevanju in klimatizaciji stavb [8]. Pri vseh modelih sta v TC1 občutena temperatura zraka in temperatura poda previsoka, relativna vlažnost zraka pa prenizka. V TC2 so pri modelu BETON bivalne razmere ugodne. Pri modelu OPEKA odstopanja od predpisanih vrednosti niso velika, saj je občutena

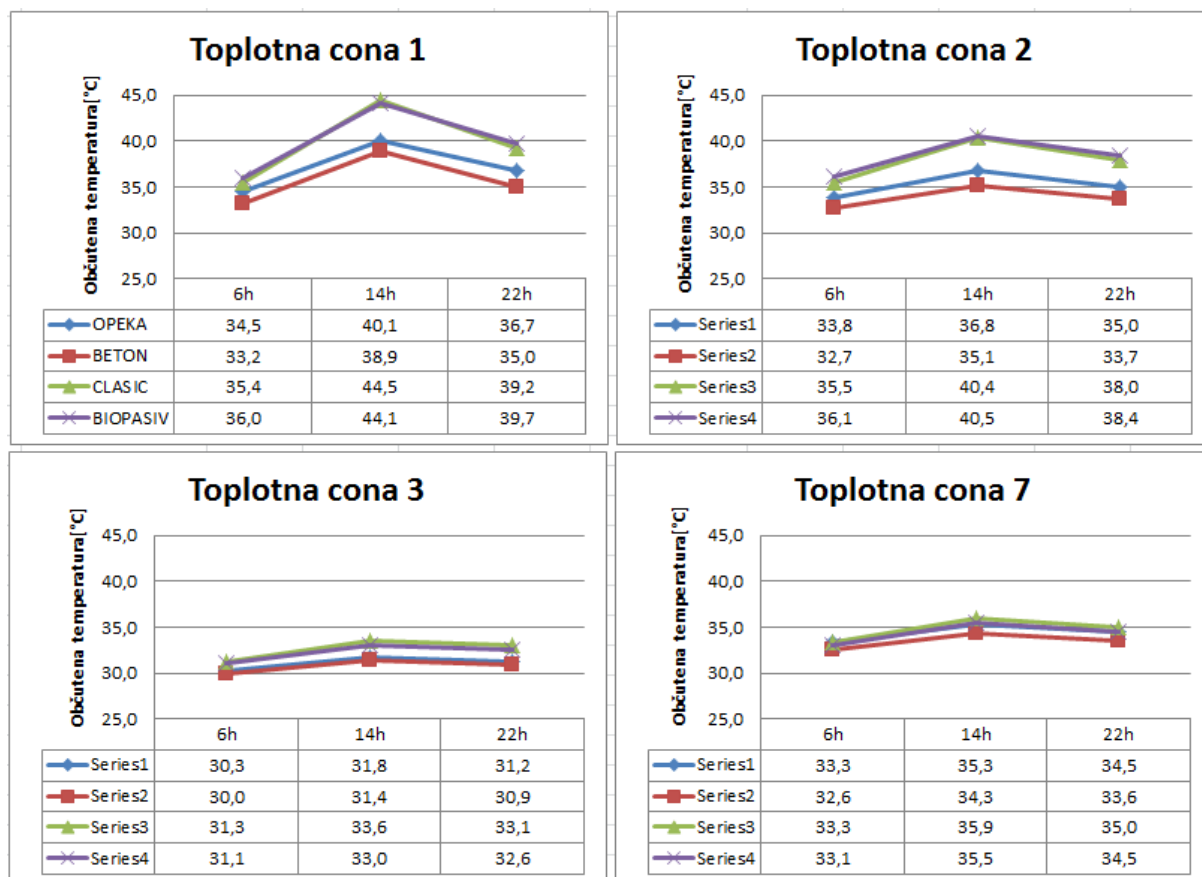
temperatura ob 14:00 za 0,7 °C previsoka, temperatura poda pa za 0,1 °C. Pri modelu CLASIC in BIOPASIV pa sta ob 14:00 občuteni temperaturi za 4,6 °C in 4,7 °C previsoki. Prav tako sta previsoki temperaturi poda, saj od predpisane vrednosti odstopata za 3,2 °C in 3,6 °C. Gibanje občutenih temperatur je prikazano na sliki 17.



Slika 17: Občutene temperature [°C] na najhladnejši ob koncu kurilne sezone v TC1, TC2, TC3 in TC7

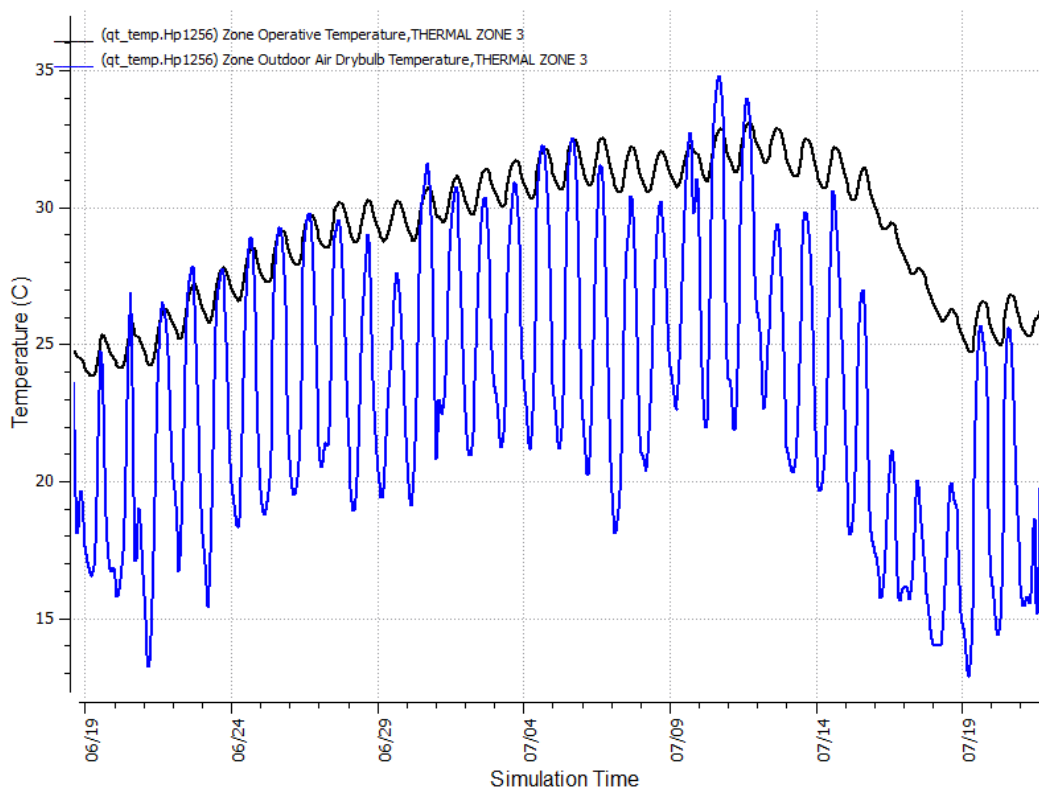
Bivalno udobje ob najvišji temperaturi zunanjega zraka v poletnem obdobju

Najtoplejši dan je 10. julij, ko je temperatura zunanjega zraka ob 16:00 34,7 °C. Na ta dan je zunanja temperatura zraka ob 6:00 22,2 °C. ob 14:00 34,4 °C in ob 22:00 26,6 °C. Občutene temperature na ta dan prikazujemo v sliki 18.



Slika 18: Občutene temperature [°C] v TC1, TC2, TC3 in TC7 na dan 10. 7.

Iz podatkov o temperaturah zraka je razvidno, da v nobeni coni, pri nobenem od analiziranih modelov občutena temperatura zraka ne ustreza Pravilniku o klimatizaciji in prezračevanju stavb [8]. Prostor se pregrevajo in so za bivanje neprimerni. Izračunane vrednosti so bile preverjene pri lastniku stavbe. V vročem poletnem obdobju, ko so popoldanske temperature zunanjega zraka dosegle 35°C, je bila v stavbi, ko so bili izključeni vsi sistemi za uravnavanje temperature, izmerjena temperatura zraka v TC1 ob cca 8:00 35 °C. Grafikon 6 prikazuje spreminjanje temperatur v modelu BIOPASIV. Prikazana je TC3.



— Občutena temperatura [°C]

— Temperatura zunanjega zraka, merjena s suhim termometrom [°C]

Grafikon 6: : Diagram zunanjih temperatur zraka in občutenih temperatur [°C] v TC3 model BIOPASIV v obdobju med 19. 6. in 22. 7.

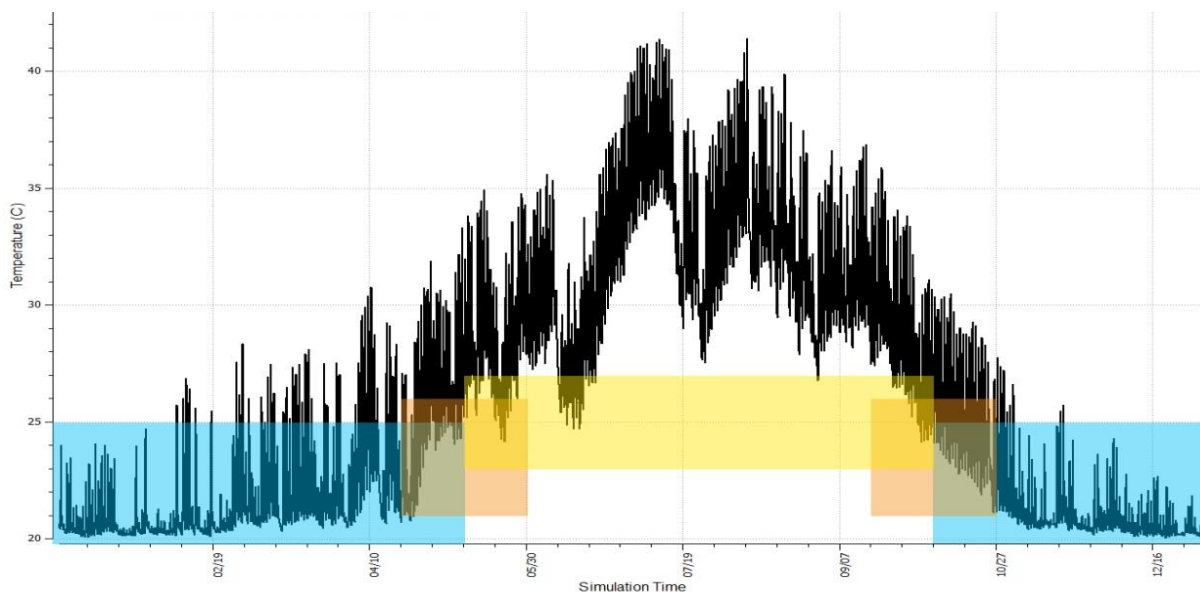
Iz diagrama je razvidno, da so občutene temperature v coni večji del dneva občutno višje kot temperature zunanjega zraka. Podnevi se toplota cona segreva, ponoči pa se ohladi samo za 1 °C do 1,5 °C. Cona je za bivanje v toplejšem letnem obdobju neprimerna.

5.2.2 Bivalno udobje v ogrevani stavbi

V tem računskem modelu se stavba samo ogreva. Hlajenja ni. Delovanje ogrevanja ni omejeno na začetek in konec kurilne sezone določene po definiciji ARSO. Tako lahko preverimo, ali je treba cone ogrevati tudi po koncu kurilne sezone. Termostat je nastavljen na 21 °C, kar po PMV indeksu ustreza območju A. Delitve na nočno in dnevno temperaturo ni, zato je želena nočna temperatura enaka dnevni. Program omogoča nastavitve želene temperature v prostoru brez definiranja generatorja toplote, grelnih teles, razvodov in regulatorjev (Ideal Air Loads) [39]. Ideal Air Loads izračuna, koliko energije je treba dodati ali odvzeti toplotni coni, da ohranimo želene temperature zraka v prostoru. Pri tem upošteva, da sta sistema ogrevanja in hlajenja 100 % učinkovita. Obremenitev s notranjimi toplotnimi viri je čez vse leto enaka in znaša 3,14 W/m². Izmenjava zraka v toplotni coni z zunanjim zrakom je

od $0,50 \text{ h}^{-1}$. V stavbi se ogrevajo vse toplotne cone, razen TC10, ki je hladno podstrešje. Med seboj smo primerjal TC1, TC2, TC3 in TC7 za vse štiri računske modele. Na grafikonih 7–10 so z barvo označena temperaturna območja, v katerih so glede na rezultate izračuna parametrov toplotnega udobja v stavbah temperature za bivanje udobne.

Toplotna cona 1

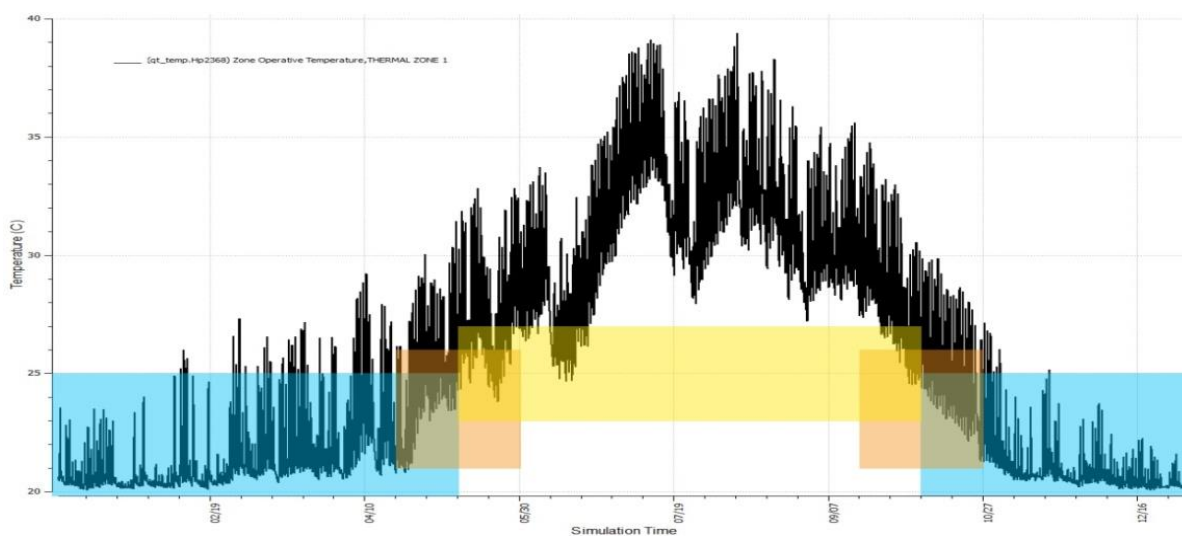


Legenda:

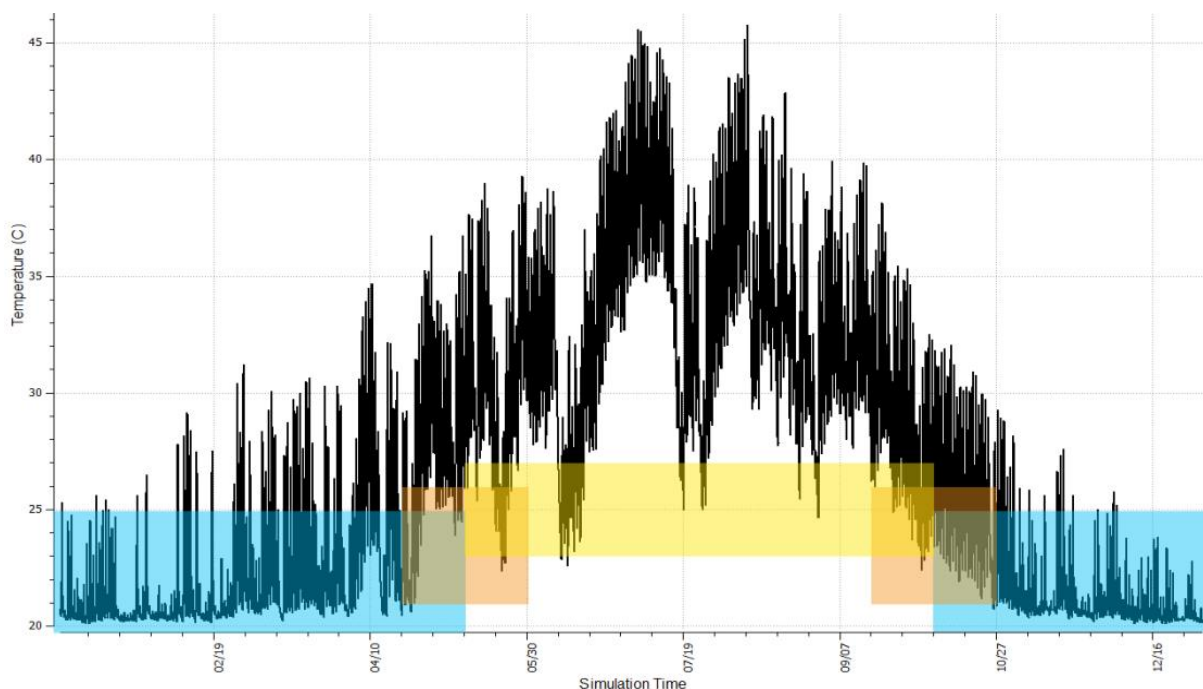
- Zimsko obdobje, ki traja od 1. 1. do 10. 5. in od 7. 10. do 31. 12. Območje udobja med $19 \text{ }^\circ\text{C}$ in $25 \text{ }^\circ\text{C}$
- Prehodno obdobje, ki traja od 20. 4. do 30. 5. in od 17. 9. do 27. 10. Območje udobja med $21 \text{ }^\circ\text{C}$ in $26 \text{ }^\circ\text{C}$
- Poletno obdobje, ki traja od 10. 5. do 7. 10. Območje udobja med $23 \text{ }^\circ\text{C}$ in $27 \text{ }^\circ\text{C}$

Legenda velja za vse letne grafikone občutenih temperatur

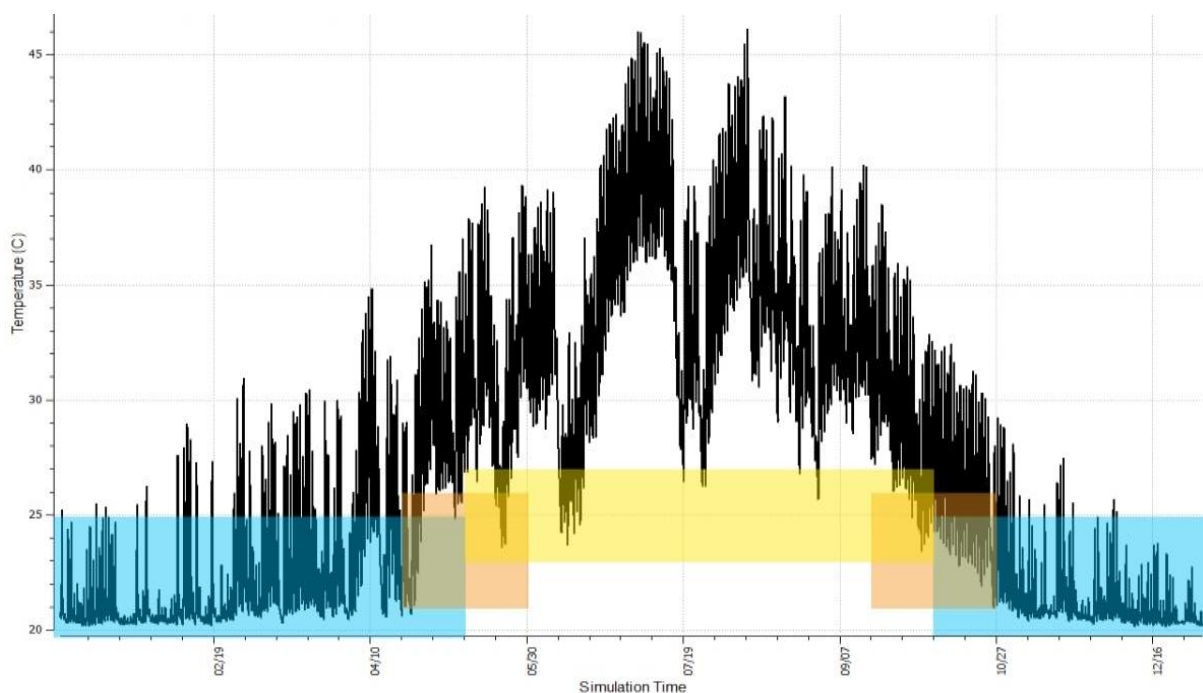
Grafikon 7: Gibanje občutenih temperatur [$^\circ\text{C}$] v TC1, model OPEKA



Grafikon 8: Gibanje občutenih temperatur [$^\circ\text{C}$] v TC1, model BETON



Grafikon 9: Gibanje občutenih temperatur [°C] v TC1, model CLASIC

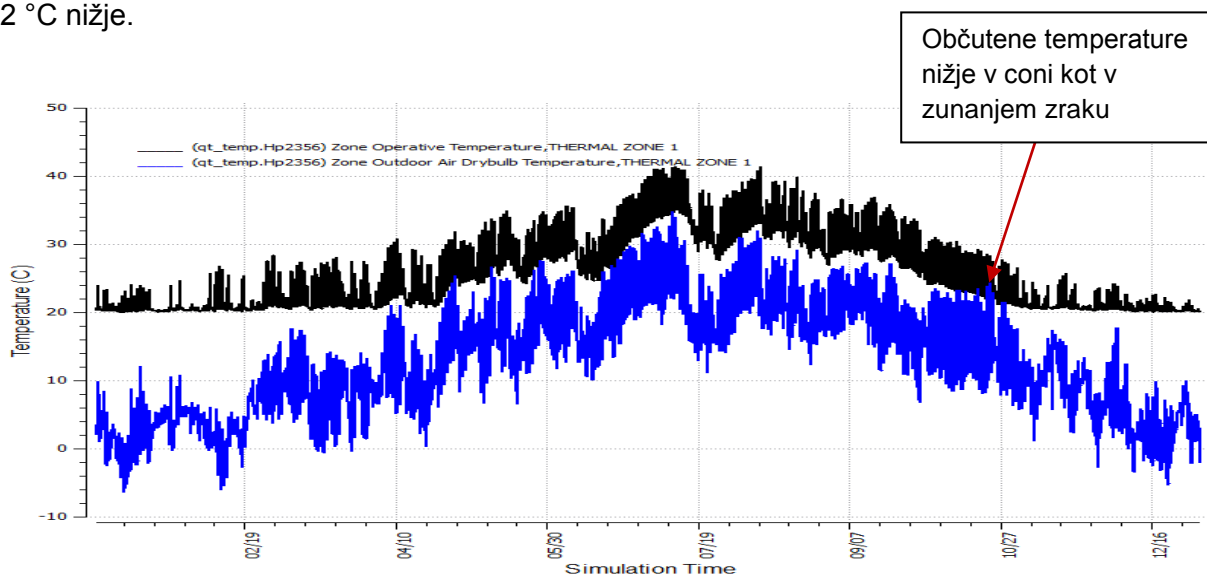


Grafikon 10: Gibanje občutenih temperatur [°C] v TC1, model BIOPASIV

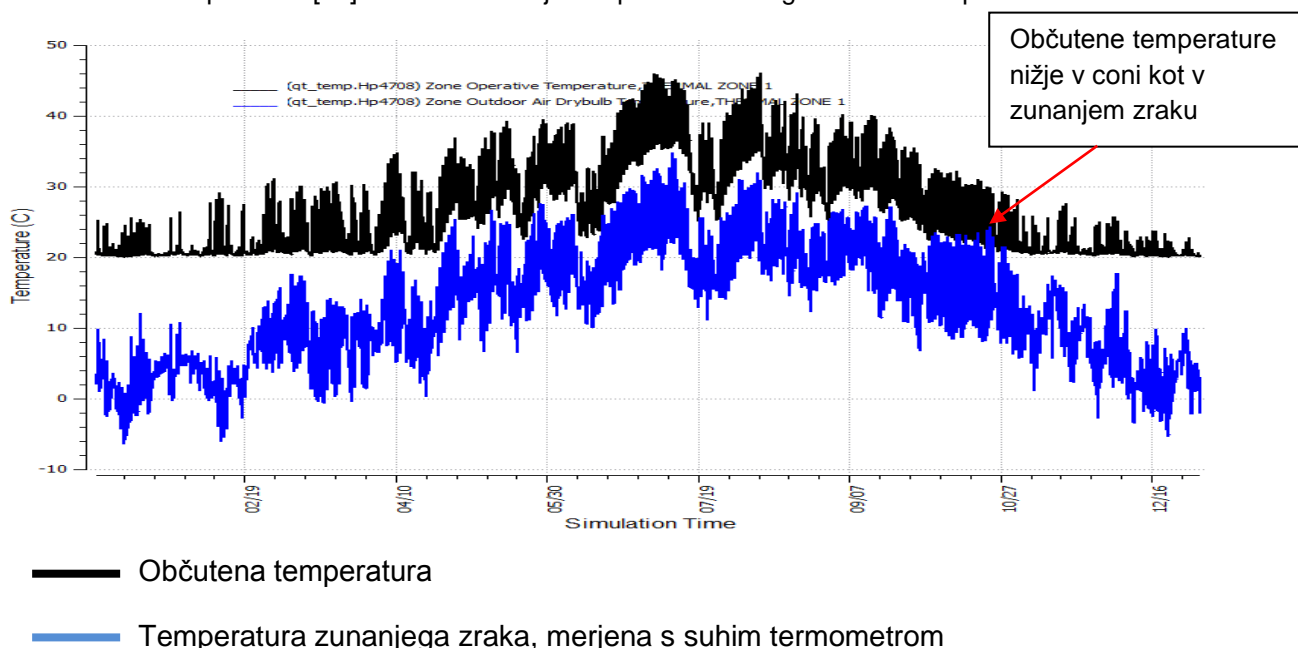
Iz grafikonov je razvidno, da pri vseh modelih prihaja do pregrevanje con. Pri modelih OPEKA in BETON se cona začne pregrevali v drugi dekadi februarja in se pregreva vse do sredine novembra. Pri modelu CLASIC in BIOPASIV pa jse rahlo pregrevanje pojavlja že januarja in se nadaljuje do začetka decembra. Najvišja občutena temperatura je dosežena pri modelu CLASIC in BIOPASIV, saj v prvi dekadi avgusta ob 14:00 doseže 46 °C. Pri modelu OPEKA je najvišja občutena temperatura nekoliko nižja, 41 °C, pri modelu BETON

pa 39 °C. Vse izračunane občutene temperature so bistveno previsoke za udobno bivanje. Pri modelu OPEKA in BETON se občutena temperatura od začetka julija pa do konca septembra tudi v nočnem času ne spusti pod zahtevanih 27 °C. Pri modeli CLASIC in BIOPASIV je občasno temperatura nižja od 27 °C, vendar le v najhladnejšem delu noči. TC1 je pri vseh analiziranih tipih stavbnih ovojev večji del leta neprimerna za bivanje.

Iz grafikonov 11 in 12 je razvidno, da občutena temperatura v prostoru, razen nekaj dni oktobra, ni nikoli nižja od zunanje temperature zraka, merjene s suhim termometrom. To kaže, da se TC1 obnaša kot topla greda. Model BETON se obnaša podobno kot model OPEKA in model CLASIC podobno kot model BIOPASIV, le da so temperature za 1 °C do 2 °C nižje.



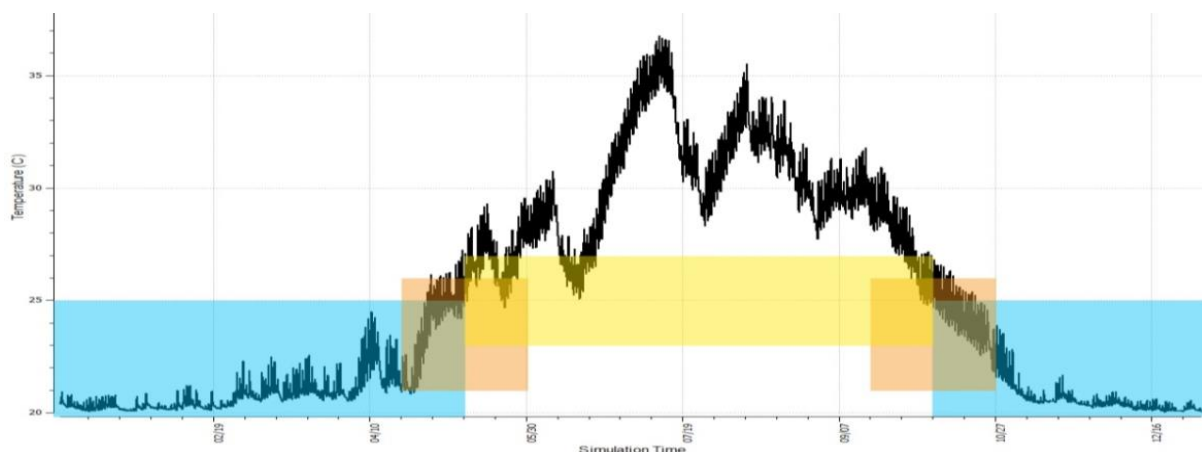
Grafikon 11: Temperature [°C] v TC1 in zunanje temperature suhega termometra pri modelu OPEKA



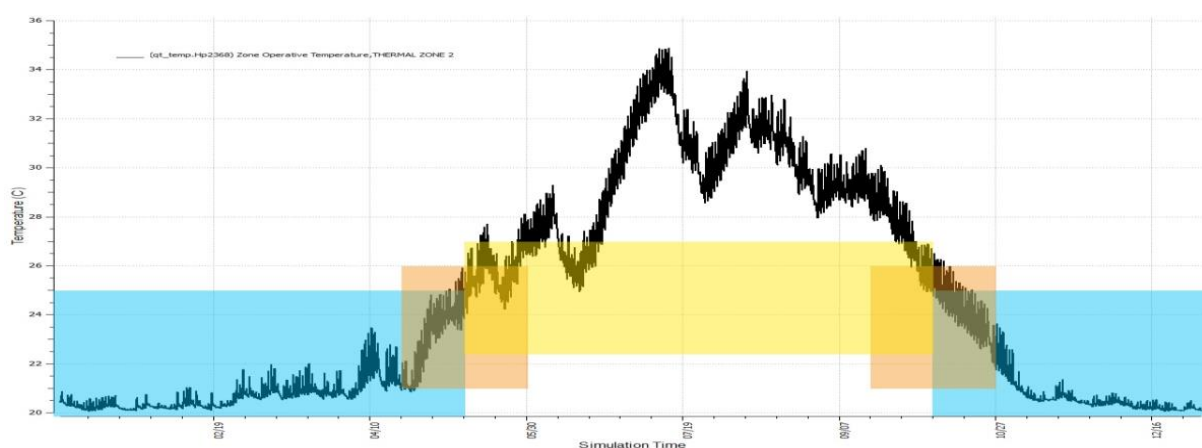
Grafikon 12: Temperature [°C] v TC1 in zunanje temperature suhega termometra pri modelu CLASIC

Toplotna cona 2

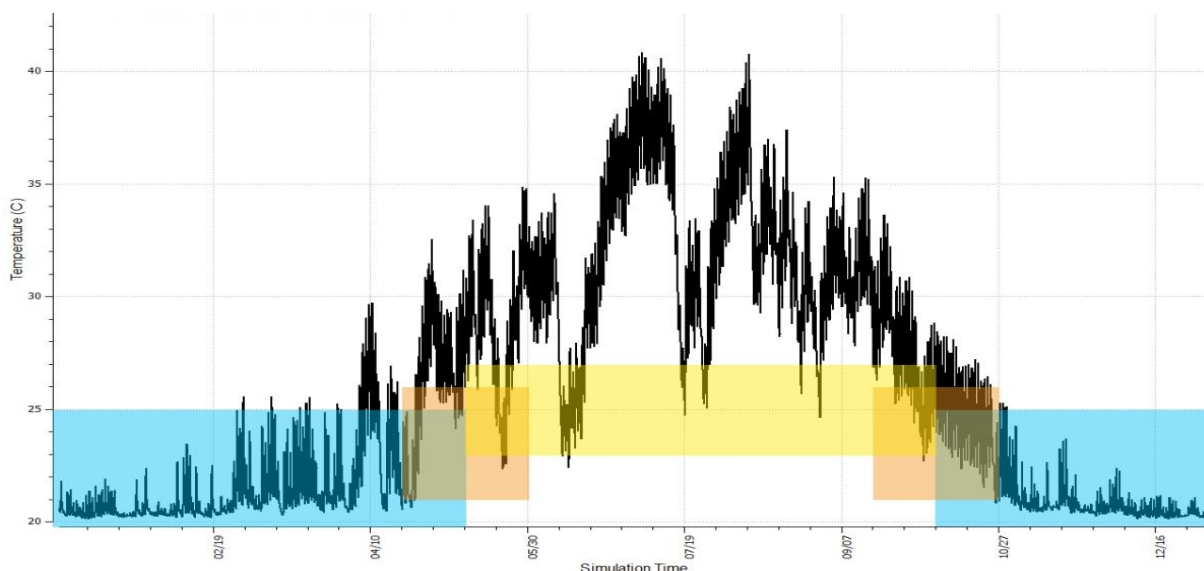
TC2 je s TC1 povezana. Med njima ni fizičnih ovir, le osončenost je zaradi manjših steklenih površin na fasadi manjša. Velik vpliva na razmere v tej toplotni coni ima temperatura v TC1, saj toplota lahko med conami prehaja s konvekcijo in radiacijo. Maksimalne občutene temperature so za približno 5 °C nižje kot v TC1, vendar še vedno previsoke. Je pa pri modelu OPEKA in BETON temperatura v coni vso kurilno sezono ustrezna. V prehodnem obdobju predpisane vrednosti niso skoraj nikoli presežene. Odstopanja od želenih vrednosti so manjša od 1 °C. Pri modelu CLASIC in BIOPASIV pa je bivanje udobno samo od začetka leta do začetka aprila in nato od začetka novembra do konca leta. V preostalem obdobju so občutene temperature razen redkih izjem previsoke. Rezultati izračunov so prikazani v grafikonih 13–16.



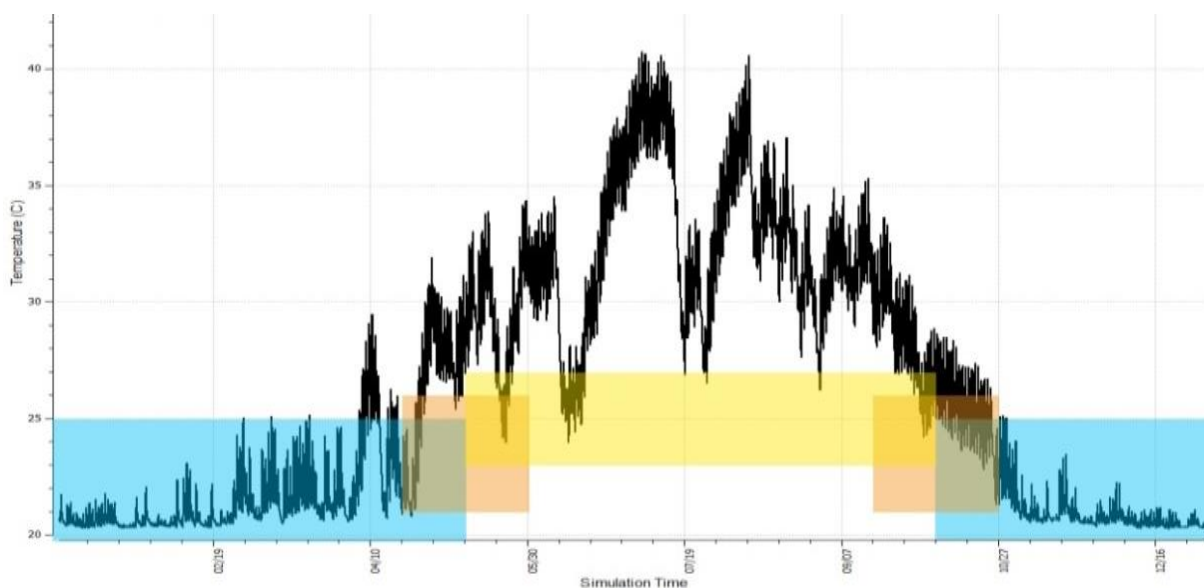
Grafikon 13: Gibanje občutene temperature [°C] v TC2, model OPEKA



Grafikon 14: Gibanje občutene temperature [°C] v TC2, model BETON

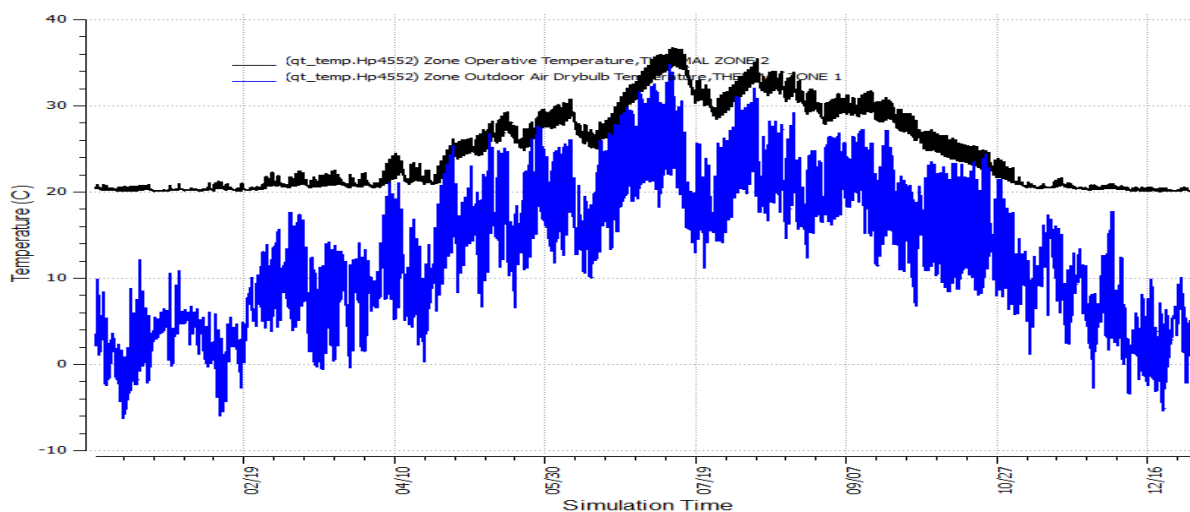


Grafikon 15: Gibanje občutene temperature [°C] v TC2, model CLASIC

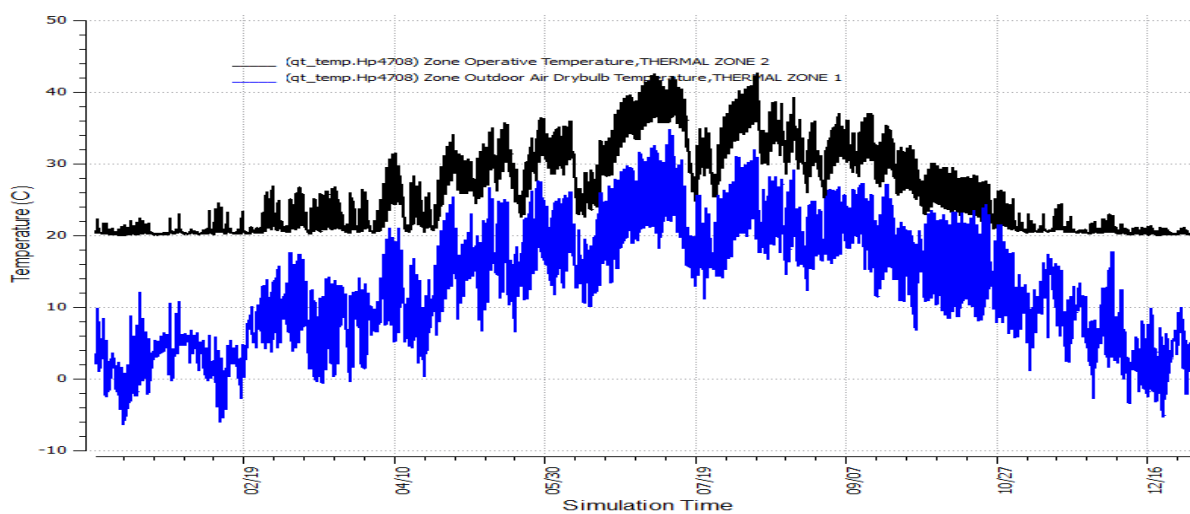


Grafikon 16: Gibanje občutene temperature [°C] v TC2, model BIOPASIV

Tudi v TC2 je gibanje občutenih temperatur podobno kot v TC1. Iz grafikonov 17 in 18 je razvidno, da občutena temperatura v prostoru, razen nekaj dni v letu ni nikoli nižja od zunanje temperature zraka, merjene s suhim termometrom. V TC2 so dnevna nihanja občutenih temperatur v primerjavi s TC1 manjša. To kaže na velik vpliv zastekljenih površin na občutene temperature, zaradi sončnega sevanje, ki vstopa v stavbo skozi okna. Čeprav je zastekljenih površin manj kot v TC1, se v tudi ta cona pregreva.



Grafikon 17: Temperature v TC2 [°C] in zunanje temperature suhega termometra pri modelu OPEKA

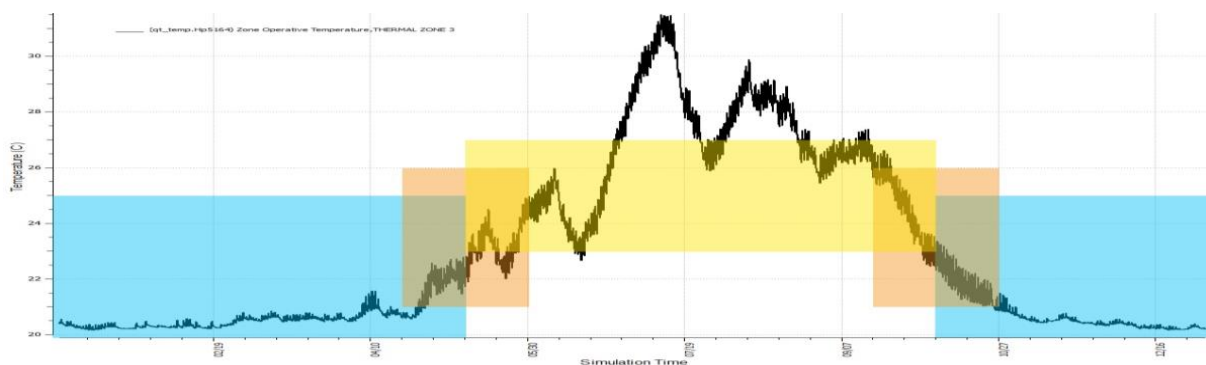


- Občutena temperatura
- Temperatura zunanjega zraka, merjena s suhim termometrom

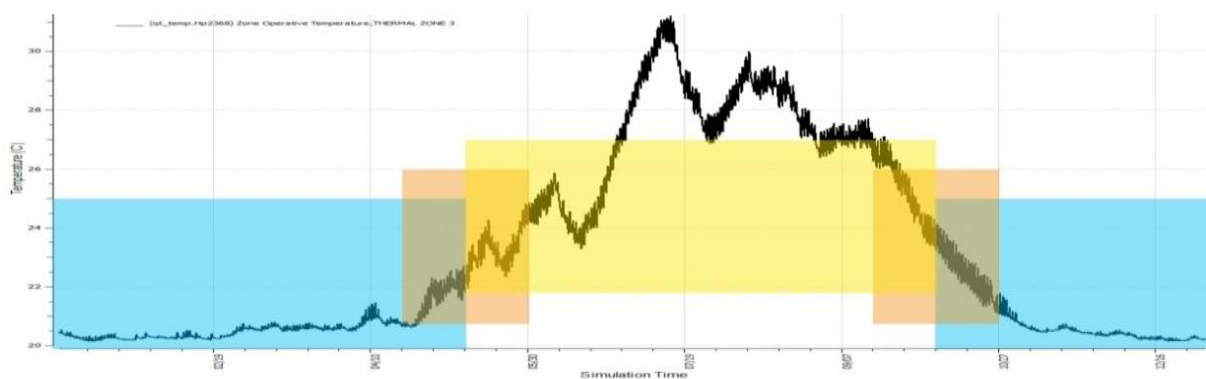
Grafikon 18: Temperature v TC2 [°C] in zunanje temperature suhega termometra pri modelu CLASIC

Toplotna cona 3

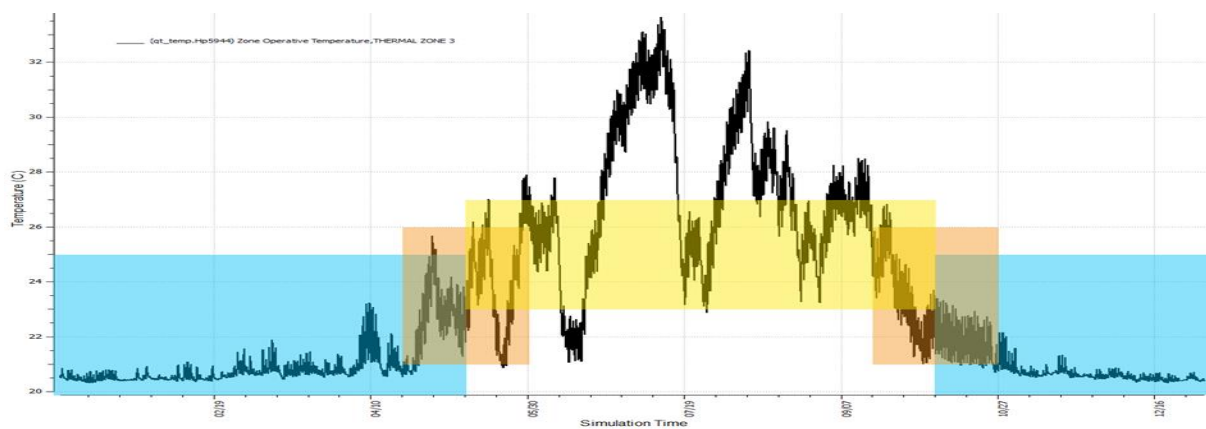
Cona 3 je samostojna enota, ki je s toplotnima conama 1 in 9 povezana samo prek notranjega zidu. Iz grafikonov 19–22 je razvidno, da se modela OPEKA in BETON pregrevata julija in avgusta, preostali del leta so razmere ustrezne za bivanje. V modelu BIOPASIV se cona pregreva od 20. junija do 20. septembra preostali čas so razmere ugodne. V modelu CLASIC je obdobje pregrevanja enako kot pri modelu BIOPASIV, maja pa prihaja do nihanj, ko je v začetku meseca prevroče, potem pa se ohladi, tako da je treba cono po koncu kurilne sezone še vedno ogrevati. Tudi v TC3 je model OPEKA zelo podoben modelu BETON, BIOPASIV pa modelu CLASIC.



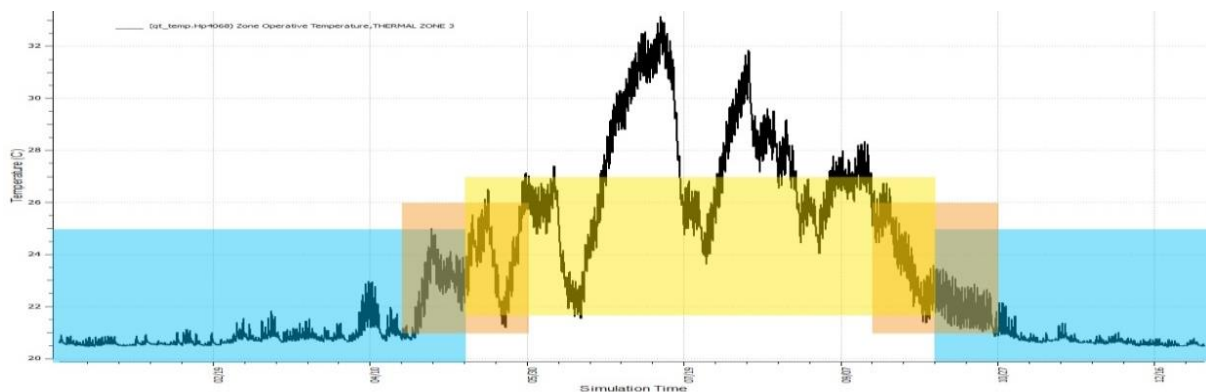
Grafikon 19: Gibanje občutene temperature [°C] v TC3, model OPEKA



Grafikon 20: Gibanje občutene temperature [°C] v TC3 model BETON

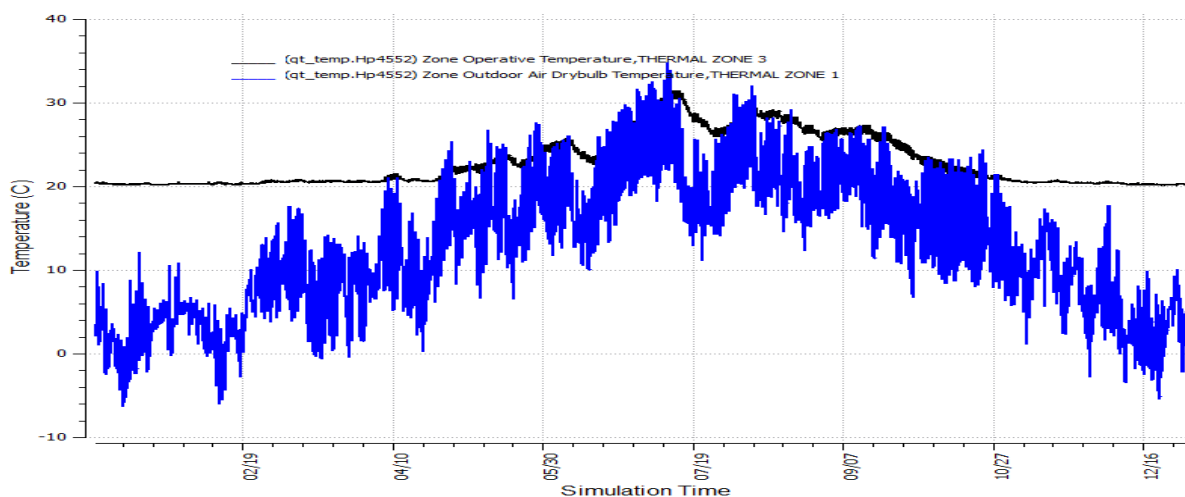


Grafikon 21: Gibanje občutene temperature [°C] v TC3, model CLASIC

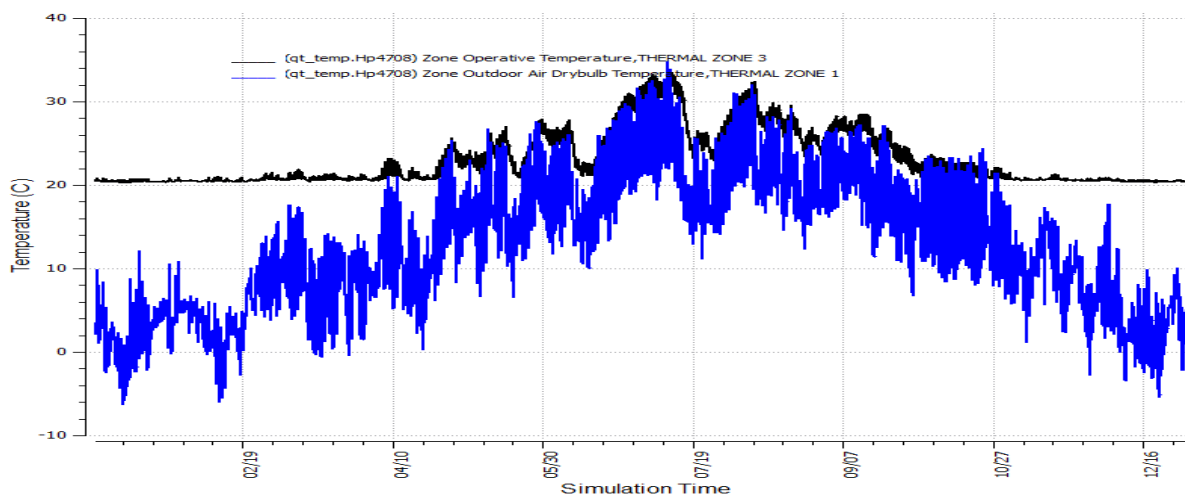


Grafikon 22: Gibanje občutene temperature [°C] v TC 3, model BIOPASIV

Zanimiva je primerjava med občutenimi temperaturami v prostoru in zunanjo temperaturo zraka, merjeno s suhim termometrom. Iz primerjave grafikonov 23 in 24 je razvidno, da model OPEKA uspe deloma zadržati nihanje temperature tako, da so temperature v coni nižje od zunanjih temperatur, medtem ko občutene temperature v modelu CLASIC samo sledijo zunanjim temperaturam. Tudi v tej coni je model BETON zelo podoben modelu OPEKA, BIOPASIV pa modelu CLASIC.



Grafikon 23: Temperature v TC3 [°C] in zunanje temperature suhega termometra pri modelu OPEKA



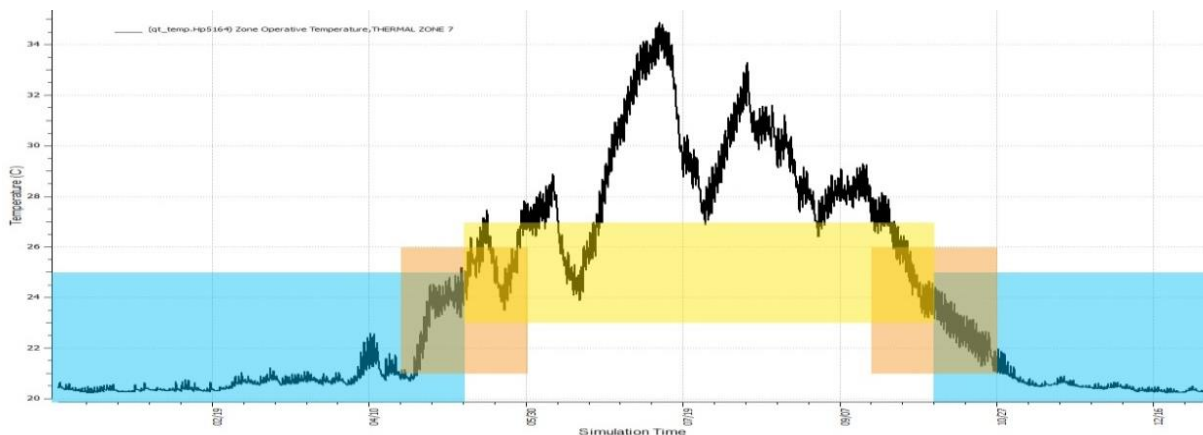
- Občutena temperatura
- Temperatura zunanjega zraka, merjena s suhim termometrom

Grafikon 24: Temperature v TC3 [°C] in zunanje temperature suhega termometra pri modelu CLASIC

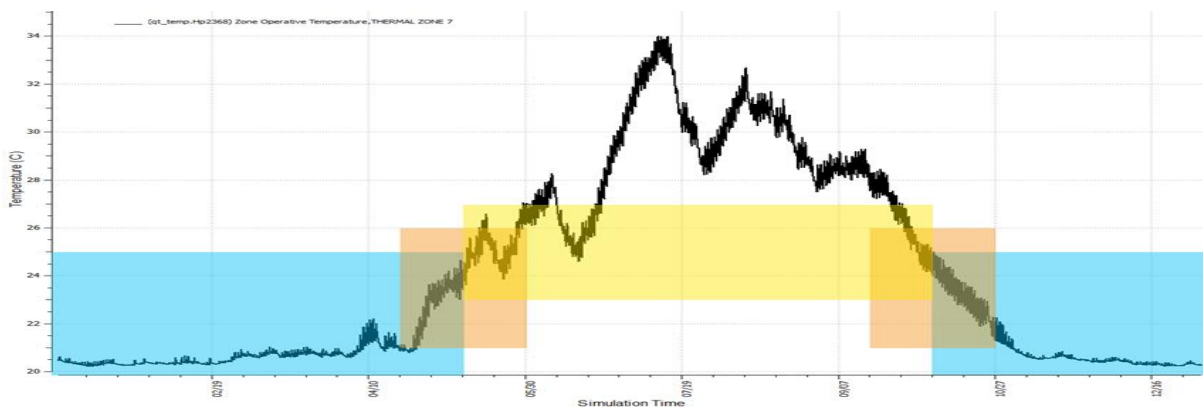
Toplotna cona 7

TC7 sta otroški sobi, ki mejita na TC1, TC4, TC5, TC8 in TC11. Med temi conami ni fizičnih ovir, tako da toplota iz TC1, TC2 in TC11, ki so najbolj osončene, v te cone prehaja

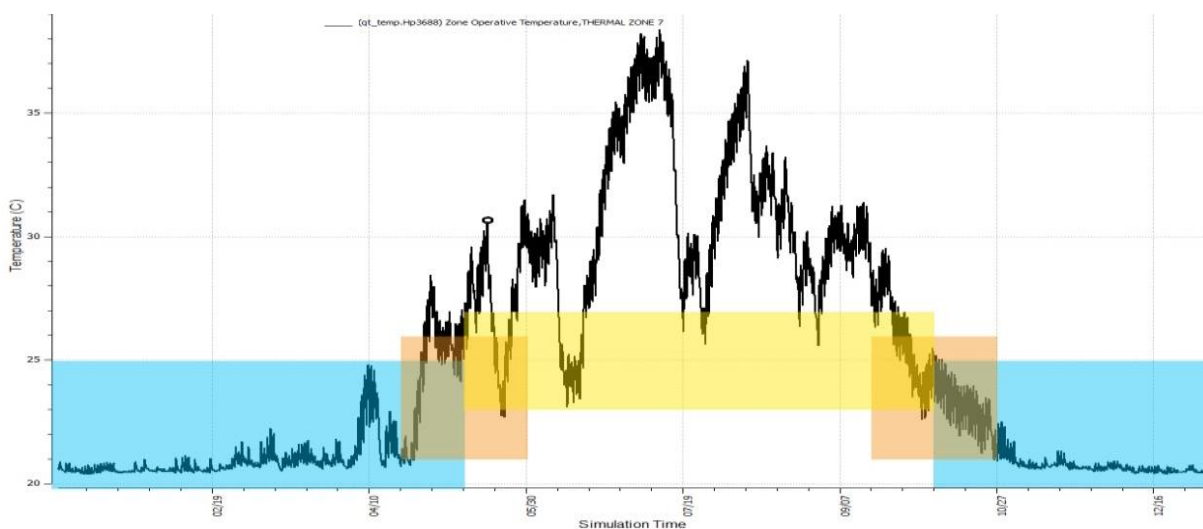
neovirano. TC7 je od teh con ločena le z notranjo steno, zato v obdobjih, ko so temperature zraka v teh TC visoke, segrevajo še TC7. Tudi ta TC se pregreva. Modela OPEKA in BETON se pregrevata od začetka junija do konca septembra, BIOPASIV in CLASIC pa od začetka maja do konca septembra. Rezultati so prikazani na grafikonih 25–28.



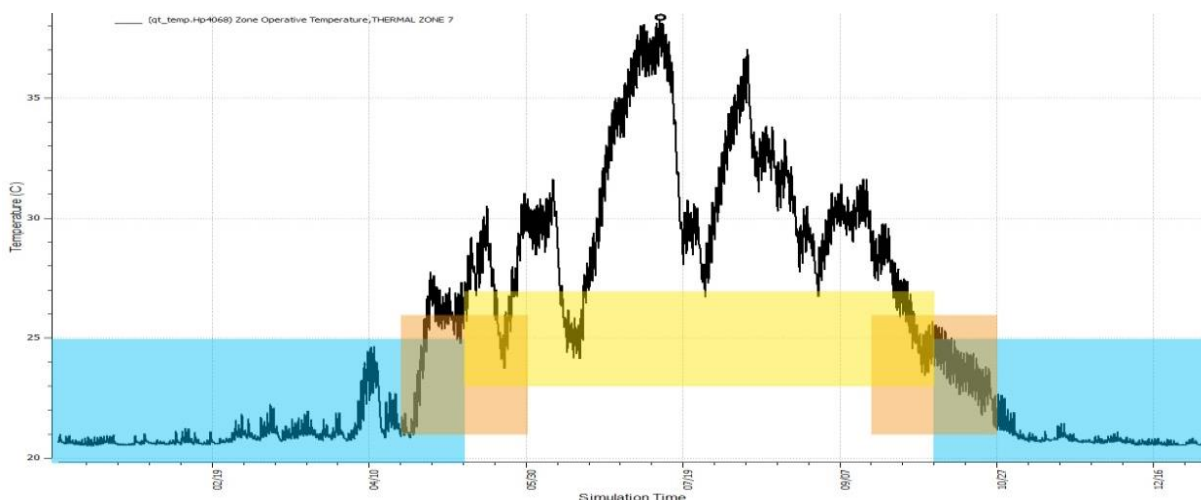
Grafikon 25: Gibanje občutene temperature [°C] v TC7, model OPEKA



Grafikon 26: Gibanje občutene temperature [°C] v TC7, model BETON



Grafikon 27: Gibanje občutene temperature [°C] v TC7, model CLASIC

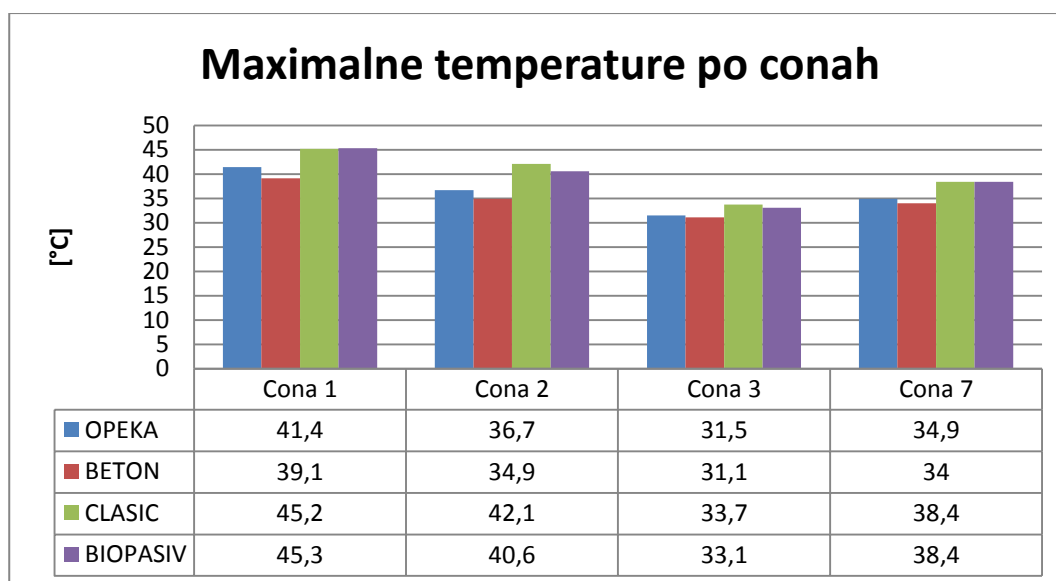


Grafikon 28: Gibanje občutene temperature [°C] v TC7, model BIOPASIV

Povzetek rezultatov simulacij

Najvišje občutene temperature po toplotnih conah so zelo različne. Prikazane so v grafikonu 29. V toplotni coni 1 je najvišja dosežena občutena temperatura 46,2 °C, v toplotni coni 3 pa »le« 33,2 °C. Občutene temperature, ki jih prikazujemo v grafikonu 29, so razen v toplotni coni 7 najvišje pri modelu CLASIC, najnižje pa pri modelu BETON. V obeh modelih z lahkima konstrukcijama so občutene temperature višje kot pri modelih z masivno. Masivni konstrukciji se izkažeta za temperaturno stabilnejši kot montažni, saj je v njih nihanje občutenih temperatur bistveno manjše. Vseeno pa nobena od konstrukcij brez ogrevanja in hlajenja ne moreta izpolniti pogojev, ki so predpisani v Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb [8].

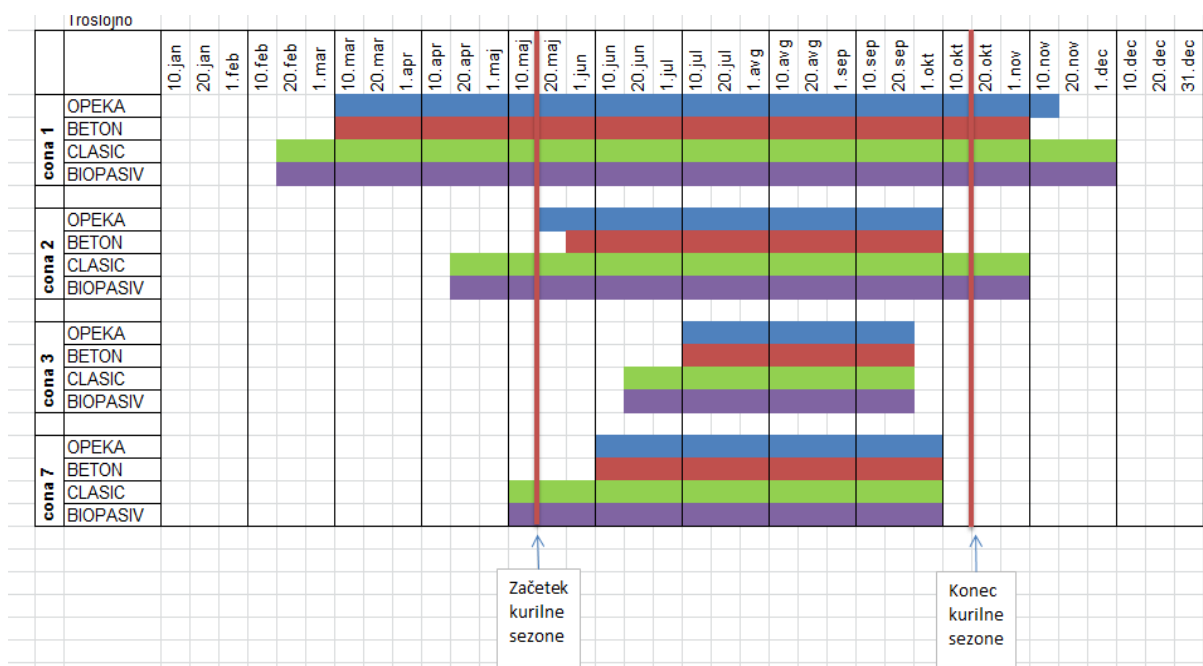
Grafikon 29: Maksimalne občutene temperature [°C] po toplotnih conah



Obdobja, ko hlajenje ni potrebno

Razlikujejo se tudi obdobja, ko toplotnih con ni treba hladiti. Iz preglednice 40 je razvidno, da je modela OPEKA in BETON potrebno ohlajati manj časa kot CLASIC in BIOPASIV. V TC1 je pri masivnem ovoju potrebno hlajenje od začetka marca do konca oktobra, pri lahkem konstrukcijah pa že od začetka februarja do konca novembra. Toplotna cona 2 je podobna toplotni coni 1, le da je pri masivnem ovoju začetek hlajenja od 10. oziroma 20. maja in traja do 20. septembra, pri lahkem pa že od 10. aprila in traja do konca oktobra. Toplotni coni 3 in 7 sta bolj stabilni, saj je pri masivnem ovoju potrebno hlajenje le od začetka julija do 20. septembra, lahek ovoj pa od 10. junija pa do prav tako 20. septembra. Toplotna cona 7 je po obnašanju nekje med cono 2 in 3. Pri masivnem ovoju je začetek hlajenja 1. junija, konec pa 1. oktobra, pri lahkem pa od 1. maja pa do 1. oktobra.

Preglednica 40: Obdobje, ko je treba toplotne cone hladiti. Rdeča vertikalna črta predstavlja začetek in konec kurilne sezone.



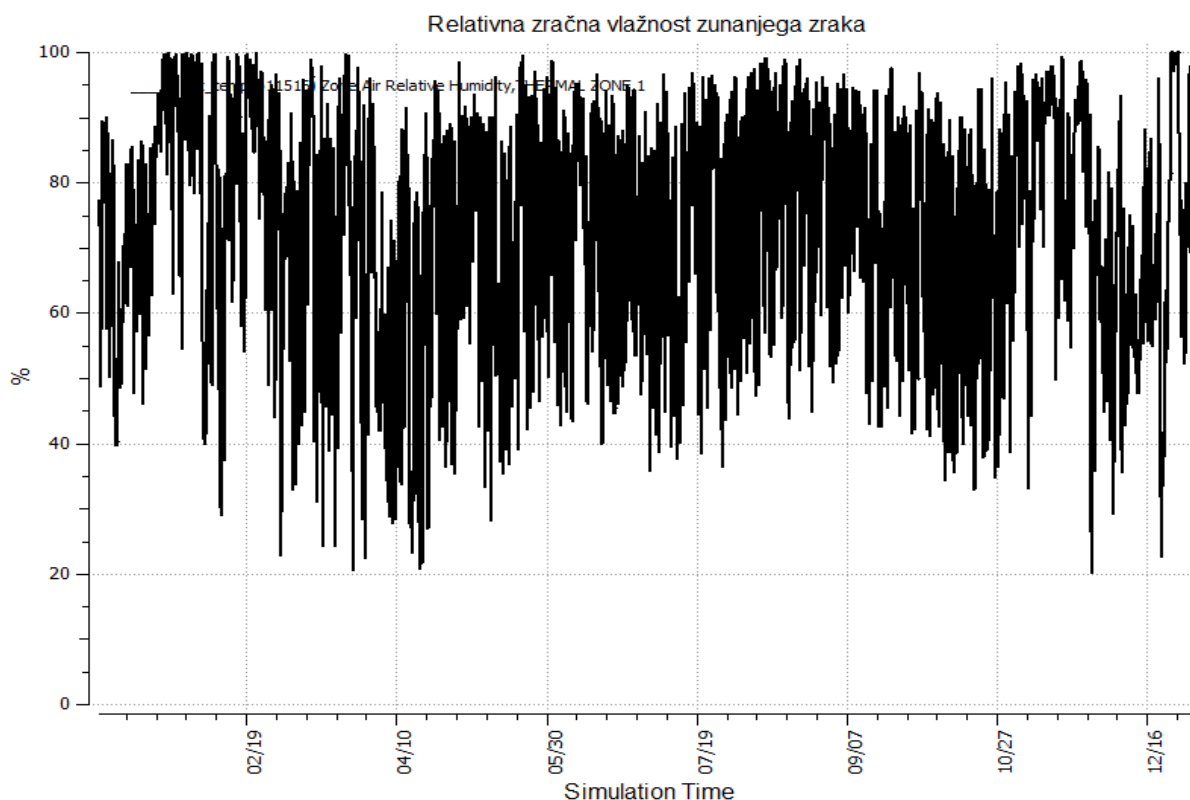
Rdeči črti na preglednici 40 predstavljata začetek in konec kurilne sezone. Iz preglednice 40 je razvidno, da je treba vse toplotne cone, razen TC3, cone hladiti tudi med kurilno sezono. Toplotne cone morajo imeti ločen sistem ogrevanja in hlajenja, saj je iz preglednice 40 razvidno, da v času ogrevanja ene toplotne cone druga že potrebuje hlajenje.

Relativna vlažnost zraka v ogrevani stavbi

Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [8] v 2. točki 12. člena navaja, da je pri temperaturi zraka med 20 °C in 26 °C območje dopustne relativne vlažnosti med 30 % in

70 %. V stanovanjskih prostorih je priporočljiva relativna vlažnost zraka pod 60 %, kar zmanjšuje rast alergenih in patogenih organizmov. Če so prostori klimatizirani, mora biti zagotovljena relativna vlažnost zraka pod 60 % .

Relativna vlažnost zunanje zraka je dokaj visoka. Običajne vrednosti so med 50 % in 90 %, občasno pa je vlažnost tudi 100 %. Največ vlage je poleti in jeseni. Od konca maja do konca oktobra je v nočnem času vlažnost tudi do 95 %, opoldne pa od 45 % do 50 %. Za izdelavo simulacije so bile uporabljene vrednosti, prikazane na grafikonu 30.

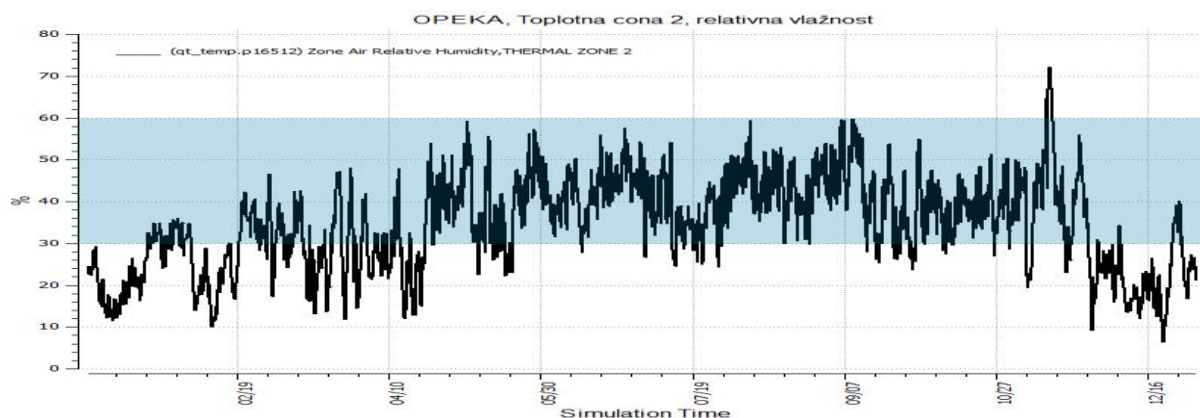


Grafikon 30: Relativna vlažnost zunanjega zraka [%] na obravnavani lokaciji v obdobju od 1.1. do 31.12

Izračunana relativna vlažnost zraka je za vse cone podobna, zato prikazujem samo rezultate izračunov za TC2 in TC3 .

Toplotna cona 2

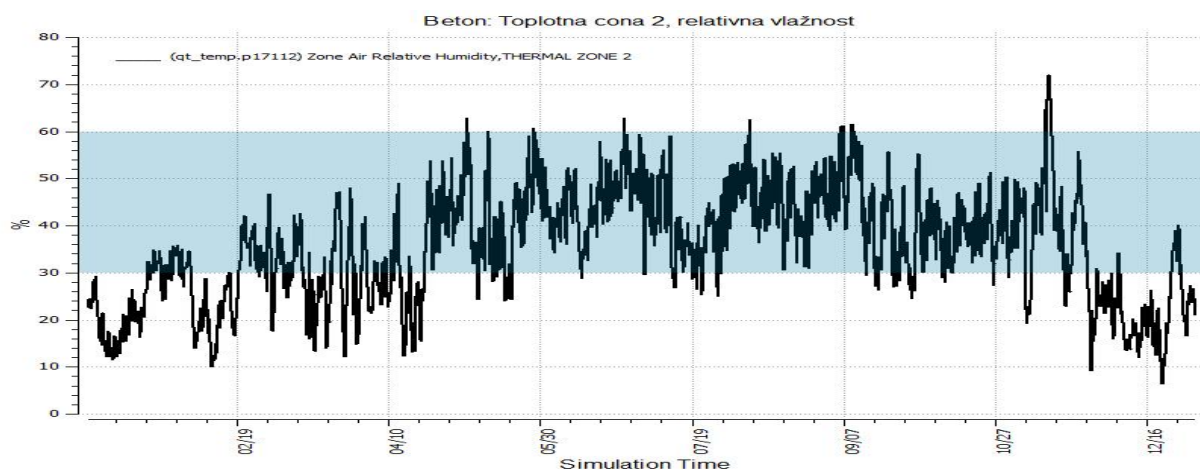
Iz grafikonov 31–34 je razvidno, da je kljub visoki zunanji relativni vlažnosti zraka poleti relativna vlažnost zraka v TC2 znotraj zelenih meja. Občasno je celo nekoliko prenizka, saj se spusti do 20 %. Problematično je obdobje od začetka decembra do sredine aprila, ko je relativna vlažnost od 10 % do 40 %. To so prenizke vrednosti, zato bi bilo treba zrak navlaževati. Relativna vlažnost zraka je poleti pri modelih OPEKA in BETON nekoliko višja kot pri CLASIC in BIOPASIV.



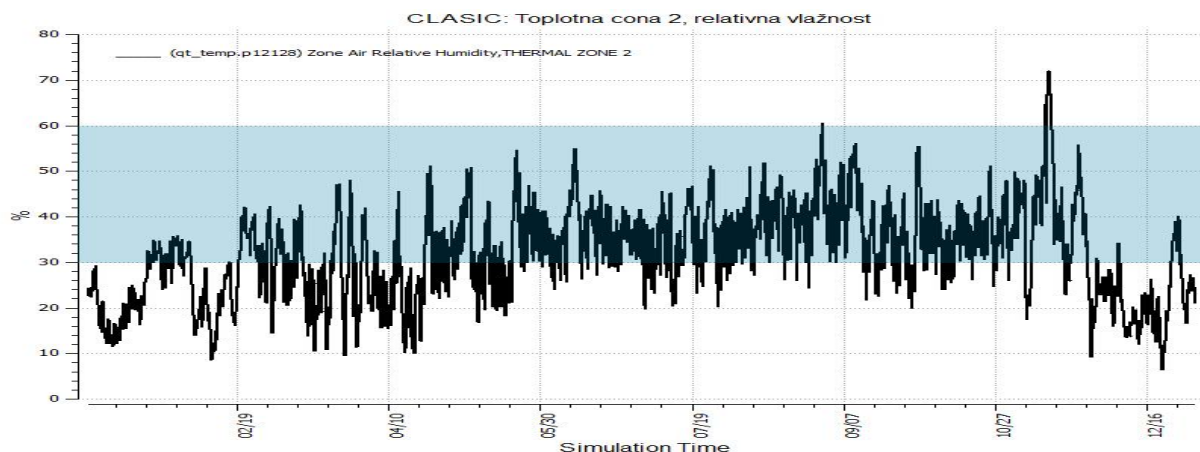
Grafikon 31: Relativna vlažnost zraka [%] v TC2 model OPEKA v obdobju 1.1. do 31.12.

Legenda:

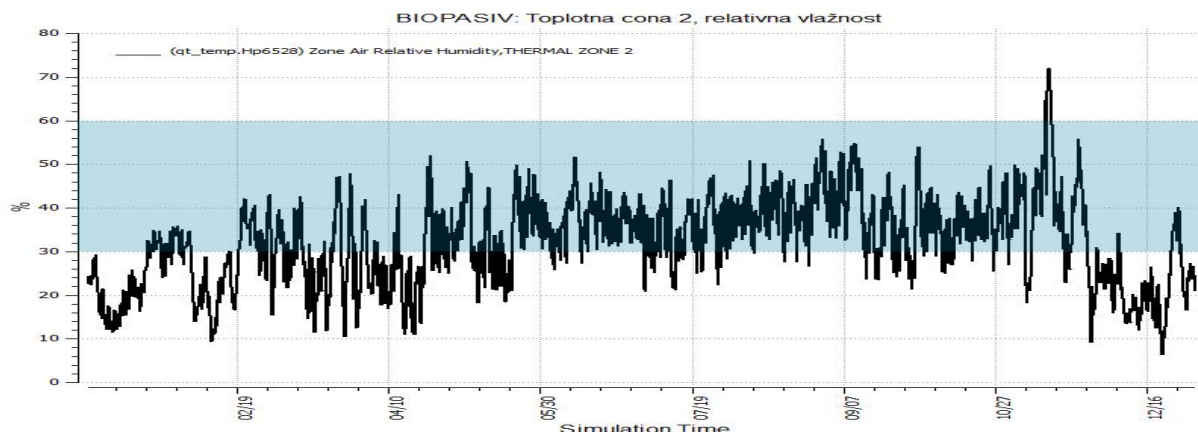
- Z modro barvo je označeno območje med 30 % in 60 %, ki ustreza Pravilniku o klimatizaciji in prezračevanju stavb. Ta legenda velja za vse grafe s prikazano relativno vlažnostjo zraka.



Grafikon 32: Relativna vlažnost zraka [%] v TC2 model BETON v obdobju 1.1. do 31.12.



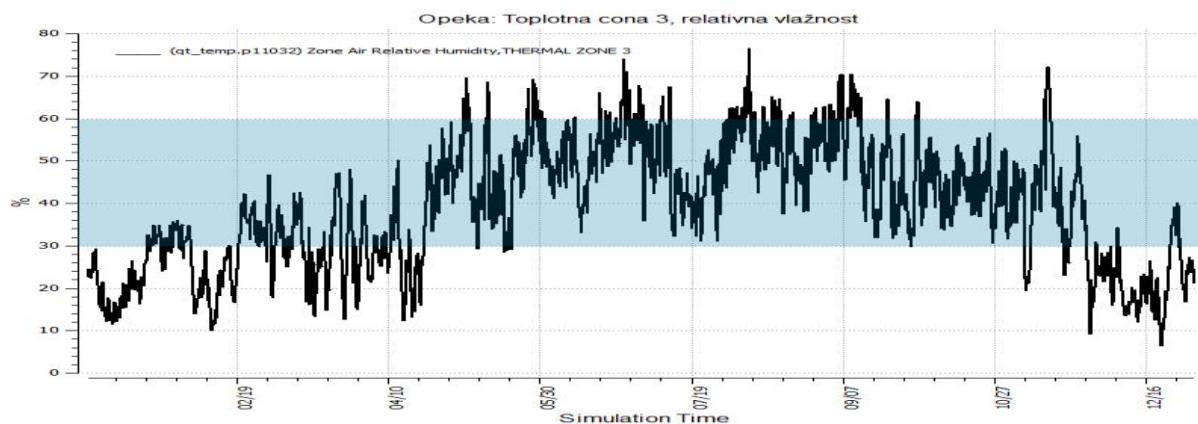
Grafikon 33: Relativna vlažnost zraka [%] v TC2 model CLASIC v obdobju 1.1. do 31.12.



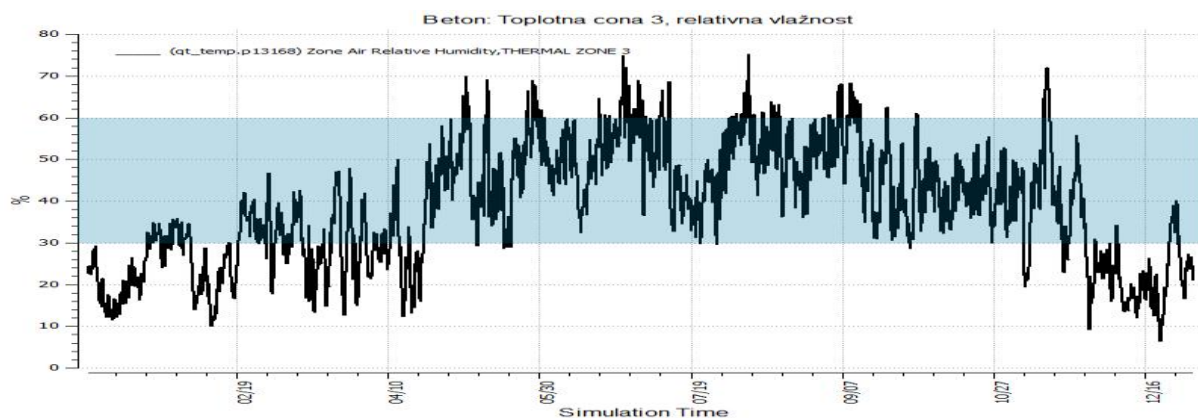
Grafikon 34: Relativna vlažnost zraka [%] v TC2 model BIOPASIV v obdobju 1.1. do 31.12.

Toplotna cona 3

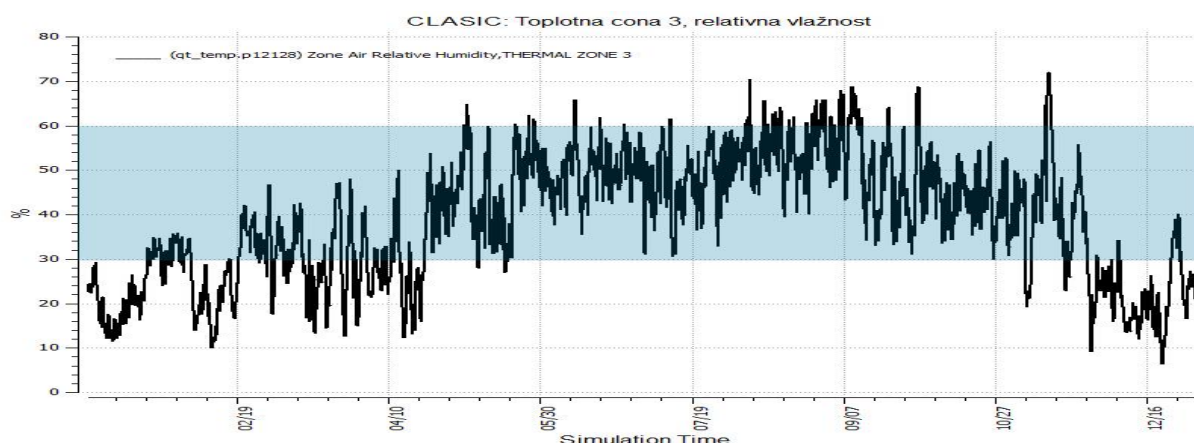
Od začetka decembra do sredine aprila je tudi v TC3 relativna vlažnost zraka premajhna, zato bi bilo potrebno zrak navlaževati. Vrednosti relativne vlažnosti zraka so prikazane na grafikonih 34–37. V TC3 je razporeditev relativne vlažnosti zraka vse leto podobna kot v TC2, le poleti je relativna vlažnost nekoliko višja, saj v TC3 presega 70 %.



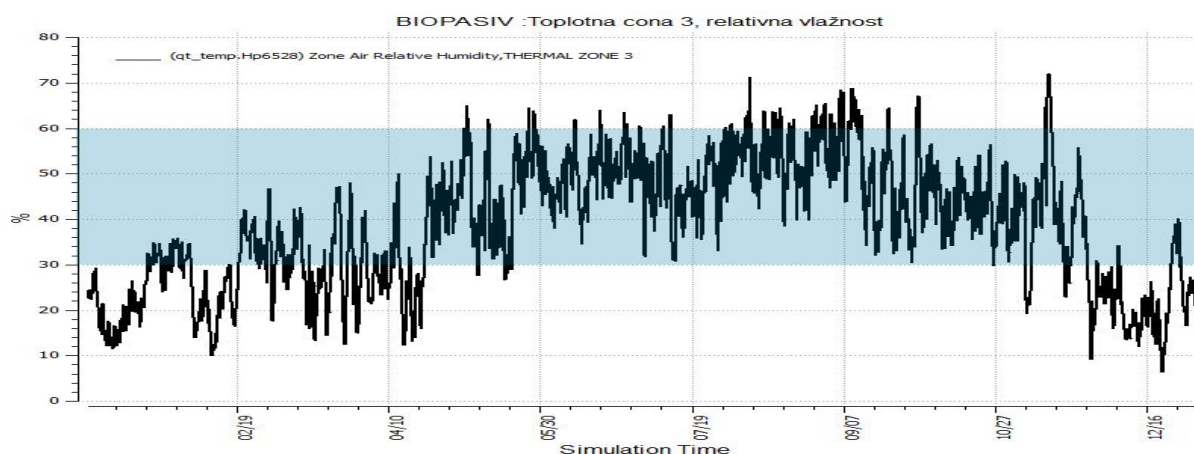
Grafikon 35: Relativna vlažnost zraka [%] v TC3 model BIOPASIV v obdobju 1.1. do 31.12.



Grafikon 36: Relativna vlažnost zraka [%] v TC2 model BETON v obdobju 1.1. do 31.12.



Grafikon 37: Relativna vlažnost zraka [%] v TC3 model CLASIC v obdobju 1.1. do 31.12.



Grafikon 38: Relativna vlažnost zraka [%] v TC3 model BIOPASIV v obdobju 1.1. do 31.12.

5.3 Ukrepi za izboljšanje bivalnih razmer v stavbi

Prostori v stavbi se v poletnem času pregreva. Občutene temperature so v vseh obravnavanih toplotnih conah ne glede na sestavo stavbnega ovoja previsoke. Brez ukrepov za znižanje občutene temperature v prostoru je stavba v poletnem času neprimerna za bivanje. Običajno se v gradbeni praksi pregrevanje stavbe rešuje z namestitvijo hladilnih naprav, ki delujejo tako, da v prostoru ohlajajo zrak. Te so učinkovite, saj lahko zelo močno znižajo temperaturo zraka v prostoru. Ne rešujejo pa problema previsoke občutene temperature, saj imajo lahko elementi stavbnega ovoja zaradi visokih temperatur zunanega zraka in sončnega sevanja še vedno previsoko temperaturo. Prav tako so te naprave veliki porabniki električne energije. Z vidika udobja in zdravja so problematične, saj lahko ob nepravilni vgradnji ali uporabi povzročijo sindrom bolnih stavb [40]. Da bi izboljšal udobje v stavbi in zmanjšali rabo energije bomo v nadaljevanju izvedli dve izboljšavi:

1. Nočno prezračevanje
2. Senčenje zastekljenih površin

5.4 Nočno prezračevanje

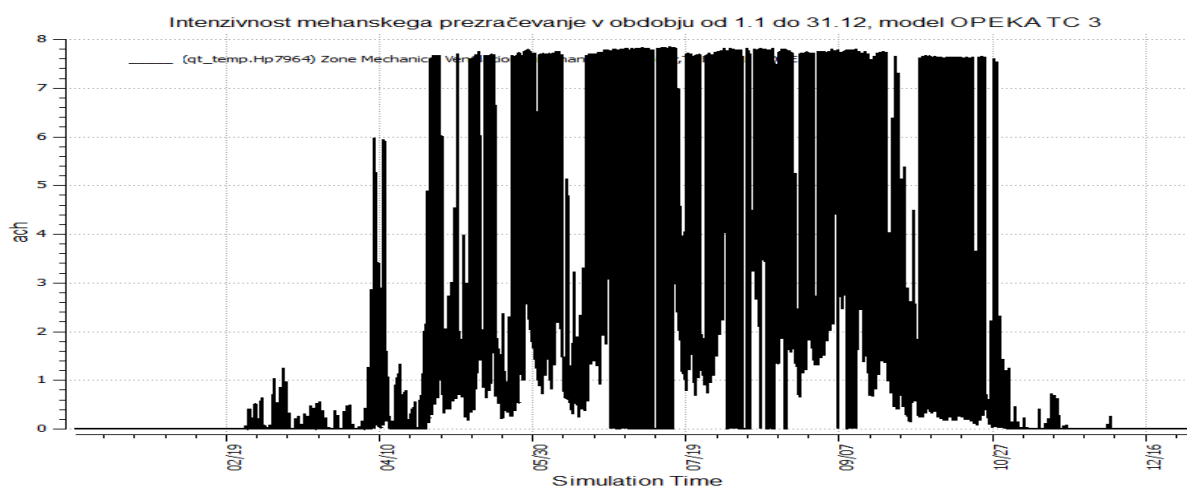
Nočno prezračevanje temelji na principu, da se v obdobju, ko so temperature zunanje zraka nižje od želene temperature v stavbi stavbo, intenzivno prezračuje. Običajno se prezračevanje izvaja ponoči. Pri tem se ohladi konstrukcija oziroma masa stavbe, v kateri se je čez dan akumulirala toplota iz okolice. To omogoča ustrezne bivalne razmere in zniža potrebno energijo za hlajenje stavbe [41]. Za prezračevanje stavbe je uporabljen sistem mehanskega prezračevanja, ki je krmiljen z regulatorjem. Poleg mehanskega prezračevanja je ves čas prisotna infiltracija zunanje zraka skozi netesnosti na stavbnem ovoju. V programu EnergyPlus nastavljena vrednost infiltracije znaša $0,5 \text{ h}^{-1}$. Ker pa je odvisna tudi od razlike med temperaturo zraka v coni in zunanje temperature ter od vetrov, ta vrednost nekoliko niha. Najmanjša je poleti in znaša $0,50 \text{ h}^{-1}$, največja pa pozimi, ko znaša $0,55 \text{ h}^{-1}$. Izdelali smo računski model in preverili, kako se ob povečanem nočnem prezračevanju spreminjajo bivalne razmere v toplotnih conah.

Uporabljen je regulator OutdoorAirReset. Omogoča dovajanje zunanje zraka na podlagi podatkov o temperaturi zunanje zraka. Izračun je narejen na eno uro natančno, natančnost delovanja regulatorja pa je $1 \text{ }^\circ\text{C}$. Nastavitve regulatorja: zelena temperatura zraka v prostoru je med $21 \text{ }^\circ\text{C}$ in $26 \text{ }^\circ\text{C}$, dovedena temperatura zunanje zraka pa med $18 \text{ }^\circ\text{C}$ in $26 \text{ }^\circ\text{C}$. S temi nastavitvami smo po več poizkusih dosegli najugodnejše nočno prezračevanje prostorov. Pri takih nastavitvah regulator zamenja zrak v prostoru od $6,5 \text{ h}^{-1}$ do $10,7 \text{ h}^{-1}$. Regulator na podlagi izbranih nastavitvev sam izbere stopnjo prezračevanja, s katero poskuša doseči želene parametre. Izmenjava zraka v toplotnih conah je prikazana v preglednici 41.

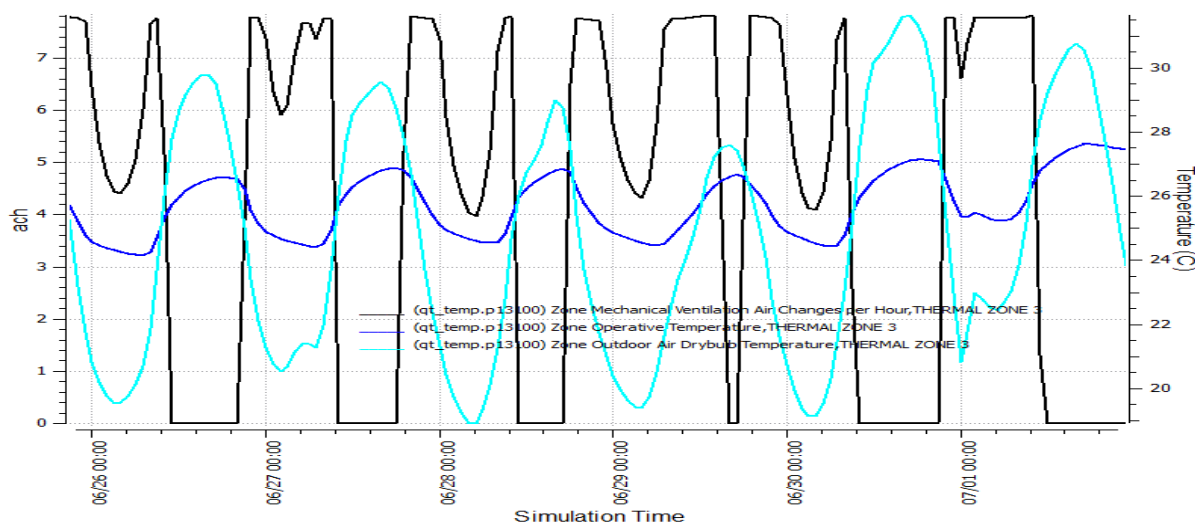
Preglednica 41: Maksimalna izmenjava zraka v toplotnih conah [h^{-1}].

Izmenjava zraka [h^{-1}]	TC1	TC2	TC3	TC7
Model OPEKA	10,3	10,1	8,7	8,2
Model BETON	10,7	10,6	9,3	8,7
Model CLASIC	9,9	9,9	7,4	7,1
Model BIOPASIV	9,7	8,3	6,7	6,5

Prezračevanje je najintenzivnejše pri modelu BETON, najmanjše pa pri modelu BIOPASIV. Primer delovanja regulatorja za toplotno cono 3, model OPEKA, je prikazano na grafikonih 39 in 40.



Grafikon 39: Intenzivnost mehanskega prezračevanja v obdobju od 1.1. do 31.12., model OPEKA TC3



Legenda:

- Število izmenjav notranjega zraka z zunanjim [h^{-1}]
- Občutena temperatura v prostoru [$^{\circ}\text{C}$]
- Temperatura zunanjega zraka merjena s suhim termometrom [$^{\circ}\text{C}$]

Grafikon 40: Delovanje regulatorja prezračevanja, model OPEKA TC3, v obdobju od 26.6 do 1.7.

Temperature v obravnavanih prostorih se znižajo. Razlika med najvišjo temperaturo v prostoru brez nočnega prezračevanja in z nočnim prezračevanjem je od cone do cone različna. Dan, ko je izračunana najvišja temperatura v toplotnih conah, se sicer od cone do

cone nekoliko razlikuje, rezultati izračunov so prikazani v preglednici 42 in 43, vendar je v največ primerih najvišja občutena temperatura na dan 11. 7. Takrat je najvišja temperatura v TC1 in najmanjša pa v TC3.

Preglednica 42: Najvišje občutene temperature po toplotnih conah na dan 11. 7. brez nočnega prezračevanja

Občutena temperatura brez nočnega prezračevanja [°C]	TC1	TC2	TC3	TC7
Model OPEKA	41,4	36,7	31,5	34,9
Model BETON	39,1	34,9	31,1	34
Model CLASIC	45,2	42,1	33,7	38,4
Model BIOPASIV	45,3	40,6	33,1	38,4

Preglednica 43: Najvišje občutene temperature [°C] po conah na dan 11. 7. z nočnim prezračevanjem

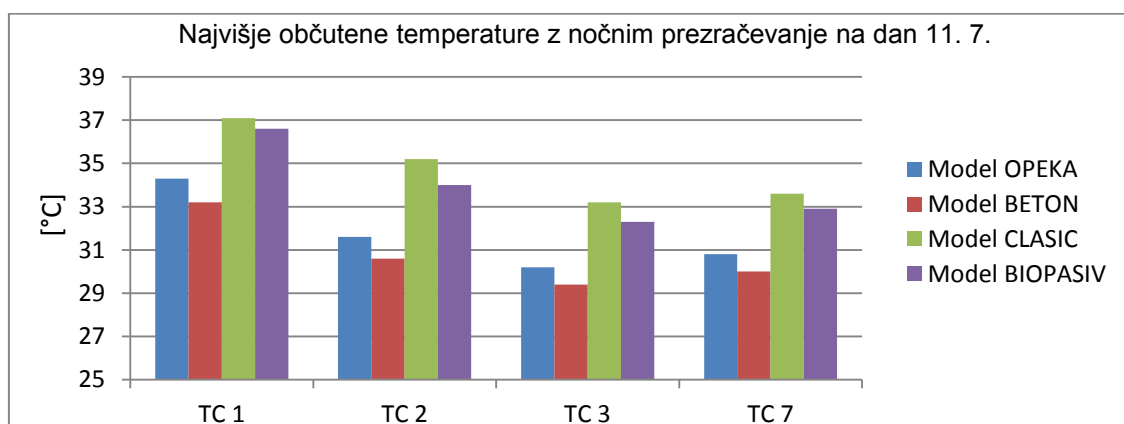
Občutena temperatura z nočnim prezračevanjem [°C]	TC1	TC2	TC3	TC7
Model OPEKA	34,0	31,7	30,3	30,9
Model BETON	33,2	30,6	29,4	30,0
Model CLASIC	37,1	35,2	33,2	33,6
Model BIOPASIV	36,6	34,0	32,3	32,9

Iz preglednice 44 je razvidno, da se maksimalne občutene temperature najbolj znižajo v TC1, najmanj pa v TC3. Najnižje občutene temperature so pri modelu BETON, najvišje pa pri modelu CLASIC, vendar pa so tudi pri modelu BETON občutene temperature še vedno previsoke za udobno bivanje.

Preglednica 44: Razlike med občutenimi temperaturami [°C] po conah na dan 11. 7. brez nočnega prezračevanja in z nočnim prezračevanjem

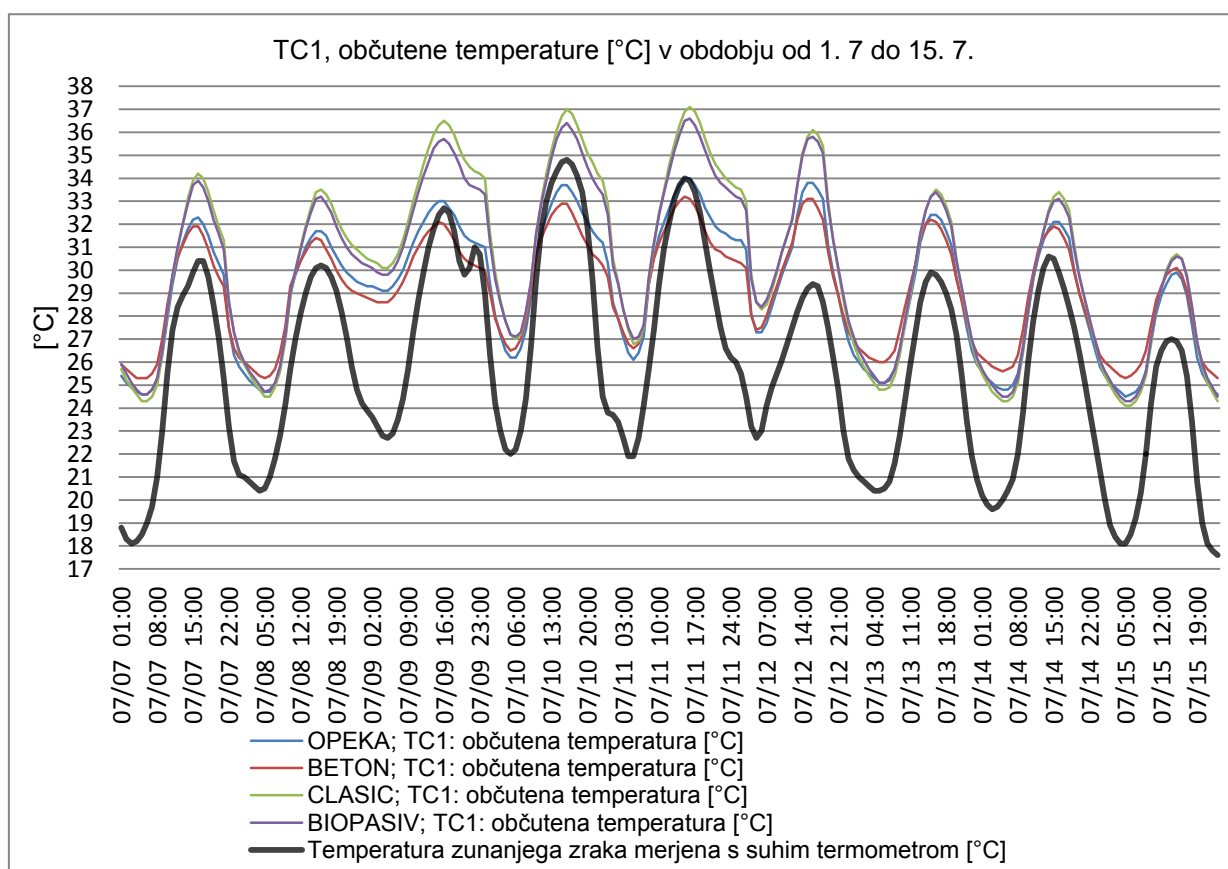
Razlika med občutenimi temperaturami [°C]	TC1	TC2	TC3	TC7
Model OPEKA	7,1	5,1	1,3	4,1
Model BETON	5,9	4,3	1,7	4,0
Model CLASIC	8,1	6,9	0,5	4,8
Model BIOPASIV	8,7	6,6	0,8	5,5

Iz grafikona 41 je razvidno, da se tudi pri nočnem prezračevanju model OPEKA obnaša podobno kot model BETON, model CLASIC pa podobno kot model BIOPASIV.

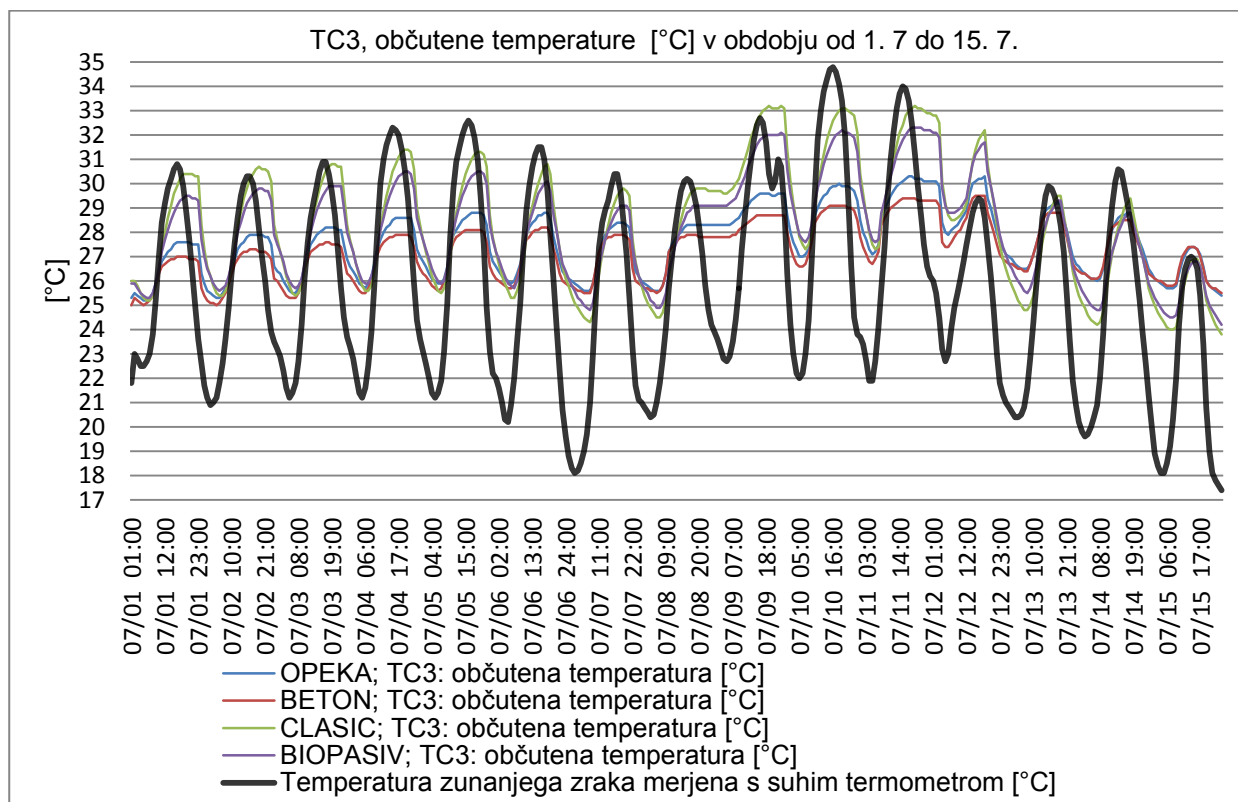


Grafikon 41: Najvišje občutene temperature [°C] po toplotnih conah na dan 11. 7. z nočnim prezračevanjem

Tudi iz opazovanje nihanja temperature pri nočnem prezračevanju je razvidno, da se model OPEKA obnaša podobno kot model BETON in model CLASIC podobno kot model BIOPASIV. Stavba z masivnim ovojem bolje duši nihanje temperature v prostoru kot stavba, ki ima stavbni ovoj iz lahkih izolativnih materialov. To je razvidno iz grafikonov poteka občutene temperature za obdobje od 1. 7. do 15. 7. Na grafikonih 41 in 42 je prikazano gibanje občutene temperature za TC1 in TC3. TC2 in TC7 se obnašata podobno kot TC1, le da je najvišja občutena temperatura nekoliko manjša, zato jih ne prikazujemo.



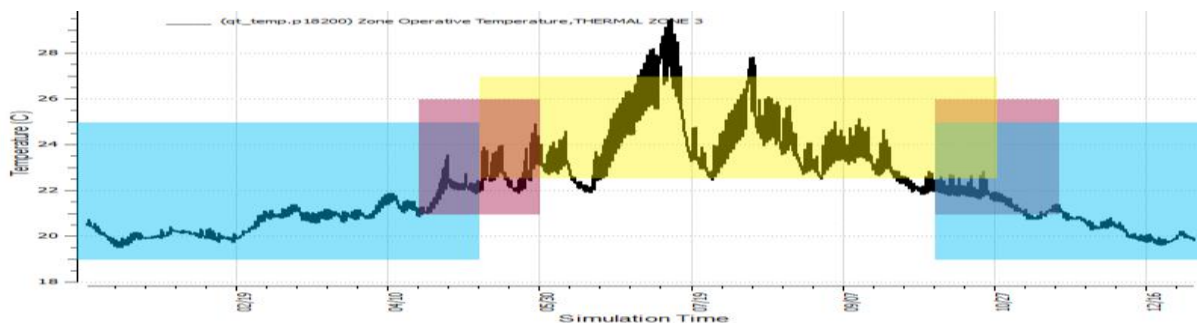
Grafikon 42: Gibanje občutene temperature [°C] v TC1 za modele OPEKA, BETON, CLASIC in BIOPASIV



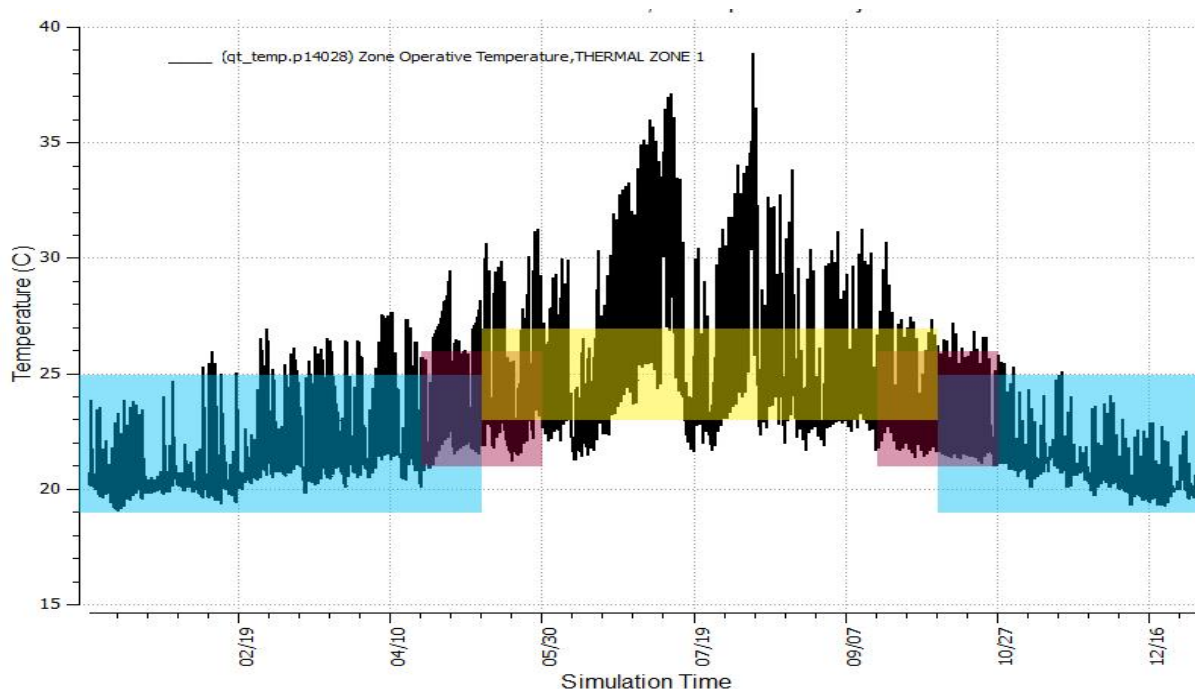
Grafikon 43: Gibanje občutene temperature [°C] v TC3 za modele OPEKA, BETON, CLASIC in BIOPASIV

Iz grafikonov je razvidno, da v obdobju, ko so zunanje temperature najvišje, v TC1 sistem nočnega prezračevanja ni sposoben zagotoviti ustreznega bivalnega udobja. Občutene temperature so razen v jutranjih urah občutno previsoke. Prav tako so podnevi previsoke občutene temperature v TC3, le da je pri modelih OPEKA in BETON občutena temperatura previsoka za 2 °C do 3 °C, pri modelu CLASIC in BIOPASIV pa za 5 °C do 6 °C.

Ne glede na to, da so najvišje občutene temperature še vedno previsoke, pa se zaradi nočnega prezračevanja dovolj znižajo, da se obdobje, ko je mogoče zagotavljati ustrezne razmere za bivanje, v vseh primerih precej poveča. Spremembe temperature v dveh modelih in dveh toplotnih conah, ki sta po obnašanju najbolj različni, so prikazane na grafikonih 44 in 45.



Grafikon 44: Občutena temperatura [°C] v TC3 model BETON, z nočnim prezračevanjem

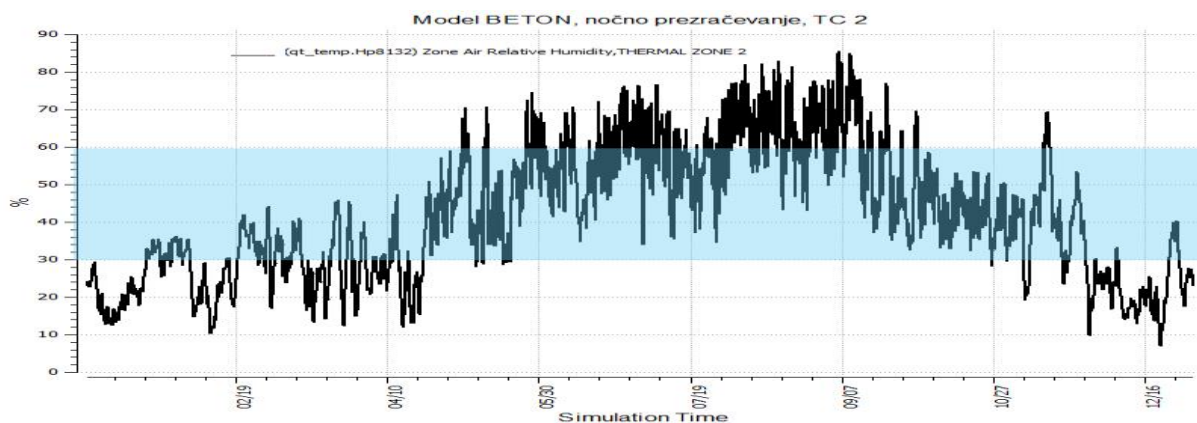


Grafikon 45: Občutena temperatura [°C] v TC1 model CLASIC z nočnim prezračevanjem

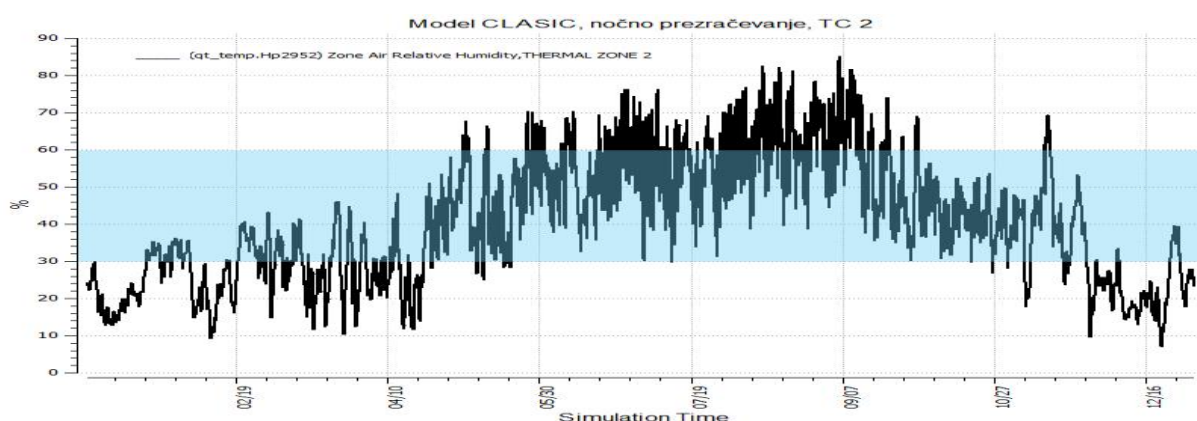
Iz grafikonov 44 in 45 je razvidno, da je gibanje občutene temperature zelo različno. Pri modelu BETON v TC3, v kateri je najmanj steklenih površin, je bivanje najbolj udobno. Želena temperaturo, razen v obdobju, ko so zunanje temperature najvišje, lahko z ogrevanjem in nočnim prezračevanjem vzdržujemo v mejah udobja. V modelu CLASIC v TC1 pa so kljub manjši toplotni prehodnosti sten občutene dnevne temperature od sredine februarja do začetka novembra previsoke. Zahtevano udobje, lahko dosežemo le v nočnem in dopoldanskem času. Dodatno hlajenje je potrebno tudi v obdobju, ko cono ogrevamo.

Relativna vlažnost notranjega zraka zaradi nočnega prezračevanja

Pri nočnem prezračevanju v prostor dovajamo velike količine svežega zunanega zraka. Zaradi tega se zmanjša temperatura v prostoru, hkrati pa se tudi ohlaja masa stavbe. Zato se poveča relativna vlažnost zraka v prostoru. Primerjali smo relativno vlažnost zraka v TC2 pri modelih BETON in CLASIC. Iz grafikonov 46 in 47 je razvidno, da je od maja do septembra relativna vlažnost konstantno višja od predpisanih 60 %, zato bi bilo treba zrak, ki ga dovajamo v cone, razvlaževati. Pozimi pa je vlažnost v toplotnih conah običajno nižja od zelenih 30 %, zato bi bilo potrebno zrak navlaževati. Rezultati za druge toplotne cone so podobni kot v TC2, zato jih ne navajamo.



Grafikon 46: Relativna vlažnost zraka [%] v TC2, model BETON

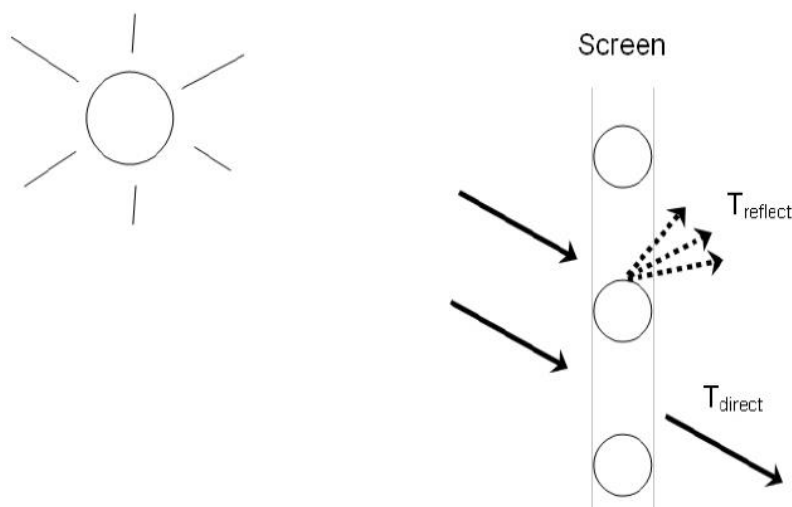


Grafikon 47: Relativna vlažnost zraka [%] v TC2, model CLASIC

5.5 Nočno prezračevanje in senčenje zastekljenih površin

Temperature v stavbi so kljub nočnemu prezračevanju še vedno previsoke. Učinkovit način za znižanje občutene temperature je senčenje zastekljenih površin, zato smo jih dodali nočnemu prezračevanju. To pomeni, da so toplotne cone v nočnem času intenzivno prezračevane, podnevi pa so zastekljene površine senčene. S senčenjem preprečimo, da sončno sevanje neovirano prehaja skozi zastekljene površine. Tako preprečimo oziroma zmanjšamo pregrevanje prostorov. Senčenje običajno izvajamo tako, da ne zastremo v popolnosti steklenih površin, ampak nastavimo senčila tako, da omogočimo delni prehod sončne svetlobe (blokiram direktno komponento in prepuščamo difuzno). S tem omogočimo osvetlitev prostorov z dnevno svetlobo ob hkratnem preprečevanju pregrevanja. Za izdelavo računskega modela senčenje smo izbrali zunanje screen senčilo. Screen senčilo je locirano na zunanji strani okna. Izdelano je iz aluminijaste tkanine, ki je tkana tako, da je med nitmi prostor, skozenj pa prehajata direktna in difuzna svetloba (slika 19). Material, iz katerega je izdelano senčilo, debelina niti in razdalja med nitmi se lahko v osnovnih nastavitvah senčila spreminjajo. Debelina niti in razdalja med njimi sta prikazani na sliki 20 in izbrani tako, da v večjem delu leta omogočata ustrezno osvetlitev notranjih prostorov. Senčilo pokriva celotno

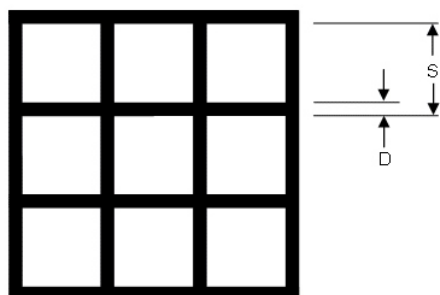
zastekljeno površino, tako da zrak, ki je med senčilom in zastekljeno površino, ne more krožiti.



Slika 19: Prikaz prehajanja svetlobe skozi senčilo: vir EnergyPlus InputOutput Reference str. 126

Fizikalne lastnosti senčila so:

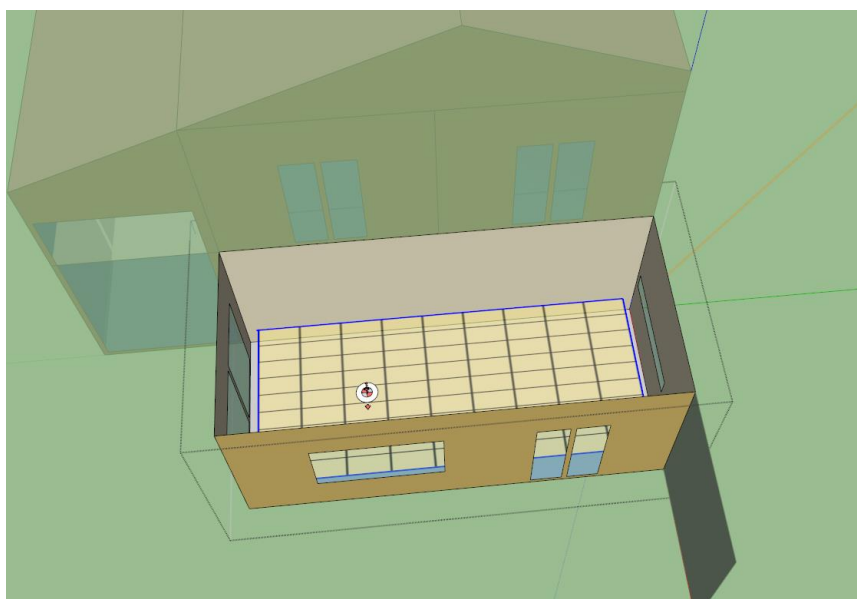
- Refleksivnost za sončno svetlobo (velja za celoten spekter sončnega sevanja). Privzeta vrednost je 0,08. Velja samo za material, iz katerega je izdelano senčilo, ne za celotno senčilo.
- Refleksivnost v vidnem delu spektra. Privzeta vrednost je 0,08. Velja samo za material, iz katerega je izdelano senčilo, ne za celotno senčilo.
- Termična emisivnost. To je emisivnost v infrardečem delu spektra. Privzeta vrednost je 0,90. Velja samo za material, iz katerega je izdelano senčilo, ne za celotno senčilo.
- Toplotna prevodnost materiala, iz katerega je izdelano senčilo. Privzeti material je aluminij, $\lambda = 221 \text{ W/(mK)}$
- Razdalja med nitmi senčila $S = 1,57 \text{ mm}$
- Debelina niti senčila $D = 0,0381 \text{ mm}$



Slika 20: Model senčila: razdalja med nitmi in premer niti: vir EnergyPlus InputOutput Reference str. 128

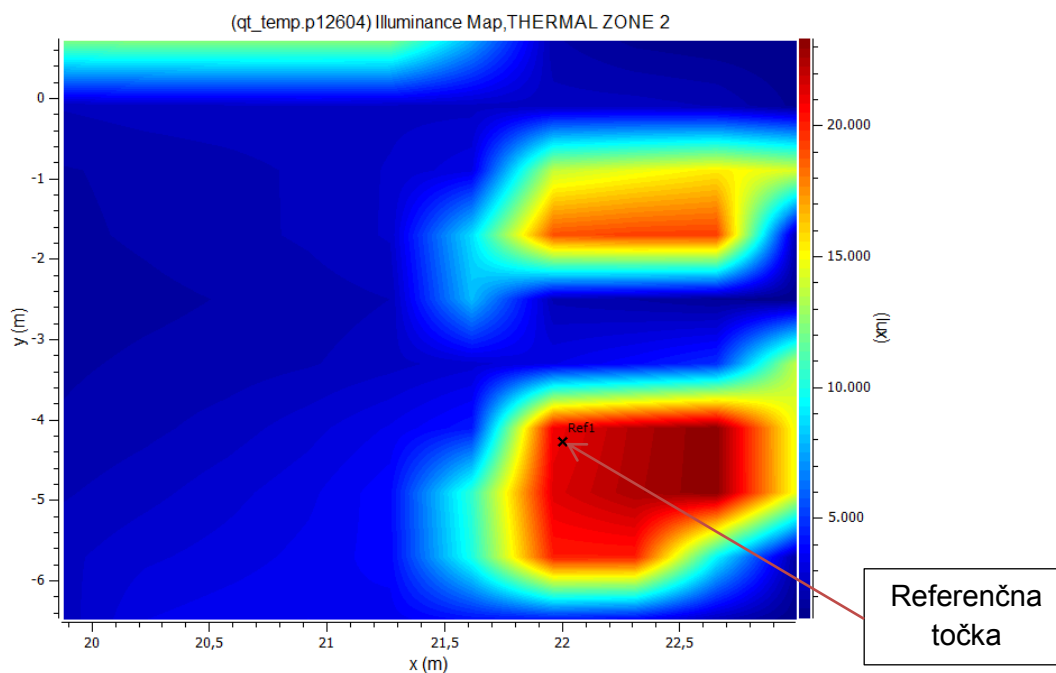
- Razdalja od stekla do senčila je 25 mm
- Efektivna odprtina na spodnji in zgornji strani senčila (razdalja od konca senčila do začetka okenskega okvirja), ki omogoča pretok zunanjega zraka v prostor med senčilom in steklom znaša 0,00 m
- Efektivna odprtina na levi in desni strani senčila (razdalja od konca senčila do začetka okenskega okvirja), ki omogoča pretok zunanjega zraka v prostor med senčilom in steklom znaša 0,00 m

Izdelali smo simulacijo osvetljenosti v TC2. V stavbi je ta prostor namenjen kuhinji in jedilnici. Točka, na kateri smo izmerili osvetljenost, je od JZ stene oddaljena 2 m, od JV stene pa 1 m. Na tej lokaciji je začetek jedilne mize. Višina sensorja je 0,80 m nad tlemi. Mreža za določitev osvetljenosti je v rastru 10×10. To pomeni, da je vsaka stena v prostoru razdeljena na 9 enakih delov, ki tvorijo osnovo za raster. Vozlišča mreže so osnova za izračun osvetljenosti prostorov.



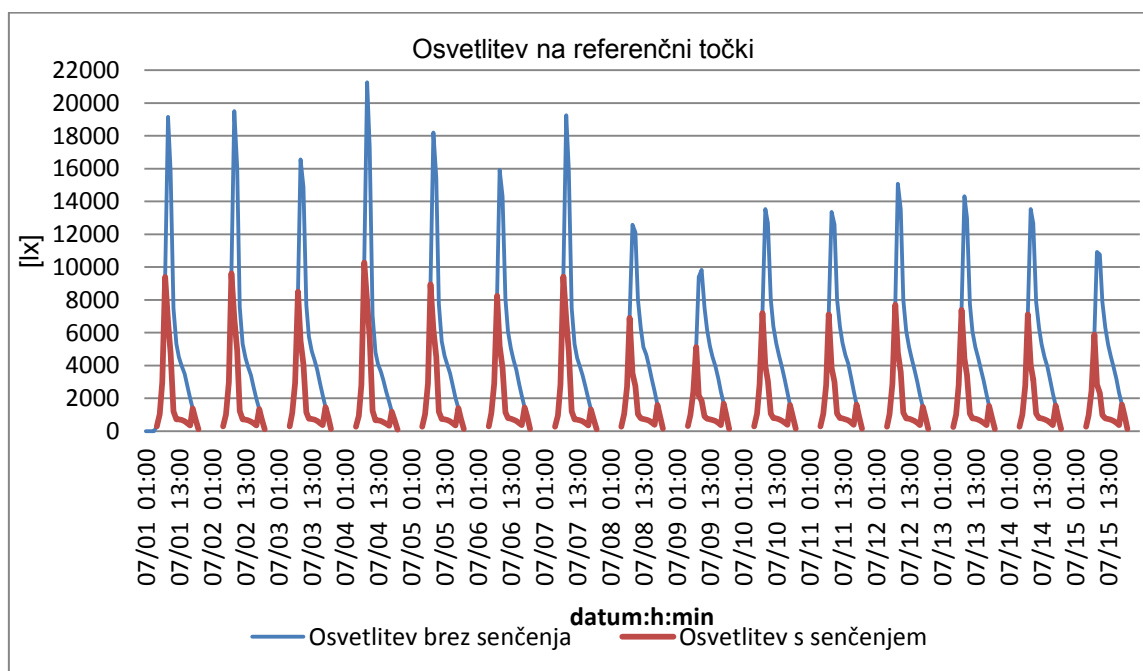
Slika 21: Toplotna cona, v kateri smo določili vrednosti osvetlitve.

Senčila so v modelu postavljena na 21 oken. Ta so vgrajena na SV, SZ, J, JZ in Z fasadi. To pomeni, da so vsa okna od SV fasade do SZ fasade senčena. Druga okna nimajo senčil. Regulacija senčil je na podlagi urnika. Okna se senčijo od 15. 5. do 15. 9., senčila pa so spuščena od 8:00 do 17:00. Preostali del dneva so senčila popolnoma dvignjena, tako da okno ni senčeno. Najprej smo s programom EnergyPlus izračunal vrednosti osvetlitve brez senčenja. Opazovali smo obdobje od 1. 7. do 15. 7., ko so občutene temperature v toplotnih conah najvišje. Najvišja izračunana osvetlitev na referenčni točki, ki je prikazana na sliki 22, je 4. 7. ob 10:00 in znaša 21272 lx.



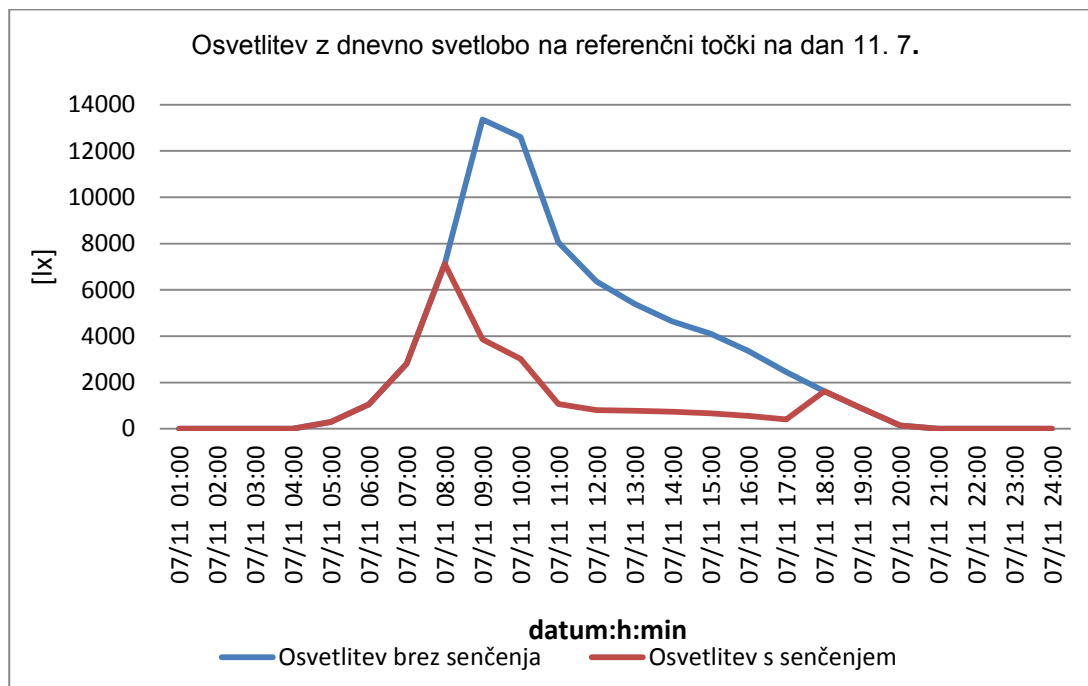
Slika 22: Vrednost dnevne osvetlitve [lx] na dan 4. 7. ob 10:00.

Primerjali smo rezultate simulacij pred senčenjem in po uporabi senčil. Izračuni so izdelani za vse 4 obravnavane modele, podrobno pa so rezultati prikazani samo za modela BETON in CLASIC, ki sta si med seboj najbolj različna. Rezultati simulacije so pri modelu BETON zelo podobni kot pri modelu OPEKA in rezultati pri modelu CLASIC zelo podobni kot pri modelu BIOPASIV. Zaradi preglednosti, prikazujemo izračune samo za obdobje od 1. 7. do 15. 7., to je v obdobju, ko so občutene temperature po conah najvišje. Rezultati izračunov so prikazani v grafikonih 48 in 49.



Grafikon 48: Osvetlitev z dnevno svetlobo [lx] na referenčni točki v obdobju od 1. 7 do 15. 7

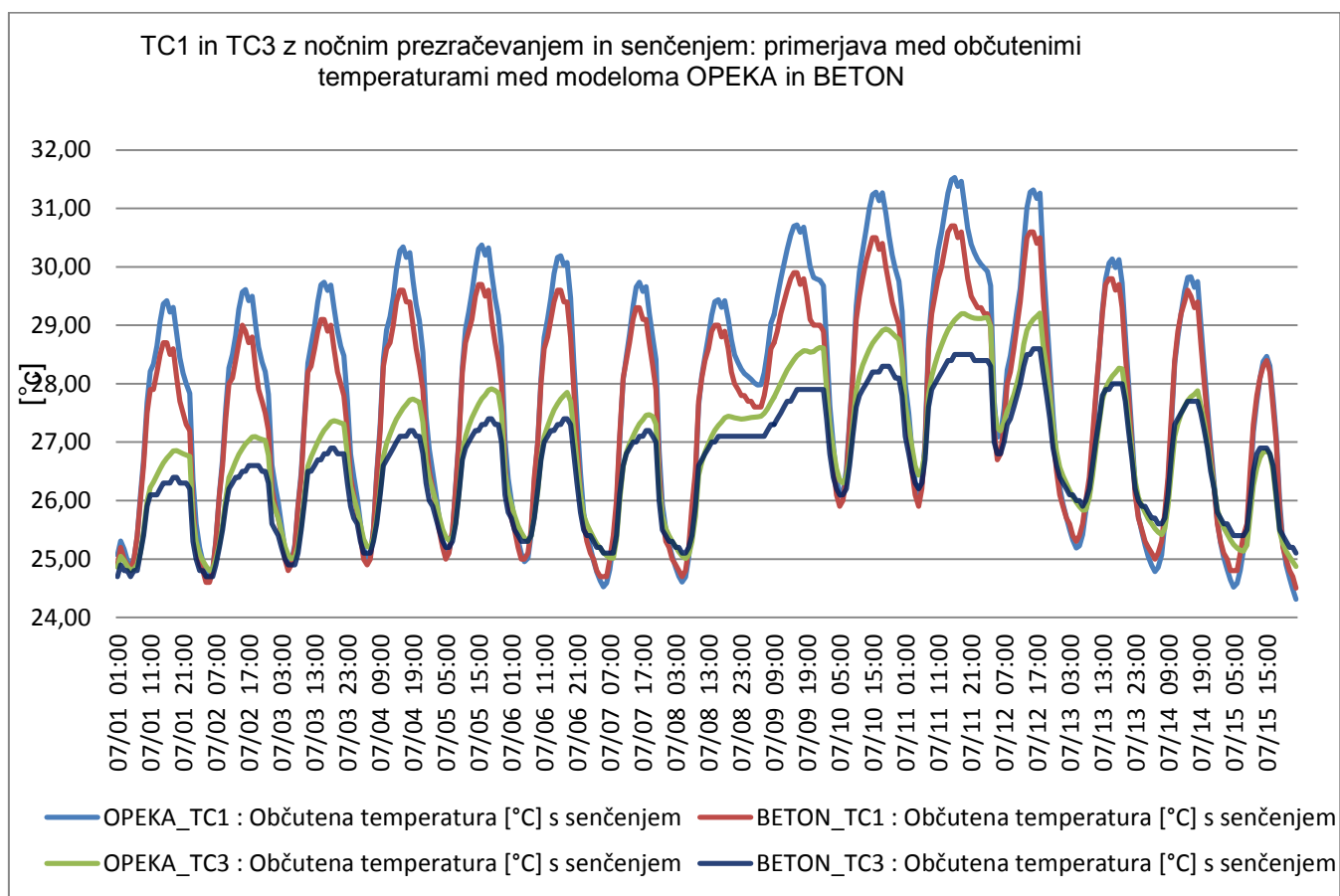
Dne 11. 7., ko je v toplotnih conah občutena temperatura najvišja, osvetljenost z dnevno svetlobo ni največja. Ob 9:00, je najvišja osvetljenost na referenčni točki znaša 13360 lx, kar je 7912 lx manj kot 4. 7. ob 10:00, ko je osvetljenost na referenčni točki 21272 lx. Podrobno je osvetljenost referenčne točke na dan 11.7 . prikazana na grafikonu 49.



Grafikon 49: Osvetlitev z dnevno svetlobo [lx] na referenčni točki na dan 11. 7.

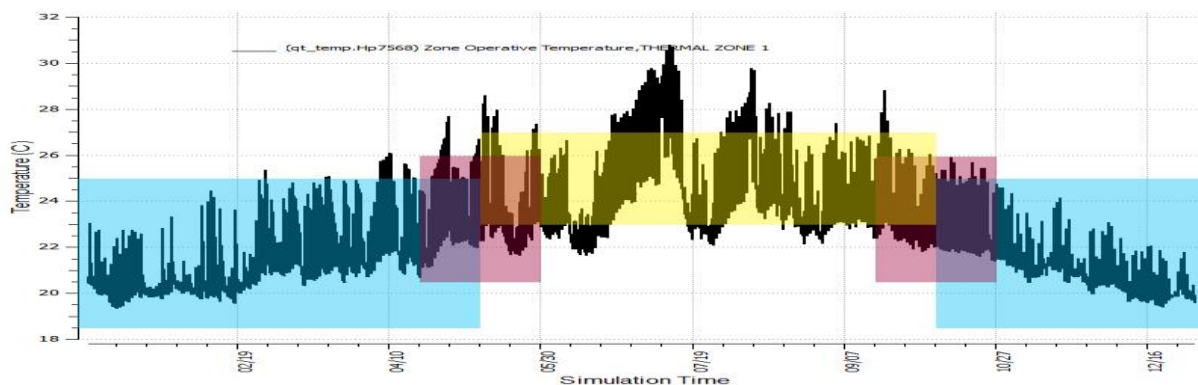
Primerjava med modeloma BETON in OPEKA

Na grafikonu 50 je prikazana primerjava občutenih temperatur pri modelih BETON in OPEKA v TC1 in TC3. Iz grafikona 50 je razvidno, da razlika med občutenimi temperaturami med modeloma BETON in OPEKA ni večja od 1 °C. Občutene temperature so pri modelu BETON nekoliko nižje. Zaradi majhnih razlik med modeloma, podrobno na grafikonih 51–54, prikazujemo samo model BETON.

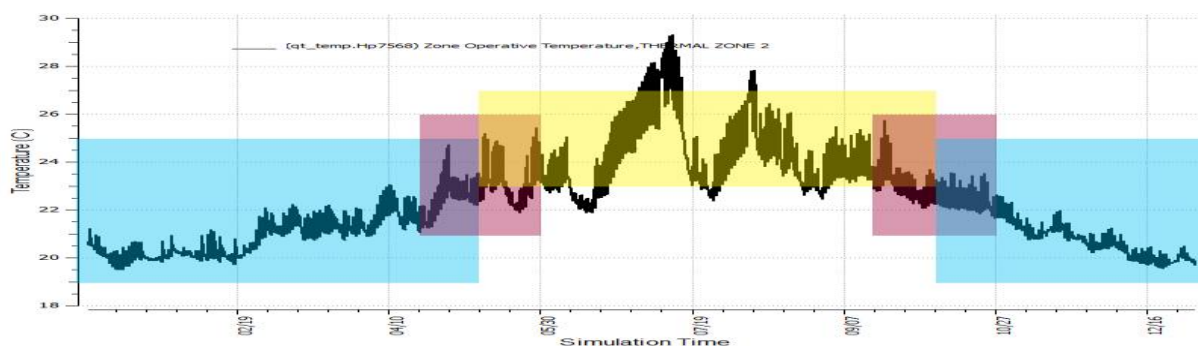


Grafikon 50: TC1 in TC3 z nočnim prezračevanjem in senčenjem. Primerjava med občutenimi temperaturami [°C] med modeloma OPEKA in BETON v obdobju od 1. 7 do 15. 7.

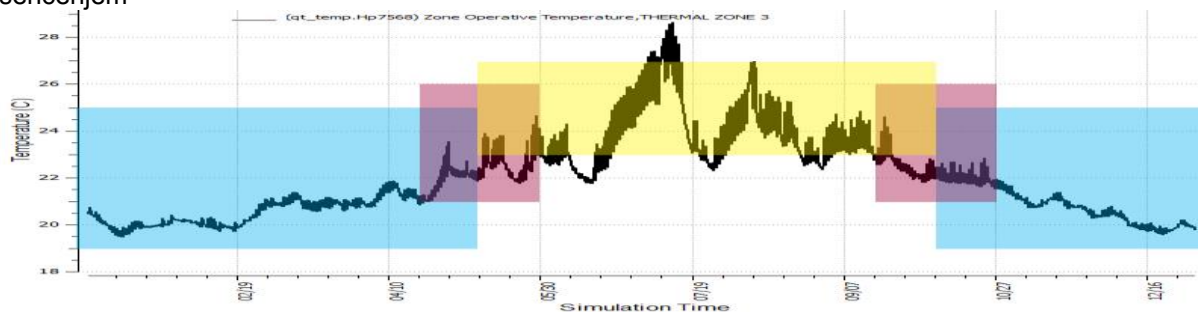
Model BETON



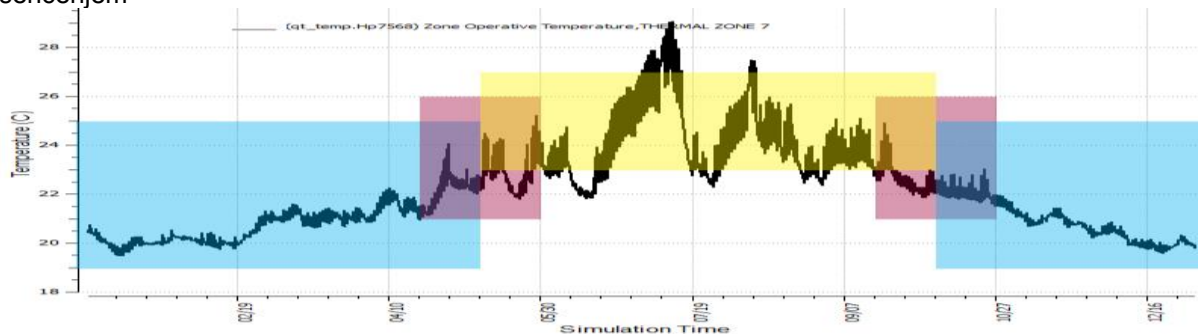
Grafikon 51: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu BETON v TC1 z nočnim prezračevanjem in senčenjem



Grafikon 52: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu BETON v TC2 z nočnim prezračevanjem in senčenjem

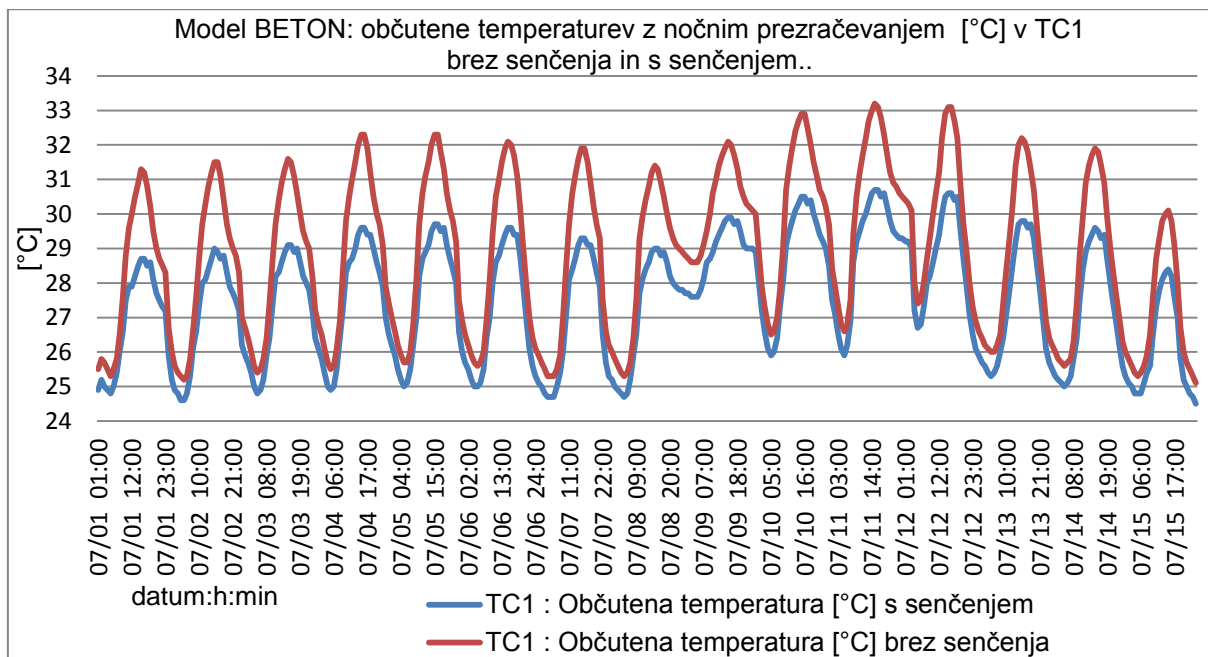


Grafikon 53: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu BETON v TC3 z nočnim prezračevanjem in senčenjem

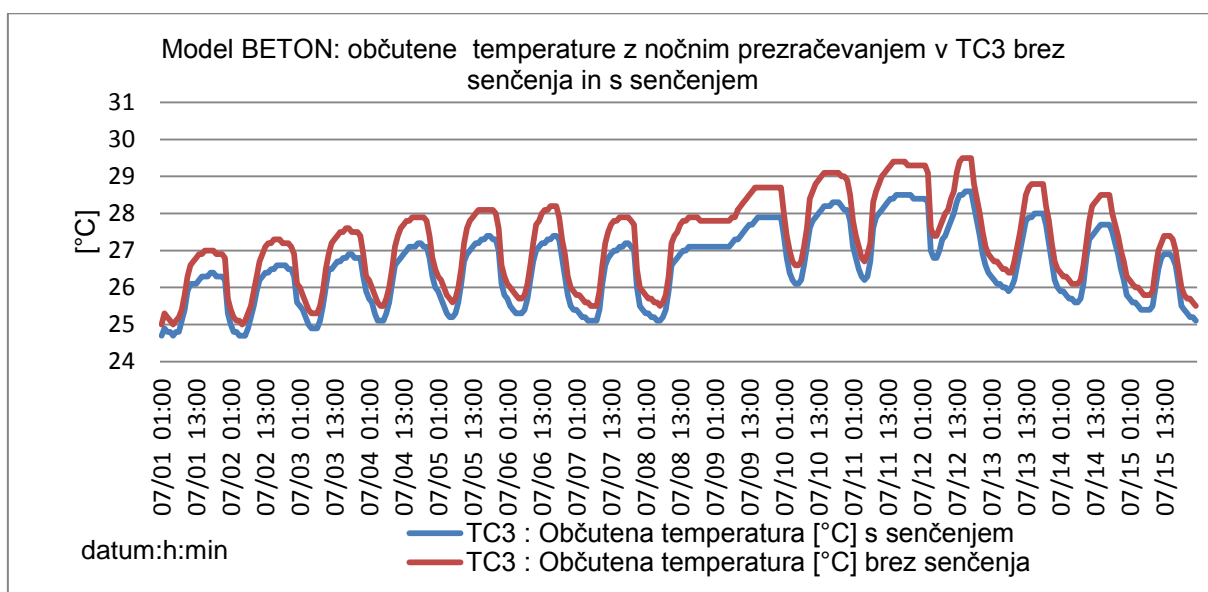


Grafikon 54: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu BETON v TC7 z nočnim prezračevanjem in senčenjem

Občutene temperature v toplotnih conah se zaradi senčenja zastekljenih površin znižajo. Najbolj se znižajo v TC1, ki ima največje razmerje med zastekljenih površinami in tlorisno površino, najmanj pa v TC3, kjer je to razmerje najmanjše. V TC1 se temperature ob 15:00 znižajo do 2,7 °C, ob 7:00 pa do 0,4 °C. V TC3 je znižanje temperature manjše kot v TC1. Ob 15:00 je znižanje za 1,0 °C, ob 7:00 za 0,3 °C. V grafikonih 55 in 56 za model BETON v TC1 in TC3 prikazujemo znižanje občutene temperature zaradi senčenja v obdobju od 1. 7. do 15. 7.

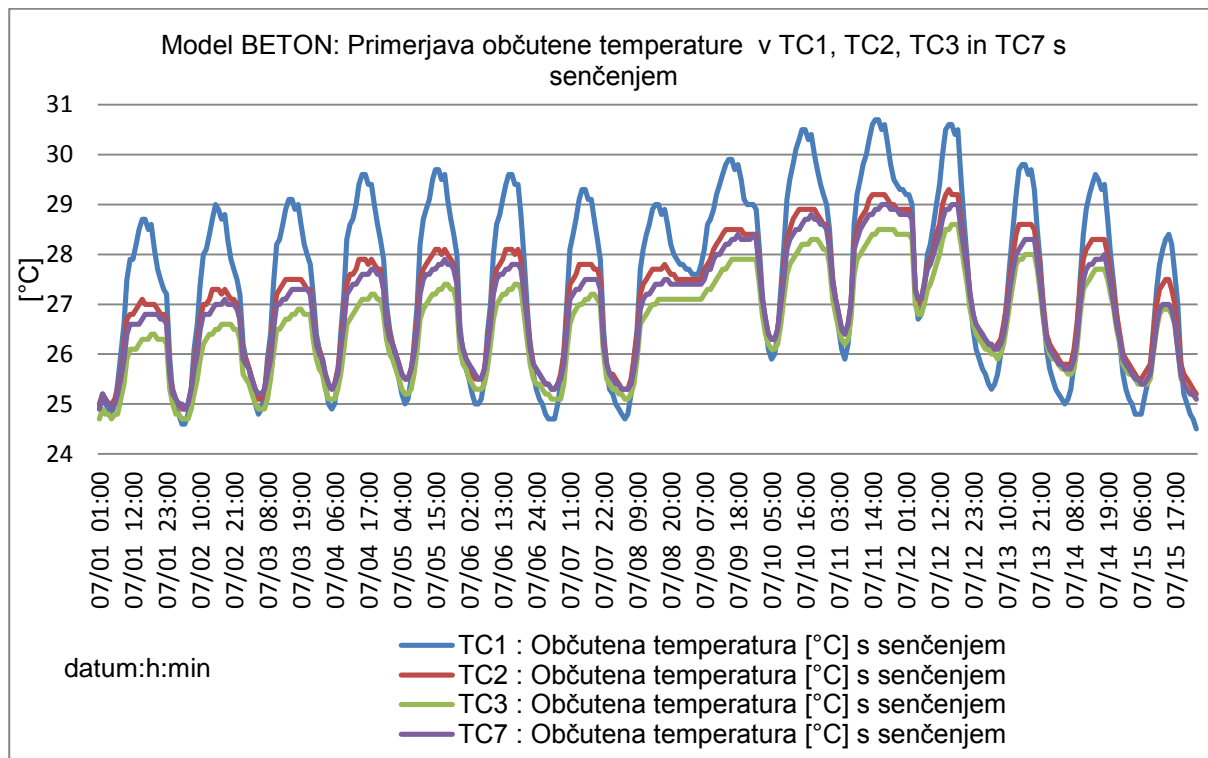


Grafikon 55: Model BETON. Primerjava občutene temperature z nočnim prezračevanjem [°C] v TC1 brez senčenja in s senčenjem.



Grafikon 56: Model BETON. Primerjava občutene temperature z nočnim prezračevanjem [°C] v TC3 brez senčenja in s senčenjem.

V grafikonu 57 za obdobje od 1. 7. do 15. 7. prikazujemo občuteno temperaturo v TC1, TC2, TC3 in TC7, ko je stavba nočno prezračevana in senčena. Razvidno je, da so občutene temperature v TC2, TC3 in TC7 podobne. Odstopa le TC1, v kateri so zaradi velikih zastekljenih površin notranje temperature do 2 °C višje.

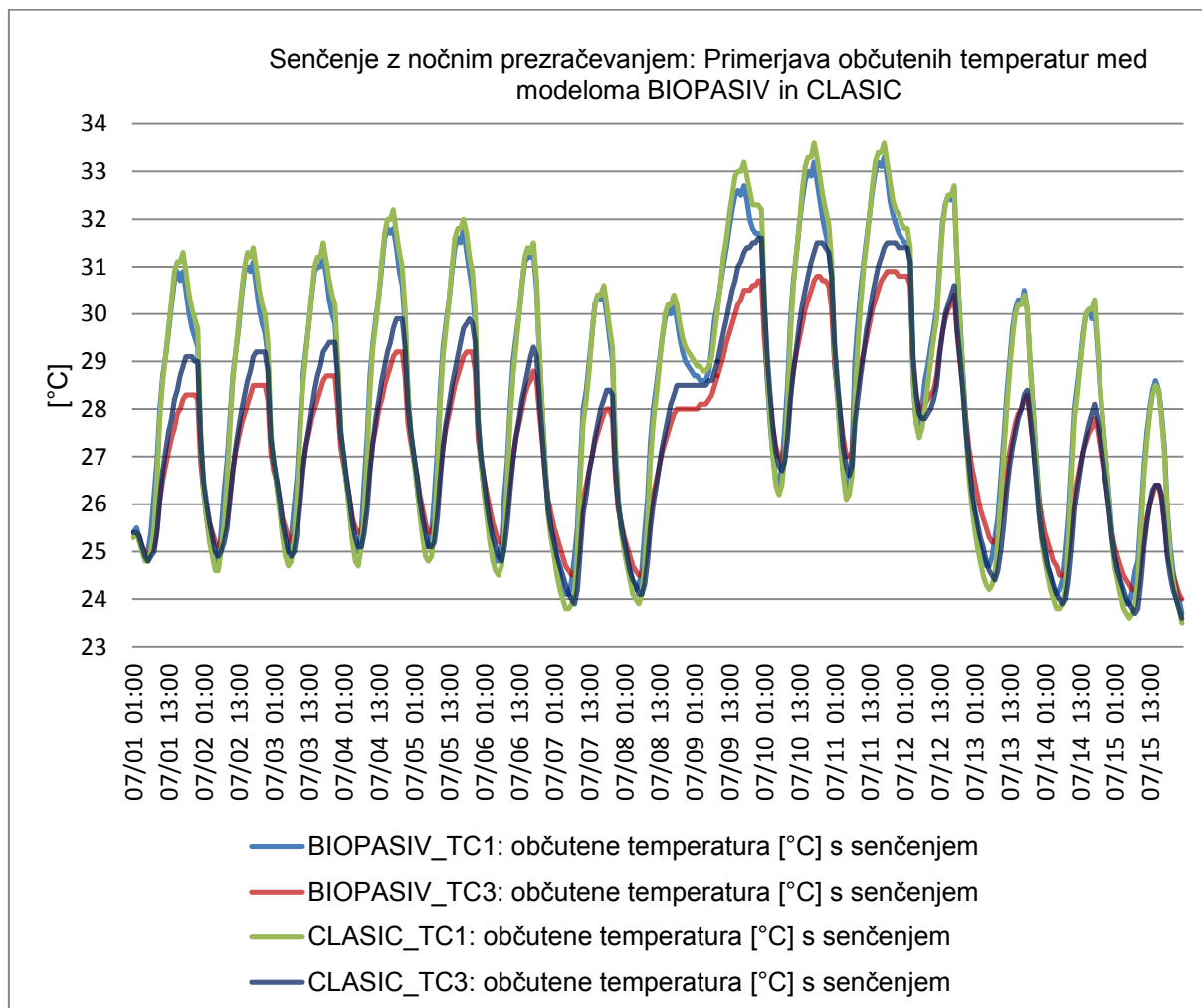


Grafikon 57: Model BETON. Primerjava občutene temperature [°C] v TC1, TC2, TC3 in TC7 s senčenjem

Rezultati izračunov kažejo, da je senčenje učinkovit način zniževanja občutene temperature. Pri modelu BETON se občutene temperature zaradi senčenja najbolj znižajo v TC1. V obdobju, ko so zunanje temperature najvišje, se v primerjavi z nezasenčenimi zasteklitvami občutene temperature znižajo do 2,7 °C. Vseeno pa je občutena temperatura popoldne v TC1 3,6 °C nad zeleno, saj je najvišja izračunana občutena temperatura 30,6 °C. Nočna in jutranja temperatura je med 25 °C in 27 °C in je v zelenih mejah. Razmere v TC2 so podobne kot v TC1, le da je najvišja izračunana temperatura 29,1 °C. Prav tako so temperature previsoke v TC3 in TC7, čeprav le za 1,5 in 2 °C. Vpliv senčenja bi bil večji, če bi uporabili senčila, ki popolnoma blokirajo sončno sevanje, na primer žaluzija ali rolete.

Primerjava med modeloma BIOPASIV in CLASIC

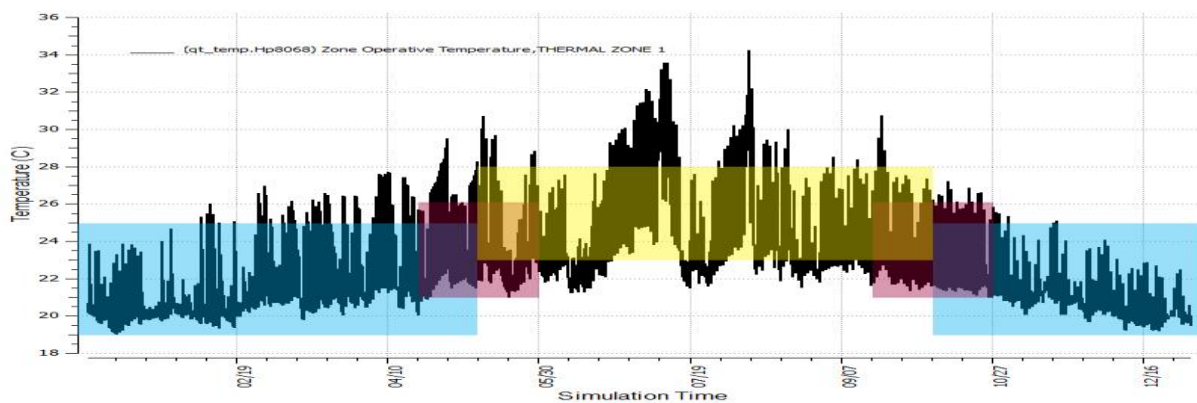
Na grafikonu 58 je prikazana primerjava občutenih temperatur pri modelih BIOPASIV in CLASIC v TC1 in TC3. Iz grafikona je razvidno, da razlika med občutenimi temperaturami med modeloma BIOPASIV in CLASIC ni večja od 1 °C. Zaradi majhnih razlik med modeloma rezultate izračunov prikazujemo samo za model CLASIC.



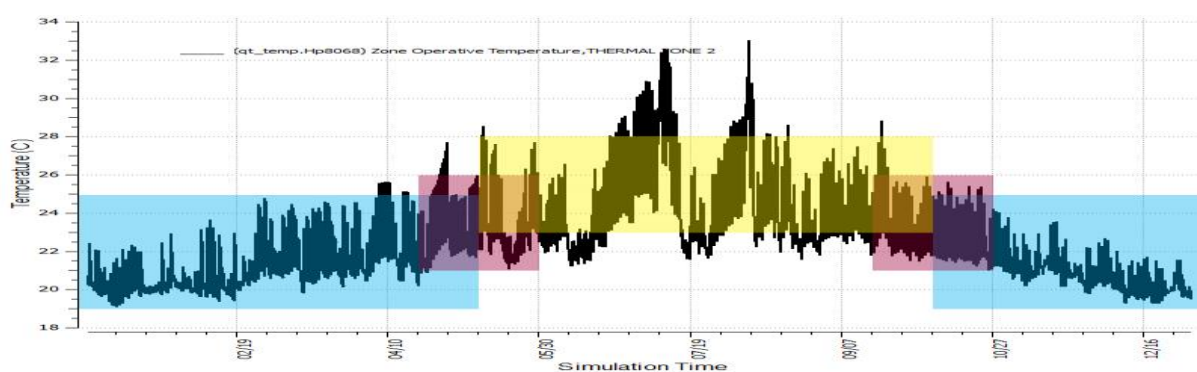
Grafikon 58: Senčenje z nočnim prezračevanjem. Primerjava občutenih temperatur [°C] med modeloma BIOPASIV TC1 in TC3 in CLASIC TC1 in TC3

Model CLASIC

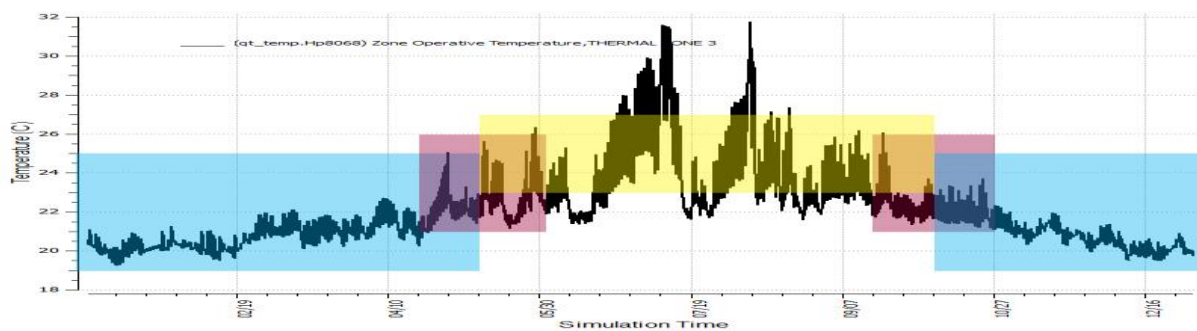
Tudi pri modelu CLASIC se občutene temperature v toplotnih conah zaradi senčenja zastekljenih površin znižajo. Najbolj se znižajo v TC1, ki ima največje razmerje med zastekljenih površinami in tlorisno površino, najmanj pa v TC3, kjer je to razmerje najmanjše. V grafikonih 59–62 prikazujemo znižanje občutene temperature zaradi senčenja v obdobju od 1. 7. do 15. 7.



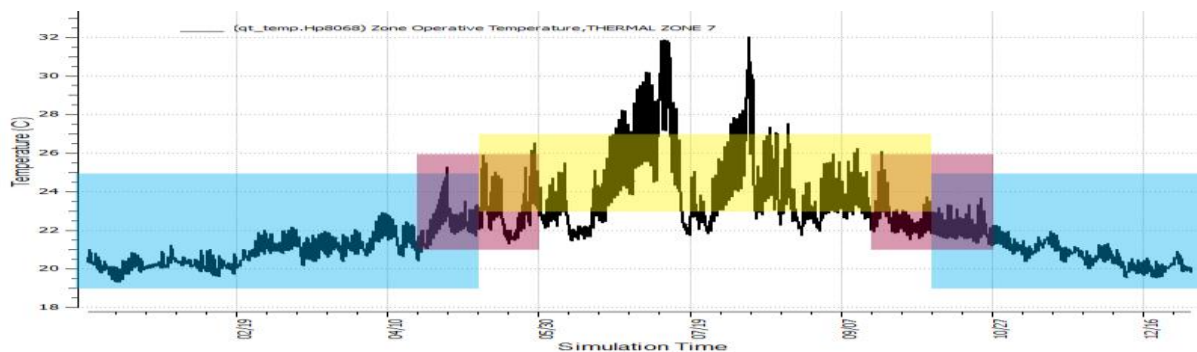
Grafikon 59: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu CLASIC v TC1 z nočnim prezračevanjem in senčenjem



Grafikon 60: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu CLASIC v TC2 z nočnim prezračevanjem in senčenjem

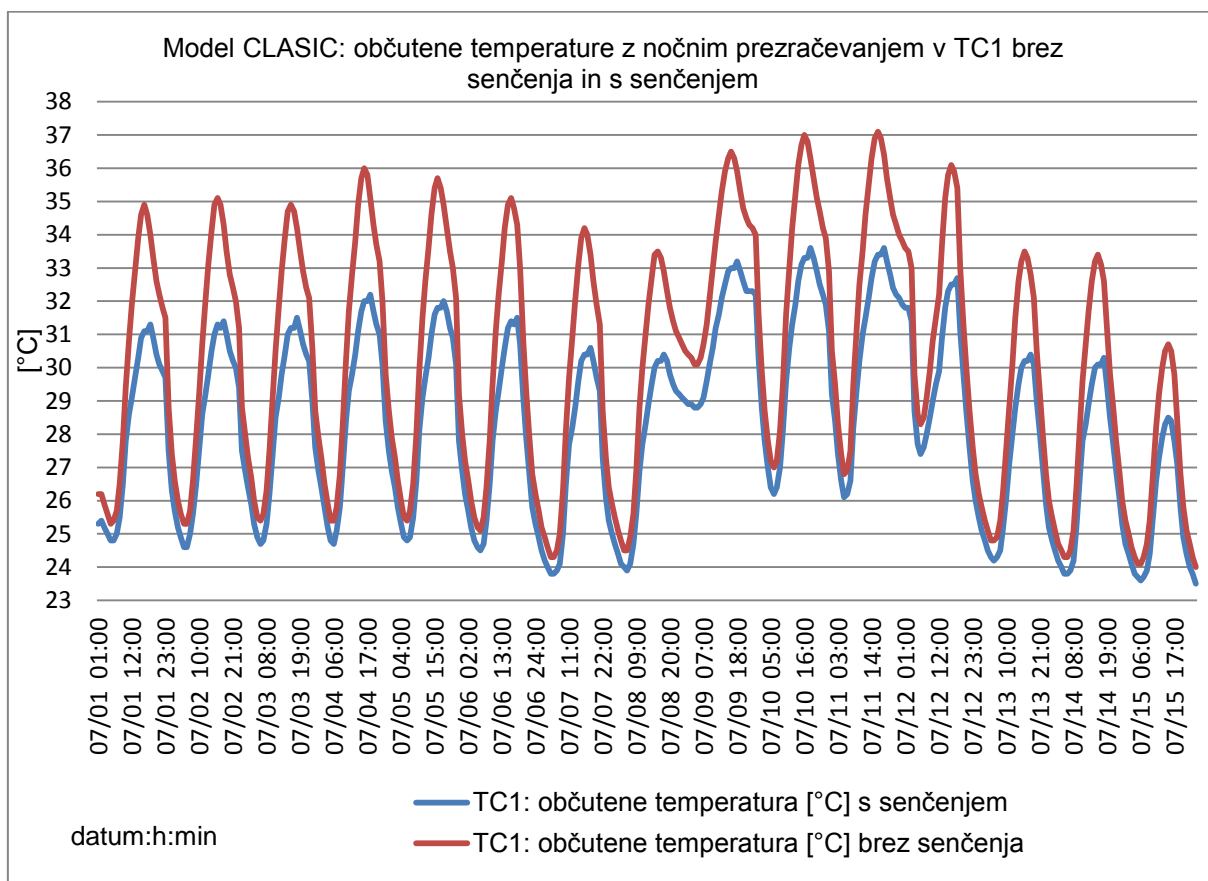


Grafikon 61: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu CLASIC v TC3 z nočnim prezračevanjem in senčenjem

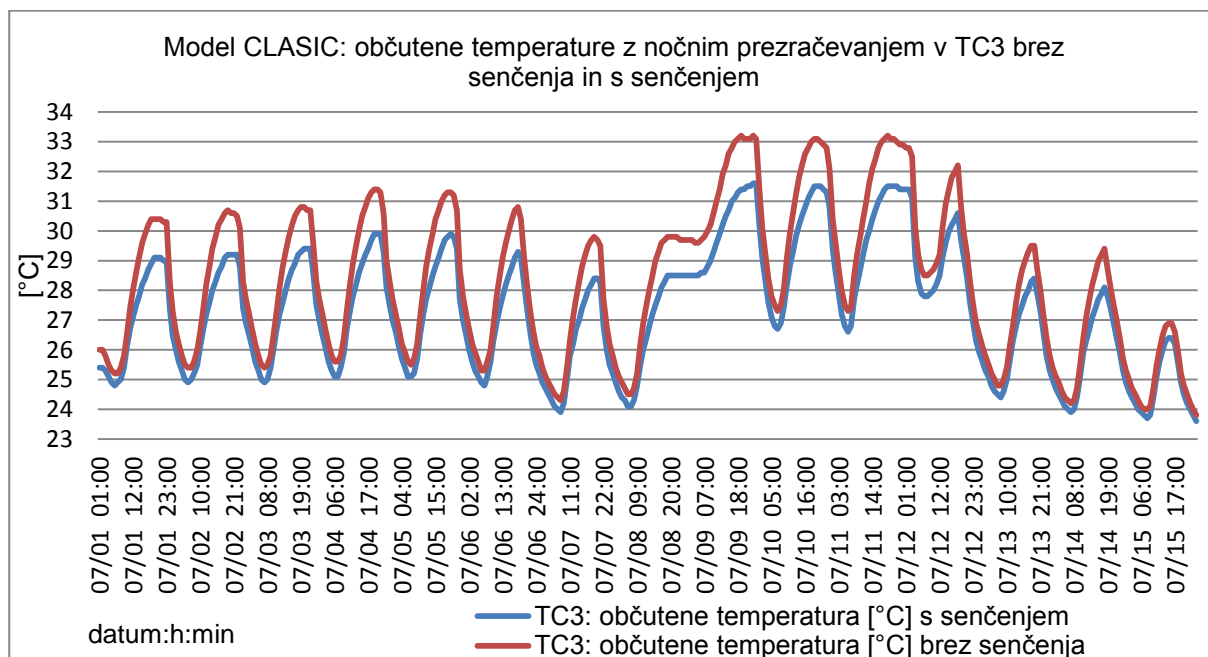


Grafikon 62: Gibanje občutene temperature [°C] v modelu CLASIC v TC7 z nočnim prezračevanjem in senčenjem

Pri modelu CLASIC se občutene temperature zaradi senčenja najbolj znižajo v toplotni coni 1. V obdobju, ko so zunanje temperature najvišje, se v primerjavi z nesenčenimi stekli temperatura zniža do 4 °C. Vseeno pa je najvišja občutena temperatura popoldne do 33,6 °C kar je 6,6 °C nad želeno. Nočna in jutranja temperatura je med 25 °C in 29 °C. To pomeni, da se občasno, ko so nočne temperature zunanjega zraka visoke, temperature tudi ponoči ne spustijo na želeno raven. Razmere v TC2 so podobne kot v TC1, le da je najvišja izračunana temperatura 32,5 °C. Prav tako so temperature previsoke v TC3, kjer je najvišja izračunana temperatura 31,5 °C, in TC7, kjer je najvišja izračunana temperatura 31,5 °C. Nočne in jutranje temperature so v mejah zelenih, razen na najtoplejši dan, 9. julija. Spremembo občutenih temperatur zaradi senčenja za obdobje 1. 7. do 15. 7. v TC1 in TC7 prikazujemo v grafikonih 63 in 64.

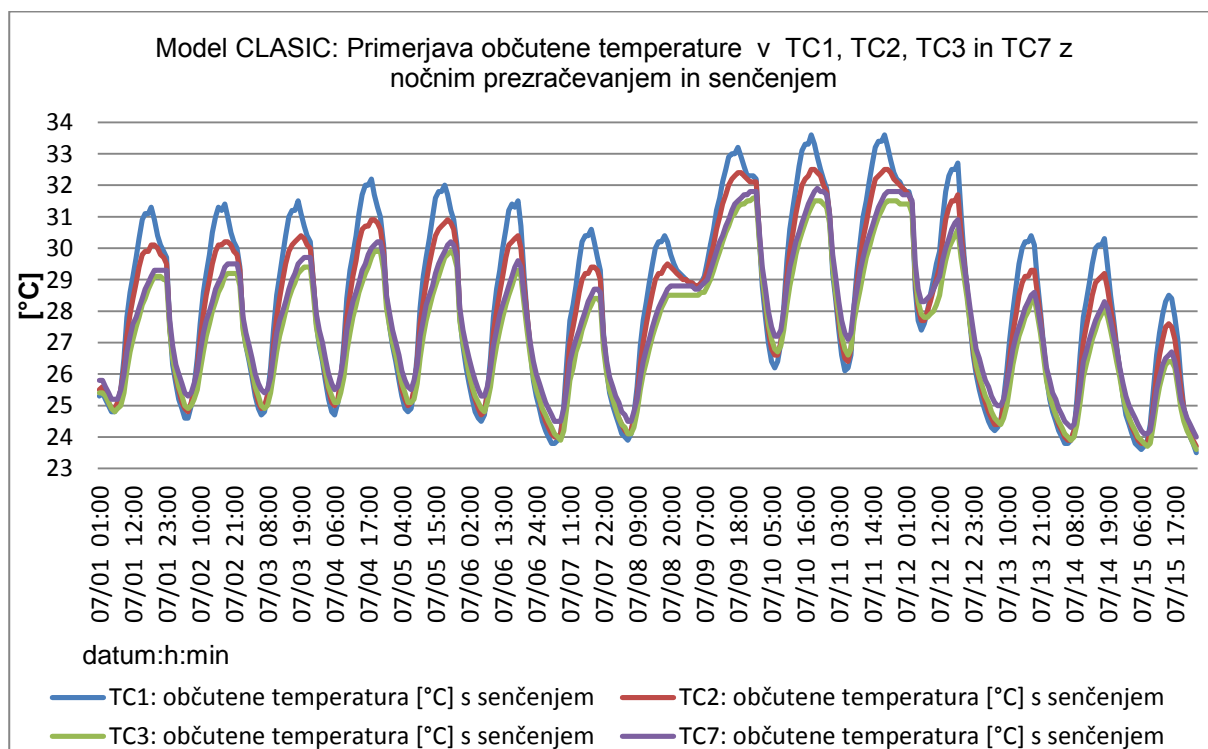


Grafikon 63 Model CLASIC: Primerjava občutene temperature z nočnim prezračevanjem [°C] v TC1 brez senčenja in s senčenjem



Grafikon 64: Model CLASIC: Primerjava občutene temperature z nočnim prezračevanjem [°C] v TC3 brez senčenja in s senčenjem

Primerjava občutenih temperatur v toplotnih conah, ko je stavba senčena in nočno prezračevana, pokaže, da so občutene temperature pri modelu CLASIC v vseh toplotnih conah višje kot pri modelu BETON. Manjša je tudi razlika med TC1 in TC3.



Grafikon 65: Model CLASIC: Primerjava občutene temperature [°C] v TC1, TC2, TC3 in TC7 z nočnim prezračevanjem in senčenjem

5.6 Prestavitev na lokacijo Ljubljana

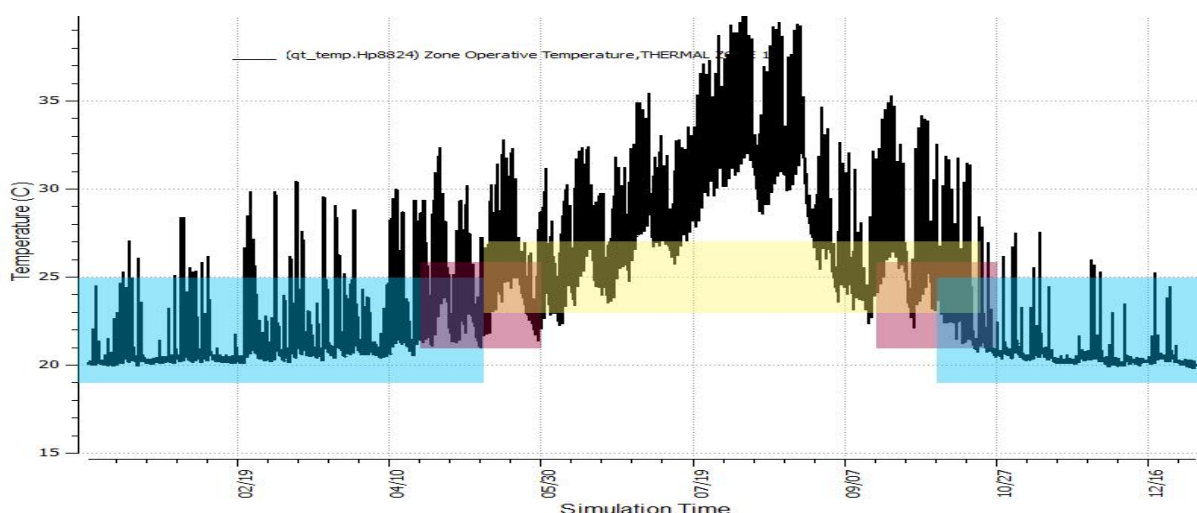
Preveril smo, kakšno je bivalno udobje, če stavbo prestavimo na lokacijo Ljubljana. Za Ljubljano obstaja EPW datoteka [25], tako da se vremenski podatki lahko uporabijo neposredno. Temperature v zimskem obdobju so nižje kot na lokaciji Udine. Najnižja temperatura na lokaciji Ljubljana je $-20,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, kar je $14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ manj kot na lokaciji Udine, najvišja temperatura pa je $33,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, kar je le $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ manj kot na lokaciji Udine. Najvišje temperature zunanjega zraka so konec julija in na začetku avgusta, zato se na lokaciji Ljubljana vroče obdobje pojavi v začetku avgusta. Najvišja občutena temperatura je v vseh toplotnih conah 5. avgusta. S programom EnergyPlus smo izračunali, kakšne so občutene temperature v conah, ko je stavba ogrevana in ni hlajena. V preglednici 45 prikazujemo najvišje občutene temperature na dan 5. 8.

Preglednica 45: Najvišje občutene temperature [$^{\circ}\text{C}$] po conah na dan 5. 8. brez nočnega prezračevanja in brez senčenja

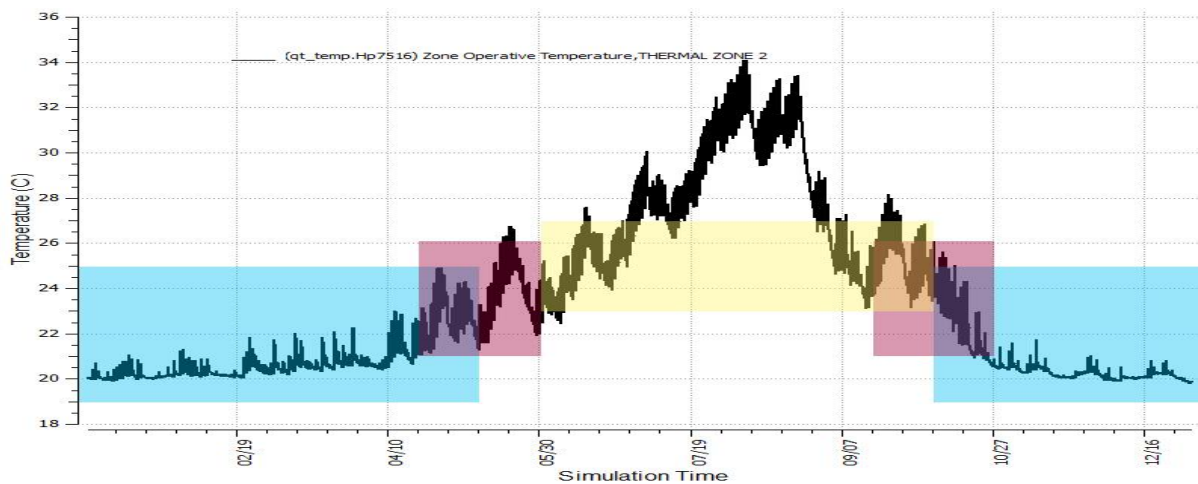
Najvišje občutena temperatura brez nočnega prezračevanja [$^{\circ}\text{C}$]	TC 1	TC 2	TC 3	TC 7
Model OPEKA	42,5	35,1	29,6	33,4
Model BETON	40,0	34,1	29,6	32,7
Model CLASIC	47,3	43,2	31,4	37,1
Model BIOPASIV	47,4	41,2	30,9	37,1

Tudi na lokaciji Ljubljana se stavba brez hlajenja pregreva. Pri vseh modeli in v vseh toplotnih conah so občutene temperature višje od želenih. Rezultate izračunov za model BETON prikazujemo na grafikonih 66–69, za model CLASIC pa na grafikonih 70–73.

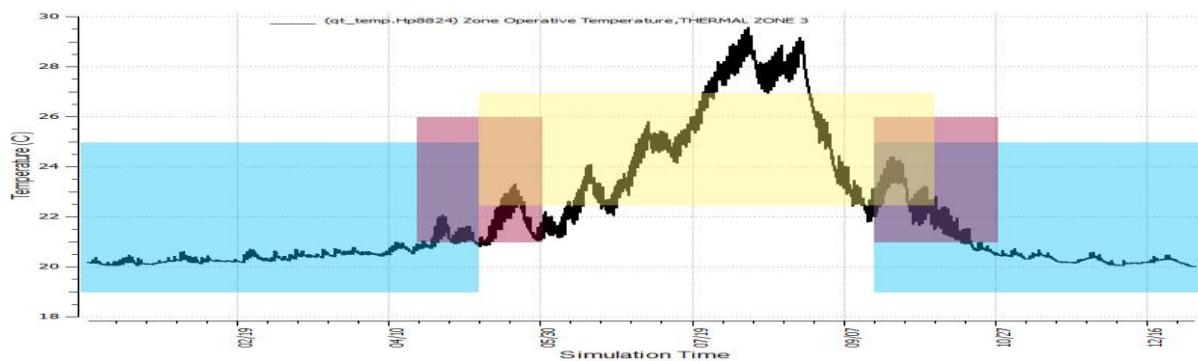
Model BETON



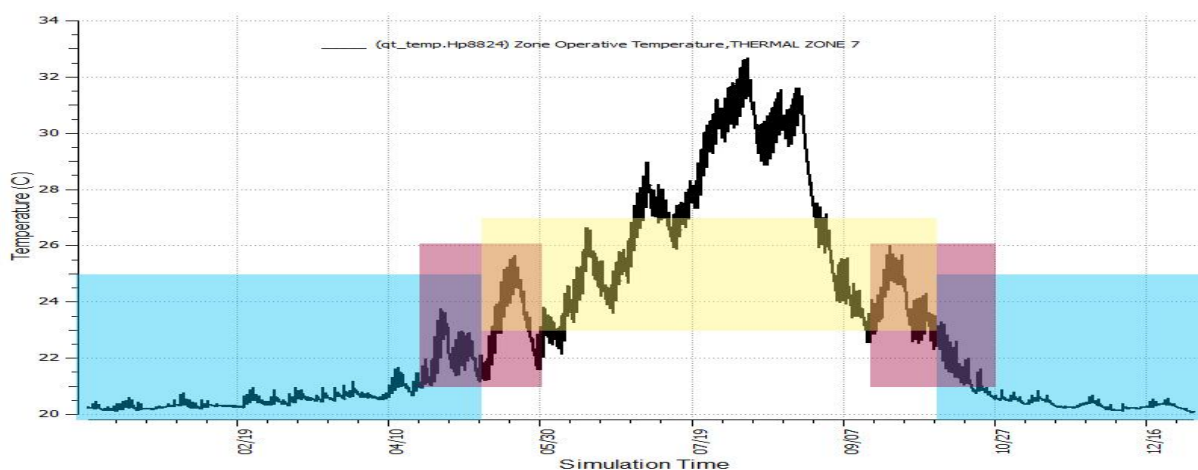
Grafikon 66: Model BETON: Občutene temperature [$^{\circ}\text{C}$] v TC1 na lokaciji Ljubljana



Grafikon 67: Model BETON: Občutene temperature [°C] v TC2 na lokaciji Ljubljana

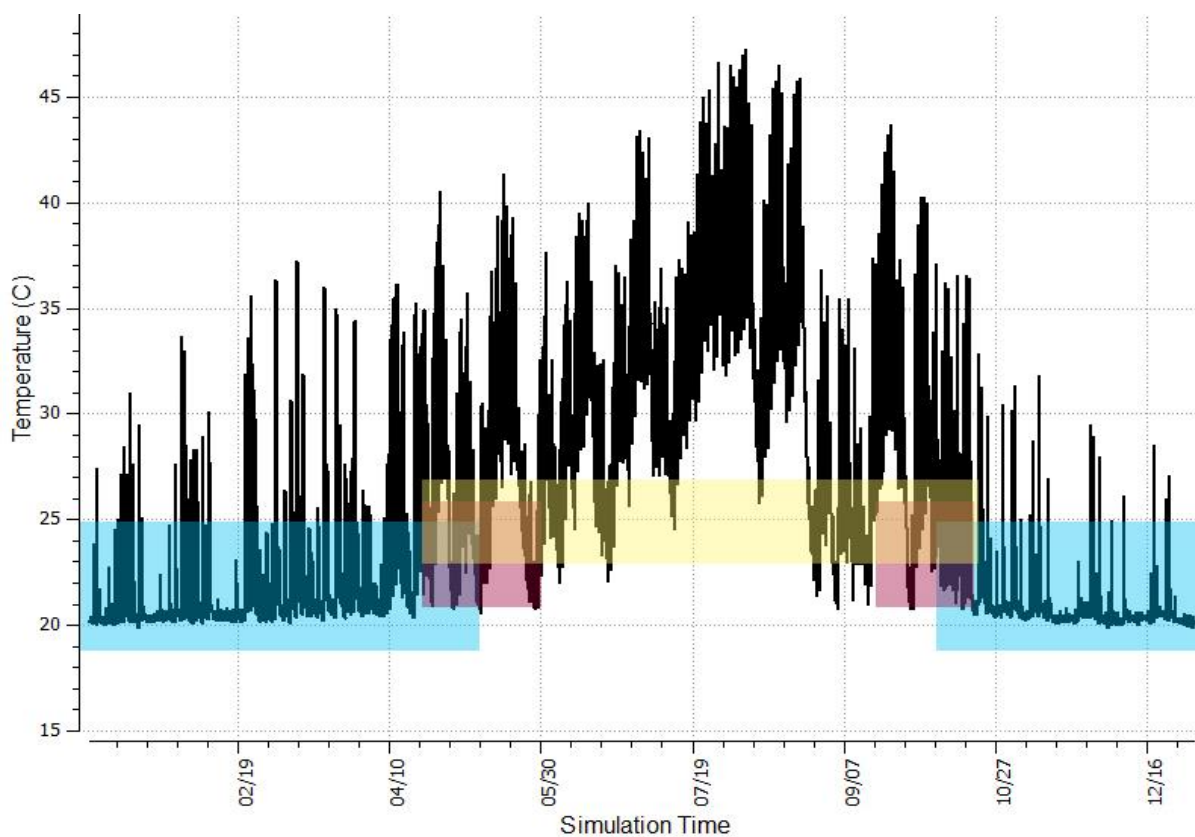


Grafikon 68: Model BETON: Občutene temperature [°C] v TC3 na lokaciji Ljubljana

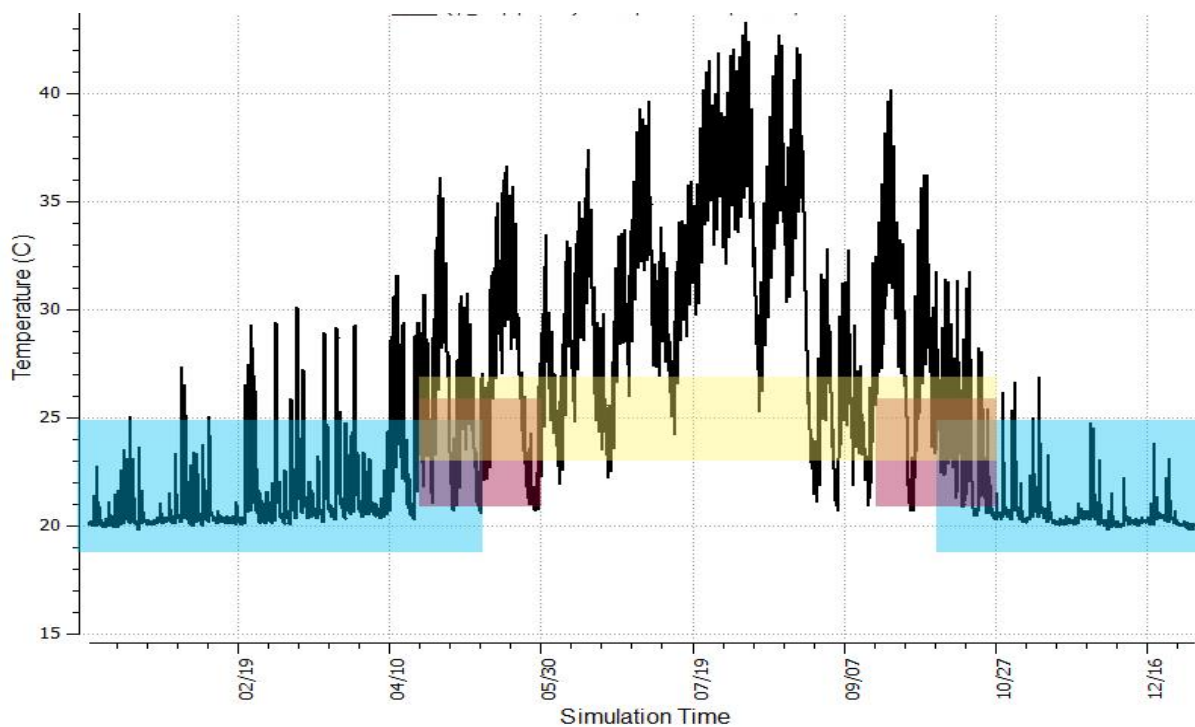


Grafikon 69: Model BETON: Občutene temperature [°C] v TC7 na lokaciji Ljubljana

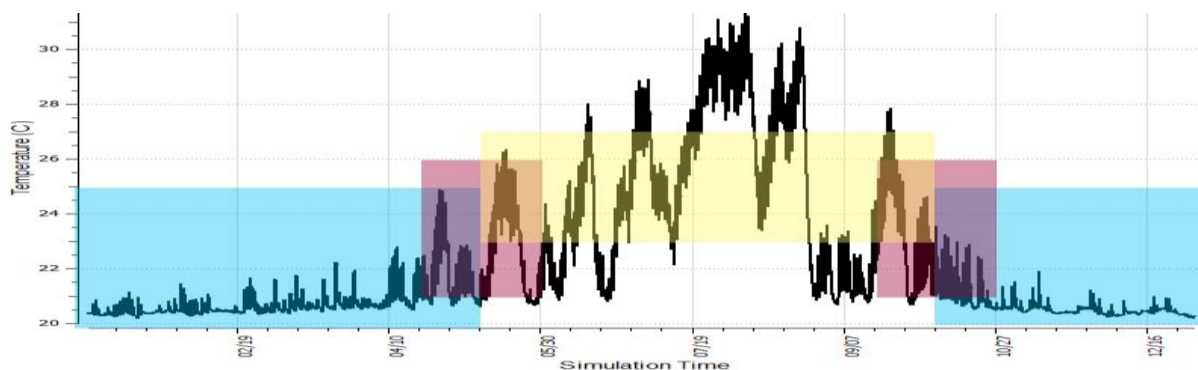
Model CLASIC



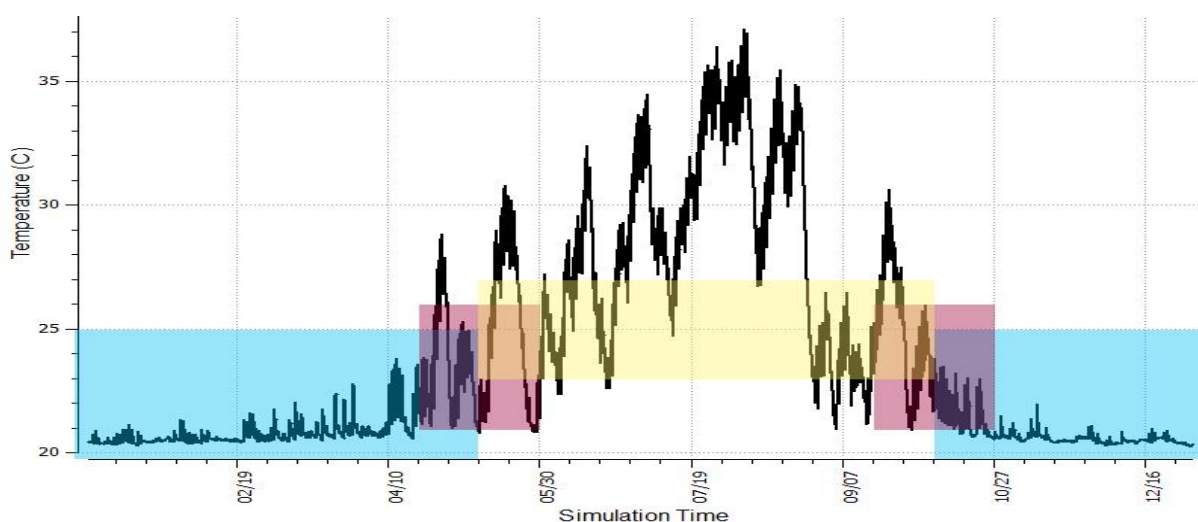
Grafikon 70: Model CLASIC: Občutene temperature v [°C] TC1 na lokaciji Ljubljana



Grafikon 71: Model CLASIC: Občutene temperature v [°C] TC2 na lokaciji Ljubljana



Grafikon 72: Model CLASIC: Občutene temperature v [°C] TC3 na lokaciji Ljubljana



Grafikon 73: Model CLASIC: Občutene temperature v [°C] TC7 na lokaciji Ljubljana

Primerjali smo najvišje občutene temperature na lokacijah Ljubljana in Udine in ugotovili, da so občutene temperature na lokaciji Ljubljana v TC1 pri vseh modelih in v TC2 pri modelih CLASIC in BIOPASIV višje kot na lokaciji Udine. V drugih toplotnih conah in modelih so temperature na lokaciji Ljubljana nižje kot na Lokaciji Udine. Rezultati izračunov razlik med najvišjimi občutenimi temperaturami so prikazani v preglednici 46. Pozitivna vrednost pomeni, da so temperature na lokaciji Ljubljana višje kot na lokaciji Udine. Negativna vrednost pomeni da so temperature na lokaciji Ljubljana nižje kot na lokaciji Udine.

Preglednica 46: Razlika med absolutno najvišjimi občutenimi temperaturami [°C] na lokacijah Udine in Ljubljana brez nočnega prezračevanja

Razlika med najvišjimi občutenimi temperaturami med lokacijama Udine in Ljubljana [°C]	TC 1	TC 2	TC 3	TC 7
Model OPEKA	1,1	-1,6	-1,9	-1,5
Model BETON	0,9	-0,8	-1,5	-1,3
Model CLASIC	2,1	1,1	-2,3	-1,3
Model BIOPASIV	2,1	0,6	-2,2	-1,3

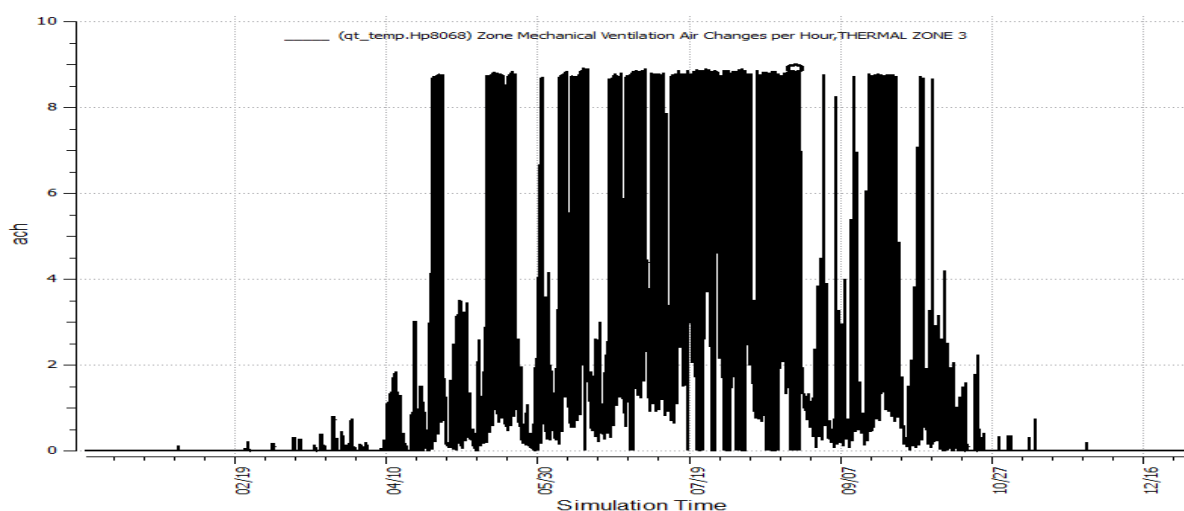
Vzrok za višje temperature je sončno sevanje. Na lokaciji Udine so najvišje občutene temperature v toplotnih conah dne 11. 7. Na ta dan ob 15:00, je toplotni tok, ki prehaja skozi zastekljene površine v TC1, 2384 W. Na lokaciji Ljubljana so najvišje občutene temperature v toplotnih conah 5. 8. Na ta dan ob 15:00 je toplotni tok ki prehaja skozi okna v TC1, 3371 W. Na isti dan ponoči, ko se stavba ohlaja, je toplotni tok iz TC1 skozi zastekljene površine na lokaciji Udine 271 W, na lokaciji Ljubljana 353 W. Velika razlika med dobitki zaradi velikih toplotnih tokov skozi zastekljene površine podnevi in majhnimi izgubami zaradi majhnih toplotnih tokov skozi zastekljene površine ponoči je poglaviti vzrok pregrevanja stavb.

5.7 Nočno prezračevanje

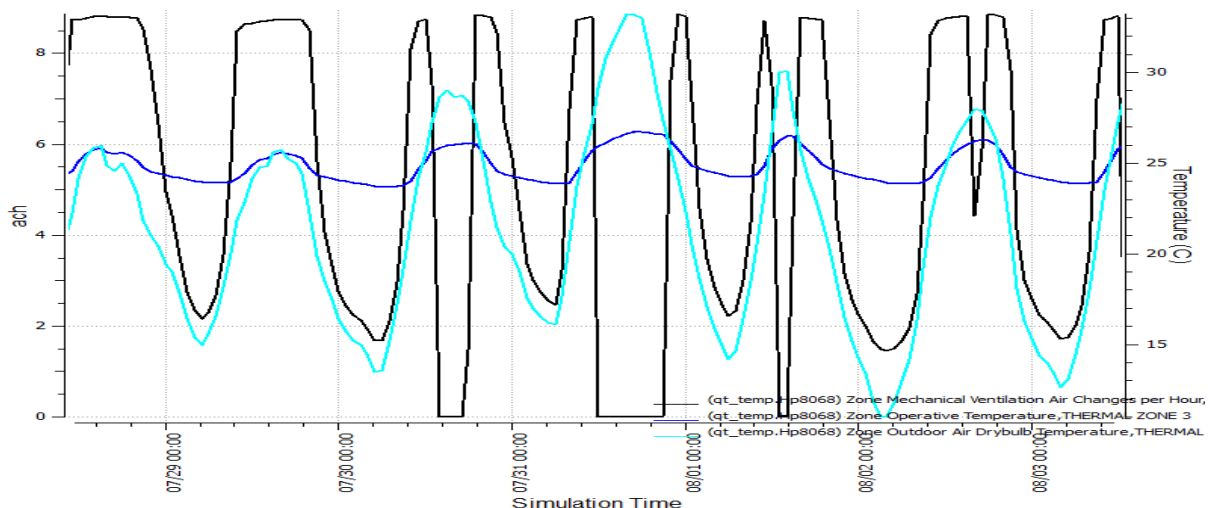
Za znižanje občutenih temperatur smo tudi na lokaciji Ljubljana izdelali računski model z nočnim prezračevanjem. Tako kot pri lokaciji Udine je bil uporabljen regulator z imenom OutdoorAirReset. Nastavitve regulatorja so enake kot pri lokaciji Udine. Želena temperatura v prostoru je med 21 °C in 26 °C, dovedena temperatura zunanjega zraka pa med 18 °C in 26 °C. Pri takih nastavitvah regulator zamenja zrak v prostoru od 6,5 h⁻¹ do 11,0 h⁻¹. Podrobno je število izmenjav zraka prikazano v preglednici 47. Regulator na podlagi izbranih nastavitvev sam izbere stopnjo prezračevanje, s katero poizkuša doseči zelene parametre. Primer delovanja regulatorja za TC3, model OPEKA je prikazano na grafikonih 74 in 75.

Preglednica 47: Maksimalna izmenjava zraka po toplotnih conah [h⁻¹]

Izmenjava zraka [h ⁻¹]	TC1	TC2	TC3	TC7
Model OPEKA	10,7	10,5	8,9	8,5
Model BETON	11,0	10,9	9,5	8,9
Model CLASIC	10,3	10,3	7,6	7,3
Model BIOPASIV	10,2	8,6	6,9	6,7



Grafikon 74: Delovanje regulatorja prezračevanja za TC3 model OPEKA, v obdobju od 1.1. do 31. 12.



Legenda:

- Število izmenjav notranjega zraka z zunanjim [h^{-1}]
- Občutena temperatura v prostoru [$^{\circ}\text{C}$]
- Temperatura zunanjega zraka merjena s suhim termometrom [$^{\circ}\text{C}$]

Grafikon 75: Delovne regulatorja prezračevanja model OPEKA v TC3 v obdobju od 29. 7. do 3. 8.

Temperature v obravnavanih prostorih se znižajo. Razlika med najvišjo občuteno temperaturo v prostoru brez nočnega prezračevanja in z nočnim prezračevanjem je od cone do cone različna. Najvišja temperatura v toplotnih conah je dosežena 5. 8. Na ta dan je najvišja temperatura v TC1, najmanjša pa v TC3.

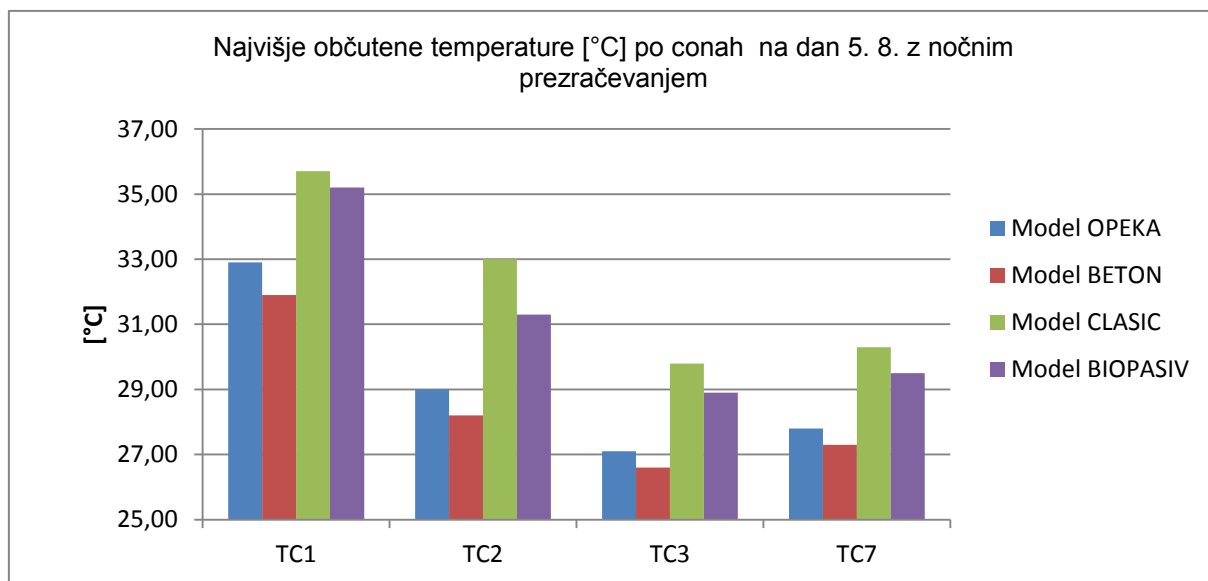
Preglednica 48: Najvišje občutene temperature [$^{\circ}\text{C}$] po conah na dan 8. 5. z nočnim prezračevanjem

Najvišje občutena temperatura z nočnim prezračevanjem [$^{\circ}\text{C}$]	TC1	TC2	TC3	TC7
Model OPEKA	32,9	29,0	27,1	27,8
Model BETON	31,9	28,2	26,6	27,3
Model CLASIC	35,7	33,0	29,8	30,3
Model BIOPASIV	35,2	31,3	28,9	29,5

Preglednica 49: Razlike med občutenimi temperaturami [$^{\circ}\text{C}$] po conah na dan 11. 7. Brez nočnega prezračevanja in z nočnim prezračevanjem

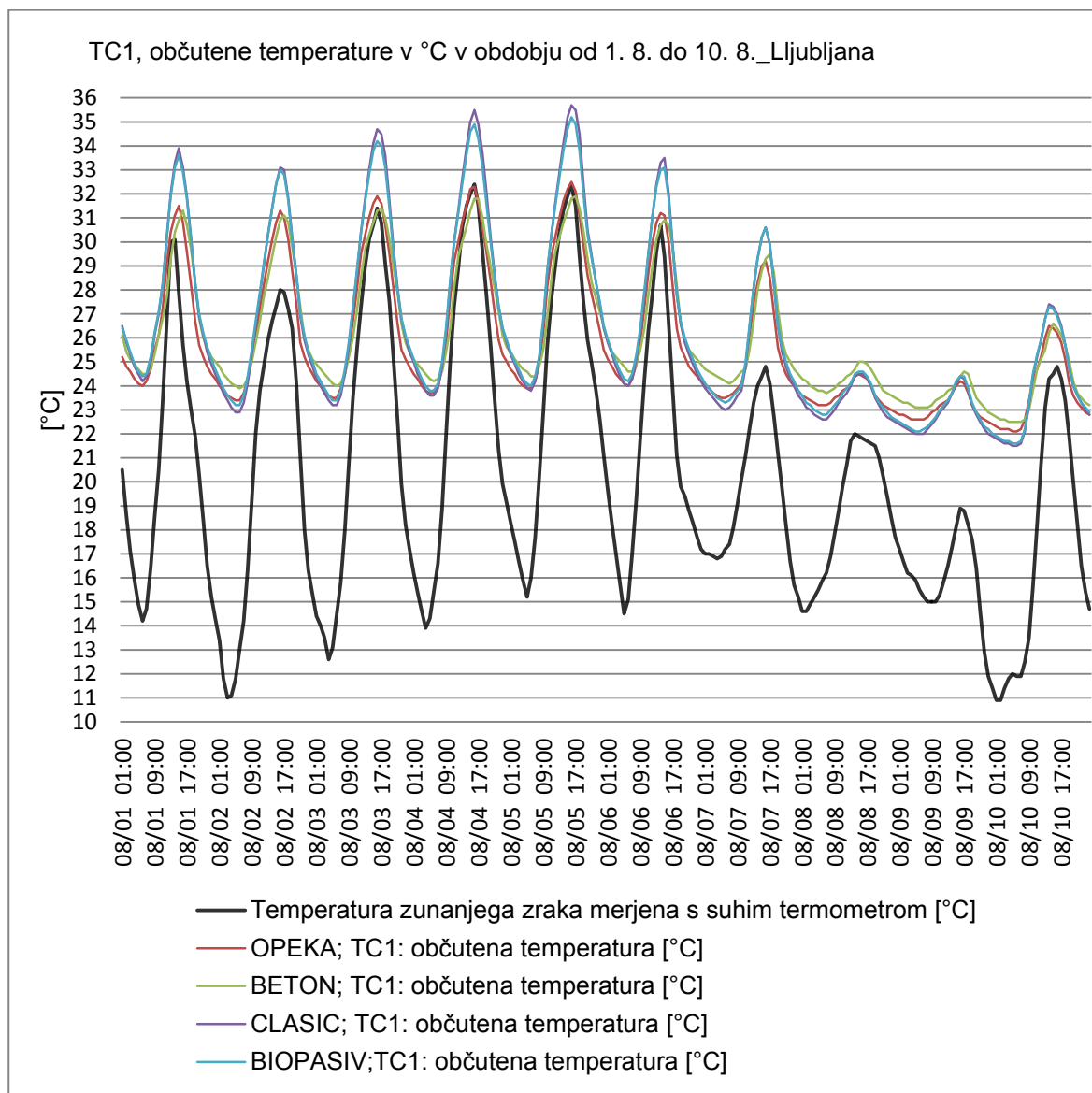
Razlika med občutenimi temperaturami brez nočnega prezračevanja in z nočnim prezračevanjem [$^{\circ}\text{C}$]	TC1	TC2	TC3	TC7
Model OPEKA	9,6	6,1	2,5	5,6
Model BETON	8,1	5,9	3,0	5,4
Model CLASIC	11,6	10,2	1,6	6,8
Model BIOPASIV	12,2	9,9	2,0	7,6

Iz preglednic 48 in 49 je razvidno, da se maksimalne občutene temperature najbolj znižajo v toplotni coni 1, najmanj pa v toplotni coni 3. Najnižje temperature so pri modelu BETON, najvišje pa pri modelu CLASIC, vendar pa so tudi pri modelu BETON v toplotni coni 1 in 2 temperature še vedno previsoke za bivanje. V toplotni coni 3 in 7 pa se temperatura dovolj zniža, da so bivalne razmere v zahtevanih mejah. Iz grafikona 76 je razvidno, da se pri nočnem prezračevanju model OPEKA obnaša podobno kot model BETON, Model CLASIC pa podobno kot BIOPASIV.

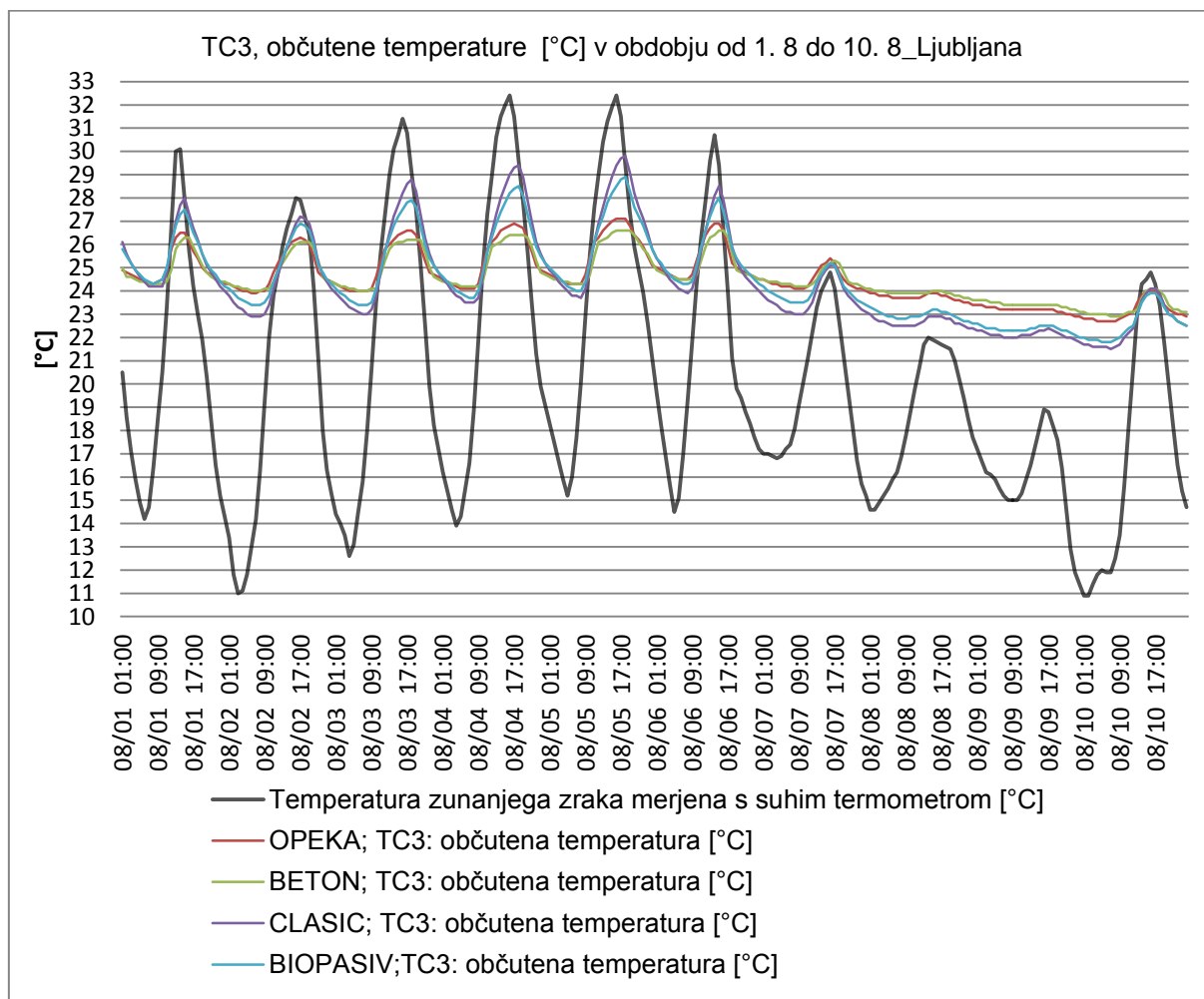


Grafikon 76: Najvišje občutene temperature [°C] po conah na dan 5. 8. z nočnim prezračevanjem

Iz primerjave nihanja občutene temperature pri nočnem prezračevanju je razvidno, da se model OPEKA obnaša zelo podobno kot model BETON in model CLASIC zelo podobno kot model BIOPASIV. Stavba z masivnim ovojem bolje duši nihanje temperature v prostoru kot stavba, ki ima stavbni ovoj iz lahkih izolativnih materialov. To je razvidno iz grafikonov poteka občutene temperature za obdobje od 1. 8. do 10. 8. Na grafikonih 77 in 78 je prikazano gibanje občutene temperature za TC1 in TC3. Tudi v Ljubljani se TC2 in TC3 obnašata podobno kot TC1, le da je nihaj temperature nekoliko manjši.



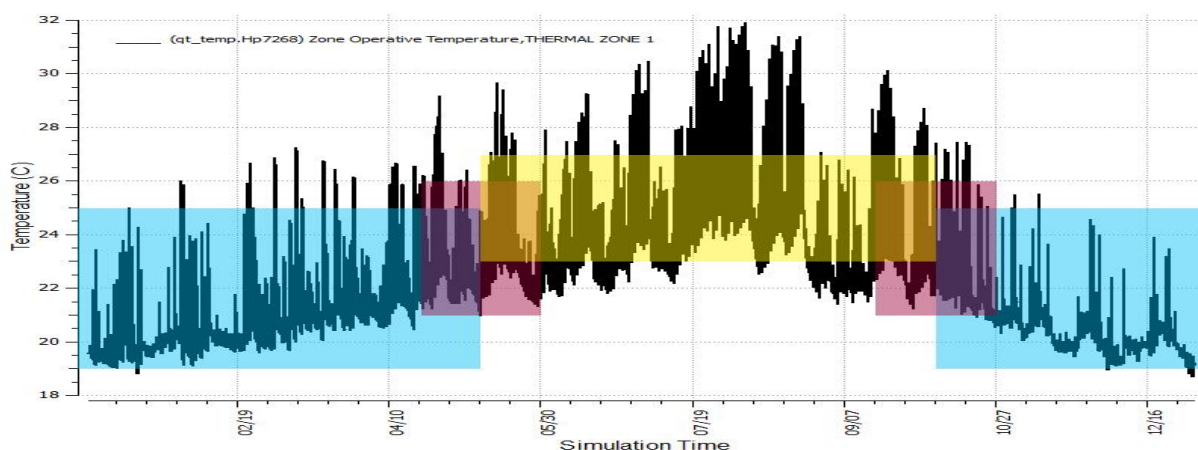
Grafikon 77: Nočno prezračevanje. Gibanje občutene temperature [°C] v TC1 za modele OPEKA, BETON, CLASIC IN BIOPASIV.



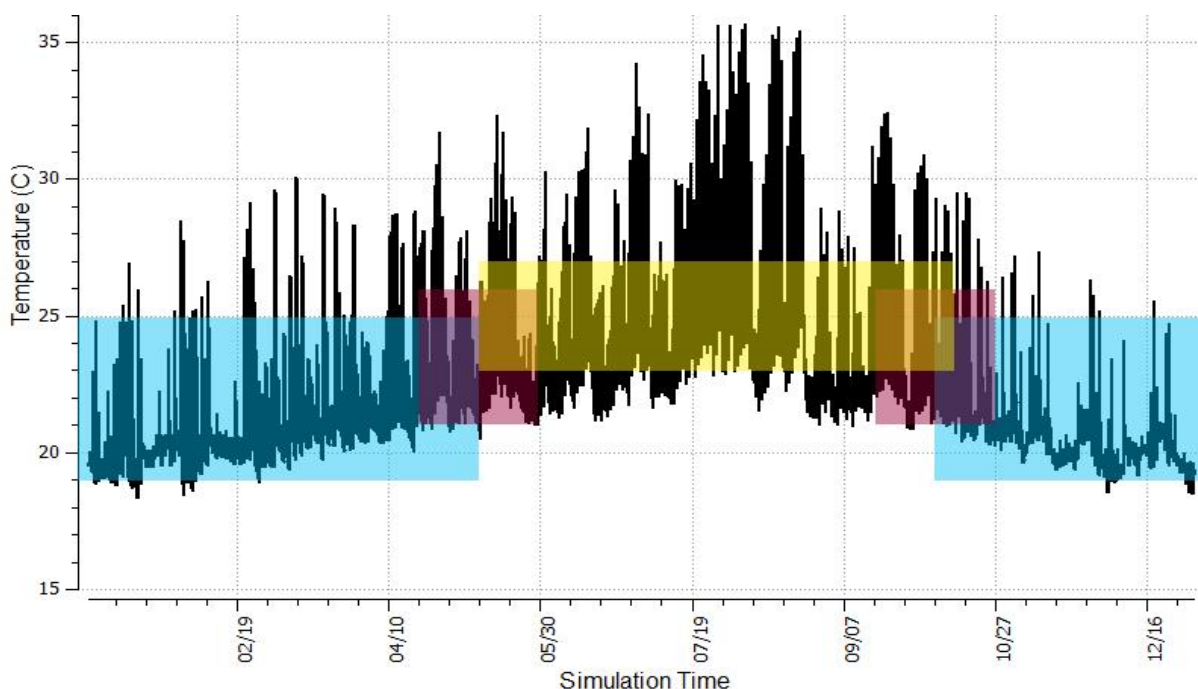
Grafikon 78: Nočno prezračevanje. Gibanje občutene temperature [°C] v TC3 za modele OPEKA, BETON, CLASIC IN BIOPASIV.

Iz grafikonov 77 in 78 je tudi razvidno, da v obdobju, ko so zunanje temperature najvišje, v TC1 sistem nočnega prezračevanja ni sposoben zagotoviti ustreznega bivalnega udobja. Občutene temperature so razen v jutranjih urah občutno previsoke. V TC3 pa so temperature previsoke samo pri modelih CLASIC in BIOPASIV, in sicer za 2 °C do 3 °C. Pri modelih OPEKA in BETON pa sistem nočnega prezračevanja lahko zagotovi dovolj hladu, da so bivalne razmere ugodne tudi takrat, ko so dnevne temperature najvišje.

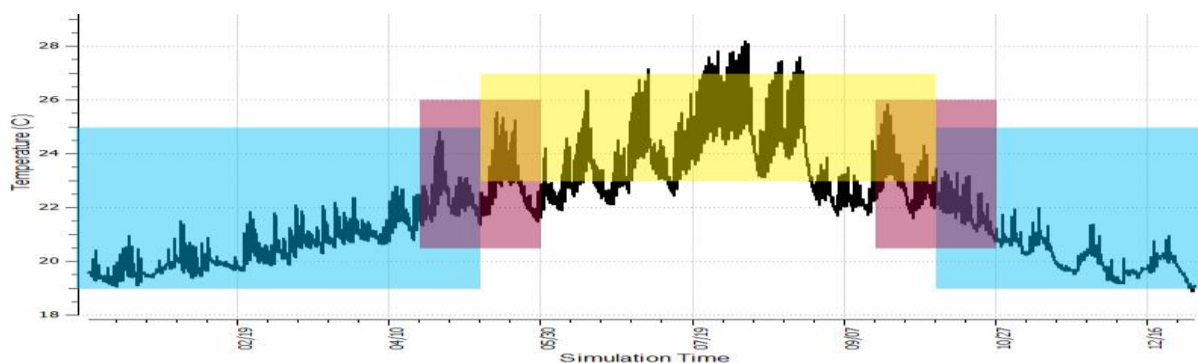
Ne glede na to, da so najvišje občutene temperature še vedno previsoke, pa se zaradi nočnega prezračevanja dovolj znižajo, da se obdobje, ko je mogoče zagotavljati ustrezne razmere za bivanje, v vseh primerih precej poveča. Spremembe temperature v dveh modelih in dveh toplotnih conah, ki sta po obnašanju najbolj različne, so prikazane grafikonih 79–86.



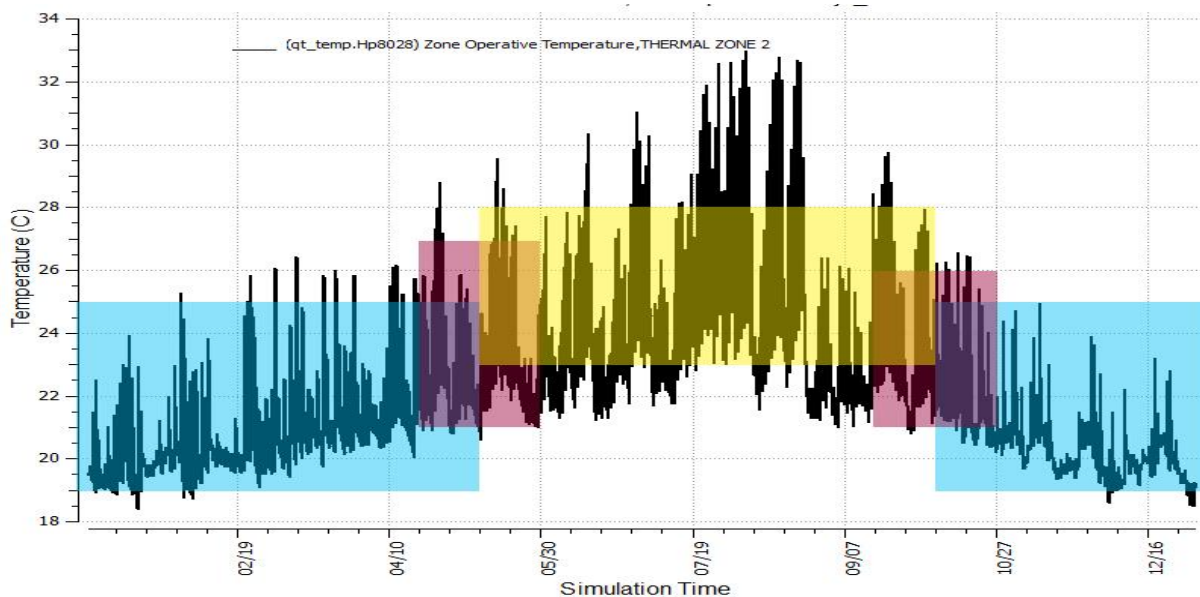
Grafikon 79: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu BETON v TC1 z nočnim prezračevanjem.



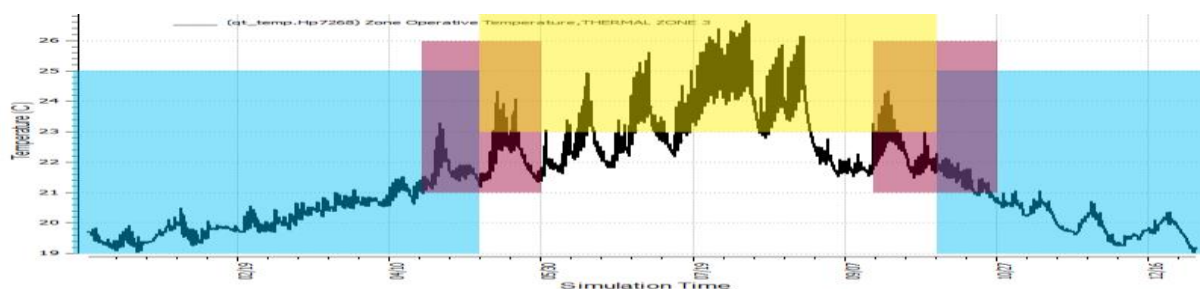
Grafikon 80: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu CLASIC v TC1 z nočnim prezračevanjem.



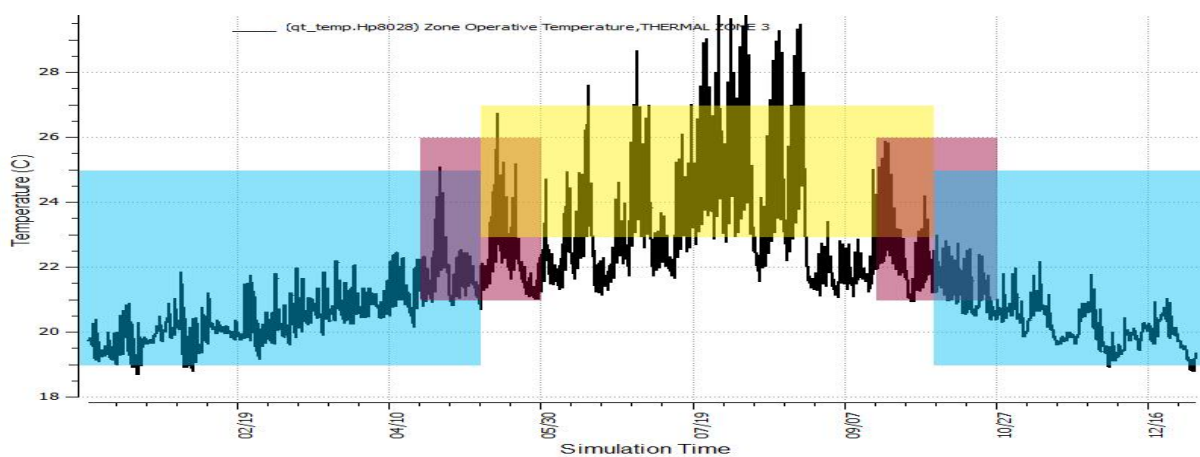
Grafikon 81: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu BETON v TC2 z nočnim prezračevanjem.



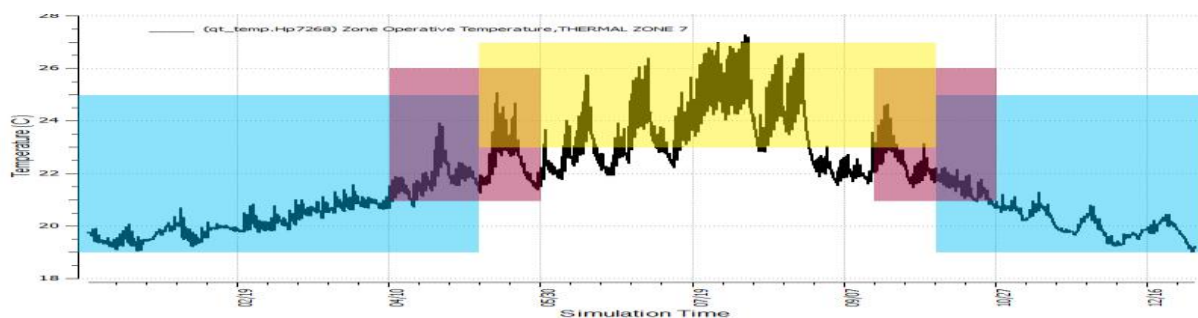
Grafikon 82: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu CLASIC v TC2 z nočnim prezračevanjem.



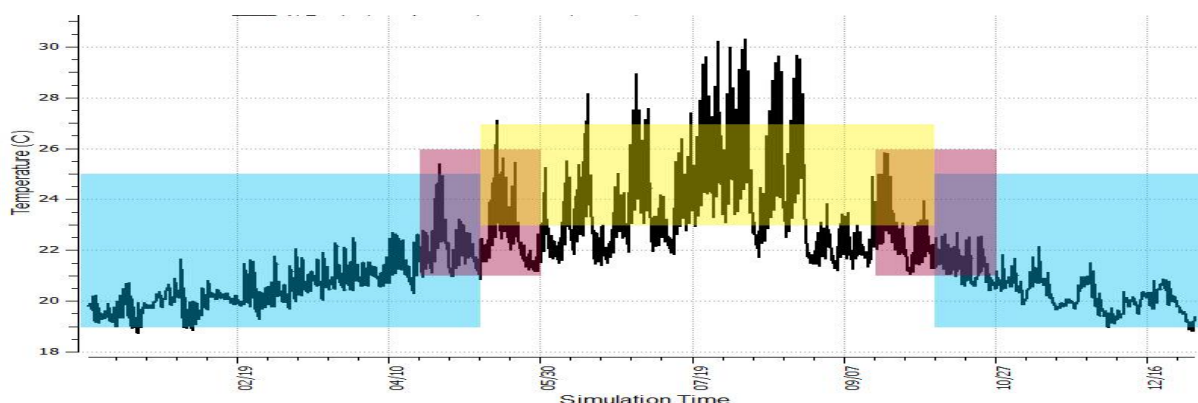
Grafikon 83: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu BETON v TC3 z nočnim prezračevanjem.



Grafikon 84: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu CLASIC v TC3 z nočnim prezračevanjem.



Grafikon 85: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu BETON v TC7 z nočnim prezračevanjem.



Grafikon 86: Občutena temperatura [°C] na lokaciji Ljubljana v modelu CLASIC v TC7 z nočnim prezračevanjem.

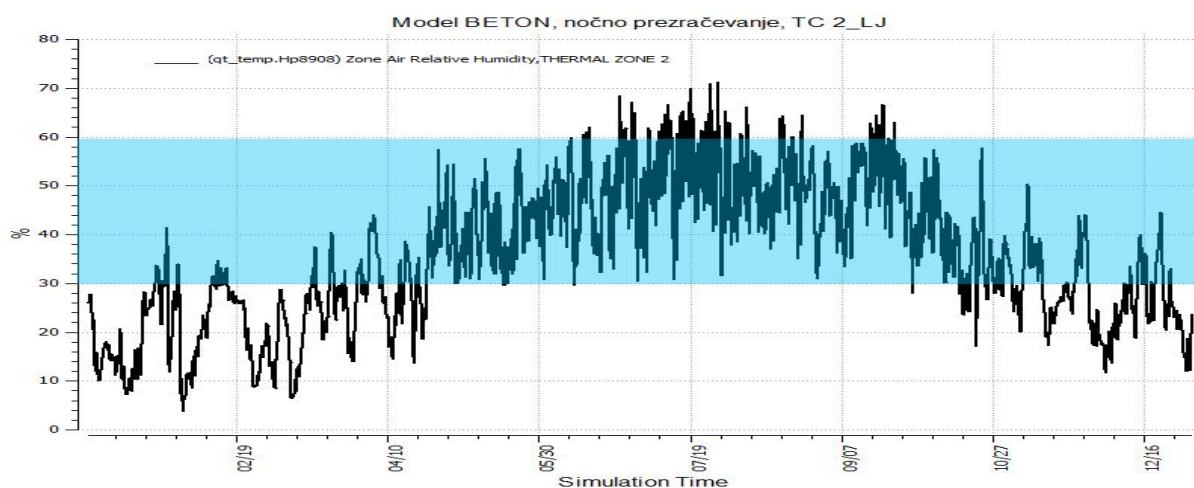
Iz grafikonov 79–86 je razvidno, da je gibanje občutene temperature zelo različno.

- V TC1 so pri obeh modelih v poletnem času občutene temperature previsoke. Coni se tudi v zimskem obdobju pregrevata. Poleti so podnevi občutene temperature previsoke, zjutraj in ponoči pa so zaradi intenzivnega nočnega prezračevanja do 1 °C prenizke.
- V TC2 so razmere ugodnejše. Pri modelu BETON so občutene temperature veliko ugodnejše kot v TC1. Temperature so v mejah zelenih, le v najbolj vročem obdobju so za 1 °C previsoke, v hladnejših obdobjih pa so jutranje temperature do 1 °C prenizke. Pri modelu CLASIC so najvišje temperature ustrezne med oktobrom in februarjem, preostali del leta pa so v toplejših obdobjih previsoke. Nočne in jutranje temperature so v zelenih mejah, razen poleti, ko so zaradi zahtev po intenzivnem nočnem prezračevanju do 1 °C prenizke.
- V TC3 so pri modelu BETON najvišje temperature v zelenih mejah, najnižje pa so zaradi zahtev po nočnem prezračevanju do 1 °C prenizke. Pri modelu CLASIC so najnižje temperature primerljive z modelom BETON, najvišje pa v toplejših obdobjih za 2 °C do 3 °C previsoke.

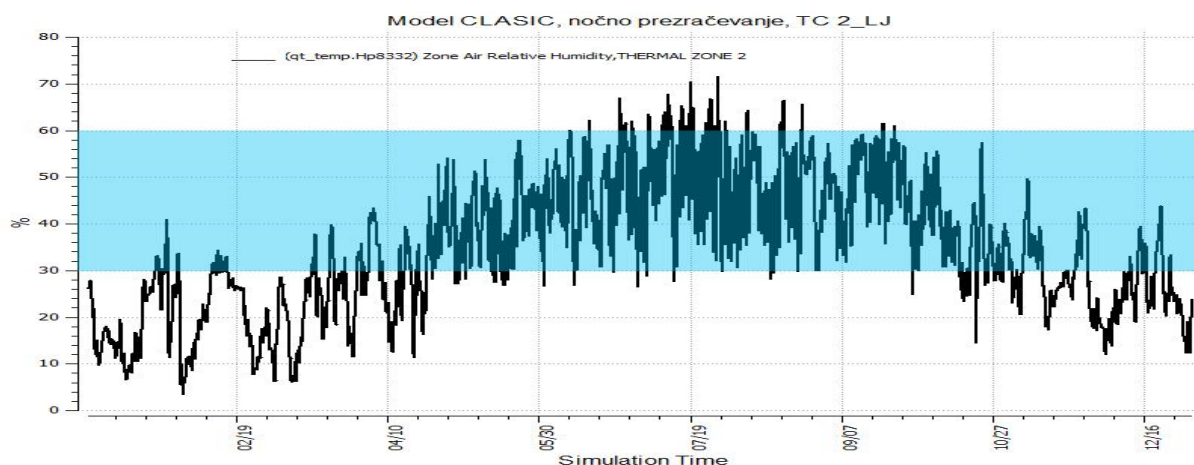
- TC7 se obnaša zelo podobno kot TC 3. Pri modelu BETON so najvišje temperature v zelenih mejah, najnižje pa za 1 °C prenizke, pri modelu CLASIC pa so najnižje temperature primerljive z modelom BETON, najvišje pa v toplejših obdobjih za 3 °C previsoke.

Relativna vlažnost pri nočnem prezračevanju na lokaciji Ljubljana

Iz grafikonov 87 in 88 je razvidno, da je od julija do sredine avgusta relativna vlažnost občasno višja od predpisanih 60%, zato je priporočljivo v sistem vgraditi razvlaževalce. Obdobje navlaževanja je pa bistveno krajše kot na lokaciji Udine in tudi najvišja relativna vlažnost je za 10 odstotnih točk nižja kot na lokaciji Udine. Pozimi pa je vlažnost v prostorih večinoma nižja od zelenih 30 %, zato bi morali zrak navlaževati. Rezultati za druge toplotne cone so podobni kot v TC2, zato jih ne navajamo.



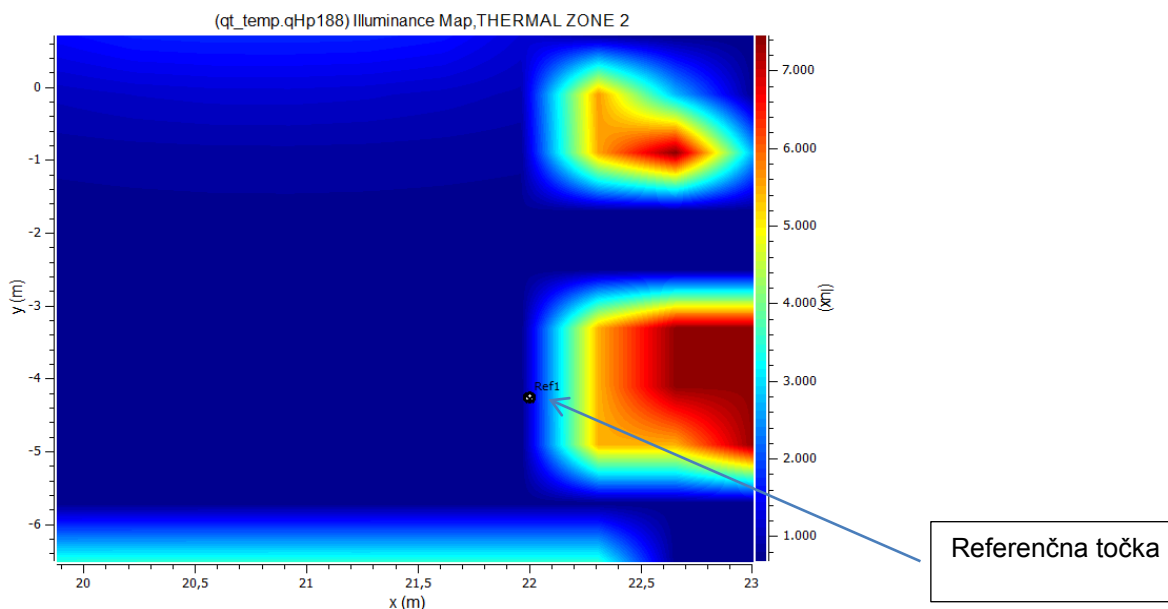
Grafikon 87: Relativna vlažnost modela [%] BETON v TC2, vremenski podatki Ljubljana.



Grafikon 88: Relativna vlažnost modela [%] CLASIC v TC2, vremenski podatki Ljubljana.

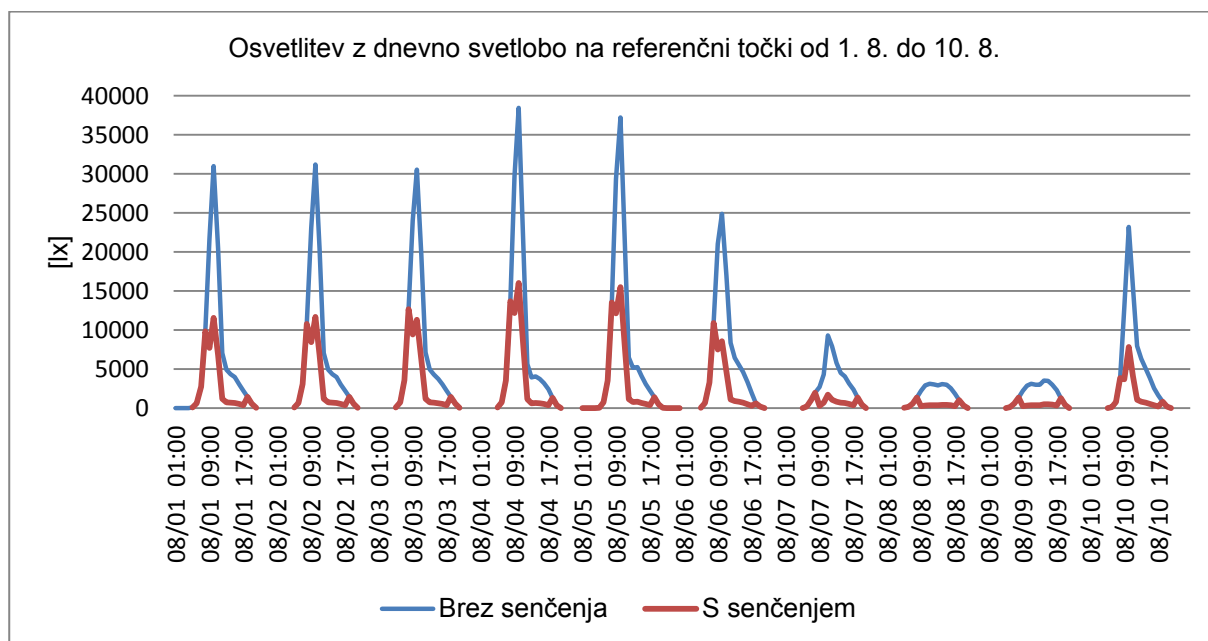
5.8 Senčenje zastekljenih površin

Vse nastavitve in lastnosti stavbnega ovoja za izračun osvetljenosti so enake kot na lokaciji Udine. Spremenijo se le podnebni robni pogoji. Osvetljenost TC2 na dan 5. 8. ob 12:00 je prikazana na sliki 23.

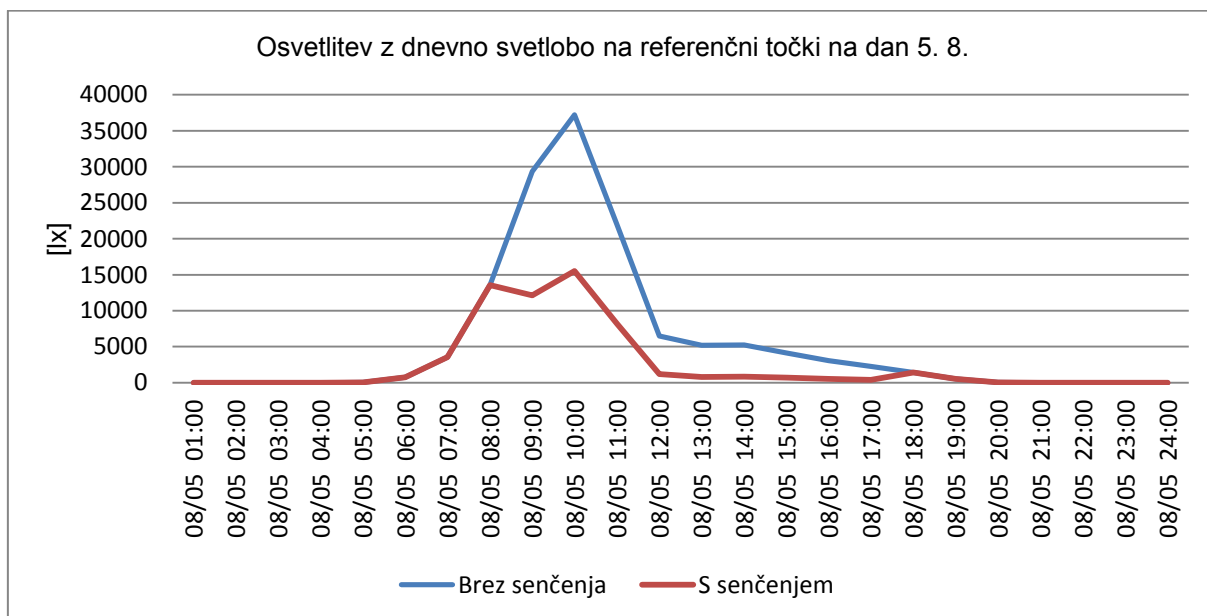


Slika 23: Vrednost dnevne osvetljenosti v lx na dan 5. 8 ob 12:00.

S programom smo izračunal vrednosti osvetljenosti brez senčenja. Zaradi preglednosti na grafikonih 89 in 90 prikazujemo vrednosti osvetljenosti od 1. 8. do 10. 8. Najvišje vrednosti, izmerjene na referenčni točki, so ob 10:00 in znašajo do 38440 lx.



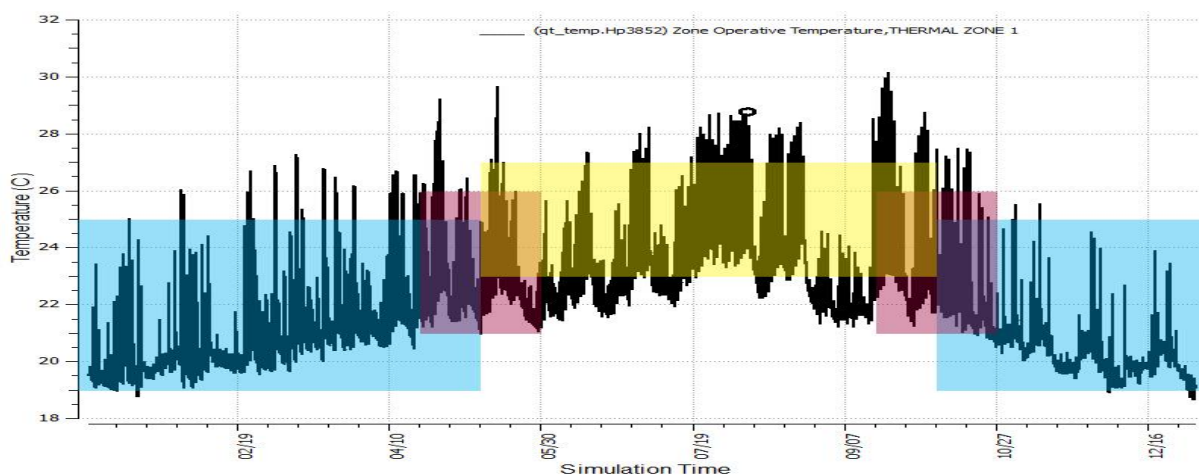
Grafikon 89: Osvetlitev z dnevno svetlobo [lx] na referenčni točki od 1. 8. so 10. 8.



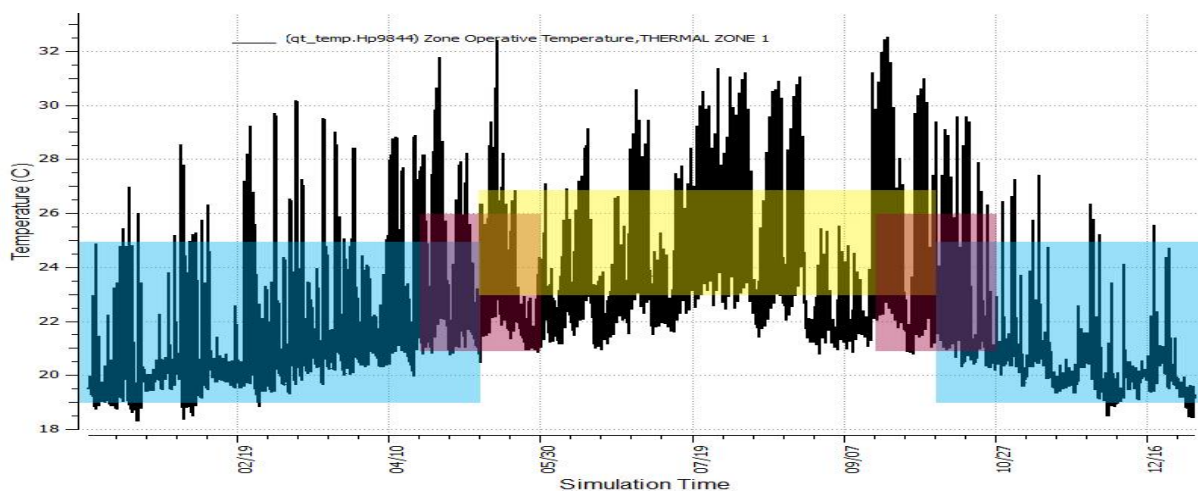
Grafikon 90: Osvetlitev z dnevno svetlobo [lx] na referenčni točki na dan 5. 8.

Rezultati simulacije

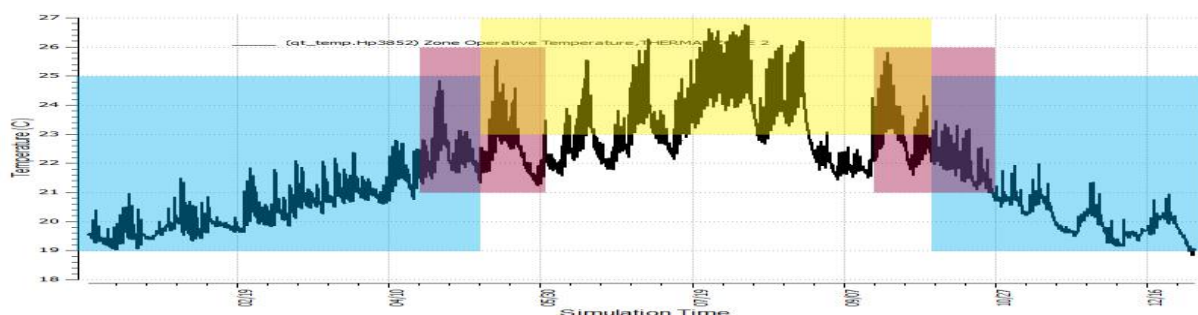
Opazoval smo obdobje, ko so občutene temperature v toplotnih conah najvišje. Primerjali smo rezultate simulacij pred uporabo senčil in po senčenju. Mehansko prezračevanje je nespremenjeno, prav tako je nespremenjena infiltracija zraka skozi netesnosti v ovoju stavbe. Tudi tukaj so rezultati simulacij za model BETON podobni kot pri modelu OPEKA in pri modelu BIOPASIV podobni kot pri modelu CLASIC, zato prikazujem rezultate na grafikonih 91–98 samo za modela BETON in CLASIC.



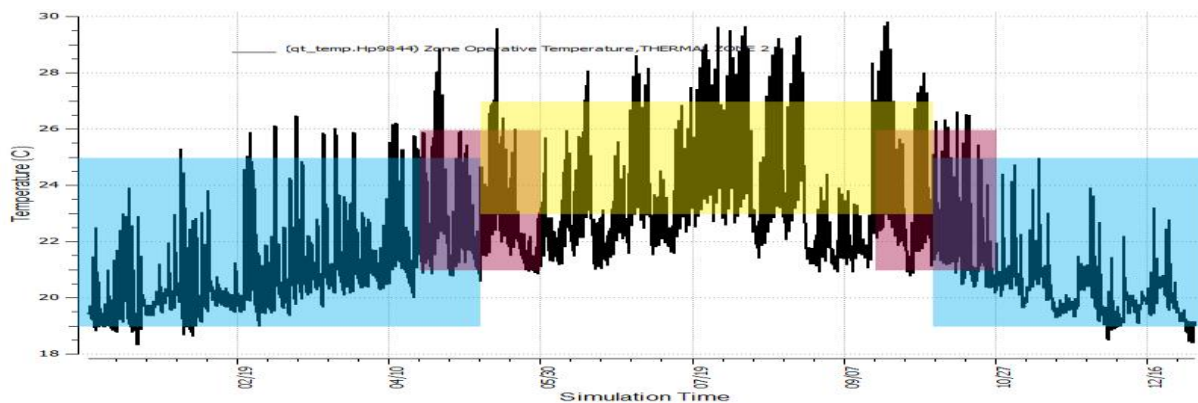
Grafikon 91: Občutene temperature [°C] model BETON v TC1, nočno prezračevanje in senčenje.



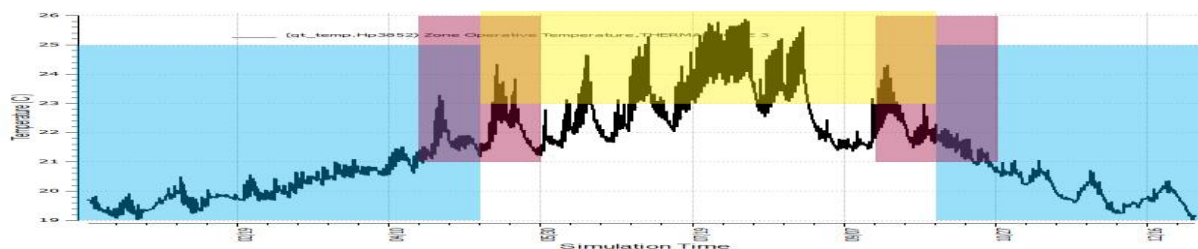
Grafikon 92: Občutene temperature [°C] model CLASIC v TC1, nočno prezračevanje in senčenje.



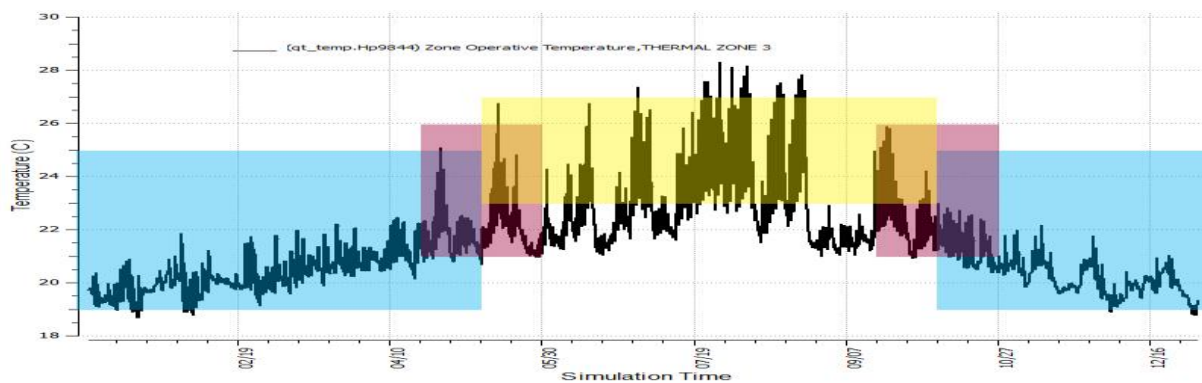
Grafikon 93: Občutene temperature [°C] model BETON v TC2, nočno prezračevanje in senčenje.



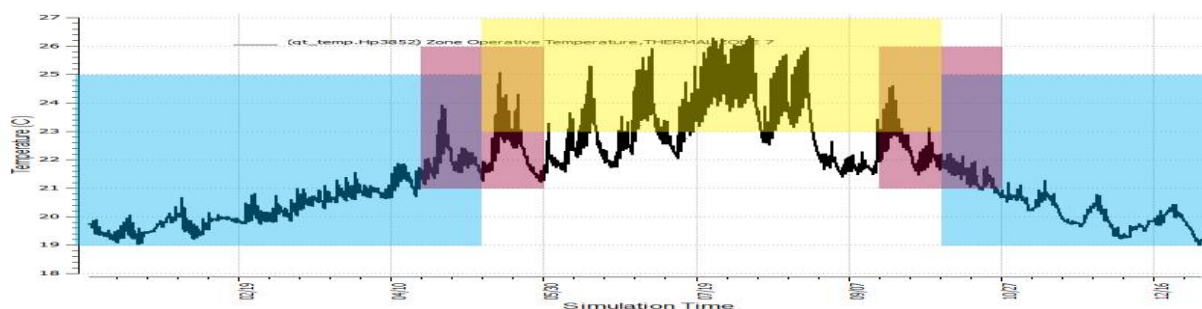
Grafikon 94: Občutene temperature [°C] model CLASIC v TC2, nočno prezračevanje in senčenje.



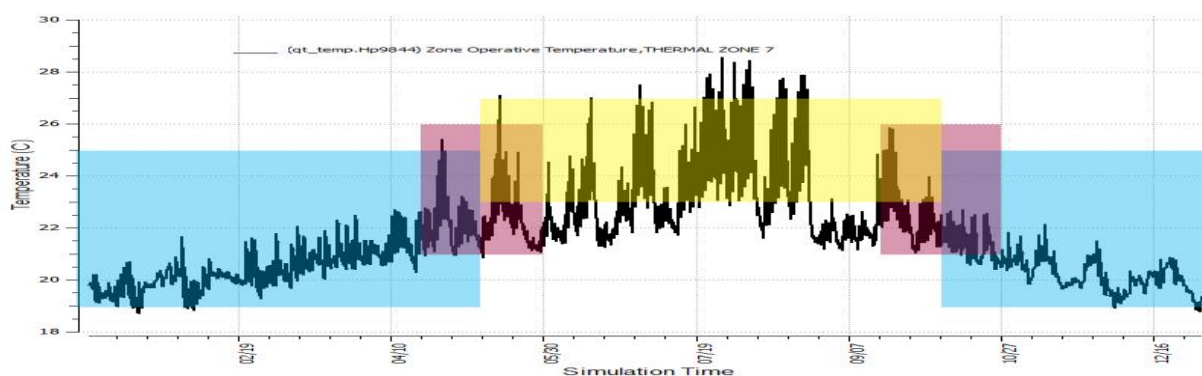
Grafikon 95: Občutene temperature [°C] model BETON v TC3, nočno prezračevanje in senčenje.



Grafikon 96: Občutene temperature [°C] model CLASIC v TC3, nočno prezračevanje in senčenje.



Grafikon 97: Občutene temperature [°C] modela BETON v TC7, nočno prezračevanje in senčenje.

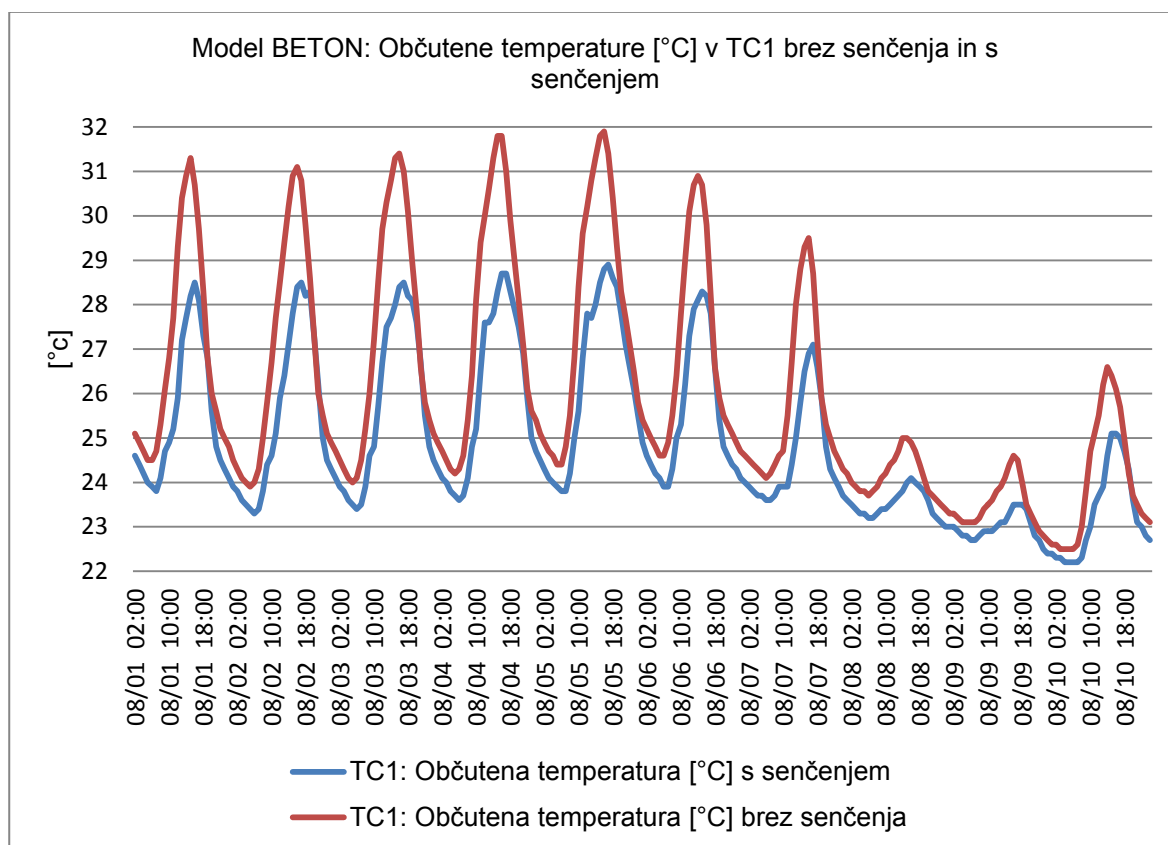


Grafikon 98: Občutene temperature [°C] modela CLASIC v TC7, nočno prezračevanje in senčenje.

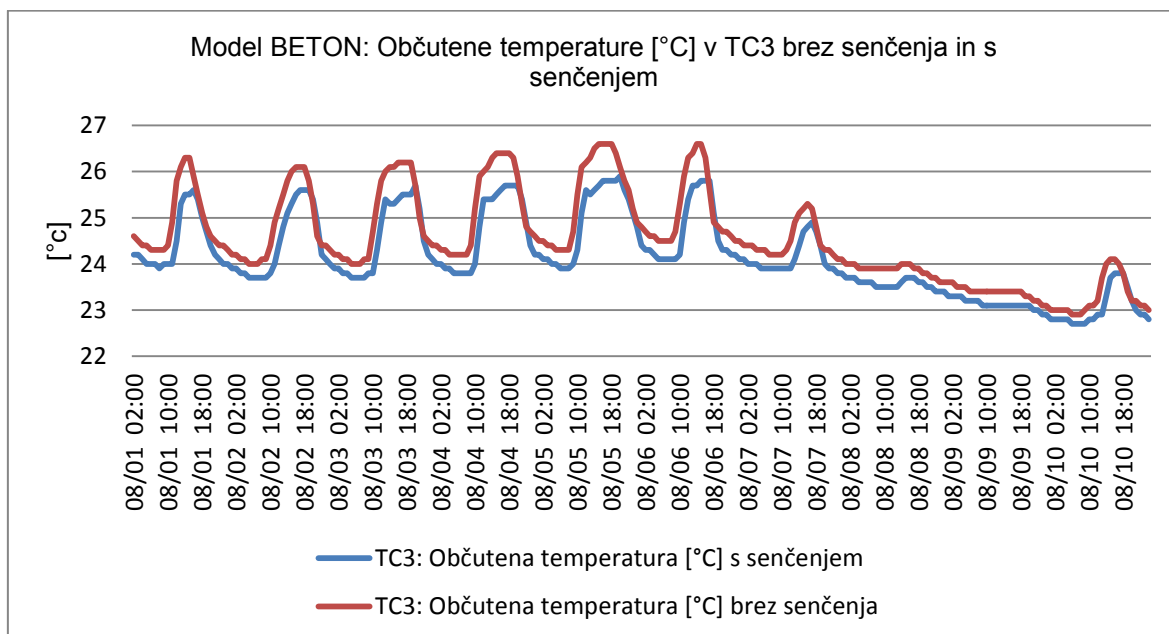
Iz grafikonov 91–98 je razvidno, da se pri modelu BETON občutene temperature zaradi senčenja najbolj znižajo v TC1. V obdobju, ko so zunanje temperature najvišje, se v primerjavi z nesenčenimi stekli temperatura zniža do 3,4 °C. Vseeno pa je v TC1 najvišja občutena temperatura v najtoplejšem obdobju popoldne 28,9 °C, kar je 1,9 °C nad želeno. Nočna in jutranja temperatura je med 23 °C in 24 °C in je ustrezna. V toplotnih conah 2, 3 in 4 najvišje občutene temperature ne presežejo 27 °C, kar ustreza zahtevam po toplotnem udobju. Najnižje pa so v vseh toplotnih conah med 21 °C in 22 °C, kar pomeni, da so jutranje temperature nekoliko prenizke.

Tudi v modelu CLASIC se občutene temperature zaradi senčenja najbolj znižajo v TC1. V obdobju, ko so zunanje temperature najvišje, se v primerjavi z nesenčenimi stekli temperatura zniža do 4,5 °C. Vseeno pa je najvišja občutena temperatura popoldne 31,2 °C, kar je 4,1 °C nad želeno. Nočna in jutranja temperatura je med 23 °C in 25 °C, kar ustreza zahtevam. Razmere v TC2 so podobne kot v TC1, le da je najvišja izračunana temperatura 29,7 °C. Prav tako so temperature previsoke v TC3, kjer je najvišja izračunana temperatura 28,2 °C, in TC7, kjer je najvišja izračunana občutena temperatura 28,4 °C. Nočne in jutranje občutene temperature so podobne kot pri modelu BETON, med 21 °C in 22 °C, kar pomeni, da so tudi pri modelu CLASIC jutranje temperature nekoliko prenizke.

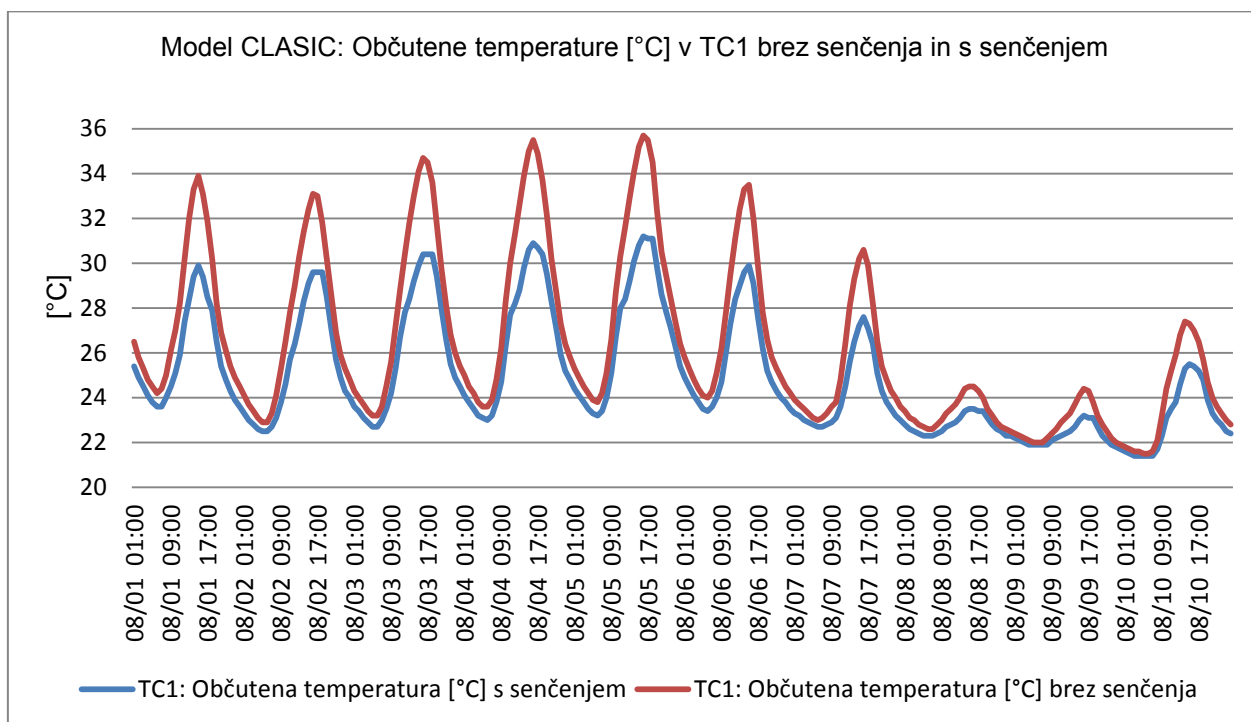
Znižanje občutenih temperatur je zaradi senčenja je občutno. Največje je pri modelu CLASIC v TC1 4,6 °C in najmanjše pri modelu BETON v TC3 1,2 °C. Gibanje temperatur z nočnim prezračevanjem in brez senčenja ter s senčenjem v obdobju od 1. 8. do 10. 8 prikazujemo na grafikonih 99–102.



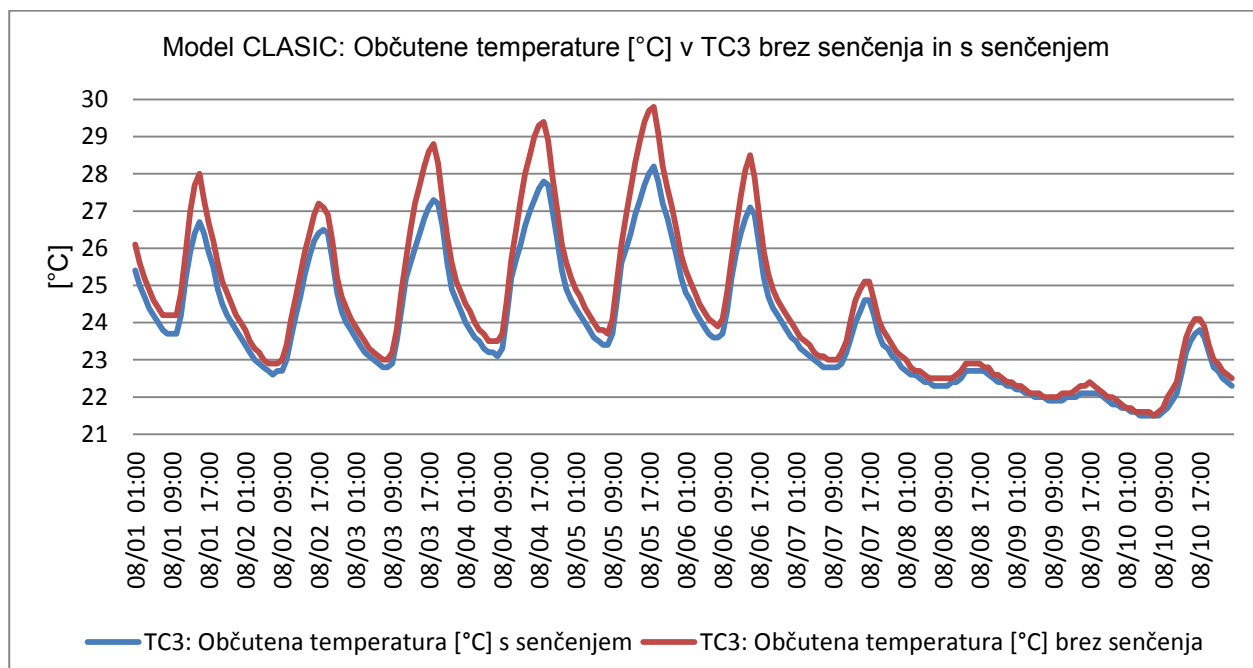
Grafikon 99: Primerjava občutenih temperatur [°C] pri modelu BETON v TC1 z nočnim prezračevanjem ter z nočnim prezračevanjem in senčenjem.



Grafikon 100: Primerjava občutenih temperatur [°C] pri modelu BETON v TC3 z nočnim prezračevanjem ter z nočnim prezračevanjem in senčenjem.



Grafikon 101: Primerjava občutenih temperatur [°C], pri modelu CLASIC v TC1 z nočnim prezračevanjem ter z nočnim prezračevanjem in senčenjem



Grafikon 102: Primerjava občutenih temperatur [°C] pri modelu CLASIC v TC3 z nočnim prezračevanjem ter z nočnim prezračevanjem in senčenjem

Primerjali smo moč toplotnega toka, ki teče skozi nezasenčeno in senčeno zastekljeno površino na dan 5. 8. na lokaciji Ljubljana TC1, model CLASIC. Pred uporabo senčila je toplotni tok 3371W, po uporabi senčila 1842 W. To pomeni, da senčilo zmanjša toplotni tok za 45 %. Rezultati na lokaciji Udine so skoraj identični. TSG4 [7], v točki 5.1 alineja 3 predpisuje, da morajo biti vsa okna, ki so izpostavljena sončnemu obsevanju, zasenčena s takimi senčili, ki zmanjšujejo največje sončno obsevanje za 70 %. V praksi se za zmanjševanje pregrevanja uporablja določilo iz točke 3.2.2 Zastekljene površine in senčila, da je senčenje zastekljenih površin ustrezno, če je faktor prepustnosti celotnega stekla in senčila $g < 0,50$. Izračuni kažejo, da ta pogoj ni zadosten, saj se stavba kljub troslojni zasteklitvi in senčilu še vedno pregreva.

5.9 Raba energije

Potrebno toploto za ogrevanje in hlad za hlajenje smo izračunal na način, ki upošteva da, sta sistema ogrevanja in hlajenja 100 % učinkovita. Tako v izračunu rabe energije niso upoštevane toplotne izgube pri generiranju in transportu do grelnih teles, prav tako tudi niso upoštevani izkoristki toplotnih črpalk (COP), ki so ob običajnih pogojih uporabe med 2 in 4. Tak način izračuna program EnergyPlus omogoča z nastavitvijo (Ideal Air Loads) [39]. Rezultat izračuna je potrebna toplota za ogrevanje $Q(NH)$ in hlajenje $Q(NC)$. Nastavitve v programu so:

- Najnižja notranja temperatura zraka 20 °C
- Najvišja notranja temperatura zraka 26 °C

Vse druge nastavitve so iste kot pri izračunih bivalnega udobja. Izračun rabe toplote smo izdelal za stavbo, ki nima senčenih zastekljenih površin, in za stavbo, ki ima senčene zastekljene površine. Senčila so enaka kot pri pri izračunih bivalnega udobja. Izračun rabe energije pri nočnem prezračevanju tako ni mogoč, ker je prisilno prezračevanje vezano na sistem klimatizacije in so v rezultatih rabe energije tudi izkoristki sistemov hlajena. Vsi podatki o rabi energije so prikazani na 1 m² kondicionirane površine stavbe. Izračun rabe energije smo izdelal za vse štiri modele, za senčene in nesenčene zastekljene površine, na lokacijah Udine in Ljubljana. Modeli nimajo enake toplotne prehodnosti stavbnega ovoja. Razlike med modeli so opisane v poglavju 4.3 Gradbeno-fizikalne lastnosti izhodiščne stavbe (model OPEKA) in 4.7 Variante stavbnih ovojev. Za osnovno smo si izbrali model OPEKA. Nanj so izvedene vse primerjave rabe energije.

Raba energije za ogrevanje na lokaciji Udine

Za energetsko najučinkovitejši model se je izkazal model BIOPASIV ($H^*T = 0,235 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Najmanjša potrebna toplota za ogrevanje $Q(NH)$ stavbe na lokaciji Udine je pri modelu BIOPASIV, ko zastekljene površine niso senčene. Takrat je $Q(NH)$ 37,8 kWh/m²a. Pri modelu BIOPASIV, ki ima zastekljene površine senčene, je $Q(NH)$ na isti lokaciji za 0,3 kWh/m²a večja. Senčila so regulirana z urnikom in so spuščena tudi takrat, ko je temperatura zraka v stavbi nižja od želene in bi sončna energija lahko dodatno segrevala stavbo. Zaradi tega je treba stavbo tudi zunaj kurilne sezone občasno dogrevati. Nekoliko višja je $Q(NH)$ pri modelu CLASIC ($H^*T = 0,261 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) in znaša 49,3 kWh/m²a. Tudi v tem primeru, je pri modelu CLASIC, ko ima zasenčene zastekljene površine, $Q(NH)$ za 0,4 kWh/m²a večja kot pri modelu CLASIC, ko so zastekljene površine niso senčene. Razlog za to je enak kot pri modelu BIOPASIV. Pri modelu OPEKA ($H^*T = 0,321 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) je $Q(NH)$ 57,4 kWh/m²a, pri modelu BETON ($H^*T = 0,344 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) pa 60,8 kWh/m²a. $Q(NH)$ pri modelih OPEKA in BETON je enaka za zasenčene in nezasenčene površine, saj temperatura zraka v toplotnih conah v obdobju, ko je stavba senčena, ni nikoli nižja od nastavitvev. Rezultati izračunov rabe energije za ogrevanje so prikazani v preglednici 50.

Preglednica 50: Potrebna toplota $Q(NH)$ [kWh/m²a] za stavbo na lokaciji Udine

Raba energije za ogrevanje [kWh/m ² a]	OPEKA	BETON	CLASIC	BIOPASIV
Udine, zasteklitve brez senčenja	49,9	52,9	42,7	37,8
Udine, zasteklitve s senčenjem	49,9	52,9	42,7	38,1
Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub H^*T	0,321	0,344	0,261	0,235

Izdelali smo tudi $Q(NH)$ v % vseh računskih modelov z računskim modelom OPEKA. Model opeka ima vrednost 100%. Rezultati izračunov so prikazani v preglednici 51.

Preglednica 51: Primerjava rabe energije $Q(NH)$ v [%] za stavbo na lokaciji Udine

Raba energije za ogrevanje [%]	OPEKA	BETON	CLASIC	BIOPASIV
Udine, zasteklitve brez senčenja	100%	106%	86%	76%
Udine, zasteklitve s senčenjem	100%	106%	86%	76%
Koeficient specifičnih transmisij toplinskih izgub $H \cdot T$	100%	107%	81%	73%

Raba energije za ogrevanje na lokaciji Ljubljana

Tudi na lokaciji Ljubljana smo izračunal najmanjšo $Q(NH)$ pri modelu BIOPASIV, ki z nezasenčenimi zastekljenimi površinami porabi za ogrevanje 57,2 kWh/m²a. Pri modelih CLASIC, OPEKA in BETON je raba energije nekoliko večja. Rezultati so prikazani v preglednici 52. Pri modelih z zasenčenimi steklenimi površinami je $Q(NH)$ do 0,5 kW/m²a večja kot pri modelih, ki imajo zastekljene površine nezasenčene. Tudi v tem primeru je vzrok za večjo rabo energije ta, da so zastekljene površine senčene tudi takrat, ko je temperatura zraka v stavbi nižja od zelene temperature, sončna energija pa zaradi tega manj ogreva stavbo.

Preglednica 52: Potrebna toplota $Q(NH)$ [kWh/m²a] za stavbo na lokaciji Ljubljana

Raba energije za ogrevanje [kWh/m ² a]	OPEKA	BETON	CLASIC	BIOPASIV
Ljubljana, zasteklitve brez senčenja	73,8	78,1	64,4	57,2
Ljubljana, zasteklitve s senčenjem	73,9	78,1	64,7	57,7
Koeficient specifičnih transmisij toplinskih izgub $H \cdot T$	0,321	0,344	0,261	0,235

Izdelali smo tudi primerjavo rabe energije v % vseh računskih modelov z računskim modelom OPEKA. Ta ima vrednost 100 %. Rezultati izračunov so prikazani v preglednici 53.

Preglednica 53: Primerjava rabe energije $Q(NH)$ [%] za stavbo na lokaciji Ljubljana

Raba energije za ogrevanje [%]	OPEKA	BETON	CLASIC	BIOPASIV
Ljubljana, zasteklitve brez senčenja	100%	106%	87%	78%
Ljubljana, zasteklitve s senčenjem	100%	106%	88%	78%
Koeficient specifičnih transmisij toplinskih izgub $H \cdot T$	100%	107%	81%	73%

Ko primerjamo rabo energije za ogrevanje posameznih modelov na lokaciji Udine in Ljubljana, lahko ugotovimo, da je povečanje oziroma zmanjšanje rabe energije v primerjavi z modelom OPEKA skoraj linearno. Model BETON rabi 6 % več energije za ogrevanje kot model OPEKA. Modela CLASIC in BIOPASIV sta varčnejša, saj model CLASIC porabi od 12 % do 14 %, model BIOPASIV pa od 22 % do 24 % manj energije za ogrevanje kot OPEKA. Med modeli smo primerjali tudi stopnje izoliranosti toplotnega ovoja, ki se izraža kot koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub $H'T$. Primerjali smo razmerja med izračunano rabo energije $Q(NH)$ in $H'T$. Za osnovo smo vzeli model OPEKA in mu pripisali vrednost 100 %. Pri modelu BETON se $H'T$ na lokaciji Udine in Ljubljana pokaže kot dober kazalec rabe energije za ogrevanje, saj je pri modelu BETON odstopanje 1 %. Pri modelu BIOPASIV je odstopanje večje. Na lokaciji Udine je odstopanje 3 %, na lokaciji Ljubljana 5 %. Največje je odstopanje pri modelu CLASIC. Na lokaciji Udine je odstopanje 5 %, na lokaciji Ljubljana 7 %. Iz primerjave izračunane rabe energije $Q(NH)$ in $H'T$ je razvidno, da $H'T$ ni zanesljiv kazalec rabe energije za ogrevanje, saj ne zajema ventilacijskih izgub.

Raba energije za hlajenje na lokaciji Udine

Vsi modeli rabijo manj energije za hlajenje kot za ogrevanje. Za energetsko najučinkovitejši se je pokazal model BETON, pri katerem je potreben hlad za hlajenje $Q(NC)$ stavbe 24,3 kWh/m²a. Modelu BETON je zelo podoben model OPEKA, pri katerem je $Q(NC)$ 25,8 kWh/m²a. Več energije za hlajenje potrebujeta modela BIOPASIV s 30,2 kWh/m²a in model CLASIC s 31,4 kWh/m²a. $Q(NC)$ stavbe je v mejah, ki jih predpisuje PURES 2010. Ta v 7. členu, točka 3, predpisuje, da je za stanovanjske stavbe dovoljen letni hlad za hlajenje $Q(NC)$ stavbe, preračunan na enoto ogrevane površine stavbe $A(u) \leq 50$ kWh/m²a. Ko smo zastekljene površine zasenčili, se je pokazalo, da je to zelo učinkovit način za zmanjševanje $Q(NC)$ stavbe. Po senčenju se $Q(NC)$ stavbe pri modelih OPEKA in BETON zmanjša za 10,2 kWh/m²a, pri modelih CLASIC in BIOPASIV pa za 10,7 kWh/m²a. Primerjava $Q(NC)$ stavbe, ki je senčena, s stavbo, ki ni senčena, pokaže, da se zaradi senčenja $Q(NC)$ stavbe zmanjša od 34 % pri modelu CLASIC do 42 % pri modelu BETON. Rezultati izračunov $Q(NC)$ stavbe so prikazani v preglednici 54.

Preglednica 54: Potrebna toplota $Q(NC)$ [kWh/m²a] za hlajenje stavbe na lokaciji Udine

Raba energije za hlajenje [kWh/m ² a]	OPEKA	BETON	CLASIC	BIOPASIV
Udine, zasteklitve brez senčenja	25,8	24,3	31,4	30,2
Udine, zasteklitve s senčenjem	15,6	14,1	20,7	19,5
Udine, zmanjšanje rabe energije zaradi senčenja [%]	40%	42%	34%	35%

Raba energije za hlajenje na lokaciji Ljubljana

Tudi na lokaciji Ljubljana je raba energije za hlajenje manjša kot raba energije za ogrevanje. Tudi na tej lokaciji je najučinkovitejši model BETON, pri katerem je $Q(NC)$ stavbe 13,4 kWh/m²a, največ energije pa je tudi na tej lokaciji potrebno pri modelu CLASIC, in sicer 22,5 kWh/m²a. Senčenje zastekljenih površin je na tej lokaciji še učinkovitejše, saj se pri najučinkovitejšem modelu BETON $Q(NC)$ stavbe zniža na 6,2 kWh/m²a, pri modelu CLASIC, ki je najmanj učinkovit, pa na 13,8 kWh/m²a. Tudi na tej lokaciji je $Q(NC)$ stavbe za model BETON zelo podobna modelu OPEKA in $Q(NC)$ stavbe pri modelu CLASIC zelo podobna modelu BIOPASIV. Primerjava $Q(NC)$ stavbe, ki je senčena, s stavbo, ki ni senčena, pokaže, da se zaradi senčenja $Q(NC)$ stavbe zmanjša od 39 % pri modelu CLASIC do 54 % pri modelu BETON. Rezultati izračunov $Q(NC)$ stavbe so prikazani v preglednici 55.

Preglednica 55: Potrebna toplota $Q(NC)$ [kWh] za hlajenje stavbe na lokaciji Ljubljana

Raba energije za hlajenje [kWh/m ² a]	OPEKA	BETON	CLASIC	BIOPASIV
Ljubljana, zasteklitve brez senčenja	15,4	13,4	22,5	21,3
Ljubljana, zasteklitve s senčenjem	7,9	6,2	13,8	12,6
Ljubljana, zmanjšanje rabe energije zaradi senčenja [%]	49%	54%	39%	41%

Skupna raba energije

Za uporabnika je pomembna skupna raba energije. Prav tako je pomembno, kdaj potrebujemo energijo za ogrevanje in hlajenje. Uporaba istega sistema za ogrevanje in hlajenje je lahko problematična. Če za ogrevanje in hlajenje uporabljamo na primer talno ogrevanje in talno hlajenje, se lahko zgodi, da moramo del dneva stavbo ogrevati, del dneva pa zaradi velikih dobitkov zaradi sončnega sevanja hladiti.

Lokacija Udine, zastekljene površine niso senčene

Izračunana skupna raba energije je najvišja pri modelu BETON in znaša 77,1 kWh/m²a. Zelo podobna, a nekoliko nižja je v modelu OPEKA 75,6 kWh/m²a in modelu CLASIC 73,9 kWh/m²a. Nekoliko bolj odstopa le pri modelu BIOPASIV, kjer je 67,8 kWh/m²a. Razlike med modeli so majhne. OPEKA in BETON sta energetske učinkovitejša pri hlajenju, CLASIC in BIOPASIV pri ogrevanju. Pri modelih OPEKA in BETON se del energije sončnega sevanja shrani v masi stavbe. Ta energija se v obdobju, ko je temperatura zraka v toplotni coni nižja od temperature stavbnega ovoja, izseva v toplotne cone. Modela CLASIC in BIOPASIV nimata dovolj mase, ki bi to energijo shranila, zato je več presežne energije, ki jo je treba s

hladilnimi napravami odvajati. Modela CLASIC in BIOPASIV imata manjšo toplotno prehodnost stavbnega ovoja. Ta se odraža v manjšem koeficientu specifičnih transmisijskih toplotnih izgub $H'T$ (preglednica 52), zato je toplotni tok skozi konstrukcijo manjši kot pri modelih OPEKA in BETON. Glede na osnovni model OPEKA je najučinkovitejši model BIOPASIV le za 10 % učinkovitejši. Pri modelih OPEKA in BETON je treba stavbo hladiti od aprila do oktobra, pri modelih CLASIC in BIOPASIV pa od februarja do oktobra. Obdobje, ko je treba stavbo ogrevati, je od oktobra do aprila, le pri modelih CLASIC in BIOPASIV je nekaj ogrevanja potrebnega tudi oktobra. V preglednici 56 prikazujemo mesečno in skupno rabo energije za ogrevanje in hlajenje.

Preglednica 56: Potrebna toplota [kWh] za ogrevanje in hlajenje stavbe na lokaciji Udine. Zastekljene površine niso senčene.

Raba energije: Lokacija Udine, zasteklitve brez senčenja	OPEKA $H'T=0,321$ [W/(m ² K)]		BETON $H'T=0,344$ [W/(m ² K)]		CLASIC $H'T=0,261$ [W/(m ² K)]		BIOPASIV $H'T=0,235$ [W/(m ² K)]	
	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]
januar	0,0	13,5	0,0	14,3	0,0	11,6	0,0	10,4
februar	0,0	10,5	0,0	11,3	0,1	8,8	0,0	7,9
marec	0,0	4,9	0,0	5,3	0,2	4,0	0,1	3,3
april	0,2	1,9	0,1	2,0	0,9	1,7	0,8	1,4
maj	1,7	0,0	1,1	0,0	3,0	0,0	2,9	0,0
junij	4,4	0,0	3,9	0,0	5,5	0,0	5,3	0,0
julij	8,8	0,0	8,8	0,0	9,1	0,0	8,8	0,0
avgust	7,1	0,0	7,1	0,0	7,5	0,0	7,3	0,0
september	3,3	0,0	3,1	0,0	4,1	0,0	4,0	0,0
oktober	0,3	0,0	0,2	0,0	0,7	0,2	0,7	0,1
november	0,0	5,9	0,0	6,1	0,0	5,2	0,0	4,5
december	0,0	13,1	0,0	13,9	0,0	11,3	0,0	10,2
Skupaj:	25,7	49,9	24,2	52,9	31,2	42,7	30,0	37,8
Skupaj ogrevanje in hlajenje:	75,6		77,1		73,9		67,8	
Primerjava rabe energije v [%]. Osnova je model OPEKA	100%		102%		98%		90%	

Opomba: Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub $H'T$ je v preglednicah od 56 do 59 izračunan s programom KI Energija 2014 [42].

Lokacija Udine, zastekljene površine so senčene

Tudi v tem primeru je izračunana skupna raba energije najvišja pri modelu BETON in znaša 66,9 kWh/m²a. Zelo podobna, a nekoliko nižja, je pri modelu OPEKA, 65,4 kWh/m²a, in modelu CLASIC 63,3 kWh/m²a. Nekoliko bolj odstopa le pri modelu BIOPASIV, kjer je 57,4 kWh/m²a. Razlike med modeli so majhne. Glede na osnovni model OPEKA je najučinkovitejši model BIOPASIV le za 12 % učinkovitejši. Obdobje, ko je treba stavbo ogrevati ali hladiti, je enako kot takrat, ko modeli niso senčeni. V preglednici 57 prikazujemo mesečno in skupno rabo energije za ogrevanje in hlajenje.

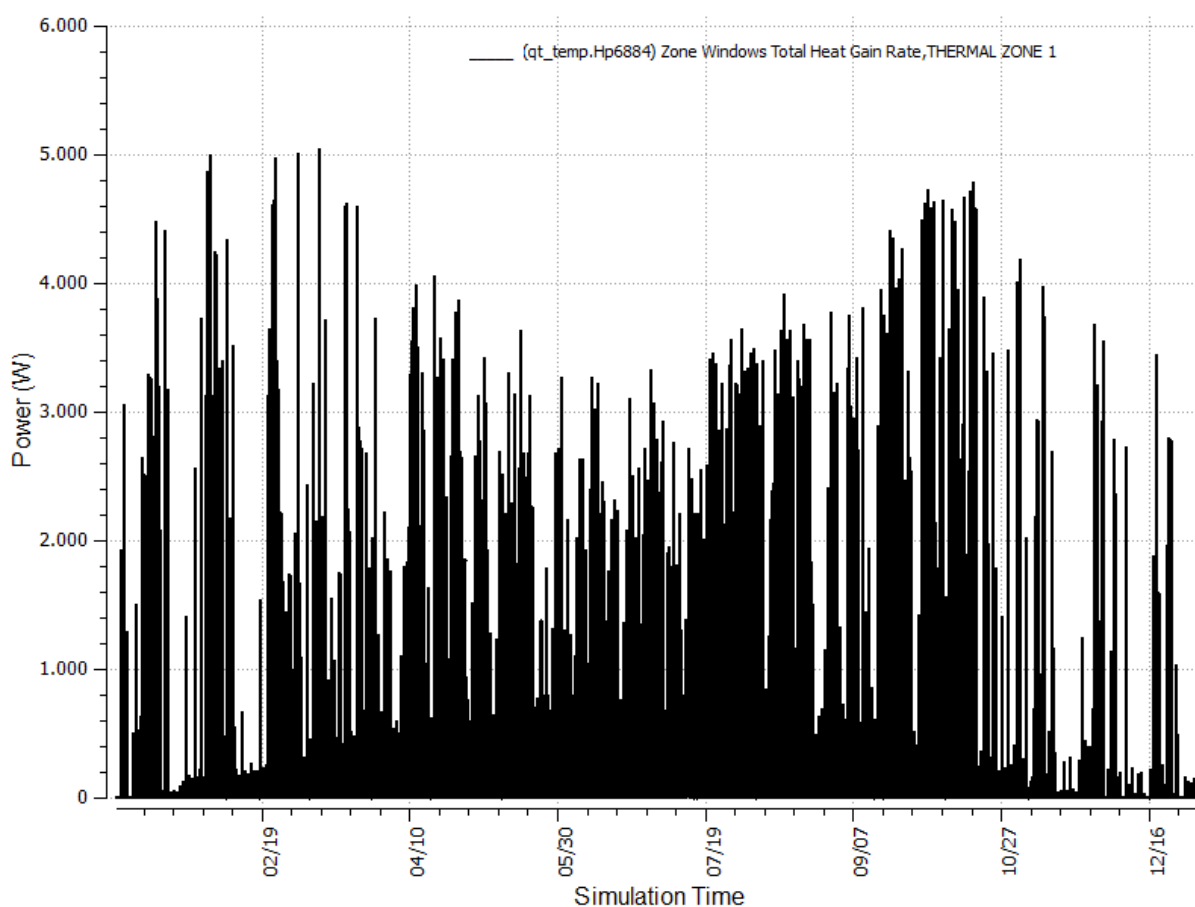
Preglednica 57: Potrebna toplota [kWh] za ogrevanje in hlajenje stavbe na lokaciji Udine. Zastekljene površine so senčene.

Raba energije: Lokacija Udine, zasteklitve s senčenjem	OPEKA $H'T=0,321$ [W/(m ² K)]		BETON $H'T=0,344$ [W/(m ² K)]		CLASIC $H'T=0,261$ [W/(m ² K)]		BIOPASIV $H'T=0,235$ [W/(m ² K)]	
	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]
januar	0,0	13,5	0,0	14,3	0,0	11,6	0,0	10,4
februar	0,0	10,5	0,0	11,3	0,1	8,8	0,0	7,9
marec	0,0	4,9	0,0	5,3	0,2	4,0	0,1	3,3
april	0,2	1,9	0,1	2,0	0,9	1,7	0,8	1,4
maj	0,9	0,0	0,5	0,0	2,0	0,0	1,9	0,0
junij	2,1	0,0	1,6	0,0	3,2	0,0	3,0	0,0
julij	6,0	0,0	6,0	0,0	6,2	0,0	5,9	0,0
avgust	4,1	0,0	4,0	0,0	4,6	0,0	4,4	0,0
september	1,9	0,0	1,6	0,0	2,7	0,0	2,5	0,0
oktober	0,3	0,0	0,2	0,0	0,7	0,2	0,5	0,1
november	0,0	5,9	0,0	6,1	0,0	5,2	0,0	4,6
december	0,0	13,1	0,0	13,9	0,0	11,3	0,0	10,3
Skupaj:	15,5	49,9	14,0	52,9	20,5	42,7	19,3	38,1
Skupaj ogrevanje in hlajenje:	65,4		66,9		63,2		57,4	
Primerjava rabe energije v [%]. Osnova je model OPEKA	100%		102%		97%		88%	

Lokacija Ljubljana, zastekljene površine niso senčene

Tudi na lokaciji Ljubljana je izračunana skupna raba energije najvišja pri modelu BETON in znaša 91,3 kWh/m²a. Zelo podobna, a nekoliko nižja je pri modelu OPEKA, 89,0 kWh/m²a, in modelu CLASIC 86,4 kWh/m²a. Tudi tukaj nekoliko bolj odstopa le pri modelu BIOPASIV, kjer je 78,2 kWh/m²a. Razlike med modeli so majhne. Glede na osnovni model OPEKA je

najučinkovitejši model BIOPASIV le za 12 % učinkovitejši, kar je primerljivo z lokacijo Udine. Obdobje hlajenje je nekoliko daljše in je pri modelu OPEKA od marca do oktobra, pri modelu BETON pa od aprila do oktobra. Pri modelu CLASIC je treba stavbo hladiti že januarja in hlajenje nadaljevati do novembra, pri modelu BIOPASIV pa je treba stavbo hladiti od februarja do novembra. Vzrok za to je sončno sevanje, ki je pozimi ob jasnem nebu lahko zelo močno. Podnebni robni pogoji na lokaciji Ljubljana so taki, da teče v stavbo 14. 1. ob 13:00 skozi zastekljene površine toplotni tok z močjo 12,1 kW, ki povzroča pregrevanje stavbe. V grafikonu 103 prikazujemo toplotni tok, ki teče v TC1 skozi zastekljene površine.



Grafikon 103: Toplotni tok ki teče v TC1 skozi zastekljene površine

Izračuni kažejo, da je treba stavbo z lahkim stavbnim ovojem občasno ohlajati skoraj čez vso ogrevalno obdobje. Obdobje, ko je treba stavbo ogrevati, je od oktobra do maja. Pri modelih CLASIC in BIOPASIV pa je treba stavbo ogrevati tudi septembra, je pa $Q(NH)$ zelo majhna, le $0,2 \text{ kW/m}^2\text{a}$. V preglednici 58 prikazujemo mesečno in skupno rabo energije za ogrevanje in hlajenje.

Preglednica 58: Potrebna toplota [kWh] za ogrevanje in hlajenje stavbe na lokaciji Ljubljana. Zastekljene površine niso senčene

Raba energije: Ljubljana, zasteklitve brez senčenja	OPEKA $H^*T=0,321$ [W/(m ² K)]		BETON $H^*T=0,344$ [W/(m ² K)]		CLASIC $H^*T=0,261$ [W/(m ² K)]		BIOPASIV $H^*T=0,235$ [W/(m ² K)]	
	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]
januar	0,0	17,1	0,0	18,2	0,1	14,6	0,0	13,3
februar	0,0	13,6	0,0	14,5	0,2	11,7	0,1	10,6
marec	0,1	8,9	0,0	9,6	0,4	7,4	0,3	6,5
april	0,2	3,2	0,1	3,4	0,9	2,6	0,8	2,2
maj	0,6	0,1	0,3	0,1	1,6	0,4	1,5	0,2
junij	1,6	0,0	1,0	0,0	3,0	0,0	2,9	0,0
julij	5,6	0,0	5,2	0,0	6,7	0,0	6,5	0,0
avgust	5,6	0,0	5,5	0,0	6,2	0,0	6,0	0,0
september	1,0	0,0	0,7	0,0	1,9	0,2	1,8	0,1
oktober	0,5	2,8	0,4	2,6	1,1	2,9	0,9	2,4
november	0,0	11,1	0,0	11,9	0,1	9,6	0,1	8,6
december	0,0	16,9	0,0	17,8	0,0	14,7	0,0	13,4
Skupaj:	15,2	73,8	13,2	78,1	22,0	64,4	21,0	57,2
Skupaj ogrevanje in hlajenje:	89,0		91,3		86,4		78,2	
Primerjava rabe energije v [%]. Osnova je model OPEKA	100%		103%		97%		88%	

Lokacija Ljubljana, zastekljene površine so senčene

Tudi v tem primeru je izračunana skupna raba energije najvišja pri modelu BETON in znaša 84,1 kWh/m²a. Zelo podobna, a nekoliko nižja, je v modelu OPEKA, 81,5 kWh/m²a, in modelu CLASIC 78,1 kWh/m²a. Nekoliko bolj odstopa le pri modelu BIOPASIV, kjer je 70,0 kWh/m²a. Glede na osnovni model OPEKA je najučinkovitejši model BIOPASIV le za 14 % bolj učinkovit, kar je primerljivo z lokacijo Udine. Obdobje hlajenje in ogrevanja je enako kot pri modelu Ljubljana, ki nima senčenih zastekljenih površin. V preglednici 59 prikazujemo mesečno in skupno rabo energije za ogrevanje in hlajenje.

Preglednica 59: Potrebna toplota [kWh] za ogrevanje in hlajenje stavbe na lokaciji Ljubljana. Zastekljene površine so senčene

Raba energije: Lokacija Ljubljana, zasteklitve s senčenjem	OPEKA $H'T=0,321$ [W/(m ² K)]		BETON $H'T=0,344$ [W/(m ² K)]		CLASIC $H'T=0,261$ [W/(m ² K)]		BIOPASIV $H'T=0,235$ [W/(m ² K)]	
	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]	Hlajenje [kWh/m ²]	Ogrevanje [kWh/m ²]
januar	0,0	17,1	0,0	18,2	0,1	14,6	0,0	13,3
februar	0,0	13,6	0,0	14,5	0,2	11,7	0,1	10,6
marec	0,1	8,9	0,0	9,6	0,4	7,4	0,3	6,5
april	0,2	3,2	0,1	3,4	0,9	2,6	0,8	2,2
maj	0,3	0,2	0,1	0,1	1,0	0,6	0,9	0,4
junij	0,3	0,0	0,1	0,0	1,2	0,0	1,1	0,0
julij	2,7	0,0	2,2	0,0	3,7	0,0	3,6	0,0
avgust	2,8	0,0	2,7	0,0	3,3	0,1	3,2	0,0
september	0,7	0,0	0,5	0,0	1,5	0,3	1,2	0,2
oktober	0,5	2,8	0,3	2,6	1,1	2,9	0,9	2,5
november	0,0	11,1	0,0	11,9	0,1	9,6	0,0	8,7
december	0,0	16,9	0,0	17,8	0,0	14,7	0,0	13,5
Skupaj:	7,6	73,9	6,0	78,1	13,3	64,7	12,3	57,7
Skupaj ogrevanje in hlajenje:	81,5		84,1		78,1		70,0	
Primerjava rabe energije v [%]. Osnova je model OPEKA	100%		103%		96%		86%	

Največja potrebna moč (Peak Demand)

Program EnergyPlus izračuna tudi največjo potrebno moč. Z njo se zagotovijo potrebe stavbe po energiji za hlajenje in ogrevanje [24]. Pri dobavi električne energije se je za to uveljavil izraz konična energija. Potrebne moči so relativno majhne. Za ogrevanje so v odvisnosti od lokacije in modela potrebne moči od 6,2 kW (BIOPASIV na lokaciji Ljubljana) do 10,2 kW (CLASIC na lokaciji Ljubljana), za hlajenje pa od 5,6 kW (BETON na lokaciji Ljubljana) do 10,6 kW (CLASIC na lokaciji Udine). Podrobne rezultate prikazujemo v preglednici 60.

Preglednica 60: Največja potrebna moč (Peak Demand) [kW]

Model	Največja potreba po energiji [kW]	Lokacija			
		Udine	Udine s senčenjem	Ljubljana	Ljubljana s senčenjem
OPEKA	hlajenje	9,3	7,8	8,5	5,8
BETON	hlajenje	9,0	7,7	8,1	5,6
CLASIC	hlajenje	10,6	8,2	10,0	6,7
BIOPASIV	hlajenje	9,9	7,8	9,5	6,4
OPEKA	ogrevanje	7,1	7,1	9,8	9,8
BETON	ogrevanje	7,4	7,4	10,1	10,1
CLASIC	ogrevanje	6,8	6,8	10,2	10,2
BIOPASIV	ogrevanje	6,2	6,2	9,2	9,2

5.10 Komentar rezultatov

Toplotno udobje

Na lokaciji Udine, je treba v zimskem obdobju pri vseh modelih stavbo ogrevati. V zimskem obdobju je brez ogrevanja občutena temperatura samo občasno v mejah udobja. Ob koncu kurilne sezone se stavba pri vseh modelih lahko tako segreje (največ 34,8 °C pri modelu BIOPASIV), da so občutene temperature v stavbi previsoke, zato je treba stavbo že takrat hladiti. Poleti, ko so temperature zunanjega zraka najvišje (35 °C), pa je občutena temperatura v stavbi višja od temperature zunanjega zraka. Najvišja izračunana občutena temperatura (45,3 °C) je pri modelu BIOPASIV. Stavba se ne ohladi na primerno občuteno temperaturo niti v nočnem času. Če jo prezračujemo ponoči, se občutene temperature znižajo, vendar ne dovolj, da bi bila stavba primerna za bivanje oziroma znotraj nastavljenih parametrov udobja. Temperature so nižje v delih stavbe, ki imajo manjši delež zastekljenih površin ali pa imajo stavbni ovoj iz opeke ali betona. Ko zastekljene površine senčimo, so občutene temperature v vseh modelih še vedno previsoke (33,4 °C pri modelu CLASIC), vendar je območje previsokih občutenih temperatur omejeno na najtoplejše dni v letu. Tudi v tem primeru se bolje obnesejo modeli z masivnim ovojem stavbe kot pa tiste z lahkim ovojem. Na lokaciji Ljubljana se poleti stavba, ki ni hlajena, v vseh modelih pregreva. Najvišja izračunana temperatura je 47,4 °C pri modelu BIOPASIV in je višja kot na lokaciji Udine. Nočno prezračevanje je zaradi nižjih nočnih temperatur zunanjega zraka učinkovitejše kot pri lokaciji Udine, vendar so občutene temperature v vseh modelih, razen pri modelu BETON v TC3 in TC7, še vedno previsoke. Iz rezultatov izračunov nočnega prezračevanja je razvidno, da je učinkovitost nočnega prezračevanja zelo odvisna od stavbe, lokacije in lastnosti stavbnega ovoja. Če stavbo senčimo, se pri modelih BETON in OPEKA pregreva samo TC1 (28,9 °C), pri modelih CLASIC in BIOPASIV, ki sta lahki konstrukciji, pa so občutene

temperature kljub senčenju še vedno previsoke (do 31,2 °C). Nihanje občutene temperature je na obeh lokacijah pri modelih CLASIC in BIOPASIV bistveno večje kot pri modelih OPEKA in BETON, saj se občutena temperatura pri modelih CLASIC in BIOPASIV lahko v zelo kratkem času zelo poveča. Relativna vlažnost zraka zelo niha. Poleti je na obeh lokacijah relativna vlažnost zraka v toplotnih conah previsoka. Na lokaciji Udine je višja od 80 %, na lokaciji Ljubljana pa doseže 70 %. Pozimi je relativna vlažnost zraka v toplotnih conah prenizka. Na lokaciji Udine je lahko relativna vlažnost zraka do 10 %, na lokaciji Ljubljana pa celo do 5 %. Te vrednosti niso v skladu s pravilnikom o prezračevanju in klimatizaciji stavb [8], zato je treba zrak v stavbi poleti razvlaževati, pozimi pa navlaževati.

Raba energije

Na lokaciji Udine, sta pri rabi energije za ogrevanje modela OPEKA in BETON manj učinkovita kot CLASIC in BIOPASIV. Pri hlajenju sta energetsko učinkovitejša modela OPEKA in BETON, saj imata CLASIC in BIOPASIV precej večjo rabo energije za hlajenje. Ko seštejemo rabo energije za ogrevanje in hlajenje, so modeli OPEKA, BETON in CLASIC med seboj primerljivi, saj so razlike med njimi le nekaj odstotkov.

Na lokaciji Ljubljana vsi modeli rabijo več energije za ogrevanje in manj za hlajenje kot na lokaciji Udine. Skupna raba energije je pri vseh modelih večja kot na lokaciji Udine. Razmerje v rabi energije je med modeli skoraj enako kot na lokaciji Udine. Čeprav imata modela CLASIC ($H'T=0,261 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) in BIOPASIV ($H'T=0,235 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) precej manjšo toplotno prehodnost netransparentnega dela stavbnega ovoja kot model OPEKA ($H'T=0,321 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) in BETON ($H'T=0,344 \text{ W/(m}^2\text{K)}$), se presenetljivo nobeden od njiju ni izkazal kot bistveno energetsko učinkovitejši. Oba potrebujeta tudi zelo hitro in usklajeno delovanje sistemov ogrevanja in hlajenja, saj se spremembe zunanje temperature in sončnega sevanja zelo hitro odražajo na občutenih temperaturah v stavbi.

Izračun rabe energije v skladu s PURES 2010

S programom KI Energija 2014 [42], ki temelji na standardu SIST EN 13790 in slovenski zakonodaji (PURES 2010 [3] in TSG4 [7]), smo za obravnavane modele izdelali izračun rabe energije. Računski model smo postavili na lokacijo Volčja Draga GKY: 397265; GKX: 85427 in na lokacijo Ljubljana, Jamova 2, GKY: 461289, GKX: 100306. Vhodni podatki o konstrukcijskih sklopih in geometriji stavbe so enaki kot pri programu EnergyPlus. Izvedli so samo eno prilagoditev. Program OpenStudio ne omogoča upoštevanja vpliva tal na konstrukcijski sklop tla na terenu. S programom OpenStudio izračunana toplotna prehodnost tal na terenu z 12 cm debelo toplotno izolacijo iz ekspandiranega polistirena je 0,30 $\text{W/(m}^2\text{K)}$. Ko isti konstrukcijski sklop vnesemo v program KI Energija 2014 in upoštevamo

prevodnost tal 1,5 W/(mK) (glina), program izračuna toplotno prehodnost tal 0,20 W/(m²K). To razliko smo pri vnosu konstrukcijskega sklopa tal v program KI Energija 2014 upoštevali in zmanjšali debelino toplotne izolacije tal na terenu z 12 cm na 6 cm. S to spremembo je toplotna prehodnost konstrukcijskega sklopa tal v obeh programih enaka (0,30 W/(m²K)). Zastekljene površine niso senčene, prezračevanje je konstantno 0,5 h⁻¹, vremenski podatki pa so iz baze podatkov, ki jih program uporablja za izračun elaboratov učinkovite rabe energije v stavbah. Rezultati izračunov in mejne vrednosti za doseganje energetske učinkovitosti, kot jih predpisuje PURES 2010, so prikazani v preglednici 61.

Preglednica 61: Izpolnjevanje pogojev po PURES 2010.

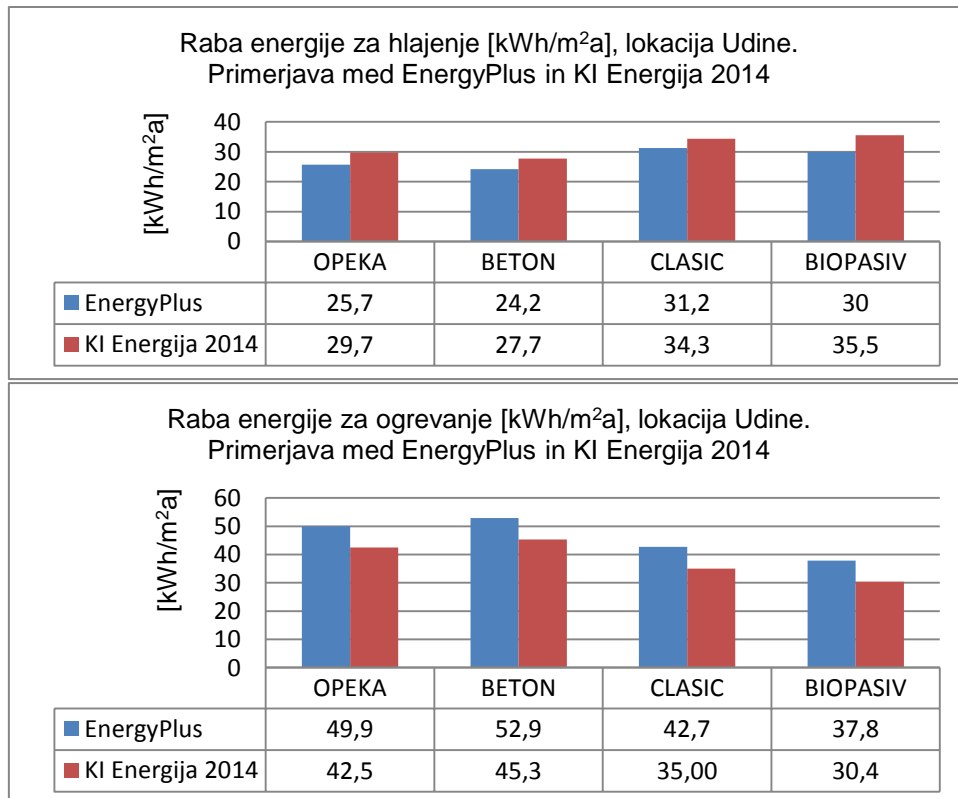
	Lokacija Udine	Največji dovoljeni $H \cdot T_{max}$ [W/(m ² K)]	Letno potrebna toplota za ogrevanje na enoto neto uporabne površine $(Q_{NH}/Au)_{max}$ [W/(m ² K)]	Letni potrebni hlad za hlajenje na enoto neto uporabne površine $(Q_{NH}/Au)_{max}$ [W/(m ² K)]
	Največji dovoljeni	0,400	33,6	50,0
Izračunani	OPEKA	0,321	42,5	29,7
	BETON	0,344	45,3	27,7
	CLASIC	0,261	35,0	34,3
	BIOPASIV	0,235	30,4	35,5
	Lokacija Ljubljana	Največji dovoljeni $H \cdot T_{max}$ [W/(m ² K)]	Letno potrebna toplota za ogrevanje na enoto neto uporabne površine $(Q_{NH}/Au)_{max}$ [W/(m ² K)]	Letni potrebni hlad za hlajenje na enoto neto uporabne površine $(Q_{NH}/Au)_{max}$ [W/(m ² K)]
	Največji dovoljeni	0,390	46,8	50,0
Izračunani	OPEKA	0,321	73,1	15,7
	BETON	0,344	77,9	13,4
	CLASIC	0,261	60,6	20,6
	BIOPASIV	0,235	53,9	21,7

Iz preglednic je razvidno, da vse pogoje po PURES 2010 izpolnjuje le model BIOPASIV na lokaciji Udine. Drugi ne izpolnjujejo pogoja letne potrebne toplote za ogrevanje na enoto neto uporabne površine $(Q_{NH}/Au)_{max}$. To kaže, da je pogoj za $(Q_{NH}/Au)_{max}$ postavljen zelo rigorozno. Preostala dva pogoja, $H \cdot T_{max}$ in letni potrebni hlad za hlajenje $(Q_{NH}/Au)_{max}$, sta pri vseh računskih modelih izpolnjena. Pri letnem hladu za hlajenje je še veliko »prostora« do največje dovoljene vrednosti, zato obstaja možnost, da bodo projektanti zaradi zadovoljevanja zahtev PURES 2010 povečevali zastekljene površine in večali dobitke sončnega sevanja, ki bodo zmanjšali letno potrebno toploto za ogrevanje. To pa povzroča

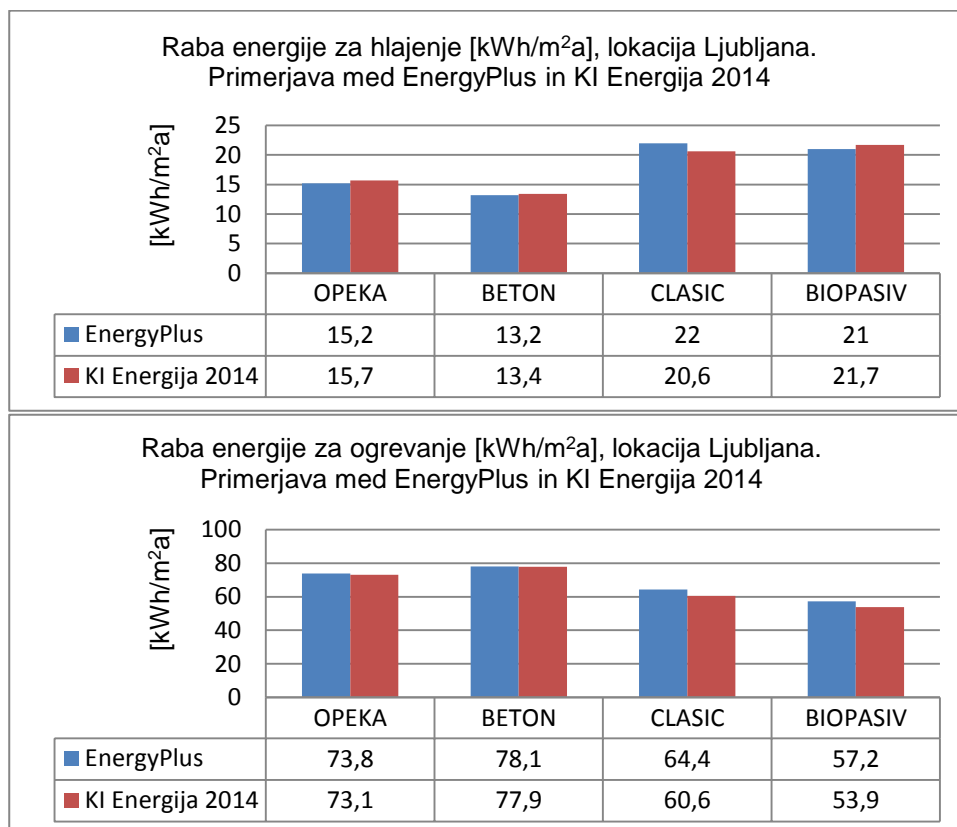
pregrevanje stavb in manjšanje bivalnega udobja. To dejstvo je jasno razvidno iz izračunov, ki smo jih opravili v poglavju 5. Drugi način za izpolnjevanje pogoja letne toplote za ogrevanje na enoto neto uporabne površine (Q_{NH}/A_u) $_{max}$ je tesnenje stavbnega ovoja in vgradnja mehanskega sistema prezračevanja z vračanjem toplote. Izračuni kažejo, da na obravnavani stavbi z uporabo mehanskega sistema prezračevanja z vračanjem toplote, ki ima izkoristek večji od 80 %, pri vseh modelih dosegamo predpisane pogoje letno potrebne toplote za ogrevanje na enoto neto uporabne površine, ki jih predpisuje PURES 2010. To kaže, da je vgradnja mehanskega sistema prezračevanja z rekuperacijo skoraj pogoj in ne izbira, da stavba ustreza PURES-u 2010. Vgradnja sistemov prezračevanja z rekuperacijo pa bi lahko privedla do sindroma bolnih stavb [40].

Primerjava izračunov rabe energije s programom EnergyPlus in KI Energija 2014

Rezultate izračunov, ki smo jih dobili s programom KI Energija 2014, smo primerjali z rezultati izračunov, ki smo jih izdelali s programom EnergyPlus. Ugotovili smo, da na lokaciji Ljubljana programa dajeta primerljive rezultate. Največje odstopanje med izračuni je 6 % pri porabi energije za ogrevanje modela BIOPASIV. To ocenjujemo kot zelo dobro ujemanje. Na lokaciji Udine se rezultati bolj razlikujejo. Odstopanje je največje pri modelu BIOPASIV, do 18 % pri hlajenju in 20 % pri ogrevanju. Rezultati izračunov so prikazani v grafikonu 104 in 105.



Grafikon 104: Raba energije $Q(NC)$ in $Q(NH)$. Primerjava med EnergyPlus in KI Energija 2014 na lokaciji Udine.



Grafikon 105: Raba energije $Q(NC)$ in $Q(NH)$. Primerjava med EnergyPlus in KI Energija 2014 na lokaciji Ljubljana.

6.0 ZAKLJUČEK

Cilj magistrskega dela je ugotoviti, kako različna sestava stavbnih ovojev vpliva na bivalno okolje v stavbi in rabo energije. Kot glavno orodje za izračun smo uporabil programsko orodje EnergyPlus [9], ki temelji na dinamičnih metodah, in dodatka k programu OpenStudio [9] in SketchUp 8 [23]. Med seboj smo primerjal masivne stavbne ovoje, ki so toplotno izolirani tako, da ustrezajo zahtevam PURES 2010, in lahke stavbne ovoje, ki imajo v primerjavi z masivnimi stavbnimi ovoji majhno maso, imajo pa v primerjavi z masivnimi veliko manjšo toplotno prehodnost stavbnega ovoja. V javnosti velja prepričanje, da so stavbe z lahkim konstrukcijskim ovojem in imajo praviloma manjšo toplotno prehodnost stavbnega ovoja energetsko učinkovitejše in za bivanje udobnejše kot stavbe z masivnim ovojem.

Hipoteza, da je masivna gradnja s stavbnim ovojem, ki ustreza zahtevam PURES 2010, energetsko manj učinkovita, je potrjena, vendar so razlike med modeli majhne. Lahke konstrukcije so učinkovitejše pri rabi energije za ogrevanje, masivne pa pri rabi energije za hlajenje. Pri skupni rabi so razlike majhne, saj model CLASIC porabi le do 4 %, model BIOPASIV pa le do 14 % manj energije kot izhodiščni model OPEKA. Pri modelu BETON je skupna raba energije do 3 % večja kot pri modelu OPEKA. Poudariti moramo, da stavbni ovoji niso ekvivalentni, če primerjamo njihovo toplotno prehodnost. Razlike so velike. Najnižji H^*T (0,235 W/(m²K)) je pri modelu BIOPASIV, najvišji H^*T pri modelu BETON (0,344 W/(m²K)). Kot celota, pa noben računski model, razen modela BIOPASIV na lokaciji Udine, ne ustreza zahtevam PURES 2010. To dokazuje, da zgolj nižanje toplotne prehodnosti stavbnega ovoja ne prinese zelenih rezultatov.

Druge hipoteza, da je bivanje v stavbah z lahkim ovojem in majhno toplotno prehodnostjo stavbnega ovoja boljše kot v stavbah z masivnim ovojem in večjo toplotno prehodnostjo stavbnega ovoja, nismo potrdili. Bivanje v stavbah z lahkih ovojem ni udobnejše kot v stavbah z masivnim ovojem. Za stavbe z lahkim ovojem je na obeh obravnavanih lokacijah značilno veliko dnevno nihanje občutene temperature. Stavbi z lahkim ovojem brez sistemov hlajenja in ogrevanja, na obeh obravnavanih lokacijah v večjem delu leta, nista sposobni zagotavljati ustreznega bivalnega udobja. Sprememba občutene temperature glede na spremembe zunanje temperature in sončnega sevanja je tako hitra, da je treba včasih v različnih toplotnih conah v istem dnevu hkrati uporabljati sisteme hlajenja in ogrevanja. Stavbe z masivnim ovojem so temperaturno stabilnejše, zato za zagotavljanje primerne udobja potrebujejo manj posegov sistemov za ogrevanje in hlajenje. Na občutene temperature pri vseh modelih in obeh lokacijah bistveno vpliva delež zastekljenih površin v stavbnem ovoju. Rezultati računskih modelov kažejo, da velik delež zastekljenih površin v stavbnem ovoju povzroča pregrevanje stavbe. Ta pojav je izrazitejši pri stavbah z lahkim

stavbnim ovojem. Razmere lahko izboljšamo z nočnim prezračevanjem in senčenjem zastekljenih površin. Ukrepa imata omejene učinke. Ustrezno bivalno udobje zagotavljata samo na lokaciji Ljubljana v stavbah z masivnim ovojem, ki v fasadnem ovoju nimajo prevelikega deleža zastekljenih površin. V računskih modelih so bila uporabljena preprosta senčila in regulacija z urnikom. Boljša konstrukcijska izvedba senčil in aktivna regulacija na podlagi količine sončne energije ki pade na zastekljeno površino, bi verjetno dala boljše rezultate.

Pravilnik (PURES 2010) [3] predpisuje majhne toplotne prehodnosti stavbnega ovoja. S tem smo zmanjšali transmisijske toplotne izgube in potrebno energijo za ogrevanje. Ker so toplotne izgube majhne, zakonodaja pa ne omejuje dovolj učinkovito toplotnih dobitkov skozi zastekljene površine, se je izrazito povečala potreba po hlajenju stavb. Naši izračuni kažejo, da je moč naprav za ogrevanje postala primerljiva z močjo naprav za hlajenje.

Z letom 2015 PURES 2010 [3] uveljavlja strožje zahteve glede potrebne energije za ogrevanje. Na lokaciji Udine je za obravnavano stavbo potrebna energija za ogrevanje 33,6 kWh/m²a, na lokaciji Ljubljana 46,8 kWh/m²a. Tako nizkih vrednosti pa skoraj ni mogoče doseči brez mehanskega prezračevanja z rekuperacijo toplote in tesnjenja stavbnega pohištva v skladu s smernicami RAL. Takšen način prezračevanja prostorov pa bo privedel do sindroma bolnih stavb [40].

Pregrevanje stavb lahko učinkovito zmanjšamo z ustreznim dimenzioniranjem zastekljenih površin. Veljavni zakonski predpisi tega področja ne regulirajo dovolj dobro. Po veljavnih predpisih je dovolj, če je g zasteklitve in senčila $< 0,50$. Pri tem površina zasteklitve ni pomembna! Zaradi tega se lahko projektirajo stavbe, ki imajo zelo velike zastekljene površine, kot senčenje pa se uporablja zasteklitev z g faktorjem nižjim od 0,5. Veljavna zakonska omejitev potrebne energije za hlajenje, ki znaša 50 kWh/m²a, je preblaga in presplošna, saj velja za stavbo kot celoto. Dovoljena energija za hlajenje (50 kWh/m²a) je celo višja, kot je maksimalna dovoljena toplota toplota za ogrevanje na lokaciji Udine (33,6 kWh/m²a) in Ljubljana (46,8 kWh/m²a). Predpis, ki posredno omejuje pregrevanje stavb, je pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [8], ki predpisuje največje temperaturne asimetrije med temperaturami notranjih površin v stavbi in temperaturo zraka v prostoru. Izračuni, ki smo jih izdelali kažejo, da so v obravnavani stavbi predpisane vrednosti presežene že na dan, ko se konča kurilna sezona. Obravnavana stavba je po teh kriterijih neprimerna za bivanje.

Modela BETON in OPEKA, ki sta stavbi z masivnim stavbnim ovojem, sta se izkazala za bivalno udobnejša kot modela CLASIC in BIOPASIV, ki sta stavbi z lahkim stavbnim ovojem. Vendar je tudi med modeloma BETON in OPEKA velika razlika v toplotni kapaciteti sten,

stavbi pa se obnašata zelo podobno. Shranjevanje presežkov toplote in hladu v masi stavbe, je ena od ključnih lastnosti, ki zagotavlja udobne bivalne razmere. Ker fizikalnega mehanizma shranjevanja toplote in hladu nismo obravnavali, bi bilo koristno ugotoviti, koliko toplote in hladu lahko shranimo z različnimi vrstami materiala v masi stavbe.

Veljavna zakonodaja na prvo mesto postavlja zmanjšanje rabe energije. Z zakonodajo in subvencijami EKO sklada [43] usmerja gradnjo stavb v čim manjšo rabo energije. Največkrat so uporabljeni izrazi nizkoenergijska hiša, pasivna hiša, skoraj nič-energijska hiša. Te naj bi bile do okolja prijazne, izdelane iz obnovljivih virov (beri: lesa), z zelo majhno količino energije za delovanje, ki jo pridobivajo iz bližnje okolice, najbolje s toplotnimi črpalkami, ki za delovanje uporabljajo električno energijo iz obnovljivih virov. Hiša, ki smo jo obravnavali in ni senčena, za hlajenje potrebuje moč najmanj 34 W/m^2 stanovanjske površine. V Sloveniji je po podatkih Geodetskega inštituta Slovenije [44] $78.793.967 \text{ m}^2$ neto stanovanjskih površin. Če hočemo na teh površinah vzdrževati ustrezne bivalne razmere in bodo stavbe zgrajene kot obravnavani objekt ter hlajene s toplotnimi črpalkami, ki imajo COP 3, potrebujemo 893 MW stabilne električne moči. Po podatkih Fakultete za elektrotehniko [45] je moč Nuklearne elektrarne Krško (NEK) 696 MW na pragu. To pomeni, da bomo, če navedene predpostavke držijo, za hlajenje neto stanovanjskih površin potrebovali 1,3 NEK. Če te energije ne bo na voljo bodo stavbe neprimerne za bivanje. Razmisliti bi bilo treba, ali je smiselno tako drastično zmanjševati zgolj potrebno energijo za ogrevanje, ali bi morali več pozornosti nameniti tudi potrebni energiji za hlajenje.

V magistrskem delu smo pokazali, da je projektiranje energetsko učinkovitih stavb, ki hkrati zagotavljajo ustrezne bivalno udobje, zahtevno delo, ki terja široka znanja. V Sloveniji se v projektantski praksi praviloma s prepisanimi elaborati ugotavlja samo ustreznost stavbe z veljavnimi predpisi o učinkoviti rabi energije v stavbah. Zahteve glede bivalnega udobja običajno niso predmet projektiranja. Prav tako ni predpisa, kdo bi določal kdo lahko projektira energetsko učinkovitost in bivalno udobje v stavbah, zato tudi ni ustrezne kontrole predpisanih elaboratov.

VIRI

- [1] Košir, M. 2012-2013. Učinkovita raba energije "stavbni ovoj–netransparetni del". Prosojnice pri predmetu Učinkovita raba energije.KSKE. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- [2] Republika Slovenija, Ministrstvo za gospodarske dejavnosti, Agencija za učinkovito rabo energije. Predpisi o toplotnih izgubah stavb, Učinkovita raba energije 2/02: 4 str.
- [3] PRAVILNIK o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES 2010. Uradni list RS, št. 52/2010.
- [4] Kristl, Ž. 2011. Dnevna svetloba. Skripta pri predmetu Dnevna svetloba. KSKE. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 28 str.
- [5] Košir, M. 2012–2013. Učinkovita raba energije "pravni učinki učinkovite rabe energije". Prosojnice pri predmetu Učinkovita raba energije.KSKE. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- [6] Energetski zakon (EZ–1), Uradni list RS št. 17/2014.
- [7] Tehnična smernica TSG–1–004:2010 UČINKOVITA RABA ENERGIJE: 106 str.
- [8] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Uradni list RS, št.42/2002.
- [9] Programski orodji EnergyPlus in OpenStudio. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Energy Efficiency & Renewable Energy. Bulding Technologies Office. EnergPlus Energy Simulation Software 2015.
<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
Pridobljeno junij 2014.
- [10] Podnebne razmere v Sloveniji (obdobje 1971–2000).Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: 27 str.
- [11] Klimatski podatki Bilje, referenčno obdobje: 1961–1990. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje.
<http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/bilje.html>
Pridobljeno maj 2014.

[12] Podatki za pravilnik o učinkoviti rabi energije. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje.

<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/pravilnik-ucinkoviti-rabi-energije/>

Pridobljeno maj 2014.

[13] Infomind Sàrl, Office fédéral de l'énergie OFEN (ur.) 2003. Catalogue des ponts thermiques. Zurich: 128 str.

[14] Ipavec N. 2010. Projektna dokumentacija za stanovanjsko hiša Rusjan, dwg format.

Pridobljeno junij 2011.

[15] Rakušček A. Šijanec.Zavrl M. 2014, Usposabljanje za neodvisne strokovnjake za izdelavo energetskih izkaznic izkaznic 4.5Izdelava in izdaja energetskih izkaznic: 115 str.

[16] Valenčič M. Opis programske opreme za izdelavo energetskih izkaznic. Seminar ZIEI, december 2014. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo.

[17] Krainer A. Perdan R. TEDI. Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002.

[18] Krainer A. Perdan R. TOST. Program za izračun energetske bilance stavbe po Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah uoštevaljč SIST EN ISO 13790 in TGG-1-004:2010.

[19] Košir. M., 2012. Predavanja pri predmetu Učinkovita raba energije. TSG-1-004, SIST EN ISO 13790, SIST-TP CEN/TR 15615: 39 str.

[20] Jokisalo J. Kurnitski J. 2006. Energy and Buildings, Volume 39, Issue 2. Performance of EN ISO 13790 utilisation factor heat demand calculation method in a cold climate: str. 236-247.

[21] Kottke, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., and Rubel, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 15, No. 3, 259-263 (June 2006): 5 str.

Gorjup, A. 2015. Študija vpliva zasnove stavbnega ovoja na kvaliteto bivalnega okolja in rabo energije. Mag. d. – B. Ljubljana, UL FGG, Odd. za gradbeništvo, Stavbarstvo.

[22] University of Illinois, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 2013. Energy Efficiency & Renewable Energy. Building Technologies Office. EnergyPlus Energy Simulation Software 2014. EnergyPlus Engineering Reference. The Reference to EnergyPlus Calculation: 1399 str.

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_documentation.cfm

Pridobljeno avgust 2014.

[23] Google SketchUp 8.

<http://www.sketchup.com/download/all>

Pridobljeno junij 2014.

[24] University of Illinois, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 2013. Energy Efficiency & Renewable Energy. Building Technologies Office. EnergyPlus Energy Simulation Software 2014. InputOutputReference. TheEncyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output: 2147 str.

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_documentation.cfm

Pridobljeno avgust 2014.

[25] Vremenski podatki za program EnergyPlus.

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm

Pridobljeno junij 2014.

[26] Košir, M., 2012. Predavanja pri predmetu Učinkovita raba energije. KLIMA „bioKLIMATSKE možnosti in priložnosti“: 51 str.

[27] Climate Consultant 5.4.

<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>

Pridobljeno junij 2014.

[28] Inles Ribnica. 2010. Tehnična dokumentacija proizvajalca.

[29] Lawrence Berkeley National Laboratory. 2013. Window6.

<http://windows.lbl.gov/software/window/6/>

Pridobljeno junij 2014.

[30] ERTEL GLAS STEKLO d.o.o., Kolodvorska ulica 12, Ribnica.

[31] Gütegemeinschaft Fenster und Haustüren e.V.

<http://www.window.de/Guetegemeinschaft-Fenster.21.0.html>

Pridobljeno marec 2015.

[32] TKK. Energetsko varčevanje. Sistemi vgradnje oken in zunanjih vrat.

http://www.tkk.si/si/files/default/sistemi/energetsko_varc.pdf

Pridobljeno marec 2015.

[33] Prek M. 2012. FGG Ljubljana. BII Stavbarstvo. Vaje pri predmetu Strojne instalacije

[34] Lumar IG d.o.o.Limbuška cesta 32 A,2000 Maribor.

<http://www.lumar.si/>

Pridobljeno junij 2014.

[35] GUTEX Holzfaserplattenwerk, H. Henselmann GmbH & Co. KG, Gutenberg 5, D-79761 Waldshut-Tiengen.

<http://gutex.de/home/>

Pridobljeno junij 2014.

[36] Holme I. Calculation of Predicted mean Vote (PMV), and Predicted Percentage Dissatisfied (PPD), Ingvar Holme, Thermal Environment Laboratory, Faculty of Engineering, Lund University, Lund, Sweden.

http://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk_miljoe/PMV-PPD.html

Pridobljeno september 2014.

[37] Agencija Republike Slovenije za okolje.

<http://meteo.arso.gov.si/met/si/climate/tables/pravilnik-ucinkoviti-rabi-energije/>

Pridobljeno september 2014.

[38] Izračun PMV indeksa.

http://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk_miljoe/PMV-PPD.html

Pridobljeno september 2014.

[39] Internetni forum OpenStudio.

<http://sourceforge.net/p/openstudio/mailman/openstudio-support/?viewmonth=201307>

Pridobljeno november 2014.

Gorjup, A. 2015. Študija vpliva zasnove stavbnega ovoja na kvaliteto bivalnega okolja in rabo energije. Mag. d. – B. Ljubljana, UL FGG, Odd. za gradbeništvo, Stavbarstvo.

[40] Kukec, A., Dovjak, M. Prevention and control of sick building syndrome (SBS) : part 1–Identification of risk factors. *Sanitarno inženirstvo*, ISSN 1854–0678, dec. 2014, št. 1, letn. 8: str. 16–40, ilustr.

[41] Košir, M. 2012-2013. Učinkovita raba energije "Bioklimatsko načrtovanje & Pasivno Solarna Arhitektura". Prosojnice pri predmetu Učinkovita raba energije.KSKE. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

[42] Knauf insulation d.o.o. Program KI Energija 2014.

<http://www.knaufinsulation.si/program-ki-energija-2014>

Pridobljeno marec 2014.

[43] Eko sklad Slovenski okoljski javni sklad.

<https://www.ekosklad.si>

Pridobljeno april 2015.

[44] Statistike nad vhodnimi podatki Registra nepremičnin, junij 2008, Geodetski inštitut Slovenije: 97 str.

[45] Pantoš M., Rejc M., Brečevič D., Bučar A., Cerkvenc S, november 2007. Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani Laboratorij za elektroenergetske sisteme in visoko napetost. Ocena dolgoročne zanesljivosti oskrbe z energijo v Republiki Sloveniji: 122 str.

Uporabljeni prevajalniki:

Amebis ASPplus. Prosto dostopen na spletni strani.

<http://www.amebis.si/aspplus>

Google translate. Prosto dostopen na spletni strani.

<https://translate.google.si/>

PONS. Prosto dostopen na spletni strani.

<http://sl.pons.com/>