

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



NATAŠA ŠTUPAR

**BIOKLIMATSKO NAČRTOVANJE TRAJNOSTNIH
IN PODNEBNO POGOJENIH SODOBNIH STAVB**

MAGISTRSKO DELO

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM
DRUGE STOPNJE STAVBARSTVO**

Ljubljana, 2017

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova cesta 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/-ka:

NATAŠA ŠTUPAR

**BIOKLIMATSKO NAČRTOVANJE TRAJNOSTNIH IN
PODNEBNO POGOJENIH SODOBNIH STAVB**

**BIOCLIMATIC DESIGN OF SUSTAINABLE AND
CLIMATICALLY ADAPTED CONTEMPORARY BUILDINGS**

Mentor/-ica:

doc. dr. Mitja Košir

Somentor/-ica:

asist. Luka Pajek

Član komisije:

Predsednik komisije:

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

» Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	620.92:628(043.3)
Avtor:	Nataša Štupar, dipl. inž. grad. (UN)
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Somentor:	asist. Luka Pajek
Naslov:	Bioklimatsko načrtovanje trajnostnih in podnebno pogojenih sodobnih stavb
Tip dokumenta:	magistrsko delo
Obseg in oprema:	94 str., 38 pregl., 42 sl., 27 graf.
Ključne besede:	bioklimatsko načrtovanje, pasivno solarna arhitektura, bioklimatski potencial, montažne lesene hiše, akumulacijska toplotna masa, potreba po ogrevanju in ohlajevanju

Izvleček:

V nalogi je predstavljen proces bioklimatskega načrtovanja enodružinskih montažnih lesenih stavb na treh različnih lokacijah z drugačnimi podnebnimi značilnostmi (Ljubljana, Trbiž in Trst). Cilj je bil prikazati kako stavbe z enakimi izhodiščnimi pogoji, zaradi različne lokacije, zahtevajo drugačne načrtovalske ukrepe. Pri določitvi ustreznosti posameznega ukrepa smo se osredotočili na porabo energije (za ogrevanje in/ali ohlajevanje). Kot orodje za načrtovanje smo uporabili ukrepe pasivno solarne arhitekture, ki temeljijo na selektivni kontroli energetskih dobitkov in izgub. Načrtovanje smo prikazali s tremi stopnjami modeliranja, pri tem smo za analize uporabili programsko orodje EnergyPlus. Na prvi stopnji smo analizirali osnovne pasivne ukrepe, kot so oblika stavbe, orientacija in delež zasteklitve. Analize so pokazale medsebojno primerljivost lokacij, saj smo na prvi stopnji energetske izgube želeli kar se da zmanjšati. Analize oblike in razporeditev transparentnih površin, analiza načina in deleža senčenja ter barva fasade, ki pomenijo drugo in tretjo stopnjo modeliranja so pokazale drugačne rezultate. Stavbe na različnih lokacijah namreč zahtevajo drugačne optimalne načrtovalske ukrepe. Opravili smo še analizo o vplivu dodatne termične mase v stavbi. Zanimala sta nas sprememba neto potrebne energije za delovanje stavbe in temperaturni odziv stavbe v prostem teku. V splošnem je imela dodatna termična masa pozitiven vpliv, vendar učinek ni bil povsod enak. Zaradi želje to tematiko približati splošni javnosti, smo na koncu oblikovali informativno brošuro, ki preprosto predstavi primerne načrtovalske ukrepe v povezavi z lokacijo. Z nalogo smo tako poudarili uporabnost bioklimatskega načrtovanja ter pomembnost povezave med načrtovanjem stavbe, lokacijo (podnebjem) in možnimi energetskimi prihranki.

» Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 620.92:628(043.3)

Author: Nataša Štupar B. Sc.

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

Cosupervisor: Assist. Luka Pajek

Title: Bioclimatic design of sustainable and climatically adapted contemporary buildings

Document type: M. Sc. Thesis

Scope and tools: 94 p., 38 tab., 42 fig., 27 graph.

Key words: bioclimatic design, passive solar architecture, bioclimatic potential, prefabricated timber house, thermal mass, heating and cooling energy

Abstract:

The thesis analyzes bioclimatic design approach in case of residential prefabricated lightweight timber houses on three different locations with different climatic characteristics (Ljubljana, Tarvisio and Trieste). Our goal was to show that climate data determines specific design principles. Adequacy of design principles was specified according to net site energy consumption (cooling and heating energy). Design approach was introduced and accomplished with the aid of passive solar architecture, which uses specific design principles for energy control. The design process was divided into three parts (first model, second model and a house prototype). Model analyses were performed with the help of EnergyPlus software. In the first model we analyzed all the basic design parameters such as building shape, orientation of buildings and windows and ratio of transparent surface area. The results showed similarity between the locations and optimal passive design applications in the context of preventing heat loss. However, in further analyses of window, sunshade and facade color we were able to prove the contrary (second and third modeling phase). Different locations require different design principles. Furthermore, we analyzed how integration of thermal mass in lightweight buildings changes energy consumption values and amplitude of temperature response in thermal zone when building is in free run mode. In general thermal mass has a positive influence on energy consumption in all the three locations, but the effect is not equal. For educational purposes we wanted to create a practical and useful product that presents appropriate design parameters in specific locations. To summarize, with thesis we have shown the applicability of bioclimatic design approach and the connection between building design, location (climate) and potential energy cost reduction.

» Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Za vso strokovno pomoč, čas, ustvarjalno kritiko in navdih se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Mitji Koširju. Zahvala za strokovne nasvete, usmeritve in spodbudne besede velja tudi somentorju asist. Luku Pajku.

Velika zahvala gre tudi mojemu največjemu motivatorju Jaki. Hvala, ker mi vedno pomaga najti pravo pot. Hvala staršem, ker so mi omogočili študij.

Hvala vsem sošolkam in sošolcem, zaradi katerih je bil študij prijetnejši in lažji.

» Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	V
ZAHVALA	VII
1 UVOD	1
1.1 Cilji	2
1.2 Hipoteze	2
2 PREGLED LITERATURE	3
2.1 Pasivno solarna arhitektura	5
2.2 Akumulacijska toplotna masa	7
2.2.1 Pozicija dodane termične mase v KS	8
2.3 Zakonske zahteve	8
3 METODE	10
3.1 Struktura in potek naloge	10
3.2 Izbrane lokacije in podnebne značilnosti	12
3.3 Privzete zahteve uporabnika	14
3.4 Bioklimatski potencial lokacije	15
3.5 Struktura in hierarhija modeliranja	15
3.5.1 Oblika stavbe in stavbni ovoj	17
3.5.2 Barve zunanjih in notranjih ometov	19
3.6 Toplotna akumulacijska masa	20
3.7 Simulacijsko orodje	22
4 REZULTATI	23
4.1 Analiza podnebnih značilnosti	23
4.1.1 Ljubljana	23
4.1.2 Trbiž	25
4.1.3 Trst	27
4.1.4 Vrednostna primerjava lokacij	29
4.1.5 Študija bioklimatskega potenciala	31
4.2 Modeliranje	34

4.2.1	Primarni model	34
4.2.1.1	Vhodni podatki	35
4.2.1.2	Rezultati	38
4.2.2	Sekundarni model	46
4.2.2.1	Vhodni podatki	48
4.2.2.2	Rezultati	49
4.2.3	Prototip modela stavbe	65
4.2.3.1	Vhodni podatki	66
4.2.3.2	Rezultati	69
4.3	Termična masa v stavbi	72
4.3.1	Sestava ovoja stavbe	72
4.3.2	Rezultati simulacij z dodatno akumulacijsko maso	74
4.4	Analiza rezultatov	83
4.4.1	Primerjava rezultatov analiz in bioklimatskega potenciala	83
4.4.2	Potrditev koncepta stavbe	84
5	KOMUNIKACIJA S SPLOŠNO JAVNOSTJO	87
5.1	Predstavitev ideje	87
5.1.1	Oblikovanje zemljevida z značilnimi vrstami podnebja klim v Sloveniji	89
6	RAZPRAVA	90
7	ZAKLJUČEK	94
VIRI		95
PRILOGE		A1

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Mejne vrednosti toplotne prevodnosti konstrukcijskega sklopa [33]	9
Preglednica 2: Pregled primernih lokacij za nadaljnje analize in njihove osnovne značilnosti	14
Preglednica 3: Primerjava temperatur in količine sončnega obsevanja pri lokacijah Trst-Portorož ter Trbiž- Rateče [40, 41, 42]	14
Preglednica 4: Vrednosti refleksivnosti različnih materialov [47].....	19
Preglednica 5: Materialne lastnosti konopljineta betona [53] in opečnih ploščic [52].....	21
Preglednica 6: Primerjava klimatoloških značilnosti izbranih lokacij	30
Preglednica 7: Razlaga pojmov bioklimatskega potenciala na lokaciji	31
Preglednica 8: Primerjava vrednosti bioklimatskega potenciala treh lokacij.....	33
Preglednica 9: Faktorji oblike štirih modelov	35
Preglednica 10: Vhodni podatki primarni model	36
Preglednica 11: Rezultati faktorja oblike	38
Preglednica 12: Q_{NH} in spreminjanje WWR	39
Preglednica 13: Orientacija odprt in vrednosti potrebne energije za ogrevanje.....	42
Preglednica 14: Spreminjanje odprt in na južno orientirani steni	44
Preglednica 15: Trend zniževanja U-faktorja – Ljubljana	45
Preglednica 16: Trend zniževanja U-faktorja – Trbiž	45
Preglednica 17: Trend zniževanja U-faktorja – Trst	45
Preglednica 18: Oblikovanje realnih odprt in na sekundarnih modelih	49
Preglednica 19: Potreba po energiji v Ljubljani.....	50
Preglednica 20: Potreba po energiji v Trbižu.....	51
Preglednica 21: Potreba po energiji v Trstu.....	51
Preglednica 22: Spreminjanje toplotne prehodnosti ovoja stavbe pri vseh treh lokacijah	52
Preglednica 23: Nihanje energije v odvisnosti od spreminjanja toplotne prehodnosti ovoja stavbe pri vseh treh lokacijah.....	52
Preglednica 24: Vpliv nočnega prezračevanja na vseh treh lokacijah	53
Preglednica 25: Senčenje in poraba energije.....	59
Preglednica 26: Optične vrednosti »rolo« senčil.....	59
Preglednica 27: Osnovne vrednosti zasteklitve.....	66
Preglednica 28: Osnovne optične karakteristike	68
Preglednica 29: Rezultati načrtovalskih ukrepov pri prototipu stavbe v Trbižu	70
Preglednica 30: Rezultati načrtovalskih ukrepov pri prototipu stavbe v Ljubljani	70
Preglednica 31: Rezultati načrtovalskih ukrepov pri prototipu stavbe v Trstu	71

Preglednica 32: Primerjava U vrednosti brez in z maso	73
Preglednica 33: Vpliv dodatne mase na porabo energije v Trbižu	74
Preglednica 34: Vpliv dodatne mase na porabo energije v Ljubljani	75
Preglednica 35: Vpliv dodatne mase na porabo energije v Trstu	75
Preglednica 36: Kontrola lokacije Trbiž – potrditev koncepta stavbe.....	85
Preglednica 37: Kontrola lokacije Ljubljana – potrditev koncepta stavbe	85
Preglednica 38: Kontrola lokacije Trst – potrditev koncepta stavbe	86

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Prikaz spreminjanja Q_{NH} s spreminjanjem faktorja oblike.....	38
Grafikon 2: Krivulja odvisnosti WWR in potrebe po ogrevanju v Ljubljani.....	40
Grafikon 3: Krivulja odvisnosti WWR in potrebe po ogrevanju v Trbižu.....	40
Grafikon 4: Krivulja odvisnosti WWR in potrebe po ogrevanju v Trstu	41
Grafikon 5: Primerjava spreminjanja WWR in potrebe po ogrevanju, prikazane vse lokacije skupaj .	41
Grafikon 6: Odvisnost med zmanjševanjem Q_{NH} in povečevanjem debeline toplotne izolacije pri vseh treh lokacijah.....	46
Grafikon 7: Potrebna energija za obratovanje modela stavbe brez nočnega ohlajevanja v Ljubljani. .	54
Grafikon 8: Potrebna energija za obratovanje modela stavbe z nočnim ohlajevanjem v Ljubljani. ...	54
Grafikon 9: Potrebna energija za obratovanje modela stavbe brez nočnega ohlajevanja v Trbižu.	55
Grafikon 10: Potrebna energija za obratovanje modela stavbe z nočnim ohlajevanjem v Trbižu	55
Grafikon 11: Potrebna energija za obratovanje modela stavbe brez nočnega ohlajevanja v Trstu.	56
Grafikon 12: Potrebna energija za obratovanje modela stavbe z nočnim ohlajevanjem v Trst	56
Grafikon 13: Grafični prikaz reduciranja potrebne energije za obratovanje pri žaluzijah s 5 ° naklonom lamel v Ljubljani	62
Grafikon 14: Grafični prikaz reduciranja potrebne energije za obratovanje pri žaluzijah s 45 ° naklonom lamel v Ljubljani.	62
Grafikon 15: Grafični prikaz reduciranja potrebne energije za obratovanje pri žaluzijah z 80 ° naklonom lamel v Trbižu.	63
Grafikon 16: Grafični prikaz reduciranja potrebne energije za obratovanje pri rolo senčilih v Trbižu	63
Grafikon 17: Grafični prikaz reduciranja potrebne energije za obratovanje z žaluzijami s 5 ° naklonom lamel v Trstu	64
Grafikon 18: Grafični prikaz reduciranja potrebne energije za obratovanje z rolo senčili v Trstu.	64
Grafikon 19: Potreba po energiji v stavbi vse leto v Ljubljani	76
Grafikon 20: Potreba po energiji v stavbi vse leto v Trstu.....	76
Grafikon 21: Potreba po energiji v stavbi vse leto v Trbižu	77
Grafikon 22: Ljubljana, letno nihanje občutene temperature.....	79
Grafikon 23: Nihanje zunanje temperature na severni steni stavbe v Ljubljani.....	79
Grafikon 24: Trst, letno nihanje občutene temperature.....	81
Grafikon 25: Nihanje zunanje temperature na S steni stavbe v Trstu	81
Grafikon 26: Trbiž, letno nihanje občutene temperature	82
Grafikon 27: Nihanje zunanje temperature na S steni stavbe v Trbižu.....	82

KAZALO SLIK

Slika 1: Grafični prikaz, kako s pomočjo bioklimatskega načrtovanja sestavimo in načrtujemo trajnostno stavbo.....	4
Slika 2: Ukrepi pasivno solarnega ogrevanja, vir slike: [4].....	5
Slika 3: Pasivni ukrepi za preprečevanje pregrevanja stavbe, vir slike [4]	6
Slika 4: Osnovna metodološka struktura opravljenih analiz	11
Slika 5: Vrste podnebja v Sloveniji, vir slike: [2].	12
Slika 6: Na zemljevidu prikazani izbrani kraji, vir slike: [38].....	13
Slika 7: Sosledje načrtovalskih ukrepov, vir slike: [20]	15
Slika 8: Simbolični prikaz razvijanja konceptov modela stavbe	16
Slika 9: Načrtovanje fiksnih senčil, vir slike: [46]	18
Slika 10: Diagram poti sonca in senčna maska za primer lokacije Ljubljana	18
Slika 11: Temperature zunanjega zraka (<i>ang. Air Temperature</i>), črnih površin (<i>ang. Black Surface</i>), aluminijaste barve (<i>ang. Aluminium Paint</i>), aluminijaste folije (<i>ang. Aluminium Foil</i>) in bele površine (<i>ang. White Surface</i>) v odvisnosti od stopnje refleksivnosti, vir slike: [47].....	20
Slika 12: Konopljin beton, vir slike: [50].	21
Slika 13: Minimalna in maksimalna povprečna temperatura zraka v Ljubljani, vir slike: [41].	24
Slika 14: Delež direktnega in difuznega sončnega sevanja v Ljubljani, vir slike: [56].....	24
Slika 15: Verjetnost padavin v dnevu v Ljubljani, vir slike: [41]	25
Slika 16: Minimalna in maksimalna povprečna temperatura zraka v Trbižu, vir slike: [41]	26
Slika 17: Delež direktnega in difuznega sončnega sevanja v Trbižu, vir slike: [56].....	26
Slika 18: Verjetnost padavin v dnevu v Trbižu, vir slike: [41]	27
Slika 19: Minimalna in maksimalna povprečna temperatura zraka v Trstu, vir slike: [41].....	28
Slika 20: Delež direktnega in difuznega sončnega sevanja v Trstu, vir slike: [56]	28
Slika 21: Verjetnost padavin v dnevu v Trstu. vir slike: [41].....	29
Slika 22: Rezultati bioklimatskega potenciala za Ljubljano.....	32
Slika 23: Rezultati bioklimatskega potenciala za Trbiž	32
Slika 24: Rezultati bioklimatskega potenciala za Trst.....	32
Slika 25: Grafični prikaz postopka načrtovanja primarnega modela.....	34
Slika 26: Prikaz modelov uporabljenih za analizo optimalnosti oblike, od leve proti desni: Model 1 in $f_o = 1,05$; Model 2 in $f_o = 0,98$; Model 3 in $f_o = 0,84$; Model 4 in $f_o = 0,82$	35
Slika 27: Uporabljen urnik za razsvetljavo v programu EnergyPlus.....	37
Slika 28: Uporabljen urnik za zasedenost stavbe v programu EnergyPlus.....	37
Slika 29: Postopek modeliranja sekundarnega modela stavbe	47

Slika 30: Tloris pritličja – levo in tloris nadstropja – desno	48
Slika 31: Prikaz dveh variant naklona lamel pri analizi žaluzij v Ljubljani.....	57
Slika 32: Prikaz dveh variant naklona lamel pri analizi žaluzij v Trbižu.....	58
Slika 33: Prikaz oblikovanih fiksnih senčil v programu SketchUp na lokaciji Trst.....	60
Slika 34: Metodologija analiziranja ukrepov na realni stavbi.	65
Slika 35: Dvoslojno okno karakteristike, vir slike: [60]	67
Slika 36: Troslojno okno karakteristike, vir slike: [60].....	67
Slika 37: Videt izhodiščnih modelov za načrtovanje prototipa stavbe na vseh treh lokacijah (od leve proti desni: Trbiž, Ljubljana, Trst.	68
Slika 38: KS tla in stena z dodano toplotno akumulacijsko maso v Ljubljani in Trbižu, vir slike: [51].	72
Slika 39: KS tla in stena z dodano toplotno akumulacijsko maso v Trstu, vir slike: [51].....	73
Slika 40: Prva stran brošure.	88
Slika 41: Druga stran brošure.....	88
Slika 42: Zemljevid vrste podnebja v Sloveniji	89

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: BROŠURA ZA KOMUNIKACIJO S SPLOŠNO JAVNOSTJO

LIST OF TABLES

Table 1: The limit values of thermal conductivity of the structural assembly [33].....	9
Table 2: Overview of suitable locations for further analysis and its basic features	14
Table 3: The comparison of the temperature and the amount of solar radiation at locations Trieste-Portorose and Tarvisio-Rateče	14
Table 4: Different values of material solar reflectance [47].....	19
Table 5: Material properties of hempcrete [53] and brick tiles [52]	21
Table 6: The comparison of climate characteristics of selected locations	30
Table 7: Explanation of bioclimatic potential concept.....	31
Table 8: The comparison of bioclimatic potential of thee locations	33
Table 9: Building shape factors of four models	35
Table 10: The input data of the first model	36
Table 11: The results of the building shape factor	38
Table 12: Change of Q_{NH} in relation to WWR.....	39
Table 13: Orientation of windows and the value of required heating energy	42
Table 14: Changing the shape of openings on south facing wall.....	44
Table 15: Downward trend of U factor - Ljubljana.....	45
Table 16: Downward trend of U factor - Tarvisio.....	45
Table 17: Downward trend of U factor - Trieste.....	45
Table 18: Modeling of realistic openings in the secondary model.....	49
Table 19: The need for energy in Ljubljana	50
Table 20: The need for energy in Tarvisio	51
Table 21: The need for energy in Trieste	51
Table 22: Influence of thermal transmittance of the building envelope in all three locations	52
Table 23: The fluctuation of energy in dependence of building envelope thermal insulation changing in all three locations	52
Table 24: The influence of night ventilation in all three locations.....	53
Table 25: Shading and energy consumption	59
Table 26: Optical values of »rolo« shades	59
Table 27: Basic glazing values.....	66
Table 28: Basic optical characteristics	68
Table 29: The results of the planning measures in case of prototype building in Tarvisio.....	70
Table 30: The results of the planning measures in case of prototype building in Ljubljana.....	70
Table 31: The results of the planning measures in case of prototype building in Trieste	71

Table 32: The comparison of U values with and without thermal mass.....	73
Table 33: The influence of thermal mass on energy consumption in Tarvisio.....	74
Table 34: The influence of thermal mass on energy consumption in Ljubljana.....	75
Table 35: The influence of thermal mass on energy consumption in Trieste.....	75
Table 36: The control location Tarvisio – the approval of building concept	85
Table 37: The control location Ljubljana – the approval of building concept	85
Table 38: The control location Trieste – the approval of building concept.....	86

LIST OF GRAPHS

Graph 1: Representation of variation of the Q_{NH} with changing building shape factor.....	38
Graph 2: Dependence between WWR and needed heating energy in Ljubljana.....	40
Graph 3: Dependence between WWR and needed heating energy in Tarvisio.....	40
Graph 4: Dependence between WWR and needed heating energy in Trieste.....	41
Graph 5: Comparison of WWR and needed heating energy in all three locations.....	41
Graph 6: Dependence between Q_{NH} reduction and increasing thickness of thermal isolation in all three locations	46
Graph 7: Required energy for buildings operation without night ventilation in Ljubljana.....	54
Graph 8: Required energy for buildings operation with night ventilation in Ljubljana	54
Graph 9: Required energy for buildings operation without night ventilation in Tarvisio.....	55
Graph 10: Required energy for buildings operation with night ventilation in Tarvisio	55
Graph 11: Required energy for buildings operation without night ventilation in Trieste	56
Graph 12: Required energy for buildings operation with night ventilation in Trieste	56
Graph 13: Graphical representation of energy reduction in case of blinds with 5 ° blades inclination in Ljubljana	62
Graph 14: Graphical representation of energy reduction in case of blinds with 45 ° blades inclination in Ljubljana	62
Graph 15: Graphical representation of energy reduction in case of blinds with 80 ° blades inclination in Tarvisio	63
Graph 16: Graphical representation of energy reduction in case of »rolo« shades in Tarvisio.....	63
Graph 17: Graphical representation of energy reduction in case of blinds with 5 ° blades inclination in Trieste.....	64
Graph 18: Graphical representation of energy reduction in case of »rolo« shades in Trieste.....	64
Graph 19: Required building energy during the year in Ljubljana	76
Graph 20: Required building energy during the year in Trieste.....	76
Graph 21: Required building energy during the year in Tarvisio	77
Graph 22: Ljubljana annual operative temperature fluctuations	79
Graph 23: External temperature fluctuations on the north building wall in Ljubljana.....	79
Graph 24: Trst annual operative temperature fluctuations	81
Graph 25: External temperature fluctuations on the north building wall in Trieste.....	81
Graph 26: Tarvisio annual operative temperature fluctuations	82
Graph 27 External temperature fluctuations on the north building wall in Tarvisio.....	82

LIST OF FIGURES

Figure 1: Graphical presentation of sustainable building design using bioclimatic design.....	4
Figure 2: Passive solar heating measures, the figure source: [4].....	5
Figure 3: Passive measures for reducing building overheating, the figure source: [4]	6
Figure 4: The basic methodology process of studied analyzes.....	11
Figure 5: Climate in Slovenia, the figure source: [2]	12
Figure 6: Selected locations shown on the map, the figure source: [38].....	13
Figure 7: The sequence of planning measures: the figure source: [20].....	15
Figure 8: A symbolic representation of conceptual building model development	16
Figure 9: Fixed shading design, the figure source: [46]	18
Figure 10: Sun path diagram and shadow mask for example of Ljubljana	18
Figure 11: Temperature of air, black surfaces, aluminum paint, aluminum foil and white surfaces in correlation to material reflection , the figure source: [47].....	20
Figure 12: Hempcrete, the figure source: [50]	21
Figure 13: Minimal and maximal average air temperature in Ljubljana, the figure source: [41].....	24
Figure 14: The share of direct and diffuse solar radiation in Ljubljana, the figure source: [56].....	24
Figure 15: Probability of precipitation during a day in Ljubljana, the figure source: [41].....	25
Figure 16: Minimal and maximal average air temperature in Tarvisio, the figure source: [41].....	26
Figure 17: The share of direct and diffuse solar radiation in Tarvisio, the figure source: [56].....	26
Figure 18: Probability of precipitation during a day in Tarvisio, the figure source: [41].....	27
Figure 19: Minimal and maximal average air temperature in Trieste, the figure source: [41].....	28
Figure 20: The share of direct and diffuse solar radiation in Trieste, the figure source: [56]	28
Figure 21: Probability of precipitation during a day in Trieste, the figure source: [41].....	29
Figure 22: Bioclimatic potential results for Ljubljana.....	32
Figure 23: Bioclimatic potential results for Tarvisio.....	32
Figure 24: Bioclimatic potential results for Trieste	32
Figure 25: Graphical representation of primary model design process.....	34
Figure 26: Presentation of models used in optimal shape analysis, from left to right: Model 1 and $f_o = 1,05$; Model 2 and $f_o = 0,98$; Model 3 and $f_o = 0,84$; Model 4 and $f_o = 0,82$	35
Figure 27: Lighting schedule used in EnergyPlus program.....	37
Figure 28: Activity schedule used in EnergyPlus program	37
Figure 29: Graphical representation of secondary model design process	47
Figure 30: Ground floor plan – left and floor plan - right	48
Figure 31: Representation of two types of blades inclination at blinds analysis in Ljubljana.....	57

Figure 32: Representation of two types of blades inclination at blinds analysis in Tarvisio	58
Figure 33: Representation of designing shading in SketchUp program in Trieste.....	60
Figure 34: Graphical representation of model prototype design process	65
Figure 35: Two-layer window characteristics: the figure source: [60]	67
Figure 36: Three-layer window characteristics: the figure source: [60]	67
Figure 37: Baseline model appearance for prototype design process in all three locations (from left to right: Tarvisio, Ljubljana, Trieste)	68
Figure 38: Structural assembly of wall and floor with added thermal mass in Ljubljana and Tarvisio, the figure source: [51]	72
Figure 39: Structural assembly of wall and floor with added thermal mass in Trieste, the figure source: [51]	73
Figure 40: First page of brochure	88
Figure 41: Second page of brochure	88
Figure 42: The climate map of Slovenia	89

» Ta stran je namenoma prazna.«

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

KS	konstrukcijski sklop
fo	faktor oblike stavbe
PSA	pasivno solarna arhitektura, <i>ang. Passive Solar Architecture</i>
PSH	pasivno solarno ogrevanje, <i>ang. Passive Solar Heating</i>
PURES	Pravilnik o učinkoviti rabi energije [32]
TI	toplotna izolacija
Q_{NC}	potrebna energija za ohlajevanje stavbe
Q_{NH}	potrebna energija za ogrevanje stavbe
Q_T	neto potrebna energija za delovanje stavbe
WWR	delež transparentnih površin na zunanji (fasadni) steni, <i>ang. Window to Wall Ratio</i>

» Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

Tradicionalni načini gradnje so se na različnih delih sveta že od nekdaj razlikovali med seboj. Te razlike so se pojavljale predvsem zaradi različnih naravnih danostih, različnega podnebja in kulture. Ko govorimo o naravnih danostih mislimo predvsem na podnebne značilnosti določene lokacije, ki se lahko že na majhnih geografskih območjih zelo razlikujejo in spreminjajo. Na podnebno raznolikost Slovenije in bližnjega območja opozarjata tudi Pajek in Košir [1], saj na razmeroma majhnem območju prihaja do velikih podnebnih sprememb. Kot navaja Ogrin [2], je podnebje v Sloveniji rezultat različnih dejavnikov. Veliko vlogo pri tem ima položaj Slovenije na obrobju Jadranskega morja oziroma na prehodu med Sredozemljem in evrazijsko celino. Zgodovina nas torej uči, da sta podnebje in gradbeništvo povezana pojma, njuna interakcija pa nam omogoča bolj trajnostno oziroma sonaravno načrtovanje stavb, ki je skladno s trajnostnim oziroma sonaravnim razvojem družbe. Definicijo trajnostnega razvoja lepo opišemo s citatom Gro Harlem Brundtland [3]:

»Trajnostni razvoj zadovoljuje potrebe sedanjega človeškega rodu, ne da bi ogrozili možnosti prihodnjih rodov, da zadovoljijo svoje potrebe.«

Stavba pomeni sistem v interakciji z okoljem, ki je izpostavljen sezonskim in dnevnim spremembam na specifični lokaciji, s specifičnim podnebjem, specifičnimi uporabniki ter v specifičnem času in prostoru. Interakcija s prostorom predstavlja naravni tok energije in pomaga uravnavati notranje okolje [4]. Problem lahko predstavlja pretirana poraba energije in naprav za zagotavljanje primerne notranjega okolja. Zaradi razmeroma dostopne cene energije nismo prisiljeni k širšemu razmišljanju in razmišljanju o pečatu, ki ga puščamo na okolju. Okolje namreč ni neka ločena sfera, ki je neobčutljiva za vsa človeška dejanja. Razvoj družbe mora imeti temelje, ki so v prid naši dobrobiti [3]. Zato želimo s tem magistrskim delom prispevati k trajnostni smeri razvoja.

Načrtovanje, ki hkrati upošteva podnebje, tehnološke rešitve in izhaja iz uporabnika samega, imenujemo bioklimatsko načrtovanje. Z njim poskušamo ob minimalnem deležu porabe energije [5] doseči uporabnikovo ugodje (toplotno, akustično, vizualno, olfaktorično ipd.) v notranjem okolju. Tako načrtovanje imenujemo tudi trajnostno ali sonaravno. Izraz bioklimatsko načrtovanje je na začetku leta 1950 oblikoval Victor Olgyay in ga leta 1963 pojasnil v njegovi knjigi *»Design with climate«* [6]. Združil in razložil je povezavo med človekom, podnebjem, obliko stavbe in arhitekturnimi načeli ter trajnostnim načrtovanjem. Velja za nekakšnega pionirja v trajnostni arhitekturi in bioklimatskem načrtovanju [7]. Njegovo delo nas uči, kako na problem gledati logično in iskati navidezno skrite povezave med podnebjem in načrtovalskimi ukrepi. Ne samo, da moramo načrtovati ob upoštevanju podnebja, ampak moramo načrtovati ob upoštevanju spreminjajočega podnebja ter se soočiti s problemi globalnega gradbeništva [8].

Ugodje v stavbi lahko v veliki meri zagotovimo s pasivnimi ukrepi oziroma s pasivno solarno arhitekturo (PSA), ki nam pomaga, da lahko sama stavba s pomočjo naravnih danosti specifične lokacije vzdržuje primerno notranje okolje. Termin PSA se nanaša na vključevanje pasivnih tehnik ogrevanja in ohlajevanja, ki temeljijo na absorpciji oziroma blokiranju sončne energije (selektivna kontrola) [5]. V nalogi se bomo osredotočili predvsem na zagotavljanje ustreznega toplotnega ugodja s pomočjo različnih pasivnih ukrepov in njihovo ustrezno kombinacijo. Kadar govorimo o toplotnem ugodju uporabnika, mislimo na stanje uma, ko posameznika ne zebe niti mu ni vroče. Strokovno

gledano je prijetno počutje povezano s porabo energije za ohranjanje toplotnega ravnovesja v telesu. Zakaj je ustrezno notranje okolje pomembno, nam pove tudi dejstvo, da v stavbah preživimo več kot 80 % življenja [6]. Za načrtovalca je končni cilj zadovoljivo notranje okolje za uporabnika, manjša poraba energije v stavbi je zgolj posledica dobrega načrtovanja.

Kljub vsemu smo zadnje časa priča nerazumljivemu razvoju dogodkov. Skrb za okolje je pomembna strateška naloga in politična igra. Promovira se trajnostna gradnja, ki pa dejansko ni trajnostna v pravem pomenu besede [9]. Definicija trajnosti zajema ekonomski, okoljski, zdravstveni in sociološki pogled, pri čemer se velikokrat upoštevata samo prva dva [10]. Če govorimo o energiji, je čim manjša poraba energije, ki prihaja iz neobnovljivih virov, le instrument za doseganje glavnega cilja: zdravega bivalnega in delovnega okolja. Torej glavni cilj ni minimalna poraba energije in stroga izolacija od okolja, kot je to pri konceptu pasivne hiše [9]. Želimo stavbo, ki bo dinamično komunicirala z okoljem. Tako stavbo lahko v pravem pomenu besede imenujemo trajnostna in sodobna.

V nalogi bomo po metodah bioklimatskega načrtovanja obravnavali in modelirali lahko leseno montažno stavbo, ki bo postavljena na tri različne lokacije (Ljubljana, Trbiž, Trst). Opozoriti želimo na problem načrtovanja tipskih montažnih hiš in neprimernost naključnih oblik stavbe na različnih lokacijah. Da bomo v nalogi zagotovili rdečo nit, se bomo osredotočali predvsem na kriterij porabe energije za obratovanje stavbe. Pri montažnih stavbah nas bosta dodatno zanimala še ustreznost »lahke« konstrukcijske zasnove na treh lokacijah ter možnosti za izboljšave.

1.1 Cilji

Glavni cilj naloge je s pomočjo bioklimatskega načrtovanja in optimalne kombinacije pasivnih ukrepov zasnovati tri primere optimalnih montažnih stavb na treh različnih lokacijah na podlagi minimalne porabe energije. To bomo dosegli s pomočjo raziskave obstoječih analiz trenutnega stanja na področju bioklimatskega načrtovanja in analiz ustreznosti delovanja lahkih stavb v prvem delu naloge. V drugem delu želimo definirati podnebne značilnosti Ljubljane, Trsta in Trbiža. Na tej stopnji nas bodo zanimali predvsem temperaturno nihanje in količina prejetega sončnega sevanja ter bioklimatski potencial lokacije. V tretjem delu želimo s pomočjo dinamičnih analiz modela stavbe in kriterija porabe energije za obratovanje določiti najbolj optimalne in primerne PSA ukrepe na specifični lokaciji (definirati dva arhetipska modela in prototip stavbe). V četrtem delu bomo z dodatnimi dinamičnimi analizami prototipa stavbe skušali odgovoriti na vprašanje ustreznosti »lahke« konstrukcije na izbrani lokaciji in vpliva dodatne termične mase na porabo energije. Nalogo želimo zaključiti s praktičnim izdelkom namenjenim ozaveščanju splošne (nestrokovne) javnosti o ugotovitvah naloge – torej o načinu načrtovanja, ki upošteva lokacijo (podnebje) in ustrezne osnovne usmeritve primernosti pasivnih ukrepov.

1.2 Hipoteze

1. Vsaka lokacija ima specifične podnebne značilnosti, ki nam pomenijo glavni vhodni podatek za načrtovanje. Zaradi tega lahko pri analizah pričakujemo precej drugačen toplotni odziv stavbe na posamezne pasivne ukrepe: rečeno drugače, vsaka lokacija bo zahtevala specifično konceptualno zasnovo stavbe.

2. Zaradi velike količine sončnega sevanja in visokih poletnih temperatur ima lokacija Trst velik potencial pregrevanja – v stavbi bo poudarek na ukrepih, povezanih z zmanjševanjem le-tega. Medtem ko lahko v Trbižu pričakujemo prevladovanje potrebe po ogrevanju in posledično prevladovanje ukrepov za pasivno solarno ogrevanje (PSH) ter zmanjšanje toplotnih izgub. V Ljubljani lahko pričakujemo, da zahtevani ukrepi ne bodo tako ekstremni in bo potrebno senčenje v toplem obdobju ter zmanjšanje izgube toplote v hladnem obdobju.
3. Dodajanje toplotne akumulacijske mase v stavbo bo pozitivno vplivalo na zmanjšanje porabe energije na vseh lokacijah, saj bo stavbi omogočila boljši toplotni odziv (večje temperaturno dušenje in temperaturni zamik).

2 PREGLED LITERATURE

Trenutno svet vsak dan porablja velike količine energije, stavbe so eden izmed krivcev za to. Še več, v letu 2010 so stavbe porabile kar 40 % celotne potrebne energije v Evropi. Situacijo slabša še hitra rast števila prebivalcev, ki preživijo kar 85–90 % časa v notranjih prostorih. Študija kaže, da bi lahko večino energije, ki jo stavbe porabijo, privarčevali [11]. Ključ je ravno načrtovanje trajnostnih in podnebno pogojenih stavb [6] oziroma bioklimatsko načrtovanje stavb.

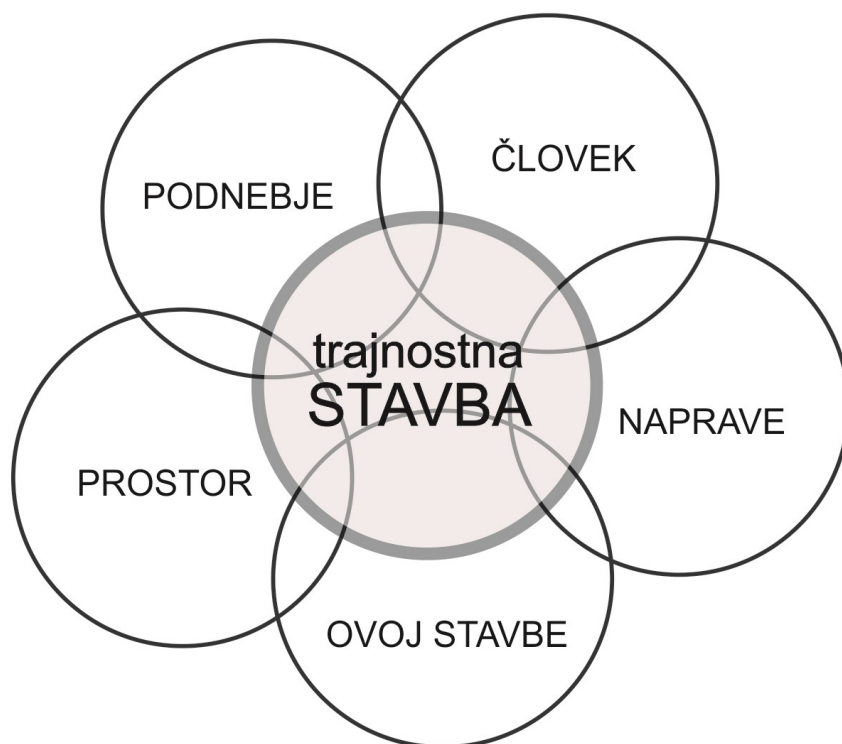
Tradicionalna arhitektura naj bi »odlično« predstavljala koncept stavbe, ki je dobro prilagojen na lokalno podnebje in že nakazuje osnovne bioklimatske načrtovalske strategije na določeni lokaciji [12, 13, 14, 15]. Tradicionalna arhitektura v hladnem in zmernem podnebju, temelji predvsem na zagotavljanju ustreznega notranjega okolja, ko so zunanje temperature zraka nizke. To se odraža v kompaktni obliki stavbe, visoki termični masi, ekvatorialno orientiranih oknih in škatlasti zasnovi oken [1]. Medtem ko v tradicionalni arhitekturi v toplih podnebjih ugotavljamo poudarek na debelih masivnih stenah (visoka termična masa), prečnem prezračevanju, bolj podolgovati obliki stavbe z orientacijo proti jugu in uporabo senčenja [13, 14, 15]. V toplih podnebjih se pojavljajo tudi stavbe z notranjim dvoriščem [12]. Desongus et al. [12] so z analizami ugotovili, da je problem tradicionalne arhitekture v toplejšem podnebju predvsem ta, da ni poudarka na pasivno solarnem ogrevanju stavb (majhna ekvatorialno orientirana okna, netesnost stavbe), zato stavbe v zimskem času ne morejo zagotoviti ustreznega toplotnega okolja. Pajek in Košir poudarjata, da je na koncept tradicionalne arhitekture treba pogledati tudi kritično, kar je v preteklosti delovalo dobro, danes morda ne bo [1]. Zato pri sodobnem bioklimatskem načrtovanju začnemo z analizo značilnosti podnebja in lokacije. Problem, ki se lahko pojavi, je nezadostna količina podatkov o podnebju, ki so pogosto nedostopni oziroma nepopolni [11].

Razviti so bili tudi načini, s katerimi lahko hitro ocenimo bioklimatski potencial lokacije oziroma podnebja. To so t. i. bioklimatske karte, ki sta jih med prvimi razvila in predstavila brata Olgyay [6] ter nekoliko drugače Givoni [16]. Bioklimatske karte v osnovi določijo, ali je na določeni lokaciji s specifičnim podnebjem mogoče doseči toplotno ugodje človeka [1]. Zain-Ahmed et al. [17] v študiji primerjajo štiri različne bioklimatske karte avtorjev Olgyay, Givoni, Szokolay in Mahoney. Vsaka karta ima specifične karakteristike in se boljše izkaže na posameznih območjih (npr. določanje neugodja zaradi hitrosti vetra, določanje odstotka potenciala ukrepa, določanje tipa ukrepa). Pajek in Košir [1] sta opozorila na problem bioklimatskih kart, ki v analizah ne upoštevajo sončnega sevanja, le-to pa pomembno vpliva na določitev ustreznih pasivnih ukrepov. Pasivni ukrepi so orodje za

potencialno zmanjšanje porabe energije. Njihova učinkovitost je neposredno povezana z lokacijo in niha v odvisnosti od letnega časa ter časa v dnevu. Za potrebe podrobnih bioklimatskih študij niso dovolj hitre ocene s pomočjo bioklimatskih kart, zahtevane so dinamične analize toplotnega odziva stavb [11].

Tzikopoulos et al. [18] navajajo, da je za potrebe bioklimatskega načrtovanja najprej treba preučiti naslednje faktorje: topografijo lokacije, gibanje poti sonca, gibanje vetra, sončno sevanje, temperaturo, vlažnost, zahtevano osvetljenost prostorov, maso, volumen in dimenzije stavbe, lokalne predpise ter dostopnost gradbenih materialov. Topografija terena in ovire na lokaciji nam lahko spremenijo določene klimatološke značilnosti lokacije, zato so pri realnem načrtovanju zelo pomembni [11]. V našem primeru bomo ta vpliv zanemarili, saj se bomo osredotočili predvsem na primernost posameznih pasivnih ukrepov za določeno lokacijo. Se pa zavedamo, da bi se ob upoštevanju specifičnih lastnosti lokacije situacija lahko precej spremenila.

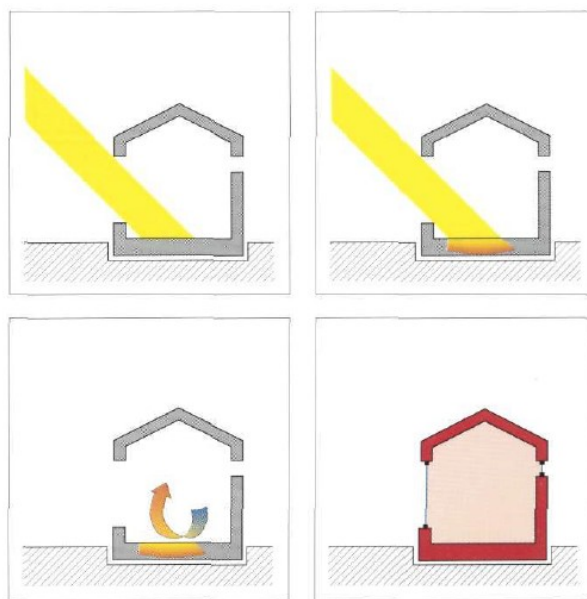
Iz preučenih študij lahko ugotovimo, da bioklimatsko načrtovanje sega že daleč v preteklost in ima veliko skupnega s tradicionalno arhitekturo. Bistvo tradicionalne arhitekture je ustvarjanje prijetnega notranjega okolja ob minimalni porabi energije s pomočjo izkoriščanja in poznavanja podnebja [19]. Podobno želimo doseči s sodobnim bioklimatskim načrtovanjem, ustvariti prijetno bivalno in delovno okolje, ki je del ekosistema (trajnost), zunanje vplive pa uravnavati s pomočjo pasivnih ukrepov in minimalno porabo aktivnih ukrepov (izboljšanje obstoječega stanja) [20]. Trajnostna stavba torej predstavlja unijo množic vhodnih podatkov, ki so predstavljeni na Sliki 1. Vhodni podatki so: človek, podnebje, prostor, ovoj stavbe in razpoložljive naprave.



Slika 1: Grafični prikaz, kako s pomočjo bioklimatskega načrtovanja sestavimo in načrtujemo trajnostno stavbo.
Figure 1: Graphical presentation of sustainable building design using bioclimatic design.

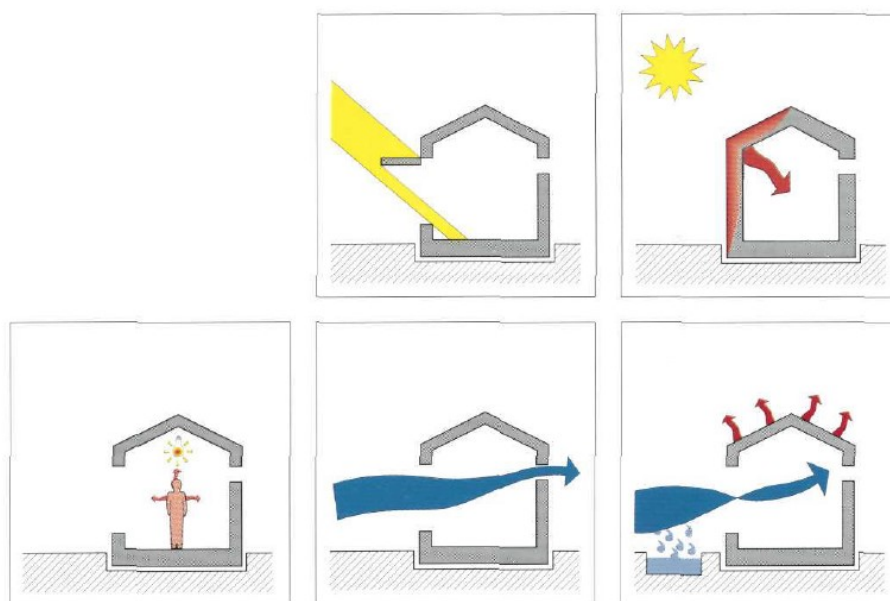
2.1 Pasivno solarna arhitektura

Pasivno solarna arhitektura (PSA) je orodje za bioklimatsko načrtovanje in temelji na uporabi pasivnih ukrepov. Te lahko v grobem razdelimo [4] na ukrepe pasivno solarnega ogrevanja (oziroma ukrepe za zmanjševanje potrebe po ogrevanju), ukrepe za preprečevanje pregrevanja (oziroma ukrepe za zmanjševanje potrebe po ohlajevanju) in ukrepe za zagotavljanje primerne osvetljenosti v stavbi. V nalogi bomo obravnavali samo prva ukrepa, saj se osredotočamo na bioklimatsko načrtovanje z vidika zmanjšanja potrebne energije za delovanje stavbe. Solarna energija je pri ukrepih za pasivno solarno ogrevanje poglavitna in v hladnih obdobjih lahko pozitivno vpliva na zmanjšanje potrebe po ogrevanju v stavbi. Za večino območij v Evropi so ustrezni naslednji ukrepi pasivnega solarnega ogrevanja. Prvi je direktni zajem solarnih dobitkov, ki se pretvorijo v toploto, drugi akumulacija toplote v stavbi, ki se shranjuje podnevi in oddaja ponoči, tretji je distribucija toplote v prostore, kjer jo primanjkuje, in četrti je ohranjanje toplote v stavbi. Vsi štirje ukrepi so konceptualno prikazani na Sliki 2. Zajem solarnih dobitkov omogočimo s transparentnimi in translucenčnimi površinami na stavbi, ki sončne žarke delno odbijejo, delno prepustijo v stavbo. Sončni žarki se absorbirajo v notranje površine, ki prejeto energijo pozneje tudi oddajajo. Količina sončnih dobitkov skozi odprtine variira glede na orientacijo odprtine in inklinacijo padca sončnega žarka. Sončno sevanje, ki pade na netransparentno površino, se ne more prenesti neposredno v prostor, ampak se delno absorbira in delno odbije. Absorbirana sončna energija se spremeni v toploto in s pomočjo kondukcije potuje v stavbo [4]. Kondukcija predstavlja prenos toplote z medmolekularnimi trki v snovi v trdnem agregatnem stanju (neposredni kontakt) in konvekcija predstavlja prenos toplote s premikanjem snovi (od tople k hladni površini) [21]. Pomanjkljivost sončne energije je predvsem ta, da ni konstantna, zato se poslužujemo ukrepov, ki omogočijo shranjevanje in poznejšo uporabo. Ta ukrep imenujemo akumulacija toplote v stavbi in ga omogočimo z izbiro primernih materialov z visoko sposobnostjo za shranjevanje toplote na pravih mestih (tam, kjer posije sonce na površino materiala). Toploto lahko akumuliramo tudi posredno s pomočjo toplotnih hranilnikov [4].



Slika 2: Ukrepi pasivno solarnega ogrevanja, vir slike: [4].
Figure 2: Passive solar heating measures, the figure source: [4].

Prenos toplote kot pasivni ukrep je naravni pojav prenašanja toplote iz ogretega zidu v prostor z nižjo temperaturo zraka. Nižja temperatura je lahko posledica manjše količine solarnih dotokov zaradi manjših površin transparentnega dela. Tak način ogrevanja stavbe se dogaja predvsem ponoči, ko se akumulirana toplota iz mase stavbnega ovoja oddaja v hladnejši prostor. Pogoj za ustrezno delovanje je ovoj z visoko termično maso [22]. Poleg zajema energije je pomemben pasivni ukrep tudi zadržati toploto v stavbi [4]. Najbolj preprosto to naredimo z ustrezno debelino toplotne izolacije. Po drugi strani imamo v vročih delih leta lahko težave s pregrevanjem stavbe, ki ga povzročajo preveliki solarni dobitki, infiltracija zunanjega toplega zraka in notranji dobitki. Da bi pregrevanje preprečili, se lahko poslužujemo senčenja (zmanjšanje solarnih dobitkov skozi transparentni del ovoja stavbe), zmanjšanja zunanjih dobitkov skozi netransparentni ovoj stavbe in infiltracijo zraka, zmanjšanja notranjih dobitkov, prezračevanja s hladnim zunanjim zrakom in naravnim hlajenjem. Vseh pet ukrepov za preprečevanje pregrevanja je konceptualno predstavljeno na Sliki 3. Pri uporabi senčenja je pomembno analizirati, kdaj (del leta) hočemo zmanjšati solarne dobitke. Vrsta in oblika senčila je odvisna od poti sonca in oblike oziroma geometrije odprtine. Seveda celotnega stavbnega ovoja ne moremo senčiti, zato se nam zaradi absorpcije sončne energije na ovoju pojavlja dodaten toplotni tok v notranjost stavbe. To lahko preprečimo z uporabo toplotne izolacije, manjšimi odprtinami [23], masivnejšimi zunanjimi in notranjimi elementi in višjo reflektivnostjo fasadne obloge ter strehe [22, 24]. Velik del dobitkov lahko predstavljajo tudi notranji dobitki, zato moramo nekaj pozornosti nameniti ustrezni izbiri naprav, ki ob delovanju oddajajo minimalno količino toplote. Pogosto se pri pregrevanju stavbe notranji zrak veliko bolj segreje kot zunanji, kar lahko rešimo s prečnim prezračevanjem stavbe [22]. Zadnji korak za doseganje toplotnega ugodja je naravno ohlajevanje, s tem mislimo predvsem na evaporacijsko ohlajevanje (sprememba agregatnega stanja vode), ohlajevanje s podzemnim zrakom in nočno prezračevanje [4]. Garg [25] navaja, da lahko 2/3 notranjega neugodja preprečimo z uvedbo preprostih pasivnih ukrepov. Poleg tega pa Agugliaro et al. [5] poudarjajo pomembnost pravilne uskladitve med posameznimi ukrepi in njihovo sinhrono delovanje.



Slika 3: Pasivni ukrepi za preprečevanje pregrevanja stavbe, vir slike [4].
Figure 3: Passive measures for reducing building overheating, the figure source: [4].

2.2 Akumulacijska toplotna masa

Pri kombinaciji stavbe z nizko akumulacijsko toplotno maso in nizkim U-faktorjem lahko prihaja do večjega pojava pregrevanja stavbe kljub temu, da se stavba nahaja v podnebju, kjer pri klasično grajenih stavbah tega ne pričakujemo [26]. S tem mislimo na stavbe, zgrajene iz masivnejših zidakov, kamna ali armiranega betona. Adekunle in Nikolopoulou [26] trdita, da lahko na splošno v »lahkih« stavbah pričakujemo višje notranje temperature kot pri klasično grajenih. To pa pomeni, da zaradi večjih možnosti za pregrevanje v poletnem času, posledično »lahke« stavbe porabijo več energije za vzdrževanje enakega toplotnega okolja. Zaskrbljenost zaradi pregrevanja »lahkih« stavb in porabe energije izražajo tudi Hudobivnik et al. [22] in ustreznost delovanja stavbe močno povezujejo s termično maso v ovoju stavbe. Pomen akumulacije toplote v stavbi poudarjajo tudi Al-Sanea et al. [24], predvsem zaradi pozitivnih lastnosti, kot so temperaturne zakasnitve in zmanjšanje temperaturnih ekstremov, ki jih akumulacija toplote v stavbi omogoča. Zaradi pomembnega vpliva deleža akumulacijske toplotne mase v stavbi je ključno, da se pri analizah »lahkih« in »masivnejših« stavb poslužujemo dinamičnih analiz, ki so ključne za pravilno razumevanje toplotnega odziva [22]. Tak pristop nam oriše veliko bolj realno sliko in nam omogoča bolj poglobljeno analizo o posameznih pasivnih ukrepih. Veliko študij poudarja pomen kombinacije pasivnih ukrepov in termične mase v ovoju stavbe [22, 27, 28]. Zhou et. al [27] navajajo primer nočnega prezračevanja, saj dodana termična masa omogoči večji temperaturni zamik, kar omogoča počasnejše segrevanje stavbe podnevi. Medtem ko Aste et al. [28] trdijo, da se lahko z ustrezno količino termične mase v ovoju stavbe potreba po ogrevanju zmanjša do 10 %, potreba po ohlajevanju pa kar 20 %. Torej nam v primeru »lahke« stavbe dodatna termična masa lahko služi kot dodaten pasivni ukrep. Pričakujemo, da bo ta vpliv večji v toplejših podnebjih, in sicer na zmanjšanje pregrevanja v stavbi [22, 24, 28].

Pri dodajanju termične mase v ovoj stavbe, študije [22, 26] poudarjajo pomembnost lokacije le-te in zaporednost slojev v konstrukcijskem ovoju. Nekoliko več smo govorili o dodajanju termične mase v ovoj stavbe, vendar obstajajo tudi drugi načini kako »lahki« stavbi dodamo termično maso. Navarro et al. [29] opozarjajo na težave, ki se lahko pri tem pojavijo. Predvsem z vidika gradbene fizike (npr. toplotni mostovi), zrakotesnosti in problemov z vlago v prostoru. Osnovni načini dodajanja termične mase so predstavljeni na Sliki 4. Prvi in najbolj razširjen način je dodajanje termične mase na ravni ovoja stavbe, ta omogoča pasivni zajem toplote z uporabo primernih »masivnih« materialov (t. j. visoka specifična toplota in gostota) v stenah, tleh ali stropih. Podobno učinkujejo tudi spuščeni panelni stropi, s to razliko, da shranjujejo toploto s pomočjo latentne toplote (spreminjanje agregatnega stanja materiala). Paneli so lahko napolnjeni z vodo ali narejeni iz fazno spremenljivih materialov (PCM materiali). Manj znani so dodatni prezračevalni kanali, ki shranjujejo toploto s pomočjo ujetega zraka (podnevi), ponoči pa ujeto toploto odvajamo in zamenjamo s hladim zrakom iz zunanosti (nočno prezračevanje). Santamouris et al. [30] trdijo, da se z večanjem potrebe po ohlajevanju v stavbi veča tudi učinek oziroma potencial nočnega prezračevanja. Torej je njihov poglavitni namen zmanjševanje pregrevanja in se uporablja bolj v toplih podnebjih. Kot zadnji ukrep navajajo ne tako pogosto uporabljen vodni zbiralnik, ki ga namestimo v jedro stavbe. Zbiralnik predstavlja veliko skoncentrirano dodatno termično maso. Problemi takšnega zbiralnika so predvsem v prostoru, ki ga zasede, dodatno temeljenje in težave pri namestitvi [29]. Pri dodajanju termične mase v nalogi smo stremeli k ohranjanju preproste izvedbe in možnosti prefabriciranja zato smo se odločili, da bomo termično maso dodali le na ravni ovoja stavbe.

2.2.1 Pozicija dodane termične mase v KS

Vprašanje, ki se nam pojavi pri dodajanju mase na ravni ovoja stavbe, je pozicija le-te, kakšna je razlika, če maso dodamo v zunanost, notranost ali na obe strani hkrati. Ascione et al. [31] so izvedli ustrezno analizo dodajanja PCM-jev v ovoj stavbe pri subtropskem podnebjem (vroča poletja, mile zime). PCM materiali omogočajo shranjevanje latentne toplote s spreminjanjem agregatnega stanja in imajo funkcijo dodatne termične mase v stavbi. Zanimale so nas predvsem ugotovitve o vplivu lokacije PCM v konstrukcijskem sklopu. PCM material je bil postavljen na zunanjo in notranjo stran ter obe strani hkrati. Za analiziranje različnih zasnov ovojev stavbe so Ascione et al [31] upoštevali in uporabili dinamične metode. Za primer Madrida (Španija) so analize pokazale, da ima lokacija PCM materialov največji pozitiven vpliv, ko je locirana na notranji strani ovoja, saj se potreba po ohlajevanju zmanjša za 3 %. Medtem ko termična masa (PCM) na zunanji strani prispeva le okoli 1 % k zmanjšanju potrebe po ohlajevanju [31]. Na podlagi rezultatov lahko trdimo, da je pozicija dodatne termične mase najbolj smiselna na notranji strani ovoja stavbe.

Podobno so ugotovili tudi Hudobivnik et al. [22], analizirali so dva primera pozicije toplotne izolacije in sicer na notranji in na zunanji strani nosilne konstrukcije (predstavlja termično maso). Veliko boljše varianta se je izkazala pri toplotni izolaciji na zunanji strani nosilne konstrukcije, tako z vidika porabe energije kot nižjih notranjih temperatur. Analizo primerne pozicije termične mase so izvedli tudi Al-Sanea et al. [24] v primeru betonskega zidu, ki prav tako predstavlja termično maso v ovoju stavbe. Toplotno izolacijo so najprej postavili na zunanjo stran in potem na notranjo stran zidu. Pri zidu s toplotno izolacijo na zunanji strani opazimo veliko boljše zmanjšanje temperaturnega nihanja zaradi zunanjih vplivov. Kar zopet potrjuje, da je treba dodatno termično maso v ovoju dodati na skrajno notranjo stran. Te ugotovitve bomo upoštevali pri poznejših analizah vpliva dodatne termične mase na stavbo.

2.3 Zakonske zahteve

Pri načrtovanju stavb nam določeno izhodišče oziroma minimalne kriterije, ki jih moramo izpolniti predstavljajo tudi zakonske zahteve. Seveda ni cilj načrtovanja samo izpolniti minimalno določene zakonske zahteve, ampak stavbo oblikovati glede na naročnikove želje in za prihodnost. V nalogi se veliko ukvarjamo z načrtovanjem in zniževanjem porabe energije, zato se opiramo na pravilnik, ki nam poda zahteve o energetski učinkovitosti in sicer Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES) [32], medtem ko nam okvirne vrednosti in metode izračunov na podlagi PURES posreduje Tehnična smernica za graditev TSG-1-004 (TSG) [33].

To pomeni, da moramo pri načrtovanju ovoja stavbe minimalno zadostiti navedenim vrednostim toplotne prehodnosti v Preglednici 1, ki jih podaja TSG. Vendar jo na željo naročnika in potrebe načrtovanja lahko poljubno znižujemo.

Preglednica 1: Mejne vrednosti toplotne prevodnosti konstrukcijskega sklopa [33].

Table 1: The limit values of thermal conductivity of the structural assembly [33].

	Gradbeni elementi, ki omejujejo ogrevane prostore	U _{max} [W/m ² K]
1	Zunanje stene	0,28
2	Tla na terenu	0,35
3	Strop proti neogrevanemu prostoru v sestavi ravnih ali poševnih streh (ravne ali poševne strehe)	0.20

Poleg toplotne prehodnosti netransparentnega dela ovoja TSG [33] podaja tudi minimalne toplotne prehodnosti vrednosti odprtín, in sicer: »V ogrevanih prostorih stavbe se ne sme uporabljati zasteklitve s toplotno prevodnostjo U_{st} največ 1,1 W/m²K. Toplotna prevodnost oken (steklo in okvir) v odvisnosti od materiala okvirjev ne sme biti večja od 1,3 W/m²K pri oknih z lesenim in plastičnim okvirjem in kovinskih okvirjih 1,6 W/m²K. Toplotna prevodnost zunanjih vrat ne sme biti večja od 1,6 W/m²K ([33], str. 17).«

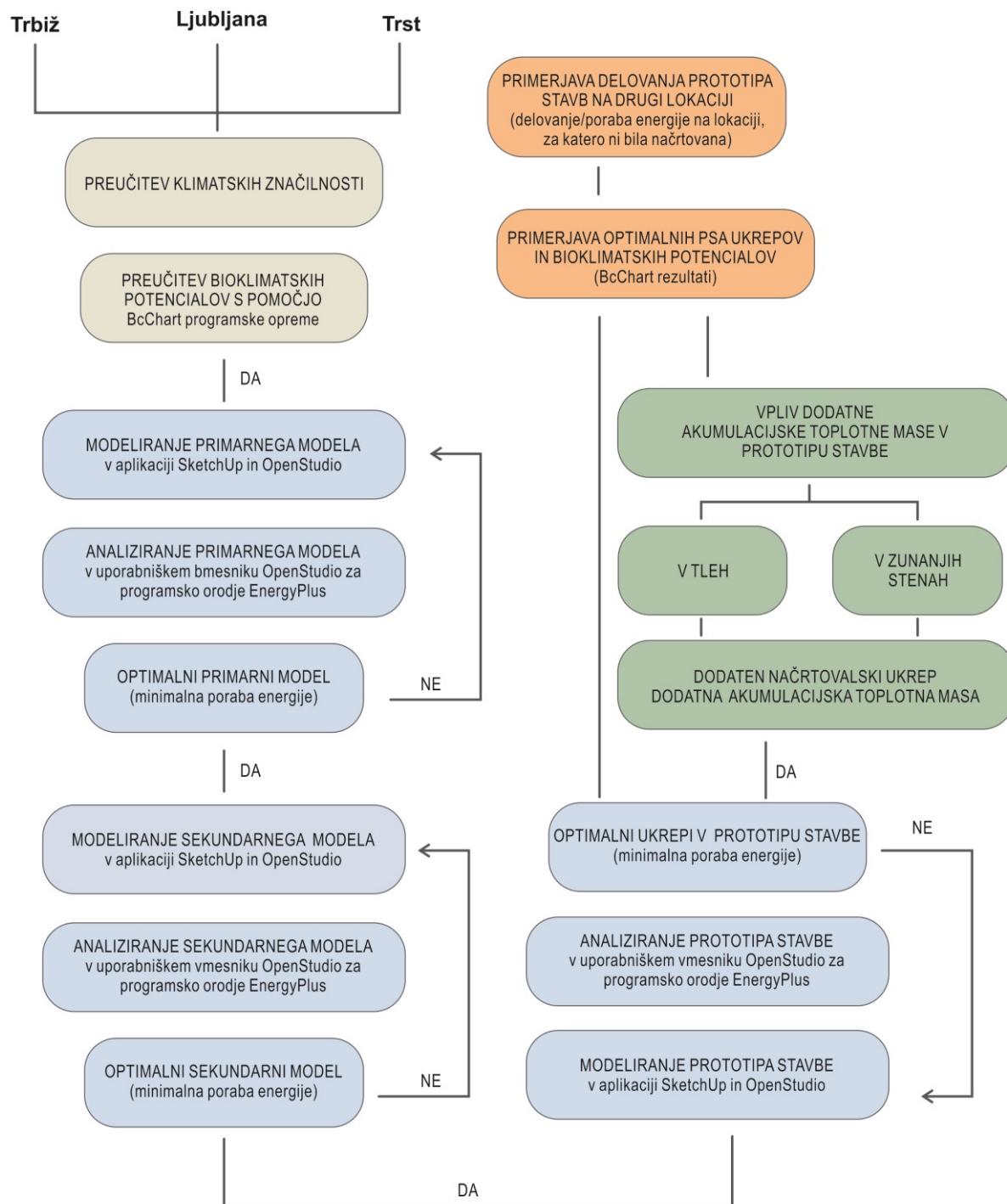
Za zagotavljanje primerne bivalnega okolja zakonodaja predpisuje tudi priporočeno prezračevanje v notranjih prostorih. Od prezračevanja je prav tako odvisna poraba energije v stavbi (več kot prezračujemo, večje so toplotne izgube – velja za hladno obdobje leta), zato nam vrednosti, navedene v Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb [34], delo pri načrtovanju potrebnega prezračevanja precej olajšajo. V času prisotnosti ljudi v prostorih, ki so namenjeni za njihovo delo in bivanje, je treba dosežati volumsko izmenjavo zraka (n) vsaj $n = 0,5$ 1/h. V času odsotnosti ljudi v prostorih, ki so namenjeni za delo in bivanje ljudi, je treba zagotoviti in vzdrževati izmenjavo zraka najmanj $n = 0,2$ 1/h za odstranitev emisij stavbe in preprečitev drugih škodljivosti (npr. pojav kondenzacije) [34]. Poleg tega nam Pravilnik [34] posreduje tudi priporočene notranje temperature v prostoru v času ogrevanja in ohlajevanja. Temperatura zraka naj bi bila v času brez ogrevanja med 22 °C in 26 °C ter v času ogrevanja med 19 °C in 24 °C. Te vrednosti nam prav tako predstavljajo načrtovalsko izhodišče.

V poznejših analizah bomo potrebovali še podatek o notranjih virih v stavbi, tukaj se lahko sklicujemo na vrednosti v standardu SIST EN ISO 13790 [35]. Za primer enodružinske hiše je vrednost toplotnega toka, ki ga oddaja ena oseba, 70 W, in vrednost toplote, ki jo odda razsvetljava, 8 W/m².

3 METODE

3.1 Struktura in potek naloge

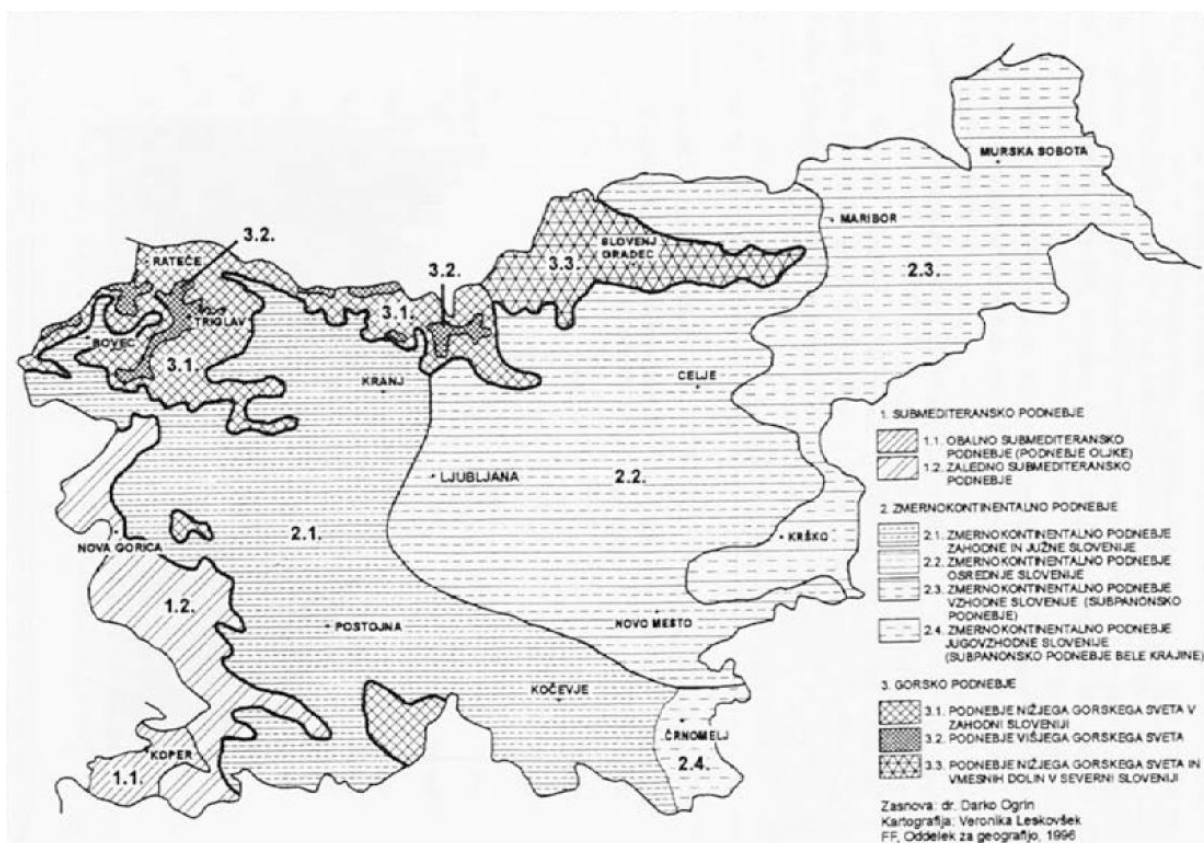
Magistrska naloga je zastavljena precej kompleksno, zato je na Sliki 4 predstavljena osnovna metodološka struktura opravljenih analiz. Naloga je sestavljena iz štirih osnovnih sklopov, na Sliki 4 je to prikazano s štirimi različnimi barvami (siva, modra, zelena in oranžna). Vsak sklop je še podrobneje razdeljen na podsklope. Tako smo lahko jasno razdelati potek bioklimatskega načrtovanja in postopoma preučili ustreznost posameznega analiziranega pasivnega ukrepa. Prvi sklopi (siva barva na Sliki 4) predstavljajo izhodišče načrtovanja. Drugi sklop (modra barva na Sliki 4) predstavlja modeliranje arhetipov stavb in postopno vpeljavo pasivnih ukrepov do stopnje modeliranja prototipa stavbe. Tretji sklop (zelena barva na Sliki 4) se ukvarja z dodatno akumulacijsko maso in delovanjem prototipa stavbe. Zadnji sklop (oranžna barva na Sliki 4) se ukvarja s primerjavo bioklimatskega potenciala in rezultatov dinamičnih analiz modelov (optimalni pasivni ukrepi – kriterij minimalne potrebne neto energije). V zadnjem sklopu je dodatno izvedena še kontrola optimiziranosti načrtovane stavbe, in sicer tako, da je njen odziv preverjen še na drugi lokaciji (preverimo porabo energije).



Slika 4: Osnovna metodološka struktura opravljenih analiz.
Figure 4: The basic methodology process of studied analyzes.

3.2 Izbrane lokacije in podnebne značilnosti

Izbiro lokacij smo želeli omejiti na območje Slovenije, saj je ta sama po sebi klimatološko precej razgibana. Če se sklicujemo na Ogrin [2], ima zahodna Slovenija večinoma submediteransko podnebje, na Sliki 5 je to prikazano izrazito na Z strani Slovenije (območje obale in goriške), ki izrazito slabi z naraščanjem nadmorske višine in prehaja v celinske poteze osrednje Slovenije. Razlog, da obalnega in zalednega dela ne moremo uvrstiti v pravo sredozemsko podnebje, je količina padavin, ki je sorazmerno enakomerno razporejena čez vse leto. Medtem ko je za sredozemsko podnebje značilna izrazita koncentracija padavin pozimi in sušno obdobje poleti. Najobsežnejši podnebni tip v Sloveniji je zmernocelinski, na Sliki 5 je ta označen na večinskem osrednjem in V delu: zmerno zaradi višjih temperatur in milejših padavin v jesenskem času. Del severne Slovenije spada pod gorsko podnebje. Tega lahko pripišemo lokacijam nad 1500 m nadmorske višine, vendar imajo gorske doline in pod 1500 m ležeči predeli vpliv gorskega podnebja. Za Babno dolino lahko rečemo, da bolj spominja na gorsko podnebje. Za doline, kotline in kraške depresije je značilen pojav temperaturne inverzije, ki je zlasti izrazit pozno jeseni ob jasnih nočeh. Zaradi tega imajo doline nižje minimalne temperature v nočnem času, pogostejše so zmrzali in slane [2].



Slika 5: Vrste podnebja v Sloveniji, vir slike: [2].

Figure 5: Climate in Slovenia, the figure source: [2].

V naše analize smo želeli vključiti podnebno raznolikost območja Slovenije, zato smo za tri različne vrste podnebja (submediteransko, celinsko in gorsko) izbrali tri reprezentativne lokacije: Ljubljano kot primer celinskega podnebja, Portorož kot primer submediteranskega podnebja in Rateče kot primer gorskega podnebja. Kasneje smo se zaradi nedostopnosti .epw datotek [36], ki so pomemben vhodni

podatek v programskem orodju EnergyPlus [37] (definicija klimatskih značilnosti lokacije), odločili da izberemo najbližja mesta z dostopno .epw datoteko in primerljivimi podnebnimi značilnostmi. Svojo odločitev lahko podkrepimo s trditvijo, da podnebje kot naravni pojav ni omejeno s političnimi mejami in se razširja tudi čeznje. Če si ogledamo Sliko 6, vidimo označene posamezne kraje. Prvotno izbrane kraje, ki so prikazani z modro piko (Portorož in Rateče), smo nadomestili z novo izbranimi kraji Trst (submediteransko podnebje) in Trbiž (gorsko podnebje), prikazanimi z rdečo piko, ter Ljubljana, ki ima ustrezno .epw datoteko in jo lahko obravnavamo v analizah (modro/rdeča pika).



Slika 6: Na zemljevidu prikazani izbrani kraji, vir slike: [38].
Figure 6: Selected locations shown on the map, the figure source: [38].

Osnovne klimatološke značilnosti primarno in naknadno izbranih lokacij so vidne v Preglednicah 2 in 3. Izbrane lokacije lahko razdelimo tudi po Köppen-Geiger klasifikaciji (Preglednica 2), zasnovana je na značilnostih lokalne vegetacije in upošteva temperature, padavine in njihovo sezonsko distribucijo. Sestavljena je iz 25 različnih tipov, ki so klasificirani v 5 skupin (glede na prevladujoči biom) [39]. Primerljivost lokacij Trbiž-Rateče in Trst-Portorož podkrepimo s Preglednico 3, v kateri so primerjane vrednosti povprečnih temperatur in količine prejetega sončnega obsevanja. Razvidno je, da vrednosti niso popolnoma identične, so pa primerljive. Primerjane lokacije se najbolj ujemajo v vrednosti prejetega sončnega obsevanja, pri temperaturah pa opazimo nekaj odstopanja. Vrednosti poletnih temperatur v Portorožu in Trstu se dobro ujemajo (razlika 0,2 K), v zimskem času pa prihaja do večjega odstopanja (razlika 4 K). Če primerjamo temperature Rateče in Trbiž, je primerljivost boljša v poletnem času (razlika 1 K) in slabša v zimskem (razlika 3 K). Predpostavimo, da za potrebe naloge in

analiz lahko privzamemo lokacije Ljubljana, Trst in Trbiž, saj dobro zastopajo lastnosti vsakega izmed treh analiziranih podnebij (celinsko, submediteransko in gorsko), ki so značilna za slovensko območje.

Preglednica 2: Pregled primernih lokacij za nadaljnje analize in njihove osnovne značilnosti.

Table 2: Overview of suitable locations for further analysis and its basic features.

Država	Mesto	Koordinate	Nadmorska višina [m]	Oblika površja	Podnebje	Köppen-Geiger klasifikacija*
Slovenija	Ljubljana	N 46°32' E 15°39'	299	Kotlina	Celinsko	Cfb
	Portorož	N 45°29' E 13°37'	2	Obala	Submediteransko	Cfb
	Rateče	N 46°29' E 13°43'	864	Planota	Gorsko	Dfc
Italija	Trst	N 45°40' E 13°45'	29	Obala	Submediteransko	Cfb
	Trbiž	N 46°30' E 13°35'	778	Planota	Gorsko	Dfc
*Köppen-Geiger podnebna klasifikacija povzeta po Kottek et. al [39]						
Cfb – zmerno toplo vlažno podnebje s toplim poletjem in blago zimo						
Dfc – kontinentalno vlažno podnebje s hladnejšimi poletji in ostro zimo						

Preglednica 3: Primerjava temperatur in količine sončnega obsevanja pri lokacijah Trst-Portorož ter Trbiž-Rateče [40, 41, 42].

Table 3: The comparison of the temperature and the amount of solar radiation at locations Trieste-Portorož and Tarvisio-Rateče.

Lokacija	Rateče	Trbiž	Portorož	Trst
Maksimalna povprečna temperatura [°C]	23.8	25	28.8	29
Minimalna povprečna temperatura [°C]	-8	-5	0.7	5
Letno povprečje dnevnega sončnega obsevanja [kWh/m ²]	3.20	3.26	3.88	3.78

3.3 Privzete zahteve uporabnika

Vsako stavbo načrtujemo glede na naročnikove želje, potrebe in zahteve. Zato smo si tudi v magistrski nalogi zamislili hipotetičnega naročnika, za katerega lahko oblikujemo primerno stavbo. Naš naročnik je štiričlanska družina, njihove zahteve so enodružinska, montažna stavba, postavljena na specifični lokaciji (v našem primeru 3 različne lokacije). Stavba je lahko pritlična ali etažna, z ustrezno načrtovanimi prostori (kuhinja, jedilnica, dnevna soba, WC, pisarna, dve otroški sobi, spalnica in kopalnica). Po krajši analizi ponudbe montažnih stavb na slovenskem tržišču [43], ki bi ustrezale naročnikovim zahtevam, smo ugotovili, da bi se primerna in zadostna neto uporabna površina gibala okoli vrednosti 140 m².

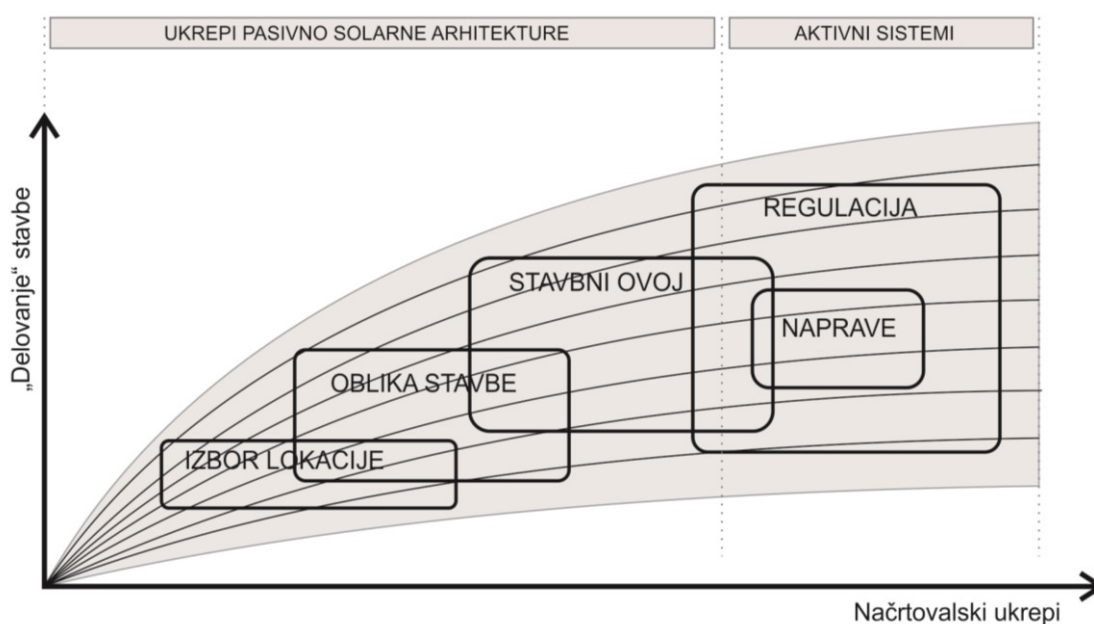
Za preostale spremenljivke smo predvideli, da je naročnik »standarden«, kar pomeni, da nima specifičnih zahtev glede temperature zraka v času ogrevanja/brez ogrevanja in prezračevanja. Prezračevanje je lahko mehansko, in sicer takšno, da zadovoljimo zakonsko predpisane vrednosti ($n = 0,5$ 1/h). Posebnih zahtev o odprtinah (zasteklitvi) in osvetljenosti prostorov nismo predpostavili, saj to področje v magistrskem delu ni bilo obravnavano. Smo pa kljub temu upoštevali vsaj fiziološki minimum.

3.4 Bioklimatski potencial lokacije

Vsak načrtovalec naj bi znal dobro in kritično preučiti podnebne značilnosti specifične lokacije ter s pomočjo definicije potencialnih pasivnih ukrepov skušati zagotoviti primerno notranje bivalno okolje. Zato je tudi smiselno, da začnemo načrtovati na točki preučitve možnih potencialnih pasivnih ukrepov na podlagi podnebnih danosti lokacije. To lahko dosežemo s pomočjo bioklimatskih kart, ki jih je razvil Olgyay [6]; te določajo potencial doseganja toplotnega ugodja v določenem podnebju. Problem takih kart je predvsem v tem, da v svojih analizah upoštevajo samo temperaturo in relativno vlažnost, zanemarjajo pa pomemben dejavnik, to je sončno obsevanje lokacije. Pajek in Košir [1] sta to težavo odpravila tako, da sta s programskim orodjem BcChart [44] osnovni bioklimatski karti po Olgyay [6] dodala vhodni podatek sončnega obsevanja lokacije. Rezultati pridobljeni z analizo, predstavljajo nabor okvirnih načrtovalskih ukrepov oziroma oceno potenciala za doseganje toplotnega ugodja s pomočjo pasivnih ukrepov. Program določi, kje bodo prevladovali pasivni ukrepi za ogrevanje in kje pasivni ukrepi za preprečevanje pregrevanja.

3.5 Struktura in hierarhija modeliranja

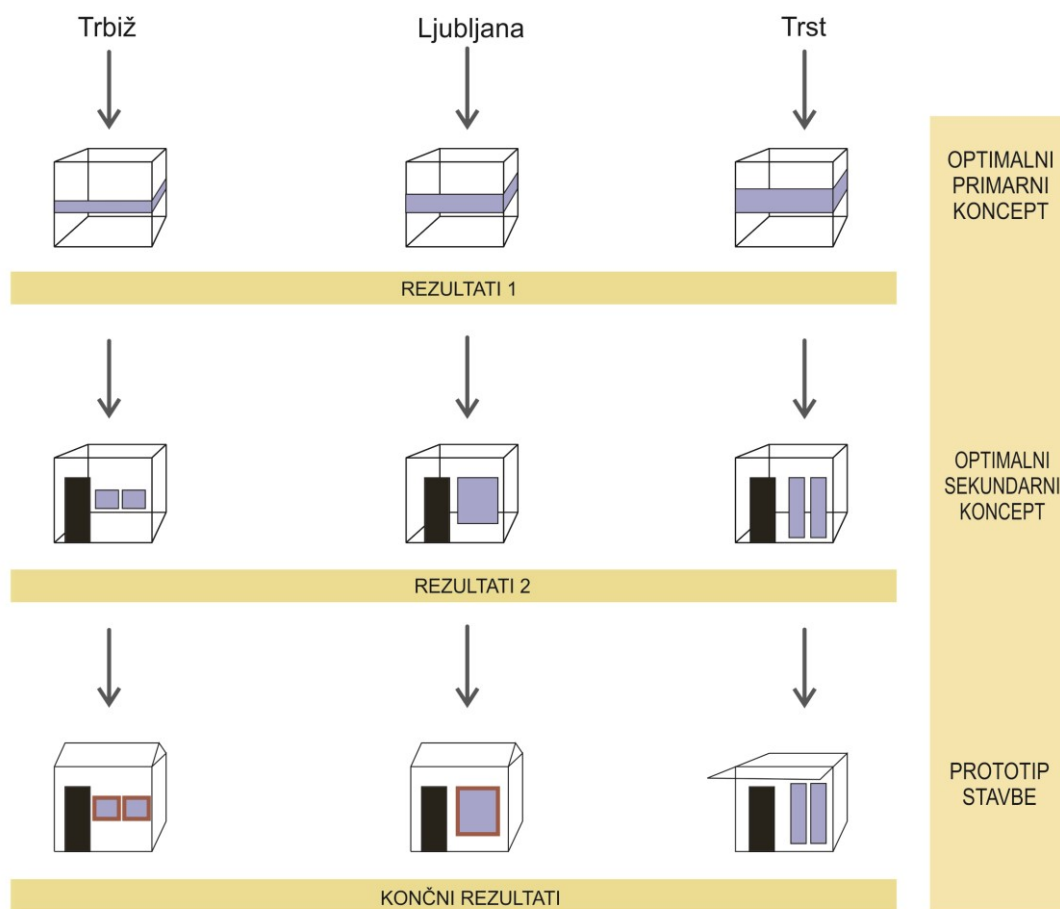
Pri modeliranju in uporabi bioklimatskega načrtovanja sta zelo pomembna uporabljena hierarhija in vrstni red vpeljave pasivnih ukrepov. Košir [20] navaja naslednjo hierarhijo; najprej je treba stavbo primerno oblikovati, nato se posvetiti ovoju in na koncu razmišljati o regulaciji. Ta hierarhija je predstavljena na Sliki 7. V obliki stavbe je zajeto: obravnava volumna stavbe, njena orientacija, faktor oblike in delež zasteklitve. Pri ovoju stavbe se ukvarjamo s toplotno prehodnostjo in sestavo ovoja ter solarnimi dobitki (oblika, sestava oken). Stavba mora biti oblikovana tako, da lahko sama v prostem teku dobro uravnava zunanje vplive ter z regulacijo in napravami samo minimalno korigiramo notranje okolje. To pa lahko zagotovimo le s pravilnim vrstnim redom načrtovanja.



Slika 7: Sosledje načrtovalskih ukrepov, vir slike: [20].

Figure 7: The sequence of planning measures: the figure source: [20].

Oblika stavbe in stavbni ovoj spadata v drugi sklop analiz v nalogi, to je tudi najbolj kompleksen sklop, saj v njem definiramo optimalno kombinacijo pasivnih ukrepov, s katerimi lahko dosežemo najmanjšo potrebno neto energijo. Hierarhijo, ki je definirana na Sliki 7, smo v nalogi preoblikovali tako, da smo uvedli primarni in sekundarni model stavbe ter prototip stavbe. Primarni model stavbe se večinoma ukvarja z obliko stavbe, medtem ko se sekundarni model stavbe večinoma ukvarja s stavbnim ovojem. Pri oblikovanju prototipa stavbe se bomo ukvarjali z načrtovanjem detajlov pri stavbnem ovoju. Primarni model stavbe je arhetipska stavba, definirana s preprosto obliko kvadra. Osredotočamo se na razmerje volumna in površine v stiku zunanostjo, delež zasteklitve in orientacijo. Kriterij s katerim določamo ustreznost ukrepa, je potrebna energija za ogrevanje. Sekundarni model stavbe je prav tako arhetipska stavba v obliki kvadra. Na tej stopnji želimo s pasivnimi ukrepi zmanjšati porabo energije za ohlajevanje in bolj definirati posamezne elemente stavbe (stavbni ovoj, oblika odprtin). S pomočjo rezultatov in ugotovitev iz primarnega in sekundarnega modela oblikujemo prototip stavbe. V stavbi oblikujemo prostore, zasteklitev in okvir, streho ter definiramo preostale podrobnosti (strukturo zasteklitve, barvo fasade, barvo notranjih prostorov). Postopek razvijanja arhetipske stavbe v prototip stavbe je prikazan na Sliki 8. S tokom analiz stavba postaja vedno bolj definirana in z manj vključenimi poenostavitvami in generičnimi predpostavkami. Torej Slika 8 shematično prikazuje razvijanje koncepta stavbe od osnovnega arhetipa do bolj izdelanega prototipa stavbe.



Slika 8: Simbolični prikaz razvijanja konceptov modela stavbe.
Figure 8: A symbolic representation of conceptual building model development.

3.5.1 Oblika stavbe in stavbni ovoj

Za boljše razumevanje pojmov in posameznih pasivnih ukrepov, uporabljenih v poznejših analizah, bomo na kratko le-te tudi obrazložili. Kriterij, s katerim se odločimo za posamezni ukrep, je minimalna potreba po ogrevanju (Q_{NH}) ali ohlajevanju (Q_{NC}) ali neto potrebna energija za obratovanje stavbe ($Q_T = Q_{NH} + Q_{NC} + \text{razsvetljava}$).

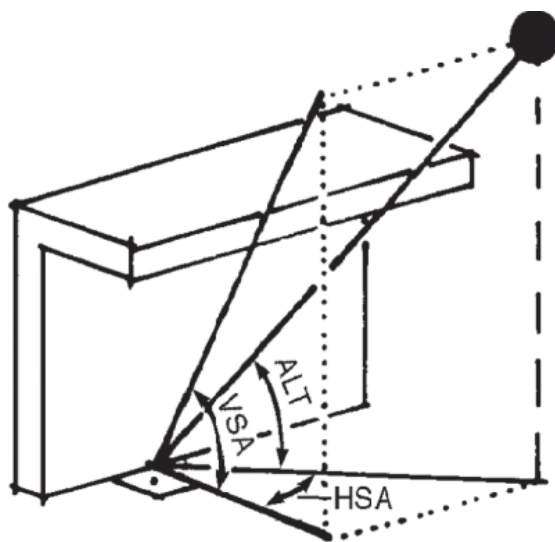
Oblika stavbe: Če se razlage lotimo hierarhično, najprej obravnavamo obliko stavbe, ta v veliki meri pogojuje toplotne izgube skozi ovoj stavbe. Obliko stavbe lahko dobro opišemo s faktorjem oblike (f_o). Izračunamo ga s pomočjo enačbe (1) [32], pri tem je A zunanja površina ovoja stavbe, V_e pa kondicionirana prostornina stavbe, ki jo obdaja ovoj s površino A . Manjša je izračunana vrednost, manj je izpostavljene površine pri danem volumnu stavbe, torej lahko skozi ovoj stavbe pričakujemo manj toplotnih izgub.

$$f_o = \frac{A}{V_e} [\text{m}^{-1}] \quad (1)$$

Ovoj stavbe: Po definirani osnovni obliki moramo razmisliti o definiciji stavbnega ovoja, kar pomeni, da določimo sestavo in zaporedje elementov v konstrukcijskih sklopih, delež transparentnih elementov, njihovo obliko, sestavo in orientacijo. Kadar se odločamo o sestavi stavbnega ovoja, moramo imeti v mislih omejitve, ki nam jih zapoveduje zakonodaja (Poglavje 2.3). Delež transparentnih elementov na stavbi opišemo s faktorjem WWR, saj z njim podamo odstotek transparentnih površin glede na element stavbnega ovoja (npr. zunanjo steno). Večji je faktor, več dobitkov sončne energije lahko pričakujemo, in obratno (v primeru da površina ni senčena). Pri orientaciji transparentnih površin nas predvsem zanima, katera kombinacija deleža oken glede na smeri neba je optimalnejša. Kombiniramo različne odstotke zasteklitev (100 %, 50 % – polovična zasteklitev ali 0 % – brez zasteklitve) na različnih orientacijah (S, J, V in Z). Po določenem deležu zasteklitve preverjamo še dejavnik oblike oken. Da smo lahko odstranili vpliv orientacije zasteklitve, bomo obliko oken spreminjali samo na južno orientirani steni, preostale stene ostajajo nespremenjene.

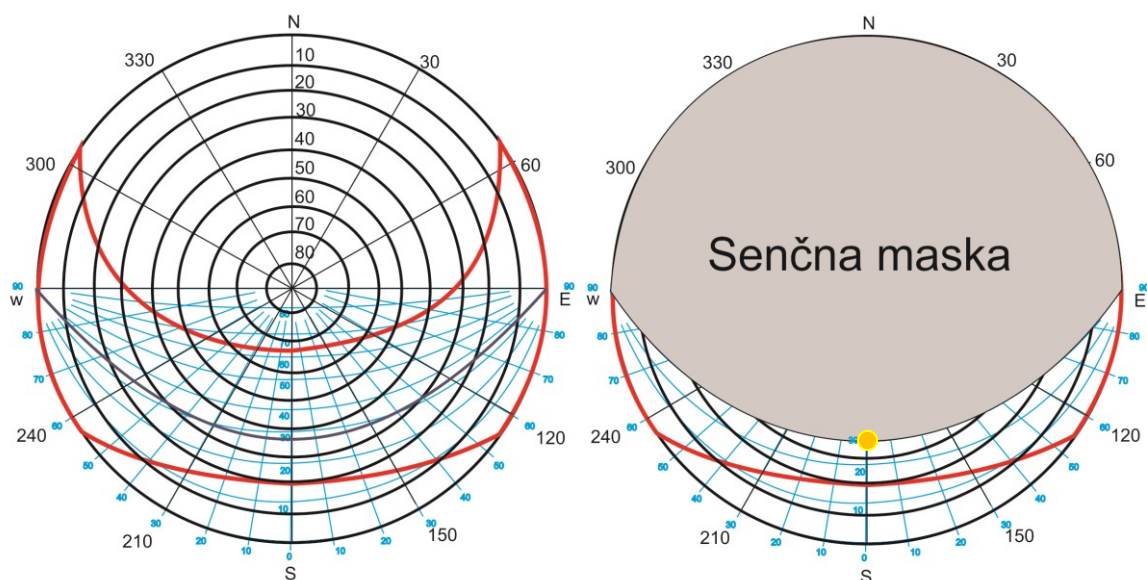
Senčenje: Z reševanjem problema pregrevanja se ukvarjamo pri sekundarnem konceptu stavbe, kot pglavitni ukrep uvedemo senčenje. S senčenjem preprečimo direktno (delno tudi difuzno) komponento sončnega sevanja skozi transparentni del stavbnega ovoja in tako zmanjšamo potencial pregrevanja stavbe. Senčila so lahko fiksna ali premična, zanimalo nas bo, kje so katera ustrežnejša. Za premična senčila bomo uporabili žaluzije, rolo senčila in tende na zunanji strani. Za fiksna senčila bomo uporabili horizontalne brisoleje.

Pri oblikovanju fiksnih senčil je ključna pravilno oblikovana geometrija, ki senči okno takrat, ko je to zaželeno. Za oblikovanje oziroma oceno delovanja senčil so zelo uporabni diagrami poti sonca in senčna maska senčila. Tako je možno na hitro določiti sezonsko in tudi dnevno delovanje senčila. Senčna maska po Košir [45] predstavlja oziroma je del nebesne hemisfere, ki s specifičnega gledišča (tipično na površini okna) ni viden. Če senčno masko za določeno senčilo projiciramo na diagram poti sonca za obravnavano lokacijo, lahko iz njega odčitamo, kdaj v letu in dnevu specifično senčilo senči analizirano točko. Za oblikovanje pa sta potrebna dva podatka, in sicer horizontalni kot senčenja – HSA, in vertikalni kot senčenja – VSA, ki sta prikazana na Sliki 9. Prikazana senčna maska na Sliki 10 je primerna za načrtovanje nadstreška na južno orientiranem oknu.



Slika 9: Načrtovanje fiksnih senčil, vir slike: [46].
Figure 9: Fixed shading design, the figure source: [46].

Na Sliki 10 (levi del) lahko vidimo primer načrtovanja fiksnega senčila na južno orientiranem oknu. Rdeča črta predstavlja diagram poti sonca (za primer Ljubljane) na solarnem diagramu, medtem ko modre črte predstavljajo senčni kotomer pri orientaciji 0° (južna orientacija). Na Sliki 10 (desni del) je dodatno določena še senčna maska. Določimo jo tako, da se vprašamo kdaj želimo, da senčilo senči analizirano točko. Izbrali smo si obdobje od spomladanskega do jesenskega enakonočja in to predstavlja obarvano območje. Zdaj pa lahko na senčnem kotomeru odčitamo (rumena pika) potreben kot VSA (približno 30°), ki ga uporabimo za določitev dolžine nadstreška (Slika 9).



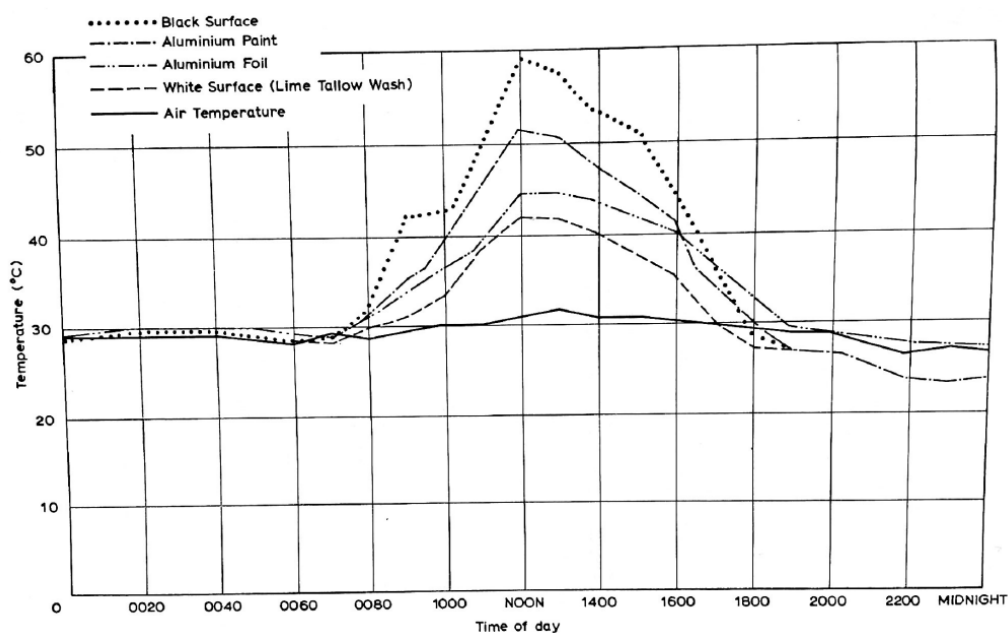
Slika 10: Diagram poti sonca in senčna maska za primer lokacije Ljubljana.
Figure 10: Sun path diagram and shadow mask for example of Ljubljana.

3.5.2 Barve zunanjih in notranjih ometov

Vse zunanje površine ovoja stavbe prejmejo določeno količino sončnega sevanja. Zaradi sposobnosti materiala, uporabljenega na zunanji površini, da absorbira sončno sevanje, se pojavi dodaten toplotni tok v stavbo, kar je v vročih podnebnih nezaželeno. Z uporabo materialov, ki absorbirajo manj sončne energije, lahko dodatni toplotni tok zmanjšamo in s tem tudi segrevanje stavbe. Taki materiali večino sončnega sevanja odbijejo nazaj v atmosfero (okolico), to lastnost materiala imenujemo reflektivnost (ρ) in definira količino odbitega sončnega sevanja. V Preglednici 4 je predstavljeno nekaj vrednosti reflektivnosti gradbenih materialov, vidimo, da se vrednosti temnejših materialov gibljejo pod 0,4 in vrednosti svetlejših materialov okoli 0,5 ter več. Maksimalna vrednost, ki jo teoretično lahko dosežemo, je 1, kar pomeni, da vse sončno sevanje odbijemo nazaj. Bolj je material absorptiven (α) za sončno sevanje, bolj se segreje. Temperature različno obarvanih površin se med sabo precej razlikujejo, razlika je opazna tudi pri primerjavi temperature zraka in površin. Najvišje temperature doseže črna barva, in sicer skoraj 30 K višje kot je temperatura zraka. Najnižjo temperaturo površine odčitamo pri beli barvi, ta je od temperature zraka višja za približno 10 K. Preostale barve se nahajajo nekje vmes. Če rezultate iz Slike 11 prevedemo na potencialni vpliv barve fasade, strehe in oblog, lahko pričakujemo močan vpliv le-teh na dodatno segrevanje stavbe.

Preglednica 4: Vrednosti reflektivnosti različnih materialov [47].
Table 4: Different values of material solar reflectance [47].

Material	ρ
Strešniki - barva rjava	0,12–0,15
Strešniki - siva barva	0,41–0,58
po 6 mescih izpostavljenosti	0,39
po 12 mescih izpostavljenosti	0,29
po 6 letih izpostavljenosti	0,17
Strešniki - rdeča barva	0,31
Jeklo	–
novo	0,36
umazano	0,08
Baker	–
poliran	0,82
Bitumenska kritina	–
rjava	0,13
zelena	0,14
Asfalt	-
nov	0,07–0,09
izpostavljen vplivom	0,11–0,18
Marmor – bel	0,56
Bela barva	0,82
Barva aluminija	0,46



Slika 11: Temperature zunanjega zraka (*ang. Air Temperature*), črnih površin (*ang. Black Surface*), aluminijaste barve (*ang. Aluminium Paint*), aluminijaste folije (*ang. Aluminium Foil*) in bele površine (*ang. White Surface*) v odvisnosti od stopnje refleksivnosti, vir slike: [47].

Figure 11: Temperature of air, black surfaces, aluminum paint, aluminum foil and white surfaces in correlation to material reflection, the figure source: [47].

3.6 Toplotna akumulacijska masa

Tretji sklop naloge bosta predstavljala analiza dodatne termične mase (dodatna akumulacijska masa) in njen vpliv na neto porabo energije v stavbi. Termična masa v stavbi predstavlja sposobnost toplotne akumulacije (shranjevanja) toplote v stavbi. Ta je odvisna od materialnih lastnosti, kot so toplotna kapaciteta [J/K] in specifična toplotna kapaciteta [J/kgK] [47]. Razlika med njima je, da nam toplotna kapaciteta pove, koliko energije (toplote) moramo vložiti, da se snov segreje za 1 K, medtem ko specifična toplotna kapaciteta vloženo energijo, da se snov segreje za 1 K, definira na kilogram (enoto snovi mase). Povedano velja za homogena telesa [47]. Material z visoko toplotno kapaciteto (t. i. »težji« material) potrebuje več toplote, da se pri določenem trendu ogrevanja njegova temperatura poviša za določeno vrednost, kot material z nižjo toplotno kapaciteto (t. i. »lažji« material) [47].

Ker smo v nalogi predpostavili, da bomo modelirali in načrtovali montažne oz. »lahke« stavbe, bomo morali termično maso zagotoviti naknadno oz. z dodatnimi ukrepi in preveriti njen vpliv na posameznih lokacijah. Poleg ustreznih materialnih lastnosti, ki omogočajo akumulacijo toplote, moramo pri montažnih hišah poskrbeti, da ohranjamo njihovo bistvo – hitra in preprosta montaža na lokaciji. Torej morajo uporabljeni materiali omogočati prefabrikacijo, zato kot potencialno ustrezno rešitev podajamo konopljin beton (*ang. Hempcrete*). Je ekološki material, sestavljen iz konopljinega pezdrija (sredica konopljinih stebel, ki jo sestavlja pretežno celuloza), apnene mešanice (sestavljena iz gašenega apna, naravnega hidravličnega apna NHL5 in cementa ter eventualno peska za izdelavo notranjih ometov) in vode [48]. Njegov videz je ponazorjen na Sliki 12. Konopljin beton ima širok spekter uporabe, vendar se bomo osredotočili na konopljin beton, ki se uporablja kot polnilo za lesene endoskeletne konstrukcije. Take konstrukcijske sklope je moč izdelovati tudi kot prefabrikat [49].



Slika 12: Konopljin beton, vir slike: [50].
Figure 12: Hempcrete, the figure source: [50].

Materialne lastnosti konopljinega betona, ki se uporablja kot polnilo so nekoliko drugačne kot pri tistem, ki se uporabljajo za konstrukcijske gradbene namene. To je opazno že v gostoti materiala (Preglednica 5), ki je precej nizka – 275 kg/m^3 , in po vrednosti bližje izolacijskim kot konstrukcijskim materialom, npr. gostota betona znaša okoli 2400 kg/m^3 , gostota konvencionalnih izolacijskih materialov (kamena volna, ekstrudirani in ekspanzirani polistireni) pa je pod 100 kg/m^3 [51]. Medtem ko je toplotna prevodnost $0,06 \text{ W/mK}$ nekoliko višja od prej omenjenih toplotno izolacijskih materialov vseeno precej nizka in ima določene toplotne izolacijske sposobnosti (toplotna prevodnost betona okoli 2 W/mK) [51]. Lastnost, na katero se bomo osredotočili, je visoka specifična toplota materiala, in sicer med $1500\text{--}1800 \text{ J/kgK}$. Ta vrednost je odvisna od količine vode (vlage) v konopljinem betonu. V analizah bomo izbrali najvišjo vrednost, in sicer 1800 J/kgK . Potencialno uporabo konopljinega betona kot polnila bi lahko predpostavili predvsem v stenah, zato smo želeli poiskati še ustrezen material za dodatno termično maso v tleh. Glede priporočil rezultatov analiz [31] lokacije dodatne termične mase smo ugotovili, da bi ustrezna rešitev masivna notranja talna obloga. Rešitev smo našli v opeki oziroma bolj natančno klinker opeki [52]. Izbrano opeko odlikuje kombinacija visoke gostote materiala 2400 kg/m^3 in visoke specifične toplote 1995 J/kgK (Preglednica 5). Opeko bomo uporabili kot finalno oblogo (FO) KS tal.

Preglednica 5: Materialne lastnosti konopljinega betona [53] in opečnih ploščic [52].
Table 5: Material properties of hempcrete [53] and brick tiles [52].

	Polnilo konopljin beton	FO opečne ploščice
Gostota [kg/m^3]	275	2400
Toplotna prevodnost [W/mK]	0,06	0,87
Specifična toplota [J/kgK]	1800	1995

V Poglavju 2.2.1 smo raziskovali pomen lokacije dodatne termične mase v KS in ugotovili, da mora biti le-ta obvezno locirana na notranji strani KS. Ker smo za tla izbrali, da bo kot dodatna termična masa delovala finalna obloga, smo to zahtevo izpolnili. Pri sestavljanju KS stene pa moramo paziti, da na notranjo stran endoskeletne nosilne konstrukcije s kombinacijo polnila ne dajemo dodatnih slojev (čim manj), saj nam bodo le-ti poslabšali odzivanje mase. Toplotno izolacijo (TI) moramo obvezno locirati na zunanjo stran [22, 24, 31].

3.7 Simulacijsko orodje

Dinamične analize modelov bomo izvajali s pomočjo programskega orodja EnergyPlus [37]. EnergyPlus je prosto dostopno programsko orodje, ki ga financira U.S. Department of Energy (DOE) Building Technologies Office (BTO) in razvija National Renewable Energy Laboratory (NREL). Omogoča dinamične simulacije toplotnih tokov med toplotnimi conami in zunanjim okoljem v zelo kratkem časovnem intervalu 10 min. Poleg toplotne upornosti ovoja stavbe take analize omogočajo upoštevanje termične mase v stavbi (dodatno zajeta in sproščena toplota), solarnih in notranjih dobitkov [35]. Poleg tega nam EnergyPlus analize omogočajo tudi kontrolo lastnosti bivalnega okolja. Na podlagi tega je omogočena optimizacija konstrukcij stavbe ter sistemov ogrevanja, hlajenja, prezračevanja in razsvetljave. Obravnavana 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 EnergyPlus je zbirka več programskih modulov, ki skupaj izračunajo potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje. Jedro simulacije je model, ki temelji na osnovnih principih prenosa toplote in izvaja integrirane simulacije. To pomeni, da vse tri glavne elemente sistema, torej stavbo, razvodni sistem in generatorje, rešuje istočasno [54].

Program EnergyPlus od uporabnika potrebuje podatke o geometriji konstrukcij, materialih ter meteorološke podatke. Delo s programom EnergyPlus poteka posredno s pomočjo programa OpenStudio [37] in SketchUp [55]. Vhodne datoteke za delo s programom EnergyPlus je najlažje ustvariti s programskim orodjem OpenStudio, ki so ga razvili pri NREL. 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 [54]. Geometrija in orientacija stavbe sta definirani s programom SketchUp. Program EnergyPlus potrebuje za izračun meteorološke podatke, ti so shranjeni v .epw datoteki [36], dostopni na spletu. 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 referenčno leto [54].

EnergyPlus omogoča tudi grafično prikazovanje rezultatov, vendar so vse oznake zapisane v angleškem jeziku. Osnovni zapis na abscisni osi grafa je »ang. Simulation time«, kar pomeni čas simulacije – zapisno v vrstnem redu: mesec, datum in ura. Na ordinatni osi se izhodni podatki spreminjajo, in sicer »ang. Temperature«, kar pomeni temperaturo, »ang. Arch«, kar pomeni število menjav zraka na uro, in »ang. Energy«, kar pomeni energijo.

4 REZULTATI

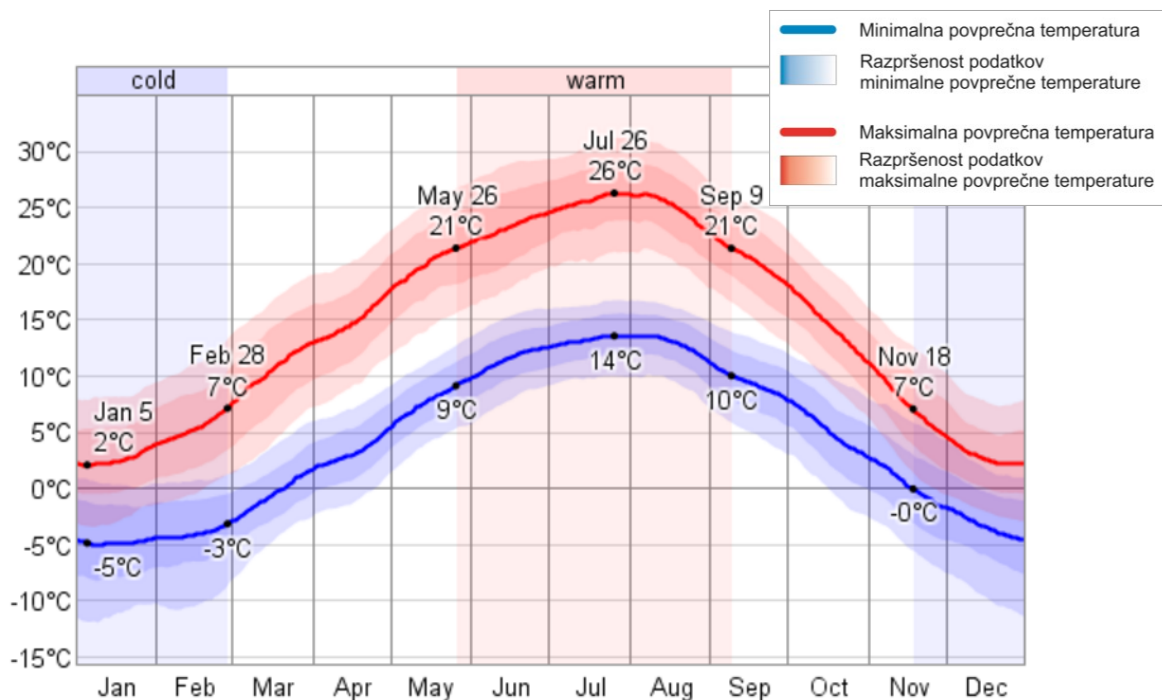
4.1 Analiza podnebnih značilnosti

Za izbrane lokacije (Ljubljana, Trst in Trbiž) smo analizirali podnebne značilnosti (temperature zraka, količino sončnega sevanja in padavine), pomembne kot izhodišče za bioklimatsko načrtovanje in ukrepe pasivno solarne arhitekture. Že iz Preglednice 2 je moč razbrati nekaj izhodiščnih informacij o vseh treh izbranih lokacijah, in sicer, da se nahajajo na zelo podobnih oziroma približno enakih geografskih širinah in dolžinah. To nam pove, da je navidezna pot sonca po nebu pri vseh lokacijah zelo podobna oziroma, da je dolžina dneva približno povsod enaka. Razlika v sončnem obsevanju se bo pojavila zaradi vpliva stanja atmosfere (koliko je določena lokacija oblačna). Velikokrat je količina sončnega obsevanja odvisna tudi od okoliške topografije in ovir, ki preprečijo direktno sončno obsevanje, vendar predpostavimo, da teh ovir ni oziroma jih ne bomo upoštevali.

4.1.1 Ljubljana

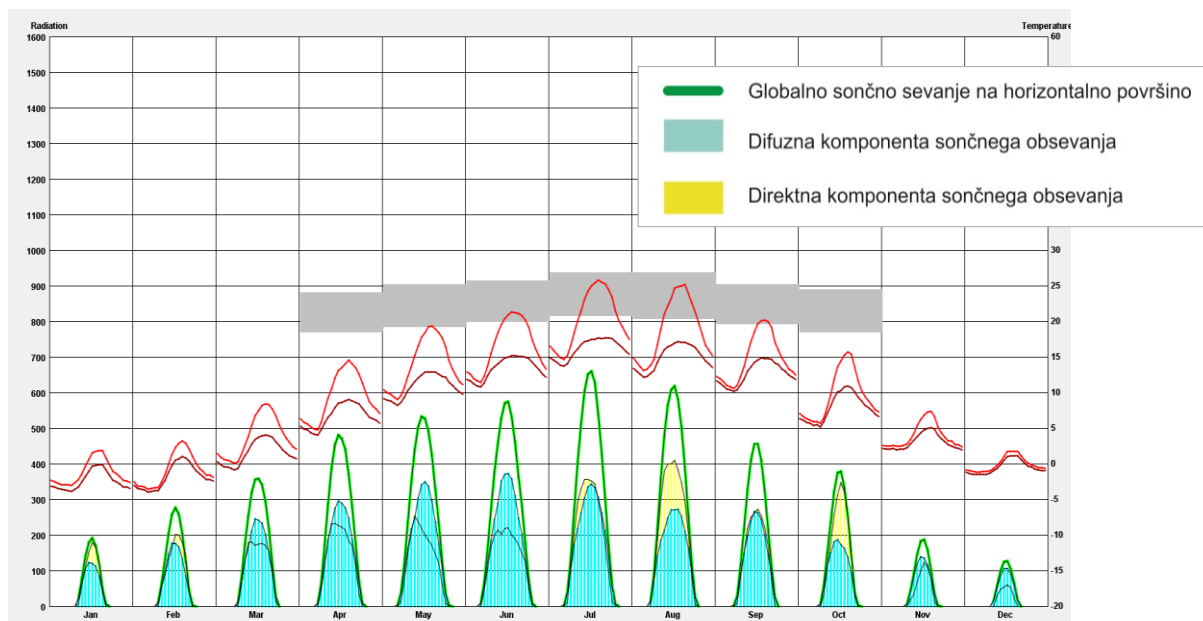
Podnebje je celinsko z značilnimi toplimi poletji in zmerno mrzlimi zimami. Predvsem pozimi in v prehodnih mesecih se značilno pojavlja temperaturna inverzija, saj Ljubljana leži v kotlini. Na Sliki 13 je prikazano gibanje maksimalnih in minimalnih povprečnih temperatur, ki so v območju od -5 do 26 °C, kar je precej velik razpon (31 K). Precejšna je tudi razlika med povprečno minimalno in povprečno maksimalno temperaturo zraka, ta je največja v poletnem času, in sicer 12 K, medtem ko pozimi ni tako izrazita (7 K). Obdobje toplega vremena traja od maja do septembra, pri čemer je najtoplejši mesec običajno julij, z maksimalno povprečno temperaturo 26 °C in minimalno povprečno temperaturo 14 °C. Obdobje hladnega vremena traja od novembra do februarja, najhladnejši mesec je januar, z maksimalno povprečno temperaturo 2 °C in minimalno povprečno temperaturo -5 °C. Pri analiziranju Slike 13 lahko opazimo, da je razpršenost podatkov precej široka v poletnem času pri maksimalni povprečni temperaturi in v zimskem času tako pri maksimalni kot minimalni povprečni temperaturi.

Največja vrednost globalnega sončnega sevanja (na horizontalno površino) je na Sliki 14 opazna v poletnih mesecih (okoli 670 W/m²) in se postopno zmanjšuje v zimskem obdobju. Izrazito najmanjše globalno sončne sevanje je decembra (okoli 110 W/m²). Prav zaradi formacije hladnega zraka se v hladnejši polovici leta pogosto zadržuje megla ali nizka oblačnost. To lahko opazimo s prevlado difuzne komponente v mesecih od marca do junija ter v decembru. Medtem ko direktna komponenta prevladuje v januarju, februarju, avgustu in oktobru. Preostali meseci imajo enakovredno količino difuzne in direktne komponente sončnega obsevanja. Torej v Ljubljani prevladuje difuzno sevanje, kar vpliva na skupno količino prejetega sončnega obsevanja.



Slika 13: Minimalna in maksimalna povprečna temperatura zraka v Ljubljani, vir slike: [41].

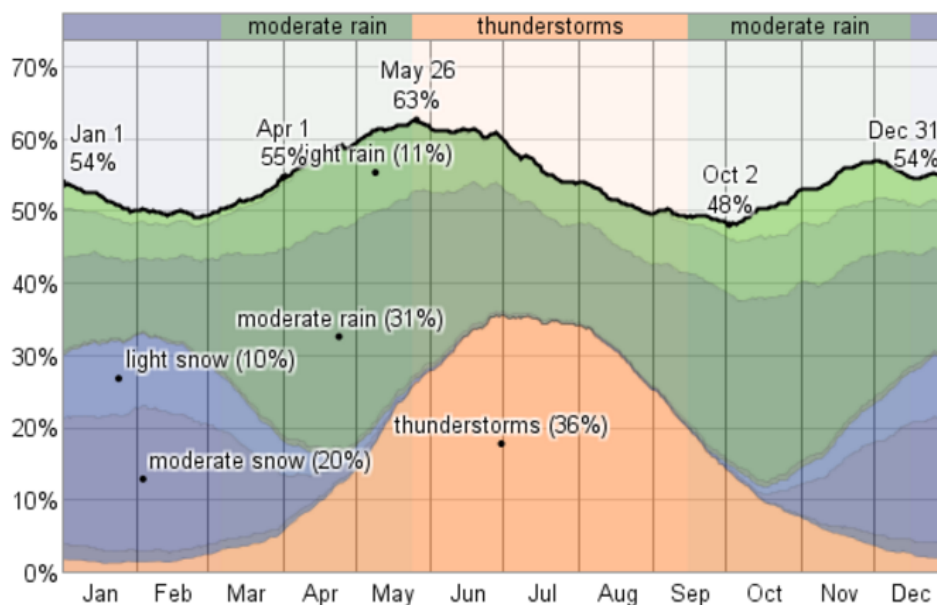
Figure 13: Minimal and maximal average air temperature in Ljubljana, the figure source: [41].



Slika 14: Delež direktnega in difuznega sončnega sevanja v Ljubljani, vir slike: [56].

Figure 14: The share of direct and diffuse solar radiation in Ljubljana, the figure source: [56].

Poleg velikega deleža difuzne komponente sončnega sevanja je v Ljubljani značilna tudi precej velika verjetnost padavin vse leto (okoli 55 % in do maksimalno 62 % v spomladanskem času), kar kaže Slika 15. Rahel upad lahko pričakujemo februarja in oktobra (okoli 50 %). Pričakujemo lahko tudi sneg (30 % verjetnost).



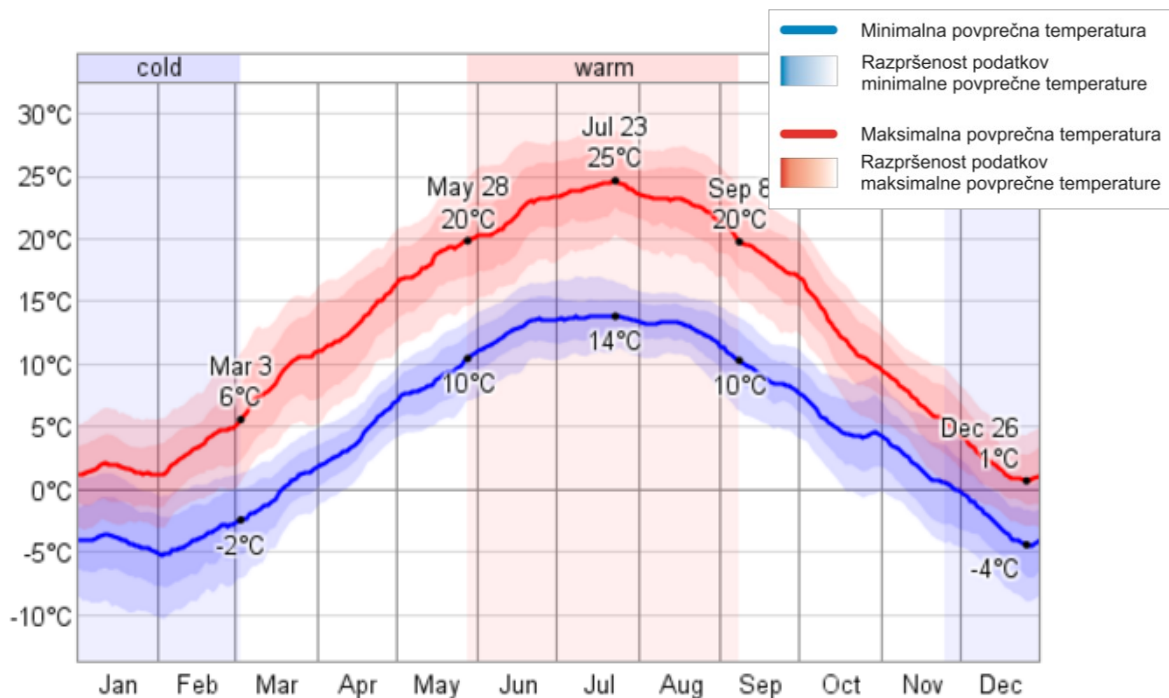
Slika 15: Verjetnost padavin v dnevu v Ljubljani, vir slike: [41].

Figure 15: Probability of precipitation during a day in Ljubljana, the figure source: [41].

4.1.2 Trbiž

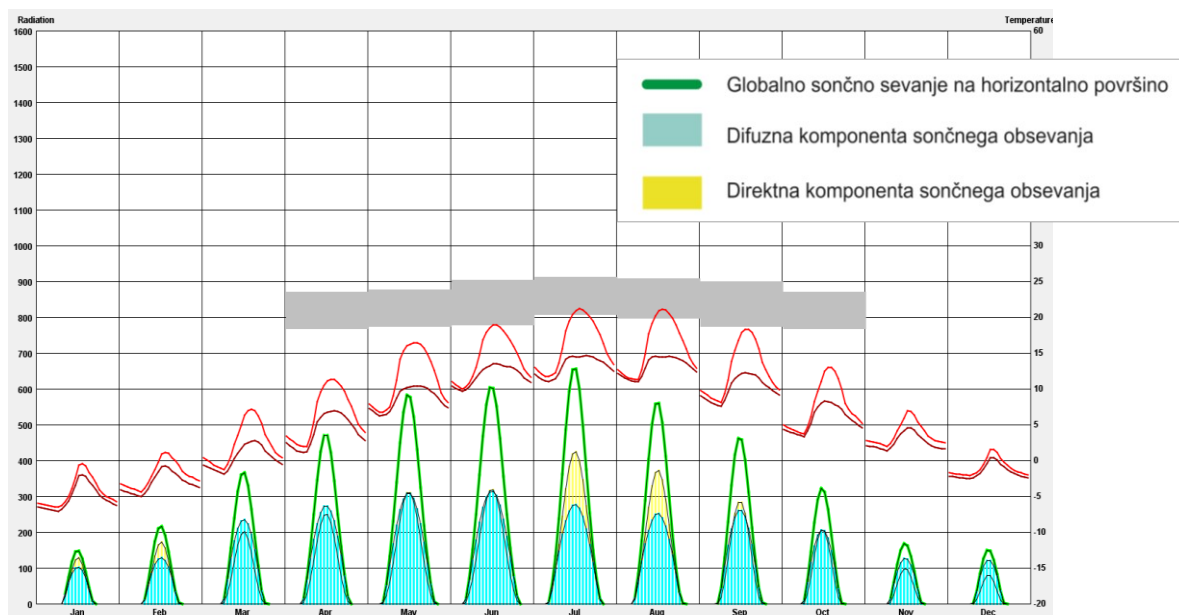
Kljub dokaj visoki nadmorski višini (778 m) in lokaciji v Alpah ima Trbiž delno gorsko, delno celinsko podnebje, saj ima zmerno topla poletja in nima ekstremno nizkih temperatur v zimskem času. Na Sliki 16 je prikazano gibanje maksimalnih in minimalnih povprečnih temperatur, ki so od -5 do 25 °C, kar je zopet precej velik razpon (30 K), vendar manjši kakor v Ljubljani. Precejšnja je tudi razlika med povprečne minimalno in povprečno maksimalno temperaturo zraka, najbolj poleti, in sicer 11 K, medtem ko pozimi ni tako opazna (5 K). Obdobje toplega vremena traja od maja do septembra, pri čemer je najtoplejši mesec običajno julij, z maksimalno povprečno temperaturo 25 °C in minimalno povprečno temperaturo 14 °C. Obdobje hladnega vremena traja od novembra do februarja. Najnižje temperature se pojavljajo med januarjem in februarjem, in sicer maksimalna povprečna temperatura 1 °C in minimalna povprečna temperatura -5 °C. Kakor v Ljubljani lahko pri analizi Slike 16 vidimo, da je razpršenost podatkov nihanja temperature precej široka v poletnem v zimskem času. Za razliko od Ljubljane sta si krivulji povprečne minimalne in maksimalne temperature pozimi nekoliko bližje. Kar nam pove, da lahko pričakujemo manjša nihanja med maksimalnimi in minimalnimi temperaturami.

Največja vrednost globalnega sončnega sevanja (na horizontalno površino) je na Sliki 17 opazna v poletnih mesecih (okoli 650 W/m²) in se postopno zmanjšuje v zimskem obdobju. Iz slike je razvidno tudi, da so meseci, ko očitno prevladuje difuzna komponenta, samo trije (marec, november in december), ter direktna v juliju, avgustu, februarju in januarju. Pri vseh drugih mesecih sta ti dve komponenti približno enaki. Trbiž je torej glede na stanje atmosfere manj oblačen kot Ljubljana.



Slika 16: Minimalna in maksimalna povprečna temperatura zraka v Trbižu, vir slike: [41].

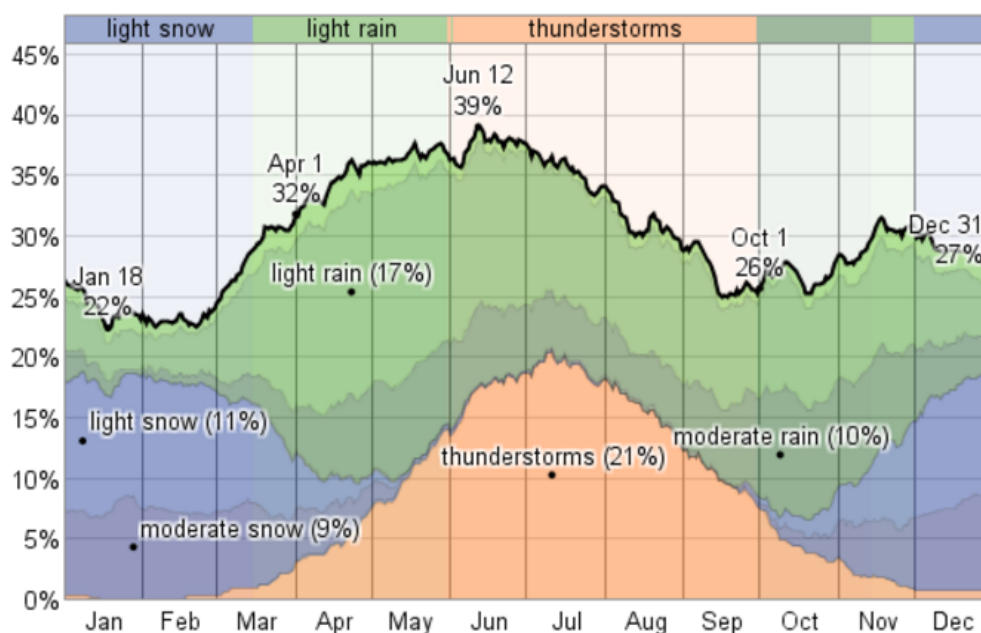
Figure 16: Minimal and maximal average air temperature in Tarvisio, the figure source: [41].



Slika 17: Delež direktnega in difuznega sončnega sevanja v Trbižu, vir slike: [56].

Figure 17: The share of direct and diffuse solar radiation in Tarvisio, the figure source: [56].

Če primerjamo Trbiž in Ljubljano je tukaj veliko manjša verjetnost padavin vse leto (okoli 30 % in do maksimalno 39 % poleti) kot kaže Slika 18. Verjetnost padavin precej upade pozimi in v prehodnih mesecih (predvsem jesenskih) na približno 26 %. V primeru padavin v zimskem času je velika verjetnost, da je to sneg.



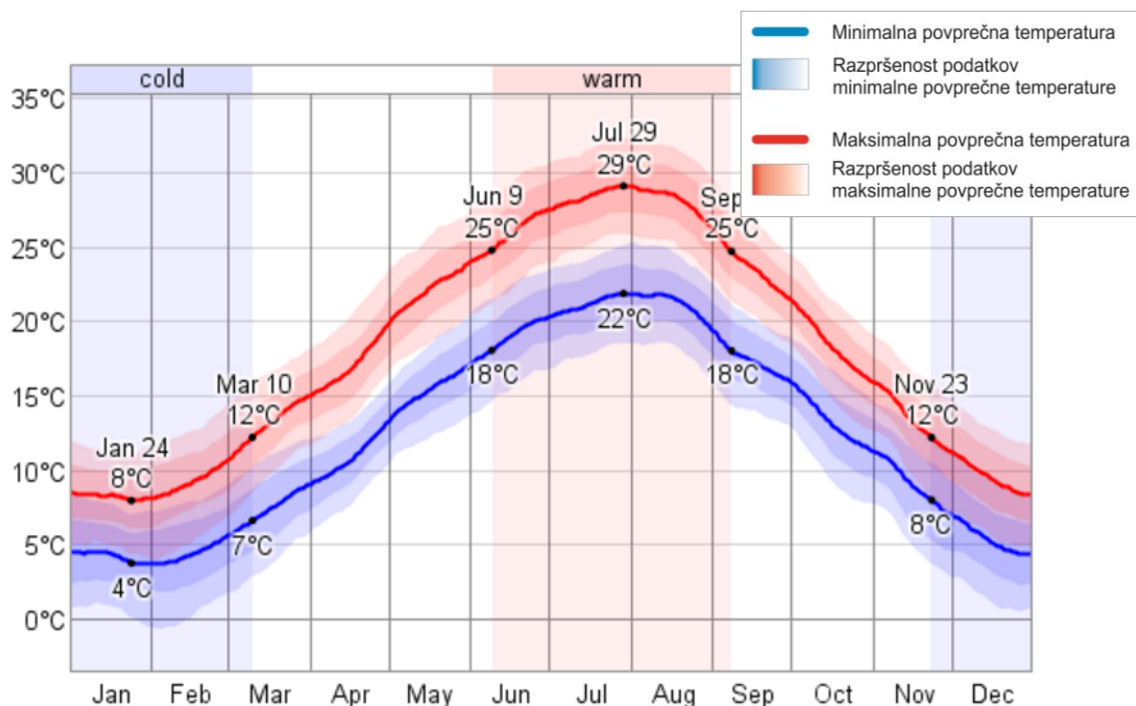
Slika 18: Verjetnost padavin v dnevu v Trbižu, vir slike: [41].

Figure 18: Probability of precipitation during a day in Tarvisio, the figure source: [41].

4.1.3 Trst

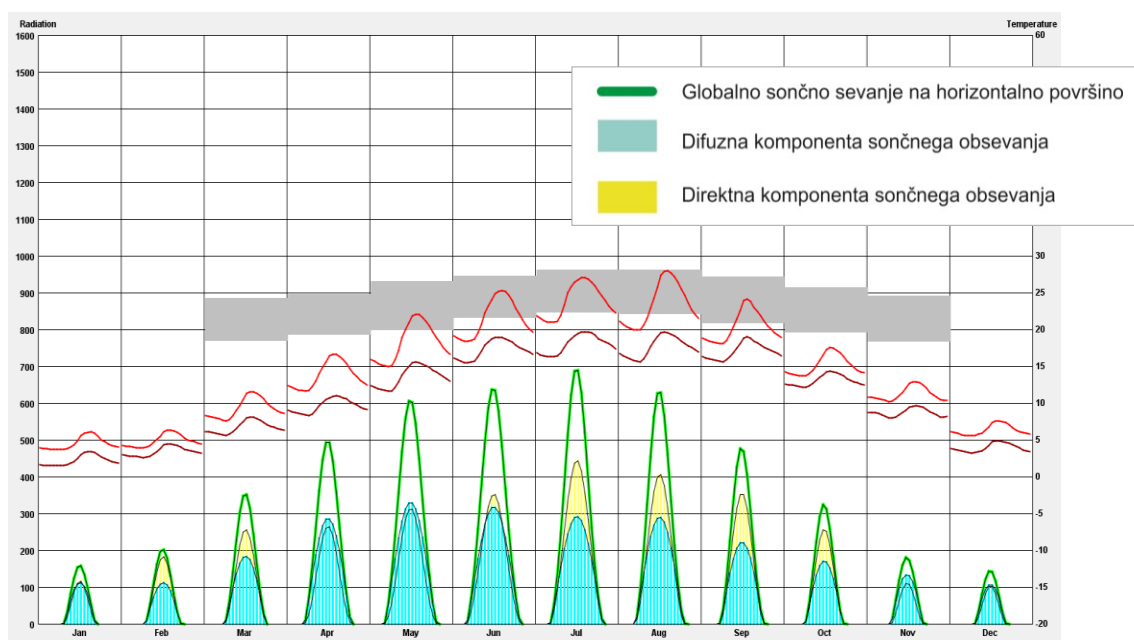
Zaradi bližine Jadranskega morja imamo v Trstu submediteransko podnebje. Na Sliki 19 je prikazano gibanje maksimalnih in minimalnih povprečnih temperatur, ki so od 4 do 29 °C, kar predstavlja najmanjši temperaturni razpon (25 K) od vseh treh lokacij. Temperature skoraj nikoli ne sežejo pod 0 °C. Glede na predhodne lokacije pri Trstu ni opaziti tako velikih razlik med povprečno minimalno in povprečno maksimalno temperaturo zraka. V poletnem času je razlika 7 K in v zimskem 4 K, obe krivulji sta opazno bolj skupaj. Obdobje toplega vremena traja od junija do septembra, pri čemer je najtoplejši mesec običajno julij, z maksimalno povprečno temperaturo 29 °C in minimalno povprečno temperaturo 22 °C, kar je precej višje kot pri drugih dveh lokacijah. Obdobje hladnega vremena traja od novembra do marca, najnižje temperature se pojavljajo februarja, in sicer maksimalna povprečna temperatura 8 °C in minimalna povprečna temperatura 4 °C. Razpršenost podatkov je zopet precej široka, ampak vse leto dokaj enakomerna, ni razlik v poletnem in zimskem času.

Vrednost globalnega sončnega sevanja (na horizontalno površino) je na Sliki 20 opazno največja v poletnih mesecih (okoli 700 W/m² – najvišja vrednost izmed treh lokacij) ter se postopno zmanjšuje v zimskem obdobju, ko so vrednosti precej nizke in podobne drugima dvema lokacijama (okoli 150 W/m²). Mesecev ko bi očitno prevladovala difuzna komponenta sončnega sevanja ni, medtem ko direktna komponenta sončnega sevanja prevladuje v večini mesecev (februar, marec, julij, avgust, september in oktober). Pri preostalih mesecih sta komponenti nekako izenačeni. Glede na Sliko 20 lahko trdimo, da je Trst najmanj oblačna lokacija z največjim deležem prejetega globalnega sončnega sevanja.



Slika 19: Minimalna in maksimalna povprečna temperatura zraka v Trstu, vir slike: [41].

Figure 19: Minimal and maximal average air temperature in Trieste, the figure source: [41].

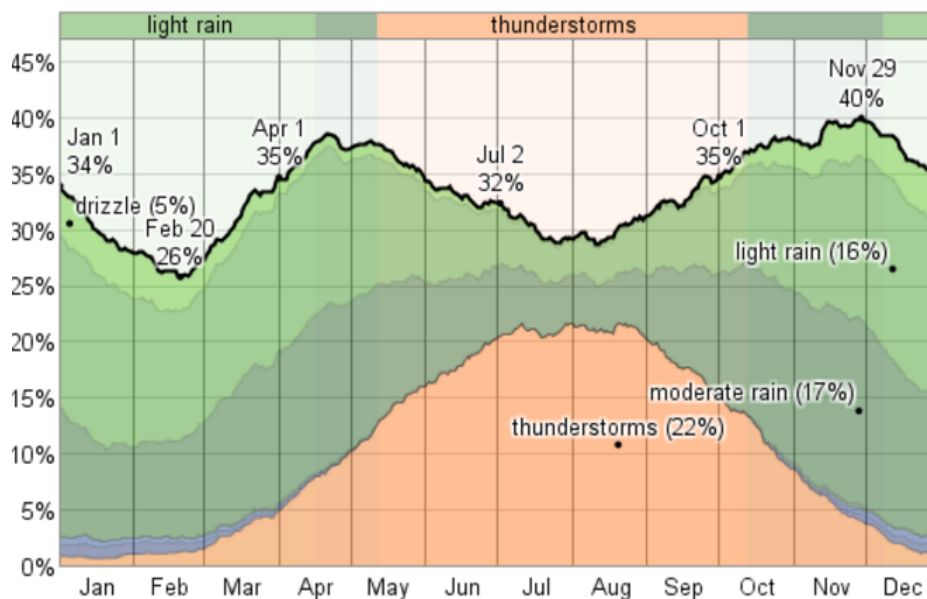


Slika 20: Delež direktnega in difuznega sončnega sevanja v Trstu, vir slike: [56].

Figure 20: The share of direct and diffuse solar radiation in Trieste, the figure source: [56].

Zanimivo je, da sta Trst in Trbiž glede verjetnost padavin precej izenačena (Slika 21), saj je le-ta skozi leto okoli 35 % in do maksimalno 40 % v novembru. Kljub temu pa se očitno medsebojno razlikujeta po razporeditvi padavin skozi leto. Največja verjetnost zanje je v spomladanskih in jesenskih obdobjih, medtem ko je v poletnem času ta verjetnost najmanjša. Taka razporeditev nas bolj spominja na Ljubljano, s to razliko, da maksimuma v Ljubljani ne pričakujemo novembra, ampak maja.

Verjetnost padavin precej upade februarja, na približno 26 %. V primeru padavin v zimskem času je verjetnost, da bo padal sneg, zanemarljiva.



Slika 21: Verjetnost padavin v dnevu v Trstu. vir slike: [41].

Figure 21: Probability of precipitation during a day in Trieste, the figure source: [41].

4.1.4 Vrednostna primerjava lokacij

Za lažjo primerjavo značilnosti obravnavanih lokacij so njihove glavne karakteristike predstavljene v Preglednici 6. Medsebojno sta si najbolj podobna Ljubljana in Trbiž, predvsem v vrednosti temperatur. Ljubljana ima največji povprečni temperaturni razpon skozi leto, velik razpon lahko ugotovljamo tudi med povprečno minimalno in maksimalno temperaturo. Torej lahko v Ljubljani pričakujemo precejšnja nihanja temperature. Na drugi strani imamo Trst z najmanjšimi temperaturnimi nihanji in temperaturami vedno nad 0 °C. Časovno se povprečni maksimumi in minimumi pri vseh lokacijah pojavljajo podobno. Ljubljana ima največ mesecev, v katerih prevladuje difuzna komponenta sončnega sevanja (najbolj oblačna lokacija), medtem ko pri Trstu ni opaziti meseca, ko bi ta komponenta očitno prevladovala. Ljubljana in Trst se pri razporeditvi padavin najbolj ujemata, medtem ko je Trst po količini padavin veliko bolj podoben Trbižu. Daleč največ padavin lahko pričakujemo v Ljubljani (55 %) in najmanj v Trbižu (30 %). Mesec, ko je potencial padavin najvišji, je pri vseh lokacijah različen, medtem ko je najmanj padavin v Trstu in Trbižu zaznati na začetku leta, je v Ljubljani drugače (oktober). Sneg lahko pričakujemo v Ljubljani in Trbižu.

Že osnovna vrednostna primerjava podatkov iz Preglednice 6 nam nakaže v kakšni smeri se bodo pri določeni lokaciji morali gibati pasivni ukrepi. Poleg tega lahko okvirno že trdimo, da bodo potrebni ukrepi pri Ljubljani in Trbižu podobni zaradi podobnih temperaturnih nihanj (zmanjševanje toplotnih izgub). Medtem ko bo Trst zaradi višjih temperatur in večje količine sončnega sevanja zahteval drugačne načrtovalske ukrepe (zmanjševanje pregrevanja).

Preglednica 6: Primerjava klimatoloških značilnosti izbranih lokacij.

Table 6: The comparison of climate characteristics of selected locations.

	Ljubljana	Trbiž	Trst
Podnebje	celinsko	gorsko/celinsko	submediteransko
Najvišja povprečna maksimalna temperatura [°C]	26	25	29
Najvišja povprečna minimalna temperatura [°C]	14	14	22
– mesec	julij	julij	julij
Najnižja povprečna maksimalna temperatura [°C]	2	1	8
Najnižja povprečna minimalna temperatura [°C]	-5	-5	4
– mesec	januar	januar/ februar	januar
Razlika med maksimalno in minimalno povprečno temperaturo [°C] (absolutno)	31	30	25
– poleti	12	11	7
– pozimi	7	5	4
Globalno sončno sevanje [W/m ²]	670	650	700
Prevladovanje difuzne komponente [št. mesecev]	5	3	0
Prevladovanje direktne komponente [št. mesecev]	4	4	6
Povprečna verjetnost padavin skozi leto [%]	55	30	35
Najvišja verjetnost padavin skozi leto [%]	62	39	40
– mesec	maj	junij	november
Najnižja verjetnost padavin skozi leto [%]	48	22	26
– mesec	oktober	januar	februar
Možnost snega [DA/NE]	DA	DA	NE

4.1.5 Študija bioklimatskega potenciala

Kot smo že velikokrat omenili, je od lokacije in njenih podnebnih značilnosti odvisno, kakšne načrtovalske ukrepe bo treba sprejeti, da bo stavba kar najbolj sama uravnavala vpliv zunanjih sprememb na notranje okolje. Z besedno zvezo *bioklimatski potencial* lokacije označujemo, kakšen potencial ima lokacija (odstotek časa v letu), da je v stavbi zagotovljeno bivalno ugodje zgolj na podlagi pasivnih ukrepov.

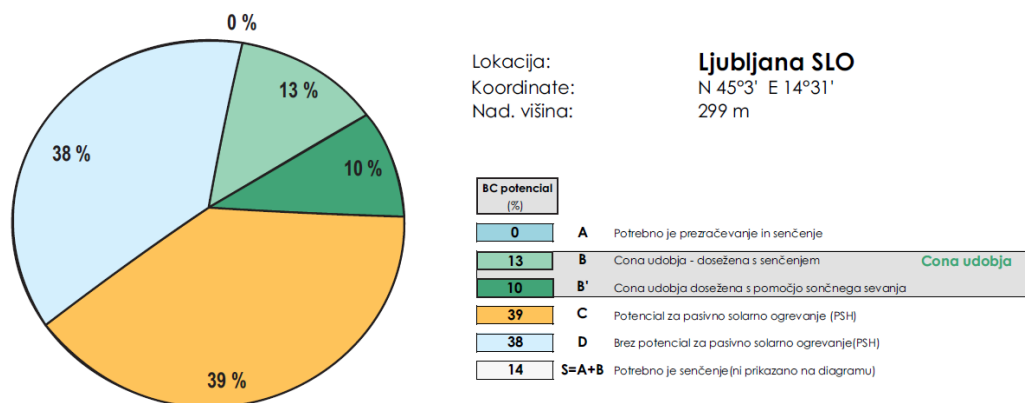
Specifične lokacije lahko glede na Pajek in Košir [1] združimo v tri značilna območja in sicer »topla«, »hladna« in »prehodna«. Bioklimatski potencial [44] razčlenimo na posamezne sklope, označene s črkami A, B, B', C, D in S, katerih pomen je razložen v Preglednici 7. Območja, ki spadajo v »topla«, okarakterizirajo visoke vrednosti potrebe po senčenju (S) in doseganje ugodja s pomočjo senčenja (B), hkrati nizke oziroma zanemarljive vrednosti potenciala (potrebe) za pasivno solarno ogrevanje (PSH) ter relativno visoke kombinacije senčenja in prezračevanja (A); čeprav se ugodje lahko doseže tudi z ustrezno kombinacijo senčenja in termične mase. Za »hladna« območja so značilne nizke oziroma zanemarljive vrednosti S in B ter visoke vrednosti potenciala PSH oziroma C (nad 30 %). Medtem ko so »prehodna« območja nahajajo nekje vmes, vrednosti S in B se gibljejo relativno visoko (okoli 10 %) in vrednost A je zanemarljiva. Kljub temu se vrednost brez potenciala PSH giblje pod 30 %. Visoke vrednosti S nakazujejo potencial pregrevanja in potencial pasivnih ukrepov za zmanjševanje pregrevanja. V nasprotnem primeru lahko v stavbi pričakujemo veliko potrebo po energiji za ohlajevanje.

Preglednica 7: Razlaga pojmov bioklimatskega potenciala na lokaciji.

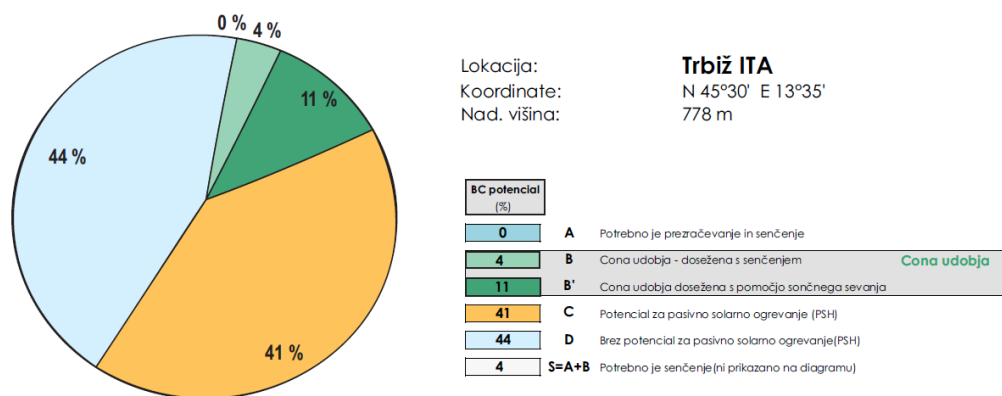
Table 7: Explanation of bioclimatic potential concept.

	Razlaga pojmov
A	Potrebno je prezračevanje in senčenje
B	Cono udobja dosežemo s pomočjo senčenja
B'	Cono udobja dosežemo s pomočjo koriščenja sončnega sevanja
C	Potencial za pasivno solarno ogrevanje
D	Brez potenciala za pasivno solarno ogrevanje
S	Potrebno je senčenje

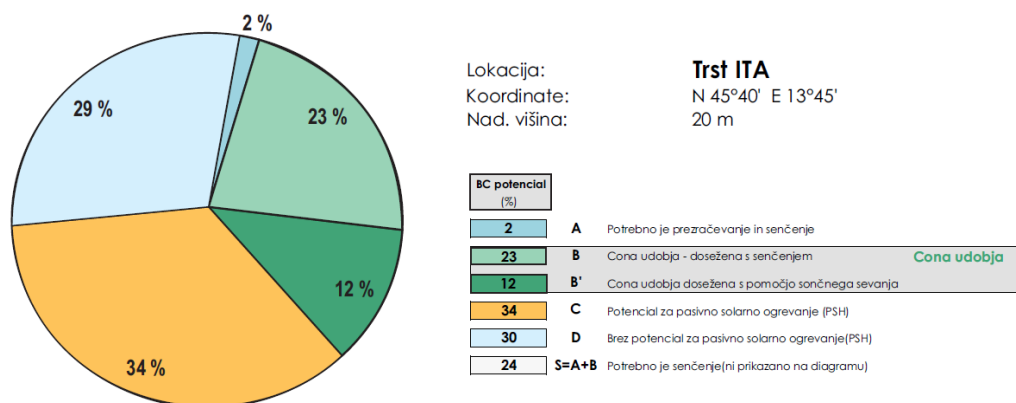
Rezultati bioklimatskega potenciala izbranih lokacij bodo predstavljali vodilo za integracijo pasivnih ukrepov oziroma priporočila za doseganje čim boljšega ugodja v stavbi. Ker se v naši nalogi na splošno ukvarjamo z reduciranjem energije, želimo z integracijo ustreznih pasivnih ukrepov doseči zmanjšanje potrebne energije za obratovanje stavbe. Do omenjenih rezultatov pridemo z uporabo programskega orodja BcChart. Analizirane bodo lokacije Ljubljana, Trbiž in Trst.



Slika 22: Rezultati bioklimatskega potenciala za Ljubljano.
Figure 22: Bioclimatic potential results for Ljubljana.



Slika 23: Rezultati bioklimatskega potenciala za Trbiž.
Figure 23: Bioclimatic potential results for Tarvisio.



Slika 24: Rezultati bioklimatskega potenciala za Trst.
Figure 24: Bioclimatic potential results for Trieste.

Preglednica 8: Primerjava vrednosti bioklimatskega potenciala treh lokacij.
Table 8: The comparison of bioclimatic potential of thee locations.

	A	B	B'	C	D	S
Ljubljana	0	13	10	39	38	14
Trbiž	0	4	11	41	44	4
Trst	2	23	12	34	29	24

Iz Preglednice 8 in Slik 22, 23 in 24 lahko razberemo, da imamo v Trstu največji potencial (največja vrednost S) za pregrevanje in najmanjši v Trbižu. Te ugotovitve lahko povežemo tudi z klimatološkimi ugotovitvami v poglavju 4.1.4. Visoka D vrednost na lokaciji Trbiž nam pove, da zaradi manjših solarnih dobitkov in hladnega ozračja nimamo tako velikega potenciala za PSH. Zaradi hladnega podnebja v Trbižu s pasivnimi ukrepi težko ustvarimo ustrezno toplotno okolje. Medtem ko je v Trstu indeks D nizek, kar nam pove, da zaradi milih zim in veliko solarnih dobitkov lahko pričakujemo večji PSH potencial. Hkrati lahko cono udobja precej povečamo s senčenjem (visoka B vrednost). V prehodnih območjih, kjer lahko hkrati pričakujemo potrebo po ogrevanju in ohlajevanju, je za te lokacije značilna približna enaka vrednost B in B' vrednosti, kot jo lahko opazimo v Ljubljani. Hkrati so v Ljubljani S vrednosti nižje od tistih v toplih območjih (Trst) in višje od tistih v hladnih območjih (Trbiž). A vrednosti so kot pri Trbižu zanemarljive. Minimalna potreba po kombinaciji senčenja in prezračevanja (A) se pojavi v Trstu. Pri vseh treh lokacijah lahko opazimo približno enako vrednost B', kar pomeni da se potencial za solarne dobitke vseeno tako ne razlikuje (enaka geografska širina in dolžina). Iz vrednosti B' je opazno le, da je Ljubljana najbolj oblačna lokacija in Trst najmanj.

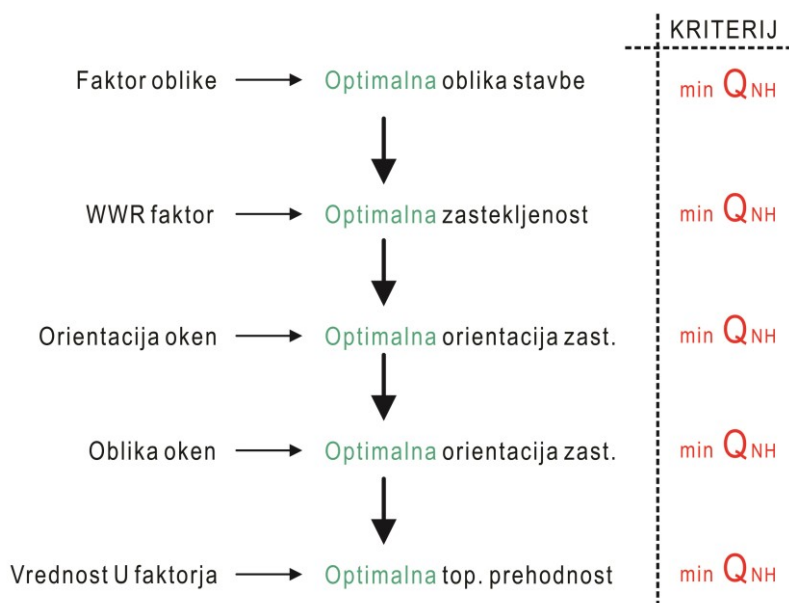
Torej, če povzamemo, bo stavba v Trstu zahtevala največ pasivnih ukrepov za preprečitev pregrevanja (senčenje, prezračevanje) in bo porabo energije narekovala predvsem potreba po ohlajevanju. Pri Trbižu lahko pričakujemo obratno situacijo, in sicer prevladovala bo potreba po ogrevanju, ohlajevanje stavbe pa bo zanemarljivo. Pomembni bodo ukrepi za PSH. Podobno, kot se glede na podnebne značilnosti Ljubljana nahaja med obema lokacijama, tudi tukaj pričakujemo vmesne ukrepe: hkrati precej veliko potrebo po ohlajevanju (potrebno senčenje) pa tudi nezanemarljivo potrebo po ogrevanju (manjši potencial PSH).

4.2 Modeliranje

S procesom modeliranja stavbe smo želeli slediti poteku načrtovanja, predstavljenem na Sliki 8, in sicer najprej določimo obliko stavbe, potem ovoj stavbe in na koncu implementiramo ugotovitve v prototipu stavbe. Omenjene tri korake načrtovanja razdelimo sistematično v tri modele stavb (primarni model, sekundarni model in prototip stavbe). Ugotovitve in rezultati iz predhodnega modela bodo upoštevani v naslednjem modelu.

4.2.1 Primarni model

Pri modeliranju oblike stavbe se ne bomo ukvarjali z ovojem (ne bomo modelirali senčil in dejanskih odprtin) oziroma bomo definirali ovoj do te mere, da bomo lahko dobili merodajne rezultate minimalne letne potrebne toplote za ogrevanje (Q_{NH}). Kar pomeni, da bomo zagotovili ustrezno vrednost toplotne prehodnosti KS, da zadostimo zakonodaji [33]. Ravno zaradi nedefiniranosti ovoja kot merodajni kriterij ne moremo upoštevati neto potrebne energije (Q_T), ampak Q_{NH} . Postopek modeliranja je predstavljen na Sliki 25, najprej bomo določili optimalni faktor oblike (f_o), ki nam definira tudi obliko stavbe, potem nas bo zanimalo, kako na porabo energije vplivata delež in orientacija zasteklitve, na koncu bomo skušali opisati smernice zniževanja porabe energije v odvisnosti od linearnega povečevanja debeline toplotne izolacije. Kot prikazuje Slika 25, bo kriterij za izbiro optimalnega pasivnega ukrepa vrednost Q_{NH} .



Slika 25: Grafični prikaz postopka načrtovanja primarnega modela.
Figure 25: Graphical representation of primary model design process.

4.2.1.1 Vhodni podatki

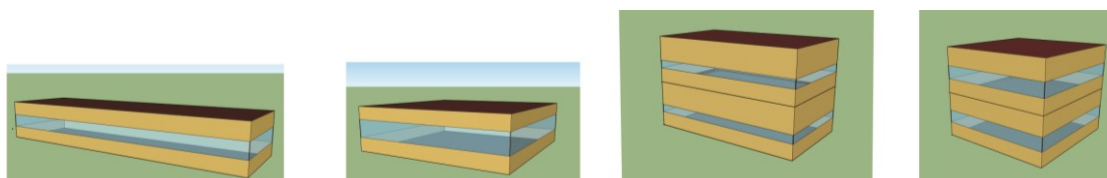
Seveda so osnovni vhodni podatki, ki jih potrebujemo za modeliranje, zahteve in želje naročnika ter klimatološke značilnosti, ki smo jih že definirali. Zato bomo tukaj opisali vse variante pasivnih ukrepov, ki smo jih medsebojno primerjali in iskali naj-optimalnejšo.

Oblika stavbe: Opiramo jo na zahtevano neto uporabno površino v stavbi (140 m^2 – Poglavje 3.3), na podlagi katere smo si zamislili štiri osnovne oblike (štiri modeli) in jim določili faktor oblike. V Preglednici 9 so definirane dimenzije štirih modelov (oblika kvadra) in pripadajoče vrednosti f_o . Ti so razdeljeni od največjega ($f_o = 1,05$) do najmanjšega ($f_o = 0,82$). Definirali smo dve enoetažni in dve dvoetažni stavbi. Način izračuna faktorja oblike in obrazloženi pojmi so predstavljeni v Poglavju 3.5.1. Z analizami bomo poskušali ugotoviti, pri katerem faktorju oblike dosežemo potencialno najmanjši Q_{NH} . Vrednost »a« predstavlja širino, vrednost »b« dolžino in vrednost »c« višino kvadra (stavbe).

Preglednica 9: Faktorji oblike štirih modelov.
Table 9: Building shape factors of four models.

	Enoetažna stavba		Dvoetažna stavba	
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
a [m]	6	11,2	6	8
b [m]	20,8	11,2	10,4	7,8
c [m]	3,2	3,2	6,4	6,4
V [m ³]	400	400	400	400
A _e [m ²]	421,7	393,1	335,1	327,4
f_o	1,05	0,98	0,84	0,82
WWR [%]	33,4	40	17,1	28,4

Delež zasteklitve pri analizi oblike stavbe: Dodatna predpostavka, ki smo jo uvedli pri analiziranju oblike stavbe. Pri vseh štirih modelih smo želeli zagotoviti primerljivo količino sončnih dobitkov. Zasteklitev na modelu smo definirali zato, da le-ta bolj odraža realno stavbo. Enako količino sončnih dobitkov lahko zagotovimo z enako površino zasteklitve. Zato smo za izhodiščno površino zasteklitve določili s 40 % WWR na Modelu 2, to površino pa preračunali na WWR faktorje pri preostalih modelih. Slika 26 prikazuje modele, ki so bili uporabljeni za analizo optimalne oblike stavbe. Prva dva modela sta enoetažna, medtem ko sta druga dva dvoetažna. Razvidno je, da sta Model 1 in Model 3 izrazito podolgovata ter Model 2 in Model 4 po tlorisu bolj enakostranična.



Slika 26: Prikaz modelov uporabljenih za analizo optimalnosti oblike, od leve proti desni: Model 1 in $f_o = 1,05$; Model 2 in $f_o = 0,98$; Model 3 in $f_o = 0,84$; Model 4 in $f_o = 0,82$.

Figure 26: Presentation of models used in optimal shape analysis, from left to right: Model 1 and $f_o = 1,05$; Model 2 and $f_o = 0,98$; Model 3 and $f_o = 0,84$; Model 4 and $f_o = 0,82$.

Delež zasteklitve: Naslednji korak je bil definicija stavbnega ovoja, zanimalo nas je, kako bo delež zasteklitve (na predhodno določeni optimalni obliki) vplival na Q_{NH} . Želeli smo preveriti širok spekter deleža zasteklitve, zato smo definirali 5 osnovnih WWR faktorjev s korakom velikosti 10 % (20, 30, 40, 50 in 60 %).

Orientacija optimalnega deleža zasteklitve: Do te točke smo imeli zasteklitev na stavbi definirano enakomerno po celotnem obodu modela. Tako smo lahko zanemarili vpliv orientacije zasteklitve. Orientacijo odprtín smo analizirali tako, da smo delež zasteklitve kombinirali glede na posamezne stene. Predpostavimo, da imamo na steni lahko polno zasteklitve (100 % delež optimalnega WWR), polovično zasteklitev (50 % delež optimalnega WWR) ali je stena brez zasteklitve (0 % delež optimalnega WWR).

Oblika zasteklitve: Pri okvirnem načrtovanju ovoja stavbe smo želeli analizirati tudi osnovno obliko oken. Program pri izračunu radiacijskih dobitkov upošteva tudi debelino zidu. Zato sama oblika zasteklitve vpliva na količino sončnih dobitkov. Oblike zasteklitve smo preverjali tako, da razen na jugu ohranimo okna porazdeljena po celotni širini stene. Na južni steni pa analiziramo različne oblike oken. Te oblike so izrazito podolgovate, izrazito visoke ali bolj enakostranične pri enaki skupni površini zasteklitve. Pri tem smo ovoj definirali z naslednjimi vrednostmi toplotne prehodnosti. Toplotna prehodnost KS tal znaša $0,274 \text{ W/m}^2\text{K}$, KS stene znaša $0,190 \text{ W/m}^2\text{K}$, KS strehe znaša $0,127 \text{ W/m}^2\text{K}$ in zasteklitve $1,06 \text{ W/m}^2\text{K}$. Z izbranimi vrednostmi zadostimo omejitvam po TSG [33].

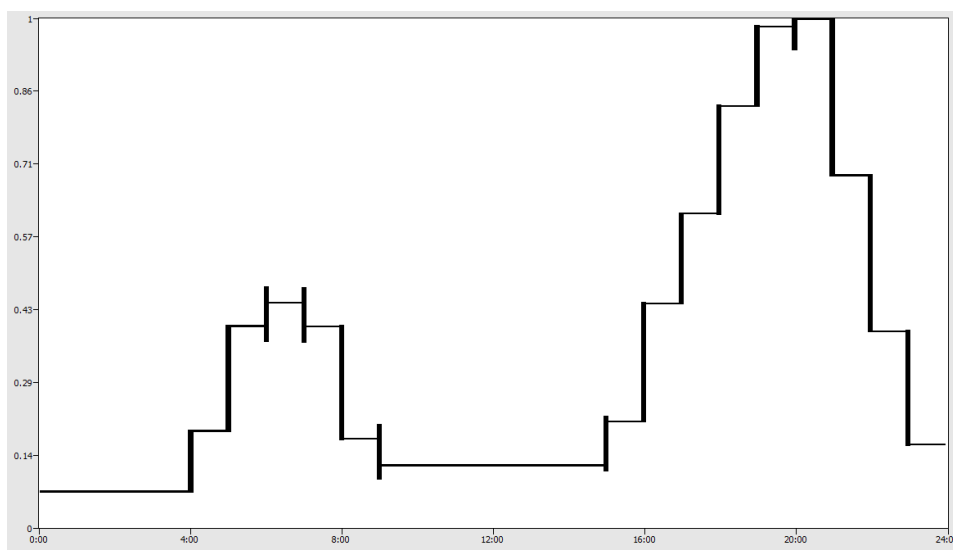
Definicija urnikov: Za pravilen izračun porabe energije program EnergyPlus potrebuje podatke o delovanju in zasedenosti stavbe. Te podatke program dobi s pomočjo urnikov. Urnik definiramo na dnevni in letni ravni. Zanima nas predvsem urnik ogrevanja in ohlajevanja stavbe, urnik razsvetljave, urnik prezračevanja, urnik aktivnosti in urnik zasedenosti. Urnik zasedenosti potrebuje dodatne informacije o notranjih dobitkih. Z urnikom ogrevanja in ohlajevanja določimo temperaturo zraka v toplotni coni in predpostavimo, da se stavba v kurilni sezoni ogreva na $22 \text{ }^\circ\text{C}$, zunaj kurilne sezone pa dovoljujemo minimalno temperaturo $18 \text{ }^\circ\text{C}$. Stavba se ohlajuje, ko temperatura zraka v prostoru preseže temperaturo $26 \text{ }^\circ\text{C}$. Tako ogrevanje kot ohlajevanje stavbe je na dnevni ravni predpostavljeno kot konstantno in vse izgube pri prenosu energije so predpostavljene kot zanemarljive (ang. »*Ideal air loads*«). Prezračevanje simuliramo kot mehansko in konstantno tako na letni kot dnevni ravni, enako velja za infiltracijo. Pri analizah uporabljene vrednosti lahko razberemo iz Preglednice 10 in izhajajo iz Pravilnika za prezračevanje in klimatizacijo stavb [34] – minimalna volumska izmenjavo zraka, ko so v stavbi ljudje je $0,5 \text{ l/h}$ in standarda SIST EN ISO 13790 [35] – vrednost toplotnega toka, ki ga oddaje ena oseba je 70 W , razsvetljava v stanovanjskih stavbah je 8 W/m^2 . Primarni model stavbe je definiran z eno toplotno cono in dvema prostoroma (pritličje ter nadstropje pri dvoetažnih stavbah). Vrednost zahtevane volumske izmenjave zraka predstavlja vsoto infiltracije in mehanskega prezračevanja.

Preglednica 10: Vhodni podatki primarni model.

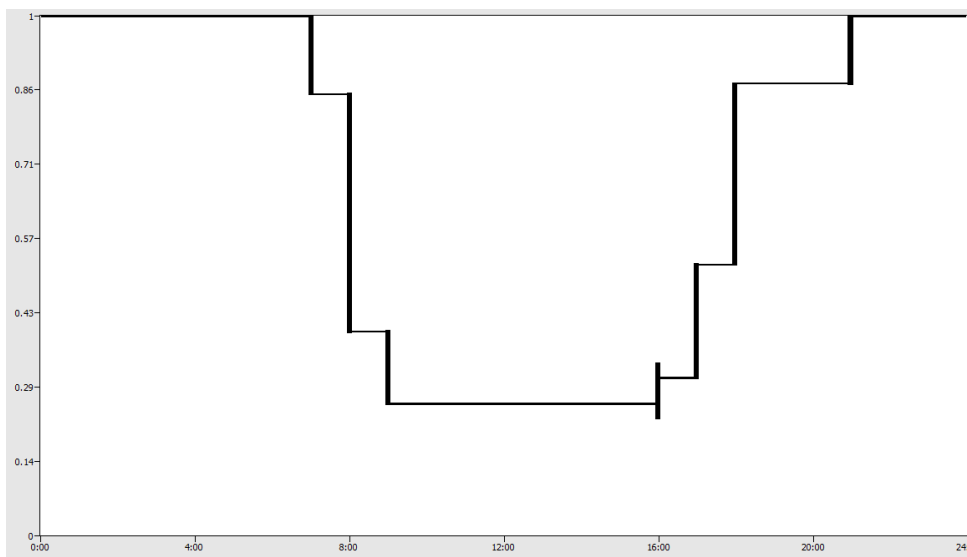
Table 10: The input data of the first model.

Toplotna cona	Število prostorov	Notranji dobitki		Izmenjava zraka	
1	2	Razsvetljava	8 W/m^2	Mehansko prezračevanje	$0,28 \text{ l/h}$
		Uporabniki	70 W/osebo	Infiltracija	$0,22 \text{ l/h}$
		Število uporabnikov	4	Σ :	$0,50 \text{ l/h}$

Pri urnikoma razsvetljave (Slika 27) in zasedenosti (Slika 28) konstantnosti ne moremo prevzeti oziroma to ne bi bilo smiselno, saj se aktivnost uporabnikov skozi dan zelo spreminja. Največjo porabo razsvetljave lahko predpostavimo zjutraj in zvečer, medtem ko je skozi dan minimalna. Iz Slike 28 je razvidno, da je pri urniku zasedenosti situacija enaka, saj lahko pričakujemo največjo zasedenost stavbe v večernih in jutranjih urah. Zaradi ohranjanja enostavnosti analiz pri urnikih ne razlikujemo med delovnimi dnevi in vikendom. Urnika zasedenosti in razsvetljave sta privzeta iz podanih predlog v programu EnergyPlus in sta namenjena za analize pri stanovanjih v večstanovanjskih hišah (ang. »*mid-rise apartments*«), dobro pa delujejo tudi v našem primeru. Za vse tri lokacije uporabimo enake vhodne podatke, razlikujejo se samo v klimatoloških podatkih.



Slika 27: Uporabljen urnik za razsvetljavo v programu EnergyPlus.
Figure 27: Lighting schedule used in EnergyPlus program.



Slika 28: Uporabljen urnik za zasedenost stavbe v programu EnergyPlus.
Figure 28: Activity schedule used in EnergyPlus program.

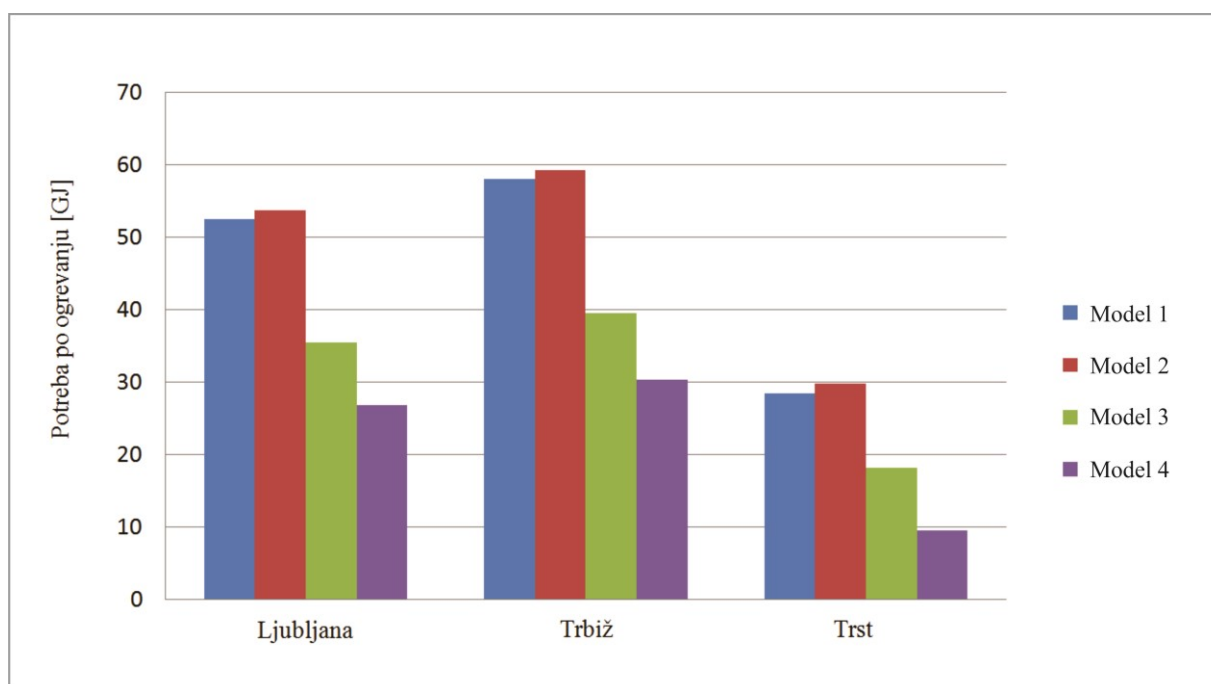
4.2.1.2 Rezultati

Oblika stavbe: Pri vseh lokacijah se kot optimalen model izkaže Model 4 z najmanjšim faktorjem oblike ($f_o = 0,82$), kar je tudi pričakovan rezultat, saj nam majhen faktor oblike omogoča manjše toplotne izgube (transmisijske izgube skozi ovoj stavbe). Za določen volumen (uporabno površino) imamo pri najmanjšem faktorju oblike najmanj obodne površine v stiku z zunanostjo. Rezultati iz Preglednice 11 nakazujejo na splošno največjo Q_{NH} pri lokaciji Trbiž (30,34 GJ) in najmanjšo v Trstu (9,55 GJ); vpliv spreminjanja oblike je največji v Trbižu. Ljubljana je s 26,9 GJ porabe nekje vmes, vendar je po vrednostih bližje Trbižu kot Trstu. Podobnost s Trbižem se je nakazovala že pri podnebnih analizah lokacije.

Preglednica 11: Rezultati faktorja oblike.

Table 11: The results of the building shape factor.

		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Q_{NH} [GJ]	Ljubljana	52,54	53,69	35,5	26,9
	Trbiž	58,04	59,25	39,56	30,34
	Trst	28,51	29,75	18,2	9,55



Grafikon 1: Prikaz spreminjanja Q_{NH} s spreminjanjem faktorja oblike

Graph 1: Representation of variation of the Q_{NH} with changing building shape factor

Optimalni model stavbe je glede na rezultate iz Preglednice 11 in Grafikona 1 dvoetažna stavba s kvadratnim tlorisom (Model 4). Medtem ko je najbolj energijsko potrošen pritlični Model 2 s kvadratnim tlorisom, kar je zanimivo, saj ta model nima največjega faktorja oblike (Model 1). Logično pojasnilo tega rezultata zahteva poglobitev v količino zasteklitve na specifično orientiranih straneh stavbe. Oba modela (Model 1 in 2) imata skupno enako površino zasteklitve, razlika je ta, da ima

Model 1 na južno orientirani steni večjo površino zasteklitve kot Model 2. Posledično ima večji potencial sončnih dobitkov skozi južno orientirano zasteklitev in potrebuje manj energije za ogrevanje stavbe. Zaradi kvadratne tlorisne oblike optimalnega modela bomo spreminjanje orientacije kot pasivni ukrep lahko izpustili.

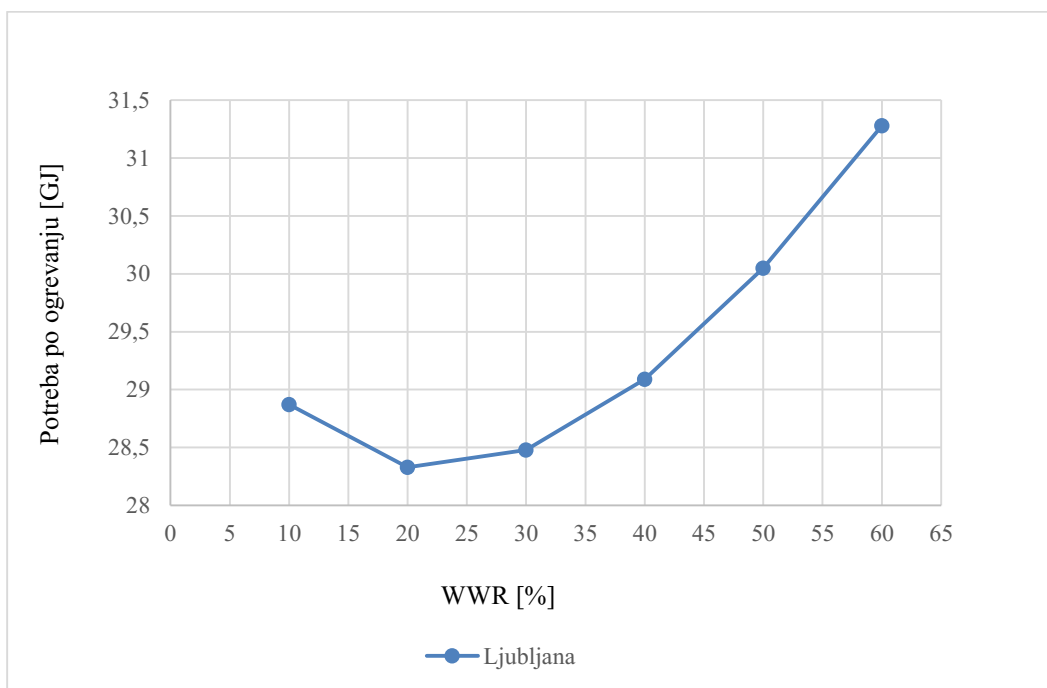
Delež zasteklitve: Analize so bile opravljene na optimalni obliki modela stavbe (Model 4). Vrednosti iz Preglednice 12 nakazujejo na podobnosti med lokacijama Trbiž in Ljubljana, pri obeh lokacijah je optimalni WWR 20 %. Ta delež je nekoliko manjši kot v Trstu, kjer je zahtevan WWR 30 %. Iz teh rezultatov se kaže povezava na bioklimatski potencial, ki pravi, da bo v Trbižu in Ljubljani večji poudarek na zmanjšanju transmisijских izgub skozi ovoj stavbe. V mislih imejmo, da je toplotna prehodnost okna precej večja kot pri netransparetnem delu. Zato je pri takšnih lokacijah v deležu zasteklitve pomembno poiskati ravnotežje med izgubami in dobitki. Z večjim deležem zasteklitve v Trstu omogočamo večji potencial za PSH stavbe.

Preglednica 12: Q_{NH} in spreminjanje WWR.

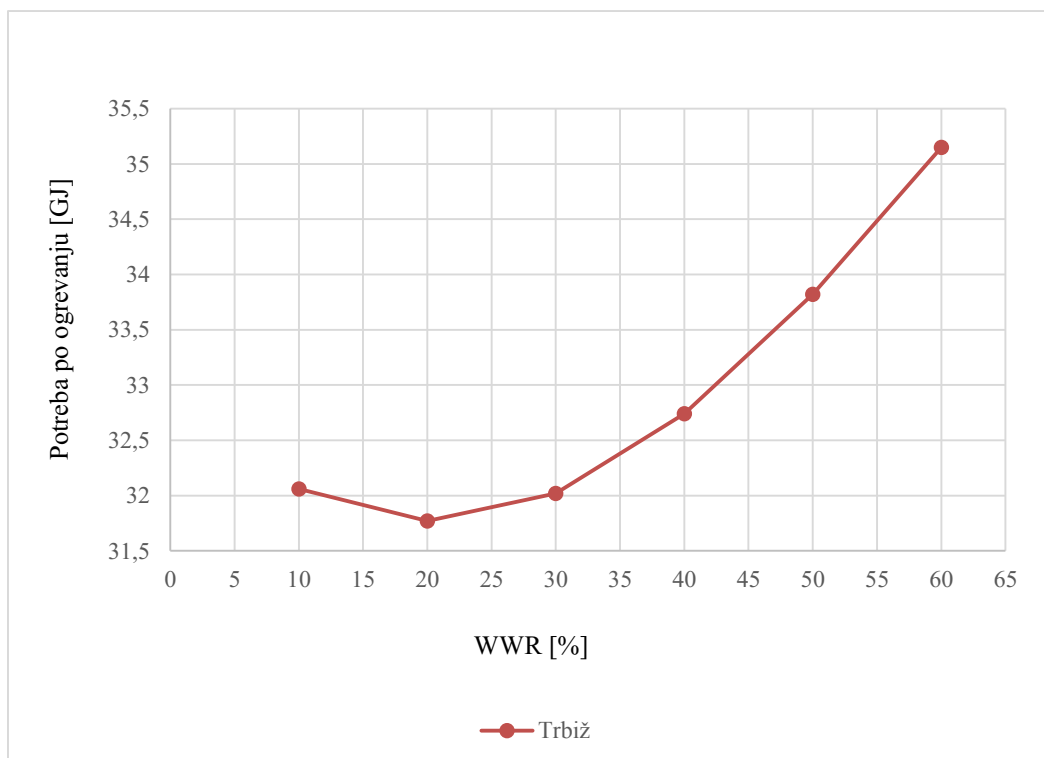
Table 12: Change of Q_{NH} in relation to WWR.

Ljubljana		Trbiž		Trst	
WWR [%]	Q_{NH} [GJ]	WWR [%]	Q_{NH} [GJ]	WWR [%]	Q_{NH} [GJ]
10	28,87	10	32,06	10	17,15
20	28,33	20	31,77	20	16,4
30	28,48	30	32,02	30	16,26
40	29,09	40	32,74	40	16,43
50	30,05	50	33,82	50	16,78
60	31,28	60	35,15	60	17,3

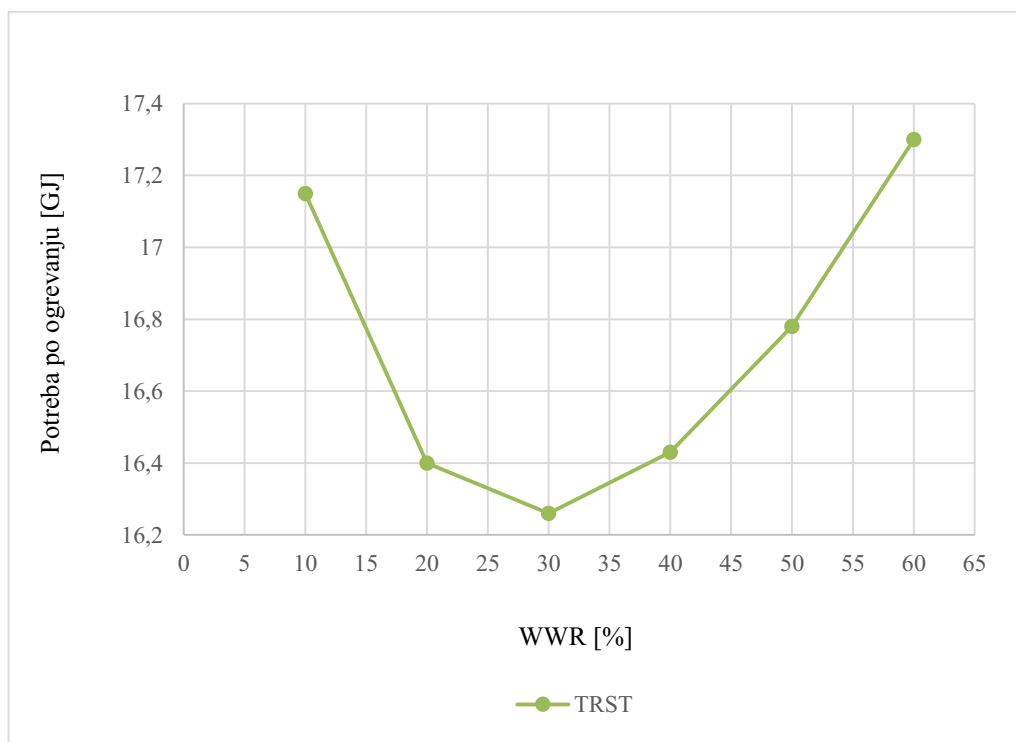
Grafični prikaz gibanja Q_{NH} ob spreminjanju WWR na lokaciji Ljubljana lahko opazimo na Grafikonu 2, optimalna vrednost pri 20 % se bolj nagiba k vrednosti 30 % kot 10 % WWR. Pri vrednosti 40 % pa začne Q_{NH} hitro rasti. Lahko trdimo, da so vrednosti 50 in 60 % WWR glede na Q_{NH} zelo nezaželene. Še sprejemljive vrednosti pa so 10, 30 in 40 % WWR. Podobno se obnaša tudi krivulja na Grafikonu 3, ki predstavlja lokacijo Trbiž, z optimalno vrednostjo pri 20 % in rahlim nagibanjem k vrednosti WWR 30 %. Kot pri Ljubljani lahko vidimo, da so vrednosti 40, 50 in 60 % WWR glede na Q_{NH} zelo nezaželene ter vrednosti 10 in 30 % WWR še sprejemljive. Pri Trstu (Grafikon 4) je opazen izrazit minimum pri WWR 30 % (optimalnejši 20 % kot 40 % WWR). Za razliko od preostalih dveh lokacij bi v Trstu s prevelikim zmanjšanjem WWR zelo povečali Q_{NH} , zato sta 20 in 40 % WWR glede na Q_{NH} še sprejemljiva deleža in vrednosti 10, 50 in 60 % WWR zelo nezaželene. Majhen delež zasteklitve ne bi omogočal dovolj pritoka sončne energije (manjši PSH potencial), prevelik delež zasteklitve pa bi v zimskem času omogočal prevelike transmisijske izgube. Zavedati se moramo, da potrebe po ohlajevanju trenutno ne obravnavamo in bi prevelik delež zasteklitve v Trstu v poletnem času povečal možnost pregrevanja. Pri sami primerjavi ne smemo spregledati, da je v Trstu razlika med maksimalno in minimalno porabljeno energijo približno 1 GJ, medtem ko je v Ljubljani in Trbižu ta razlika do okoli 3 GJ. Torej »utež« spreminjanja zasteklitve pri obravnavanih lokacijah ni enaka, to lahko razberemo v Grafikonu 5. Skupna primerjava smernic spreminjanja Q_{NH} (Grafikon 5) v odvisnosti od spreminjanja WWR v splošnem pokaže, da ima Trst daleč najmanjšo in Trbiž največjo Q_{NH} , kar je nakazoval tudi bioklimatski potencial.



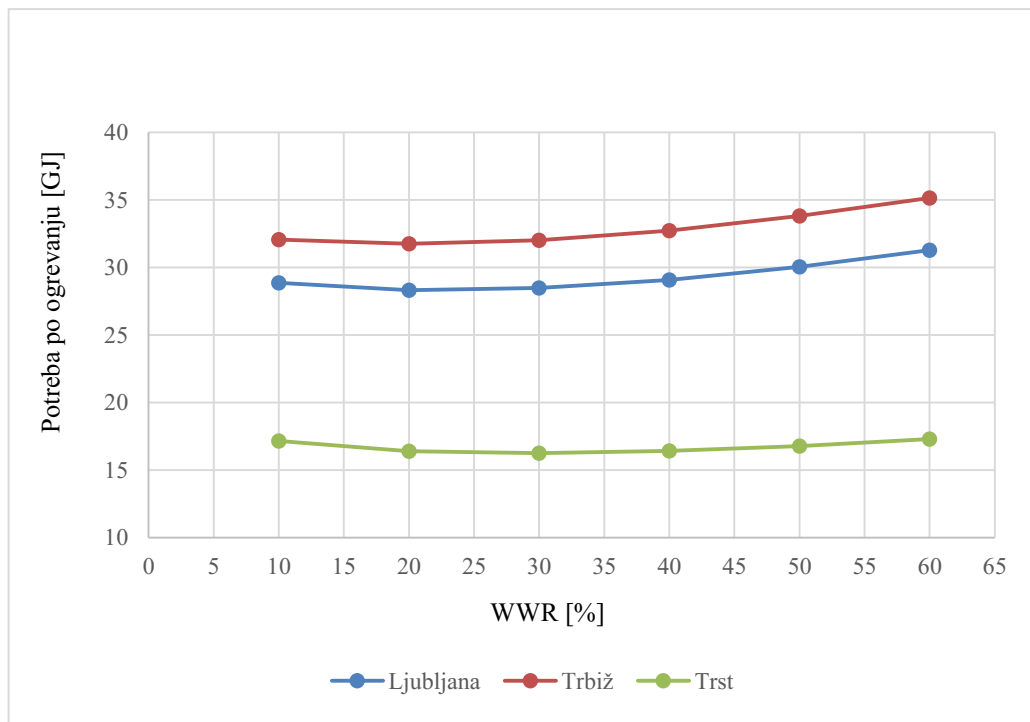
Grafikon 2: Krivulja odvisnosti WWR in potrebe po ogrevanju v Ljubljani.
Graph 2: Dependence between WWR and needed heating energy in Ljubljana.



Grafikon 3: Krivulja odvisnosti WWR in potrebe po ogrevanju v Trbižu.
Graph 3: Dependence between WWR and needed heating energy in Tarvisio.



Grafikon 4: Krivulja odvisnosti WWR in potrebe po ogrevanju v Trstu.
Graph 4: Dependence between WWR and needed heating energy in Trieste.



Grafikon 5: Primerjava spreminjanja WWR in potrebe po ogrevanju, prikazane vse lokacije skupaj.
Graph 5: Comparison of WWR and needed heating energy in all three locations.

Orientacija optimalnega deleža zasteklitve: Preverimo, kako na spreminjanje potrebe po ogrevanju vpliva orientacija odprtín. Splošno znano je, da na severni polobli največ sončnih dobitkov pričakujemo na južno orientiranih zasteklitvah. Zanimalo nas je, ali se s spreminjanjem lokacije spreminja tudi optimalna orientacija deleža zasteklitve. V Preglednici 13 so prikazane vse kombinacije zasteklitve in pripadajoča Q_{NH} . Na lokaciji Ljubljana smo preverili štiri kombinacije orientacije odprtín, kar je tudi največ kombinacij pri vseh treh lokacijah. Iz rezultatov analiz smo namreč ugotovili, da je Kombinacija 4 z zmanjšanjem zasteklitve na jugu neustrezna. Zato je pri naslednjih lokacijah sploh nismo analizirali (Trbiž in Trst, tri kombinacije orientacije). Izhodišče nam predstavlja enakomerno porazdeljen optimalni delež zasteklitve po celotnem obodu stavbe (glej Preglednico 12). Ugotovimo, da je pri vseh treh lokacijah optimalna enaka kombinacija orientacije odprtín (v Ljubljani Kombinacija 3, v Trbižu Kombinacija 2 in v Trstu Kombinacija 1). To lahko razložimo z razmišljanjem, da na severno orientiranih stenah pričakujemo minimalne solarne dotoke, ker je stena osončena le krajši čas (Slika 29). Torej se nam »enačba« hitro prevesi v negativno (prevladujejo toplotne izgube nad solarnimi pritoki), vendar vseeno ta delež ni enak 0 m zato določeni solarni pritoki še niso zanemarljivi (dodatni vpliv difuzne komponente). Iz diagrama navidezne poti sonca (Slika 10) lahko opazimo, da sonce določen del leta osonči (direktna komponenta) tudi severno orientirane stene, kar je zaželeno. Obdobje, ko sonce posije na severno orientirane stene traja od spomladanskega do jesenskega enakonočja, vendar so omenjeni solarni dotoki zaradi manjše intenzitete sončnega sevanja manjši (sonce vzhaja/zahaja).

Preglednica 13: Orientacija odprtín in vrednosti potrebne energije za ogrevanje.

Table 13: Orientation of windows and the value of required heating energy.

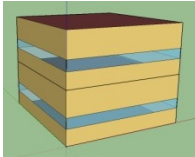
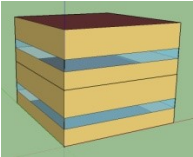
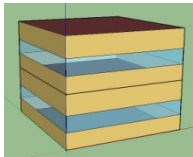
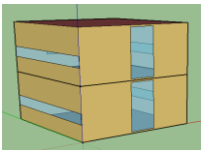
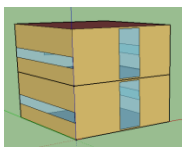
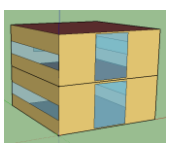
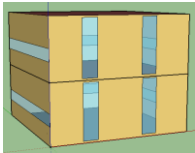
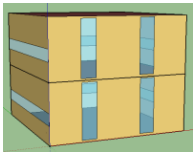
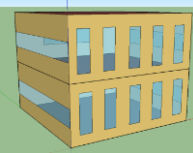
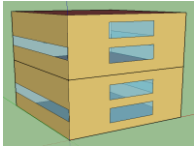
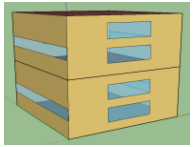
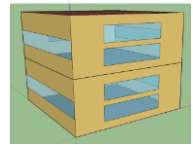
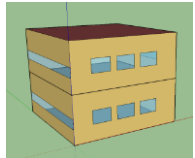
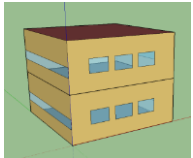
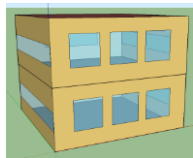
		Smeri neba				Q_{NH}
	Kombinacija	J	S	V	Z	
Ljubljana (20 % WWR)	1	1	0	0,5	0,5	27,26
	2	1	0,5	0,5	0,5	27,29
	3	1	0,5	1	1	26,77
	4	0,5	1	1	1	29,62
Trbiž (20 % WWR)	1	1	0	1	1	30,67
	2	1	0,5	1	1	30,09
	3	1	0	0,5	0,5	30,4
Trst (30 % WWR)	1	1	0,5	1	1	14,56
	2	1	0	1	1	15,22
	3	1	0,5	0,5	0,5	14,89

Oblika zasteklitve: Z okvirnimi analizami oblik zasteklitve (oken) smo želeli ugotoviti, kako na Q_{NH} vpliva osnovna oblika okna (kvadratna/podolgovata) in kakšen vpliv ima število oken pri enaki površini zasteklitve. Vpliv enakomernosti (ustreznosti) osvetljenosti prostora zanemarimo. Program pri izračunu solarnih dobitkov upošteva debelino zidu, to se odraža v nasebnem senčenju odprtine. Kar pomeni, da se pojavlja samosenčenje odprtin, torej več je manjših oken, manj solarnih dobitkov lahko pričakujemo. Preglednica 14 prikazuje spreminjanje Q_{NH} s spreminjanjem oblike oken. Vhodni podatek površine zasteklitve predstavlja optimalni WWR, pri Ljubljani in Trbižu je to 20 %, v Trstu pa 30 %. Zaradi enakega optimalnega WWR pri Ljubljani in Trbižu preverjamo tudi enake oblike pri obeh lokacijah. V Trstu so te oblike tudi primerljive Ljubljani in Trbižu, le, da so površine zasteklitve nekoliko večje. Kot smo že omenili, preverjamo skrajne oblike oken, torej izrazito poldolgovate, izrazito visoke, velike enakostranične in manjše enakostranične. Iz rezultatov v Preglednici 16 lahko razberemo, da velikega vpliva spreminjanja oken na Q_{NH} ni opaziti. V splošnem ima najslabši vpliv na Q_{NH} večje število manjših oken (Kombinacija 4), hkrati pa ima večje število manjših oken pozitiven vpliv na Q_{NC} , kar je posledica nasebnega senčenja. Ta pozitiven vpliv je lahko zavajajoč, saj se potreba po ohlajevanju lahko ustrezno zmanjša s senčenjem, potreba po ogrevanju pa se po integraciji majhnega števila oken ne more več popraviti. Na zmanjšanje potrebe po ogrevanju zaradi najmanjše količine nasebnega senčenja najbolj pozitivno vplivajo velika okna (Kombinacija 1). Sledijo okna, ki so porazdeljena po celotni višini stene (Kombinacija 2). Situacija bi bila nekoliko drugačna če bi upoštevali tudi osvetljenost prostorov. Zato je pri načrtovanju oblike in porazdelitve odprtin treba sklepati načrtovalske kompromise.

Toplotna prehodnost ovoja: Na začetku smo povedali, da se z ovojem v primarnem modelu ne bomo ukvarjali podrobno, zato smo analizirali samo smernice spreminjanja Q_{NH} v odvisnosti od spreminjanja debeline toplotne izolacije (TI). Zanimala nas je korelacija med njima. Za potrebe teh analiz smo konstrukcijske sklope zelo poenostavili in poenotili, saj smo se osredotočili na debelino TI in njen odnos do zniževanja Q_{NH} . Z analizami želimo najti odgovor na vprašanje, koliko se »splacha« zniževati faktor toplotne prehodnosti stavbnega ovoja. Pri tem smo za TI uporabili ekstrudiran polistiren (XPS) z $\lambda=0,04$ W/mK. Pri vseh lokacijah povečujemo debelino TI z enakim korakom (3 cm) od vrednosti 15 do 33 cm (Preglednica 15, 16 in 17). Iz Grafikona 6 lahko razberemo, da se pri vseh treh lokacijah trend padanja Q_{NH} umirja z dodatnim povečevanjem debeline TI. Lokaciji Ljubljana (Preglednica 15) in Trbiž (Preglednica 16) se na povečevanje TI odzivata podobno, medtem ko pri Trstu (Preglednica 17) opazimo hiter trend začetnega zmanjševanja Q_{NH} (10, 8, 6 %) in podobno umiritev pri velikih dimenzijah TI. Če vrednosti zmanjšanja Q_{NH} medsebojno primerjamo, je opaziti, da imamo v Trstu najmanjše absolutno zmanjšanje (6,2 GJ). Medtem ko je sprememba že precej večja v Ljubljani, 9,35 GJ, in največja v Trbižu, 10,5 GJ, kar je skoraj 2-krat več kot v Trstu. Če razmišljamo, kaj se nam »splacha« je zagotovo najpomembnejši prihranek energije, ki je v Trbižu največji in tukaj je tudi najbolj upravičena investicija v večje debeline TI.

Preglednica 14: Spreminjanje odprtín na južno orientirani steni.

Table 14: Changing the shape of openings on south facing wall.

Kombinacija	Ljubljana		Trbiž		Trst	
	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]
Izhodišče	26,77	11,37	30,09	5,87	16,26	31,13
						
1	26,73	11,29	30,05	5,81	14,54	31,15
						
2	27,84	10,34	31,22	4,99	15,78	29
						
3	27,9	10,38	31,28	5,02	15,8	29,1
						
4	28,45	9,05	31,81	4,01	15,8	29,03
						

Preglednica 15: Trend zniževanja U-faktorja – Ljubljana.

Table 15: Downward trend of U-factor – Ljubljana.

	Ljubljana			
	U (streha, stena, tla) [W/m ² K]	Debelina toplotne izolacije [cm]	Q _{NH} [GJ]	Zmanjšanje Q _{NH} glede na predhodno vrednostjo [%]
1	0,267	15	33,66	0
2	0,220	18	30,90	8
3	0,190	21	28,86	7
4	0,167	24	27,31	5
5	0,148	27	26,09	4
6	0,133	30	25,11	4
7	0,119	33	24,31	3

Preglednica 16: Trend zniževanja U-faktorja – Trbiž.

Table 16: Downward trend of U-factor – Tarvisio.

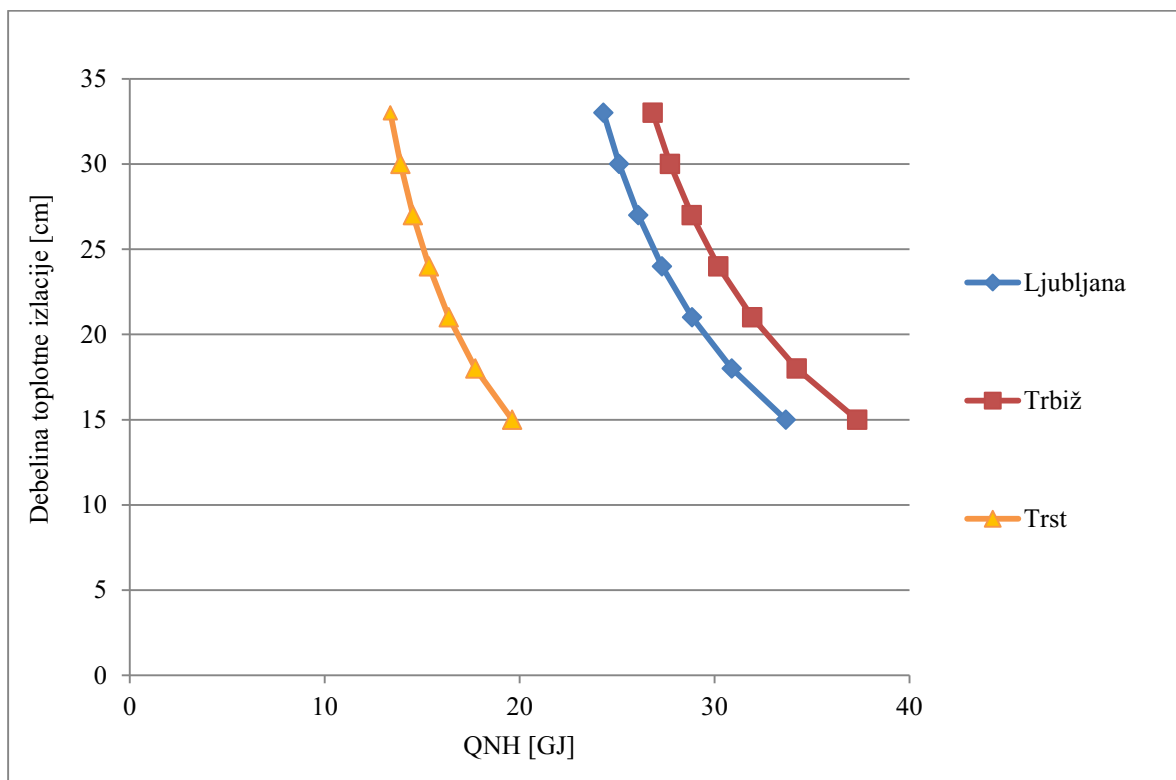
	Trbiž			
	U (streha, stena, tla) [W/m ² K]	Debelina toplotne izolacije [cm]	Q _{NH} [GJ]	Zmanjšanje Q _{NH} glede na predhodno vrednostjo [%]
1	0,267	15	37,33	0
2	0,220	18	34,23	8
3	0,190	21	31,95	7
4	0,167	24	30,21	5
5	0,148	27	28,84	5
6	0,133	30	27,73	4
7	0,119	33	26,83	3

Preglednica 17: Trend zniževanja U-faktorja – Trst.

Table 17: Downward trend of U-factor – Trieste.

	Trst			
	U (streha, stena, tla) [W/m ² K]	Debelina toplotne izolacije [cm]	Q _{NH} [GJ]	Zmanjšanje Q _{NH} glede na predhodno vrednostjo [%]
1	0,267	15	19,62	0
2	0,220	18	17,74	10
3	0,190	21	16,38	8
4	0,167	24	15,35	6
5	0,148	27	14,54	5
6	0,133	30	13,89	4
7	0,119	33	13,37	4

Na Grafikonu 6 je predstavljen trend padanja Q_{NH} v odvisnosti od debeline TI za vse tri lokacije skupaj. Krivulji za lokaciji Ljubljana in Trbiž sta precej bolj položni, kot je krivulja, ki predstavlja lokacijo Trst. To nam pove, da je zmanjšanje Q_{NH} v Trstu precej manjše. Iz Grafikona 6 lahko tudi opazimo, da je pri linearnem (enakomernem) povečevanju debeline TI zmanjševanje Q_{NH} nelinearno (krivulja). Nelinearnost opazimo tudi pri zmanjševanju toplotne prehodnosti ovoja stavbe. Pri dodajanju debeline TI bo treba še dodatno preveriti, kaj se dogaja s Q_{NC} , saj lahko pričakujemo da bomo z večanjem debeline TI toploti, ko gre za obraten pojav pregrevanja stavbe (predvsem v Trstu) »otežili« prehajanje navzven.



Grafikon 6: Odvisnost med zmanjševanjem Q_{NH} in povečevanjem debeline toplotne izolacije pri vseh treh lokacijah.

Graph 6: Dependence between Q_{NH} reduction and increasing thickness of thermal isolation in all three locations.

4.2.2 Sekundarni model

Povzemimo najprej najpomembnejše ugotovitve iz primarnega modela. Lokaciji Trbiž in Ljubljana sta se izkazali (kot smo pričakovali glede na analizo podnebja) kot precej podobni, kar se tiče zahtevanih pasivnih ukrepov. Trst pa zahteva precej drugačne ukrepe. Največjo Q_{NH} smo ugotovili na lokaciji Trbiž, sledi Ljubljana in na koncu Trst s precej nizko vrednostjo. Razen optimalne oblike stavbe, ki jo predstavlja dvoetažni model s kvadratnim tlorisom ($f_o=0,82$), so odzivi modelov nekoliko drugačni. Pri tem je optimalni zahtevani delež zasteklitve glede na površino fasade 20 % v Ljubljani in Trbižu ter 30 % v Trstu. Zasteklitev na severno orientirani steni moramo pri vseh lokacijah zmanjšati za polovico, saj so problematične predvsem toplotne izgube, solarni dobitki pa minimalni. Pri oblikovanju oken moramo biti pozorni na to, da so le-ta večja in jih je manj. Nizka toplotna

prehodnost je najpomembnejša na lokaciji Trbiž, sledi Ljubljana z dokaj podobnimi odzivi in na koncu Trst, ki ne zahteva tako nizke vrednosti toplotne prehodnosti.

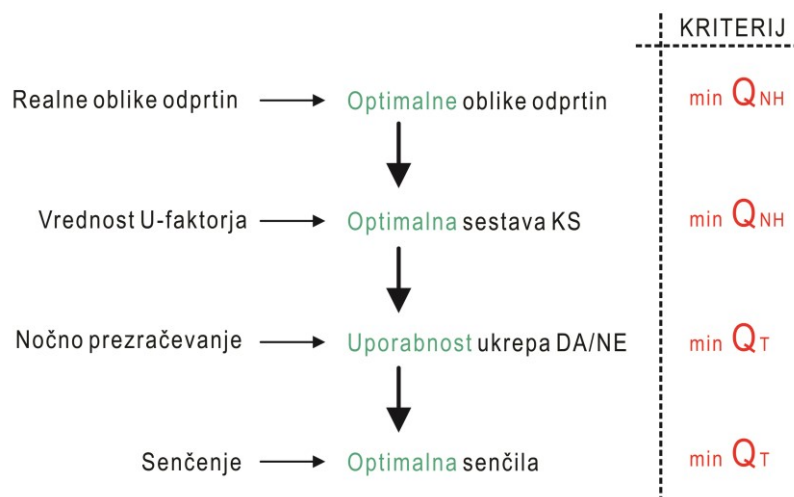
Vse ugotovitve na ravni primarnega modela predstavljajo vhodne podatke v sekundarnem modelu. Enako velja za urnike, ki ostajajo enaki. V sekundarnem modelu se bomo ukvarjali s preprečevanjem toplotnih izgub in uvajanjem PSH ter s preprečevanjem pregrevanja in zniževanjem potrebne energije za ohlajevanje (Q_{NC}). Zato se na tej stopnji modeliranja poslužujemo kriterija neto potrebne energije (Q_T), ki zajame obe vrednosti in doda še energijo, potrebno za razsvetljavo. Na Sliki 29 smo zopet shematično predstavili postopek modeliranja.

Modeliranje realnih odprtín: Na podlagi analiz oblik in deleža odprtín (primarni model) po celotni stavbi modeliramo odprtine realnih dimenzij. To pomeni, da transparentni del ovoja ni več enakomerno porazdeljen po obodu stavbe, ampak optimalno količino transparentne površine oblikujemo v okvirne dimenzije oken. Pri dimenzioniranju oken ne bomo opravljali dodatnih analiz o primerni osvetljenosti prostora, saj bi tako zmanjšali razumljivost naloge. Vseeno pa se moramo zavedati, da je pomembna naloga odprtín tudi komunikacija z zunanostjo in zagotavljanje naravne osvetljenosti [9].

Oblikovanje in sestava KS: Modeliranje nadaljujemo z oblikovanjem in sestavo dejanskega KS, ki temelji na ugotovitvah analiz toplotne prehodnosti ovoja stavbe iz primarnega modela. Ovoj stavbe moramo oblikovati tako, da bo ustrezal konceptu montažne hiše (leseni endoskeletni stavbni ovoj).

Nočno prezračevanje: Preverimo, kako na stavbo na različnih lokacijah vpliva nočno prezračevanje, kakšno je zmanjšanje Q_T . Nočno prezračevanje bomo na vseh lokacijah predvideli enako, tako da bomo lažje primerjali lokacije med seboj.

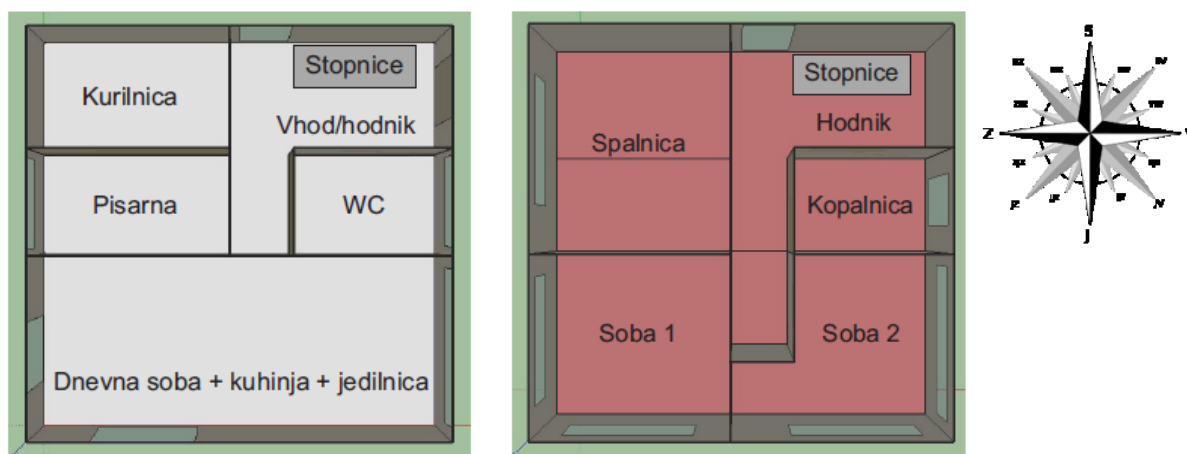
Senčenje: Na koncu bomo uvedli še senčenje. Treba bo modelirati ustrezna senčila. Optimalno senčilo bomo določili glede na Q_T .



Slika 29: Postopek modeliranja sekundarnega modela stavbe
Figure 29: Graphical representation of secondary model design process

4.2.2.1 Vhodni podatki

Pred začetkom izvajanja navedenih analiz smo primarni model stavbe z gledišča arhitekturne zasnove dopolnili z ustreznimi prostori. Kot prikazuje Slika 30, smo s pomočjo predelnih sten definirali dodatne prostore v vsaki etaži in skupaj dobili 10 prostorov (v primarnem modelu smo imeli dva prostora). Ker celotno stavbo ogrevamo in ohlajujemo enakomerno v vseh prostorih, smo toplotno cono ohranili eno. Vrste in število prostorov smo oblikovali glede na privzete zahteve uporabnika (Poglavje 3.3).



Slika 30: Tloris pritličja – levo in tloris nadstropja – desno.
Figure 30: Ground floor plan – left and floor plan – right.

Modeliranje realnih odprtin: Glede na Košir [57] se bomo držali nekaj osnovnih usmeritev o osvetljenosti prostorov. Linijsko (izrazito podolgovato) okno omogoča najbolj enakomerno porazdelitev svetlobe po prostoru, medtem ko vertikalno (izrazito visoko) okno omogoča globino distribucije svetlobe. Poleg tega se priporoča tako načrtovanje oken, da pogled skozi okno zajame obzorje, del neba ter del elementov v bližini. Vsakemu izmed na novo definiranih prostorov smo določili ustrezni delež zasteklitve ter tako omogočili dotok sončne energije in določeno naravno osvetljenost. Tako zagotovimo bolj realno sliko in večjo merodajnost rezultatov. Na vseh lokacijah je porazdelitev prostorov enaka.

Nočno hlajenje: S pomočjo povečane infiltracije v nočnem času bomo uvedli nočno prezračevanje. Časovni interval hlajenja je okvirno določen in temelji na predpostavki, da je nočni zrak že dovolj ohlajen od 23. do 5. ure zjutraj. Nočno prezračevanje se aktivira v tistem delu leta, ko se začne povečevati Q_{NC} . Infiltracija je bila v primarnem modelu definirana na 0,22 1/h, to zdaj povečamo na 2 1/h. To vrednost smo določili na podlagi Santamouris et al. [30], ki navajajo običajne vrednosti nočnega prezračevanja od 2 do 30 1/h. Torej smo izbrali minimalno vrednost, saj bomo na vseh lokacijah uvedli nočno prezračevanje, nas predvsem zanima učinek na posamezni lokaciji. Poleg tega zaradi prevelike količine nočnega prezračevanja v Trbižu ne želimo preveč povečati Q_{NH} .

Senčenje: Poleg dodatnega urnika za nočno prezračevanje bomo definirali tudi dodatni urnik za senčenje. Kot smo že omenili v Poglavju 3.5.1, bomo za senčenje uporabili premična in/ali fiksna senčila. Med fiksnimi senčili bomo uporabili horizontalne brisoleje, med premičnimi pa rolo senčila, žaluzije in tende. Za žaluzije predpostavimo, da so ravne (predpostavka programa EnergyPlus).

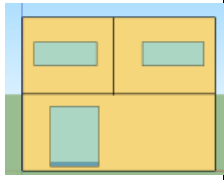
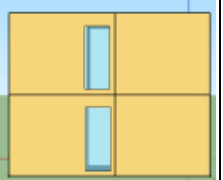
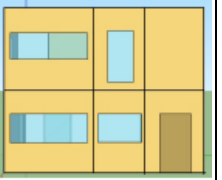
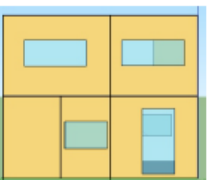
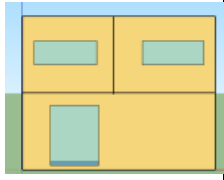
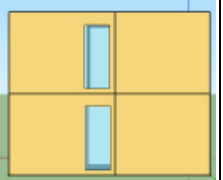
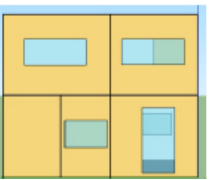
Senčenje uravnavamo z letnimi in dnevnimi urniki, torej predpostavimo, da se senčila krmilijo avtomatsko. To je zgolj poenostavitev, da lažje simuliramo uporabo senčil. Predpostavimo, da se potreba po senčenju pojavi sočasno s potrebo po ohlajevanju. Urniki za aktivacijo premičnih senčil so preprosti, delujejo kot »ON/OFF« regulator (senčilo je popolnoma spuščeno ali popolnoma dvignjeno). Poglobljenih analiz z bolj sofisticiranim načinom delovanja senčil ne bomo izvajali.

4.2.2.2 Rezultati

Modeliranje realnih odprtín: Kot je prikazano v Preglednici 18, smo pri vseh treh lokacijah načrtovali podobne dimenzije in oblike oken – z manjšimi razlikami na lokaciji Trst (kjer so zahtevane večje površine zasteklitve). V dnevni sobi/kuhinji/jedilnici smo zaradi želje po čim večjih solarnih dobitkih modelirali zasteklitev velikih dimenzij. Medtem ko smo zaradi želje po enakomerni distribuciji svetlobe v večini preostalih prostorov dimenzionirali velika podolgovata okna. Izogibali smo se predvsem velikemu številu manjših oken. Kot razberemo iz Preglednice 18, smo na severni steni za to, da bi zagotovili prodiranje svetlobe v globino hodnika, načrtovali zasteklitev po celotni višini. Iz Preglednice 18 lahko razberemo tudi razčlenjene površine zasteklitve na posamezni orientacije modela in skupno površino zasteklitve celotnega modela.

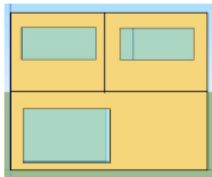
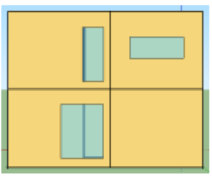
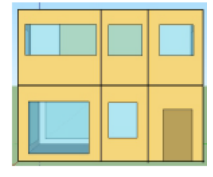
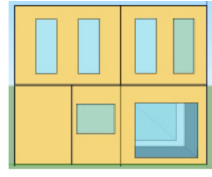
Preglednica 18: Oblikovanje realnih odprtín na sekundarnih modelih.

Table 18: Modeling of realistic openings in the secondary model.

		Orientacija stavbe in deleže ter površina zasteklitve			
		J	S	V	Z
Ljubljana	Model				
	WWR [%]	20	10	20	20
	Površina [m ²]	10,1	5,1	10,1	10,1
	Skupna površina [m ²]	35,4			
Trbiž	Model				
	WWR [%]	20	10	20	20
	Površina [m ²]	10,1	5,1	10,1	10,1
	Skupna površina [m ²]	35,4			

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 18

Trst	Model				
	WWR [%]	30	15	30	30
	Površina [m ²]	15,4	7,7	15,4	15,4
	Skupna površina [m ²]	53,9			

Na splošno smo ugotovili, da poraba energije ni v veliki meri odvisna od oblike oken. Kot opombo navedimo, da v sekundarnem modelu vpliva oken še nismo upoštevali. Z definicijo oken in prostorov v stavbi onemogočimo prost radiacijski prenos energije skozi celo stavbo ter enakomerno ogrevanje notranjega zraka. Nekateri prostori zdaj dobijo manj in nekateri več solarnih dobitkov, kar posledično pomeni povečanje neto potrebne energije v stavbi. V prostorih, kjer je manj solarnih dobitkov, se bo povečala potreba po ogrevanju, medtem ko se bo v drugih povečala potreba po ohlajevanju zaradi prevelikih solarnih dobitkov. Preglednice 19, 20 in 21 prikazujejo spremembo Q_T po uvedbi opisanih sprememb modela stavbe na vseh treh lokacijah. Enak delež povečanja Q_T opazimo v Trbižu in Ljubljani (22 %). Opazimo predvsem, da je narasla vrednost Q_{NC} (1,14 GJ), očitno težave povzročajo specifični prostori, ki se pregrevajo. Medtem ko se v Trbižu (Preglednica 20) hkrati povečata Q_{NH} (skoraj 2 GJ) in Q_{NC} (skoraj 1 GJ). V Trstu je ta sprememba izrazito večja (39 % povečanje). Razlog za to povečanje je predvsem v povečanju Q_{NC} (približno 1 GJ). Za razliko od analiz v primarnem modelu se tukaj kaže podobnost med Ljubljano in Trstom. Manjša količina solarnih dotokov zaradi večje količine nasebnega senčenja oken nam predvsem vpliva na povečanje potrebne energije za ogrevanje. Vsekakor lahko rečemo, da bolj realno modeliranje prostorov in odprtih poslabša energetska bilanco stavbe.

Preglednica 19: Potreba po energiji v Ljubljani.

Table 19: The need for energy in Ljubljana.

	Ljubljana			
	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Q_T [MJ/m ²]	Sprememba Q_T [%]
Izhodišče (primarni model)	26,77	11,37	305,54	-
Realne odprtine in definirani prostori	26,99	12,51	391,14	+ 22%

Preglednica 20: Potreba po energiji v Trbižu.

Table 20: The need for energy in Tarvisio.

	Trbiž			
	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Q_T [MJ/m ²]	Sprememba Q_T [%]
Izhodišče (primarni model)	31,22	5	290,16	-
Realne odprtine in definirani prostori	30,36	6,96	373,66	+ 22%

Preglednica 21: Potreba po energiji v Trstu.

Table 21: The need for energy in Trieste.

	Trst			
	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Q_T [MJ/m ²]	Sprememba Q_T [%]
Izhodišče (primarni model)	14,56	31,25	368,09	-
Realne odprtine in definirani prostori	14,99	32,35	453,98	+ 39%

Modeliranje realnega KS: Na podlagi analiz trenda padanja Q_{NH} v primerjavi s povečevanjem debeline toplotne izolacije smo skušali ovrednotiti primerne okvirne vrednosti toplotne prehodnosti stavbnega ovoja. Že glede na TSG [33] lahko vidimo, da je na splošno v ovoj stavbe zahtevana najmanjša toplotna prehodnost v KS strehe in največja v KS tal. Značilnost prenosa toplote je, da vedno potuje iz območja z večjo količino energije (toplote) k območju z manjšo količino energije (toplote) [7]. V zimskem času zaradi izmenjave energije z okolico toploto izgublamo skozi ovoj, največji prenos toplote je opazen skozi streho, ki se najbolj ohlaja (najmočnejši tok), in na splošno se topel (lahek) zrak sam dviguje v stavbi. Pri analizi toplotne prehodnosti tega pojava nismo upoštevali, ampak smo za celotni ovoj predpostavili enako vrednost (Poglavje 4.2.1.2). Zato smo na podlagi te analize KS prilagodili prej navedenim smernicam. Poleg ugotovitev iz analiz na splošno ne želimo pretiravati z debelinami toplotne izolacije. Umiritev padanja Q_{NH} lahko podobno opazimo pri vseh treh lokacijah pri navidezni meji toplotne prehodnosti okoli 0,15 W/m²K. Dodatno smo ugotovili, da so dejanske vrednosti kljub primerljivemu deležu padca Q_{NH} precej drugačne. Zato smo se za izhodišče poskušali držati omejitve 0,15 W/m²K in preveriti, kaj se zgodi z energijo v primerjavi z izhodiščnim modelom.

V Preglednici 22 je predstavljeno, kako smo spreminjali vrednosti toplotne prehodnosti stavbnega ovoja. V Ljubljani smo po sestavi realnega ovoja dobili vrednosti KS tla (0,158 W/m²K) in KS stena (0,172 W/m²K) nekoliko višji kot 0,15 W/m²K, hkrati pa je KS streha nižji (0,124 W/m²K). V Preglednici 23 je razvidno, da je korekcija ovoja stavbe pozitivno vplivala tako na Q_{NH} (zmanjšanje 2,6 GJ) kot tudi na Q_T (zmanjšanje 6,7 MJ/m²). Ker smo v analizi primarnega modela opazili precej podobne odzive pri stavbi v Trbižu uvedemo kot Varianto 1 enake vrednosti toplotne prehodnosti ovoja stavbe kot v Ljubljani (Preglednica 22). Pri enakem ukrepu opazimo nekoliko večje zmanjšanje Q_T , in sicer za 11,5 MJ/m², kar je skoraj dvakratna vrednost kot v Ljubljani, vrednost Q_{NH} je manjša za 2,8 GJ. Želeli smo preveriti tudi, kakšni so rezultati, če v Trbižu kot najbolj kritični lokaciji glede izgube toplote TI še povečamo. V naslednji analizi smo za optimalno toplotno prehodnost določili vrednost okoli 0,12 W/m²K, kar je že precej nizka vrednost. Znižanje Q_{NH} in Q_T je opazno, ampak ima precej manjši učinek. Zato se odločimo, da bomo v Ljubljani in Trbižu uvedli enake vrednosti toplotne

prehodnosti ovoja stavbe. Če samo okvirno opazujemo, kaj se dogaja z vrednostjo Q_{NC} (ustrezen ukrep senčenja še ni bil uveden), lahko ugotovimo, da se ta ob znižanju toplotne prehodnosti poviša. To je posledica tega, da imamo lahko v poletnem času, ko si želimo, da se stavba čim hitreje ohlaja (hiter prenos toplote skozi ovoj), težave s pregrevanjem v močno toplotno izolirani stavbi; česar si na lokaciji Trst ne želimo. Zato smo tukaj izbrali drugačen pristop. Najprej smo opazovali, kaj se dogaja z energijo, ko z ovojem dosežemo okvirno optimalno vrednost okoli $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, in kaj se dogaja, ko to vrednost znižujemo ali zvišujemo. Z zviševanjem vrednosti želimo nekoliko zmanjšati Q_{NC} , toda hkrati ne preveč povečati Q_{NH} (Preglednica 22). Rezultati pokažejo (Preglednica 23), da Varianta 1 precej poveča Q_T ($3,5 \text{ MJ/m}^2$), kar je predvsem posledica povečanja Q_{NC} . Vrednost toplotne prehodnosti nekoliko povečamo (Varianta 2) ampak rezultat ni pozitiven, saj se glede na Varianto 1 sicer zmanjša Q_{NC} , vendar precej poviša vrednost Q_{NH} . Obe varianti poskušamo združiti tako, da v KS strehe, ki zahteva najnižje vrednosti toplotne prehodnosti, ohranimo nizke vrednosti, pri preostalih dveh KS-jih pa te vrednosti nekoliko povišamo (Varianta 3). Tako dosežemo najnižjo vrednost Q_T glede na primerjavo vseh variant. Q_{NC} nam uspe reducirati za $0,3 \text{ GJ}$, Q_{NH} pa minimalno povečati ($0,68 \text{ GJ}$).

Preglednica 22: Spreminjanje toplotne prehodnosti ovoja stavbe pri vseh treh lokacijah.

Table 22: Influence of thermal transmittance of the building envelope in all three locations.

		U [$\text{W/m}^2\text{K}$]		
Varianta		Tla	Stena	Streha
Ljubljana	Izhodišče	0,274	0,190	0,127
	1.	0,158	0,172	0,124
Trbiž	Izhodišče	0,274	0,190	0,127
	1.	0,158	0,172	0,124
	2.	0,120	0,120	0,110
Trst	Izhodišče	0,274	0,190	0,127
	1.	0,162	0,153	0,133
	2.	0,193	0,164	0,136
	3.	0,314	0,206	0,139

Preglednica 23: Nihanje energije v odvisnosti od spreminjanja toplotne prehodnosti ovoja stavbe pri vseh treh lokacijah.

Table 23: The fluctuation of energy in dependence of building envelope thermal insulation changing in all three locations.

		Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Q_T [MJ/m^2]
Ljubljana	Izhodišče	26,99	12,51	391,14
	1.	24,59	14,07	384,42
Trbiž	Izhodišče	30,36	6,96	373,66
	1.	27,55	8,12	362,13
	2.	27,17	8,59	361,20
Trst	Izhodišče	14,99	32,35	453,98
	1.	13,86	33,89	457,29
	2.	14,45	33,47	458,64
	3.	15,68	32,02	456,89

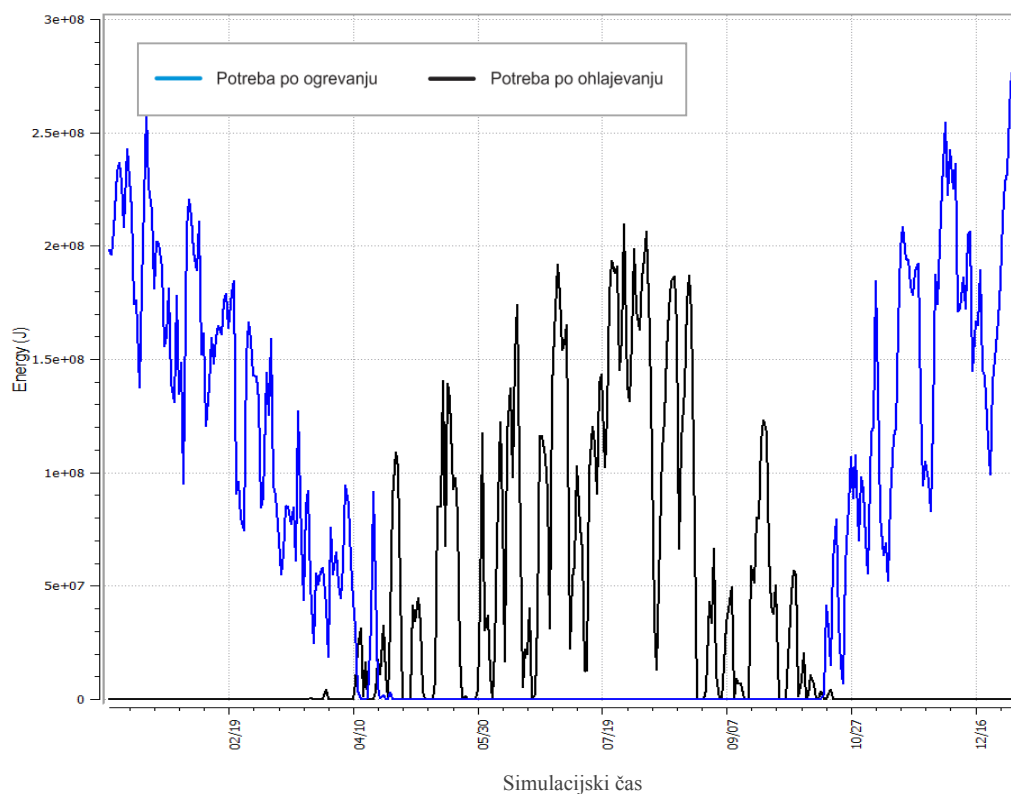
Nočno prezračevanje: Pri naslednji analizi smo preverjali vpliv nočnega prezračevanja, ki deluje s pomočjo intenzivnega prezračevanja stavbe z zunanjim zrakom, ki se v nočnem času ohladi. Kot smo že omenili v Poglavju 2.2, lahko večji vpliv nočnega prezračevanja pričakujemo pri masivnih stavbah. Zato velikega učinka na zmanjšanje Q_{NC} s pomočjo nočnega prezračevanja nismo pričakovali (hiter odziv »lahkih« stavb na spremembo zunanje temperature). Kljub temu smo dobili precej pozitivne rezultate, saj smo kljub majhni stopnji nočnega prezračevanja 2 l/h dosegli od 10 do 31 % zmanjšanje Q_{NC} (Preglednica 24). Največji vpliv ima nočno prezračevanje na lokaciji Trbiž (zmanjšanje 31 %) in ostane samo še majhna vrednost Q_{NC} . Ukrep je v Trbižu najbolj učinkovit, ker se stavba zaradi najnižjih temperatur v nočnem času lahko najbolj ohladi. Sledi Ljubljana z 19 % zmanjšanjem in na koncu Trst z 10 % zmanjšanjem. Vrednost 2 l/h lahko rečemo, da je pri vseh ustrezna, saj z njo ne vplivamo na povečanje Q_{NH} , vseeno pa lahko pričakujemo, da bi v Trstu bila ta vrednost lahko še višja. Če pogledamo vrednosti Q_{NC} , je situacija nekoliko drugačna, saj je največje zmanjšanje Q_{NC} v Trstu (3,2 GJ), sledi Ljubljana z 2,64 GJ in Trbiž z 2,5 GJ.

Preglednica 24: Vpliv nočnega prezračevanja na vseh treh lokacijah.

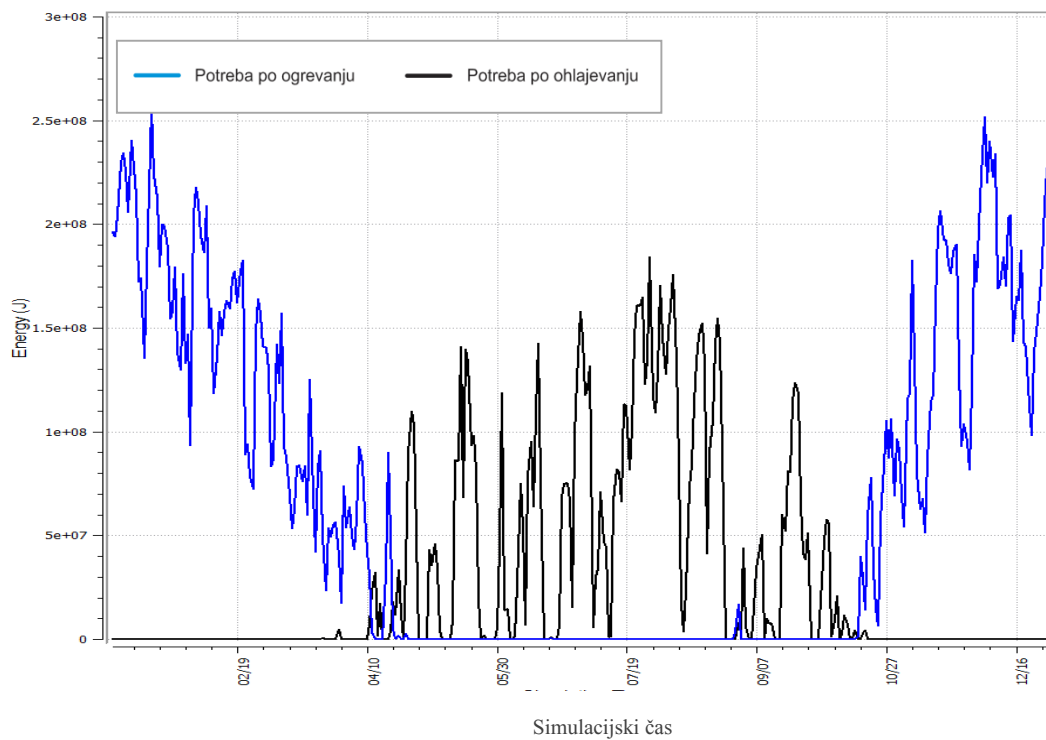
Table 24: The influence of night ventilation in all three locations.

		Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Q_T [MJ/m ²]	Zmanjšanje Q_{NC} [%]
Ljubljana	Izhodišče	24,59	14,07	384,42	-
	1.	24,29	11,43	360,93	19
Trbiž	Izhodišče	27,55	8,12	362,13	-
	1.	27,26	5,63	338,19	31
Trst	Izhodišče	15,68	32,02	456,89	-
	1.	15,44	28,8	429,21	10

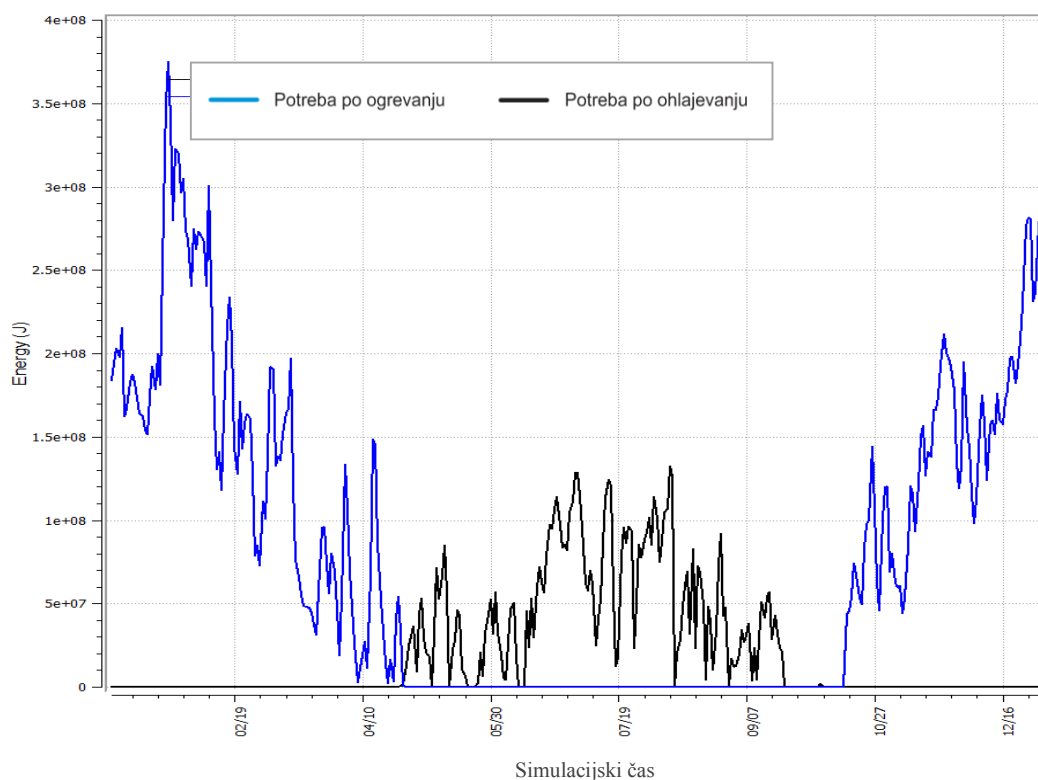
Poleg številčne primerjave učinka nočnega prezračevanja je na Grafikonih 7–12 prikazana sprememba letnega nihanja Q_{NH} in Q_{NC} zaradi nočnega prezračevanja. Primerjamo gibanje krivulj Q_{NH} in Q_{NC} pred uvedbo in po uvedbi nočnega prezračevanja. Za lokacijo Ljubljana primerjamo Grafikon 7 in 8, opazimo, da nočno prezračevanje pozitivno vpliva in zmanjša predvsem maksimume Q_{NC} . Za vrednosti Q_{NH} lahko trdimo, da ostanejo v približno v enakih okvirjih. Torej se zaradi preveč intenzivnega prezračevanja v prehodnih mesecih ne pojavi dodatna potreba po ogrevanju. Podobno kot v Ljubljani tudi v Trbižu (primerjava Grafikona 9 in 10) opazimo, da nočno prezračevanje vpliva pozitivno in zmanjša predvsem Q_{NC} maksimume. Za vrednosti Q_{NH} lahko trdimo, da ostanejo približno v enakih okvirjih. Na lokaciji Trst tako očitnega zmanjšanja iz primerjave Grafikonov 11 in 12 ne moremo opaziti. Zmanjšanje Q_{NC} se zgodi predvsem v prehodnih mesecih, in ne kot pri preostalih dveh, v vrhu poletne sezone.



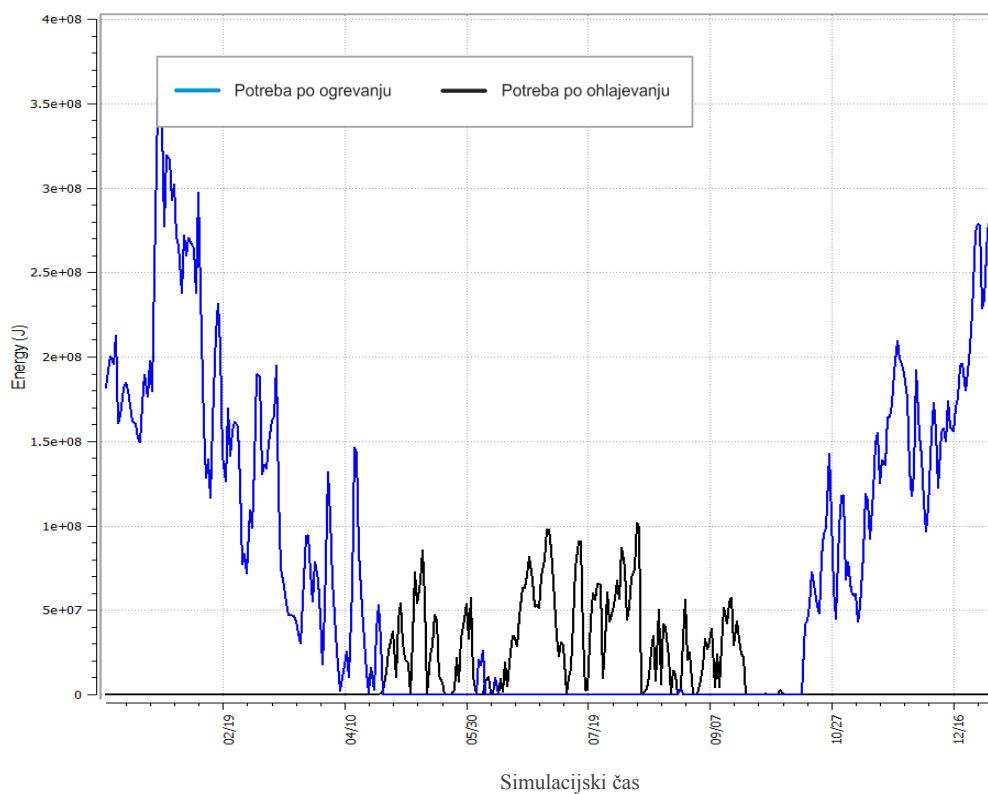
Grafikon 7: Potrebna energija za obratovanje modela stavbe brez nočnega ohlajevanja v Ljubljani.
Graph 7: Required energy for buildings operation without night ventilation in Ljubljana.



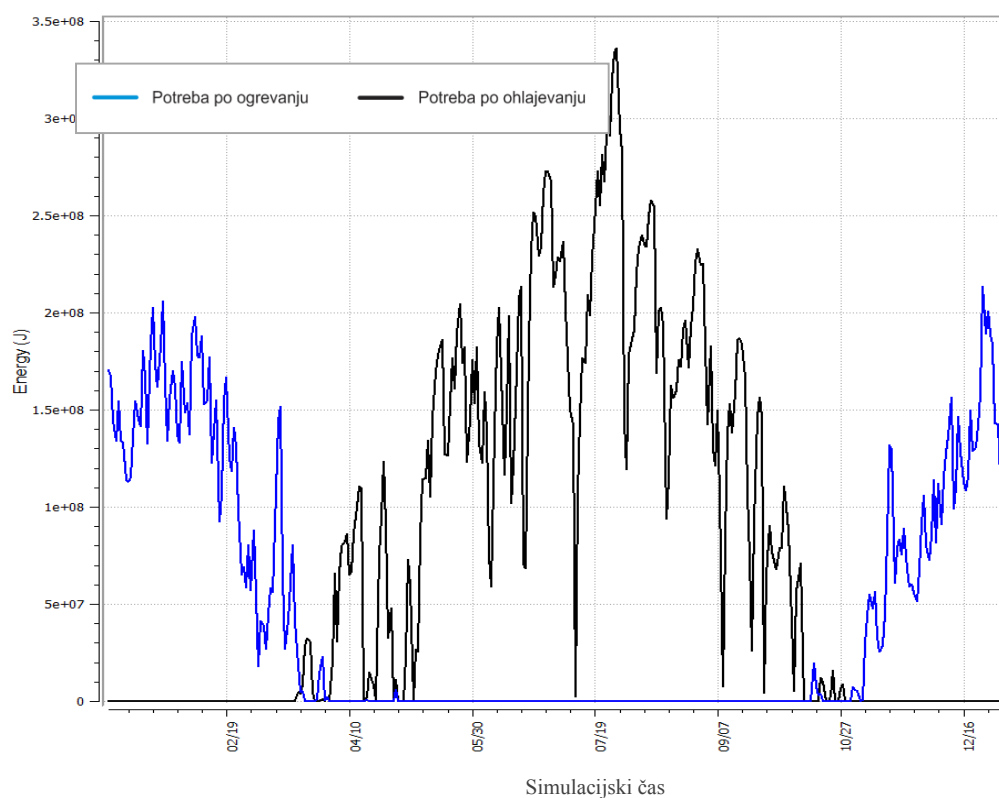
Grafikon 8: Potrebna energija za obratovanje modela stavbe z nočnim ohlajevanjem v Ljubljani.
Graph 8: Required energy for buildings operation with night ventilation in Ljubljana.



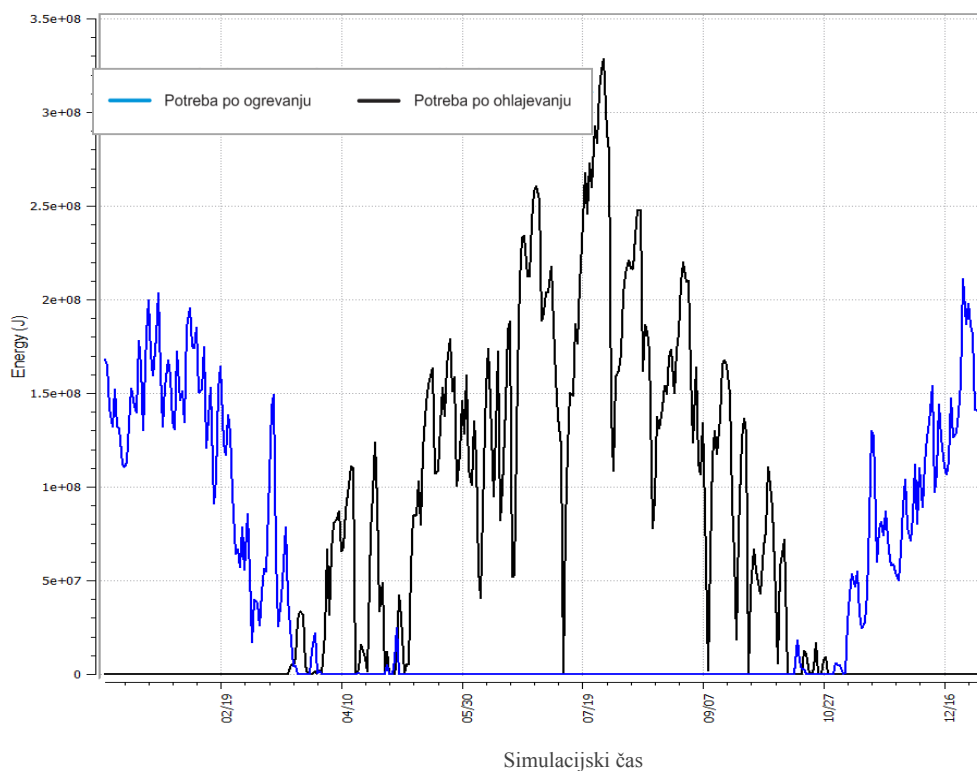
Grafikon 9: Potrebna energija za obratovanje modela stavbe brez nočnega ohlajevanja v Trbižu.
Graph 9: Required energy for buildings operation without night ventilation in Tarvisio.



Grafikon 10: Potrebna energija za obratovanje modela stavbe z nočnim ohlajevanjem v Trbižu.
Graph 10: Required energy for buildings operation with night ventilation in Tarvisio.

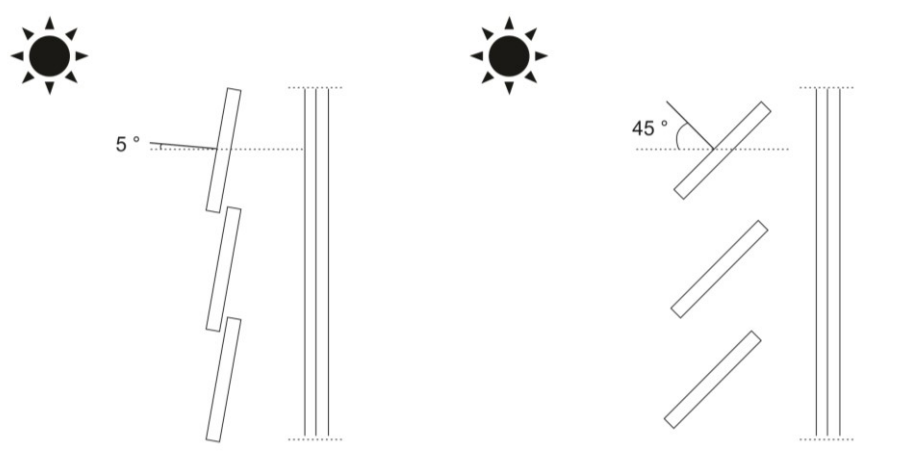


Grafikon 11: Potrebna energija za obratovanje modela stavbe brez nočnega ohlajevanja v Trstu.
Graph 11: Required energy for buildings operation without night ventilation in Trieste.



Grafikon 12: Potrebna energija za obratovanje modela stavbe z nočnim ohlajevanjem v Trstu.
Graph 12: Required energy for buildings operation with night ventilation in Trieste.

Senčenje: Predstavlja zadnjo izmed izvedenih analiz v sklopu sekundarnega modela stavbe. Najprej smo preverjali, kako senčenje deluje v Ljubljani. Na splošno prevladuje potreba po ogrevanju, vendar je prisotna tudi razmeroma velika potreba po ohlajevanju stavbe. (Preglednica 25). Zato smo se za zmanjševanje le-te odločili preveriti vpliv premičnih senčil. Za premična senčila smo izbrali žaluzije in preverili dve varianti pozicije lamel žaluzij. Prva varianta predstavlja skoraj zaprte žaluzije (5° kot naklona lamel, merjen od normale zasteklitve, Slika 31 levo), ki močno preprečujejo vstop sončnega sevanja v stavbo. Druga varianta predstavlja delno odprte žaluzije (45° kot naklona lamel, merjen od normale zasteklitve, Slika 31 desno), ki le delno ustavijo vstop sončnega sevanja v stavbo. Aktivnost žaluzij predpostavimo v obdobju od maja do septembra. To smo določili na podlagi Grafikona 8, in sicer, ko začne prevladovati Q_{NC} .

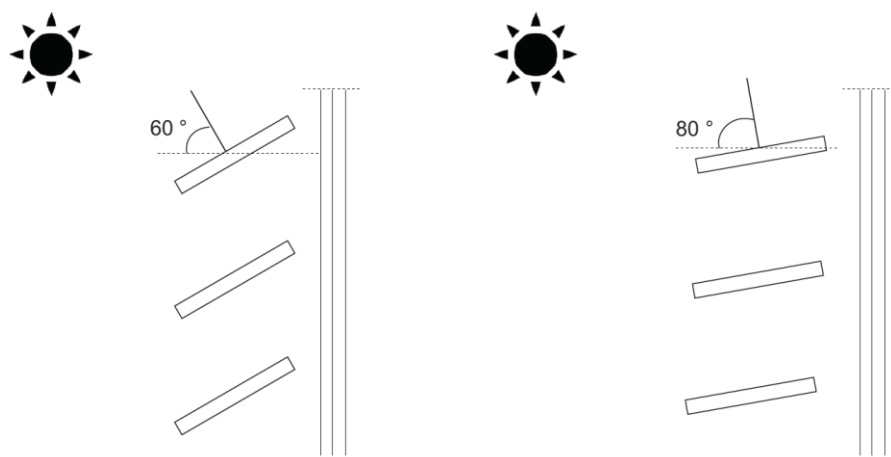


Slika 31: Prikaz dveh variant naklona lamel pri analizi žaluzij v Ljubljani.
Figure 31: Representation of two types of blades inclination at blinds analysis in Ljubljana.

S 5° naklonom blokiramo veliko več sončne energije kot pri 45° naklonu, vendar sta obe vrednosti Q_T zelo primerljivi (razlika $2,7 \text{ MJ/m}^2$). Iz Preglednice 25 lahko razberemo, da z obema variantama povečamo Q_{NH} , vendar nekoliko manj s 45° naklonom. Vseeno je ta razlika nekoliko manjša, kot smo pričakovali. S 5° naklonom lamel zelo učinkovito zmanjšamo vrednost Q_{NC} (zmanjšanje 10 GJ), skoraj enaka vrednost je tudi pri 45° naklonu lamel. Glede na zmanjšanje Q_T lahko trdimo, da sta oba ukrepa zelo koristna (zmanjšanje okoli 76 MJ/m^2). Kateri kot žaluzij je optimalnejši na tem mestu, brez dodatnih analiz ne moremo trditi. Ustrezno bi bilo analizirati osvetljenost prostorov oziroma kateri kot lamel omogoča primernejšo osvetljenost. Pričakovati je mogoče, da bi se ta kot razlikoval tudi od prostora do prostora, v različnih prostorih tudi zahtevamo drugačno osvetljenost [58]. Prevodnik [58] prav tako trdi, da lahko tukaj pride v ospredje pozitivna lastnost premičnih senčil, in sicer, da jih je moč enostavno regulirati in prilagajati vizualne kriterije določenemu prostoru.

V analizi nočnega prezračevanja smo ugotovili, da je v Trbižu prisotna samo še minimalna Q_{NC} (Preglednica 24). Zato lahko pričakujemo, da bo tukaj treba preveriti le minimalno senčenje. Bolj problematična je velika potreba po ogrevanju zato smo se v Trbižu odločili preveriti le minimalno senčenje, to lahko dosežemo s premičnimi senčili (izberemo žaluzije) in majhnim naklonom lamel. Analiziramo dve varianti, in sicer 60° in 80° naklon lamel, merjen od normale zasteklitve (Slika 32). Glede na Grafikon 9 vrednost Q_{NC} naraste najbolj v obdobju med junijem in avgustom, vendar začne

Q_{NC} prevladovati nad vrednostjo Q_{NH} že v obdobju od maja do septembra, zato bomo posebej preverili obe obdobji za časovno obdobje senčenja.



Slika 32: Prikaz dveh variant naklona lamel pri analizi žaluzij v Trbižu.
Figure 32: Representation of two types of blades inclination at blinds analysis in Tarvisio.

Iz Preglednice 25 in analize senčenja med obdobjem od junija do avgusta je razvidno, da 60° naklon lamel blokira preveč sončnih dobitkov in posledično ne vpliva na Q_T tako kot 80° naklon lamel. Zato ta naklon lamel takoj izločimo in nadaljujemo analizo samo z 80° naklonom ter spremenjenim obdobjem senčenja od maja do septembra. Če primerjamo naklona 80° , je varianta z daljšim obdobjem senčenja, kljub povišanju Q_{NH} (0,9 GJ), ustrežnejša. Zmanjšanje vrednosti Q_T je večje, saj se vrednost Q_{NC} izniči (≈ 0 GJ). Za lokacijo Trbiž tako lahko brez dodatnih analiz ugotovimo, da je najoptimalnejši ukrep 80° naklon lamel senčil z aktivacijo od maja do septembra.

Na tej točki nas je dodatno zanimalo, kako bi se v primerjavi z žaluzijami z lamelami pod kotom 80° obnesla drugačna premična senčila. Preverili smo senčenje z rolo senčili. Pri tej vrsti premičnih senčil so pomembne optične lastnosti tekstilnega materiala (Preglednica 26). Te smo poskušali definirati tako, da smo kar najbolj zmanjšali vrednost Q_T . Kot optimalno se izkaže, da skozi senčila prepustimo 40 % celotnega dela sončnega spektra. Pri primerjavi prepustnosti sončne energije skozi transparentni del ovoja, ugotovimo, da prepustimo večji delež z rolo senčilom. Zato lahko predvidevamo, da bomo manj uspešni pri preprečevanju pregrevanja stavbe, vendar nas zanima, kaj se bo dogajalo z neto potrebno energijo. Ta je pri obeh skoraj identična (Preglednica 25). Razlika je opazna v vrednostih Q_{NH} in Q_{NC} , saj je prva vrednost pri rolo senčilih precej nižja (približno 1 GJ), medtem ko je druga vrednost za skoraj 1 GJ višja kot pri žaluzijah. Torej z večjim prepuščanjem sončne energije omogočamo večje PSH, hkrati to pomeni, da se bo stavba v poletnem času bolj pregrevala.

Na podlagi prehodnih analiz se je lokacija Trst izkazala za najbolj problematično glede vrednosti Q_{NC} in najmanjše vrednosti Q_{NH} . Torej bo senčenje ključno vplivalo na celotno zmanjšanje neto potrebne energije. To potrjuje tudi analiza bioklimatskega potenciala, z velikim deležem senčenja in prezračevanja. Zato smo želeli preveriti, kako se tukaj obnesejo fiksna senčila, ki so predvsem dobrodošla na lokacijah, kjer je večino leta potrebno senčenje. Za ta namen uporabimo nadstrešek, s katerim predvidimo senčenje na vseh odprtinah, razen severno orientiranih. Nadstrešek smo dimenzionirali, kot smo prikazali v Poglavju 3.5.1.

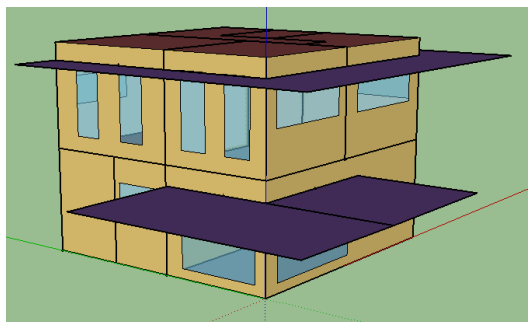
Nadstrešek, ki senči pritlična okna mora biti takih dimenzij, da bo senčil spodnji rob zasteklitve od spomladanskega (21.3.) do jesenskega (23.9.) enakonočja. Torej potrebujemo VSA 30 ° na južno orientiranem oknu in pri zahodno orientiranem oknu predpostavimo enako. Dimenzioniramo tudi nadstrešek, ki senči južno orientirane zasteklitve v nadstropju po enakih korakih. Za zasteklitve na V in Z strani predpostavimo enako širino kot pri južno orientiranih (za nadstropje – poenostavitev). Oblikovana fiksna senčila, so prikazana na Sliki 33 in so obarvana vijolično. Kako vpliva uvedba fiksnih senčil, je prikazano v Preglednici 25. V splošnem deluje sicer pozitivno na Q_T , ampak je s tem hkrati precej narasla potreba po ogrevanju (za približno 4 GJ), kar je nezaželeno. Medtem se je vrednost Q_{NC} skoraj razpolovila (16,46 GJ). Smiselna rešitev, ki se ponuja, je delna uvedba fiksnih senčil samo na južno orientiranih odprtinah, drugje pa bi namestili premična senčila.

Preglednica 25: Senčenje in poraba energije.
Table 25: Shading and energy consumption.

		Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Q_T [MJ/m ²]	Zmanjšanje Q_{NC} [%]	Obdobje senčenja
Ljubljana	Izhodišče	24,29	11,43	360,93	-	-
	Žaluzije – 5 °	25,02	1,12	284,16	90	maj – sep.
	Žaluzije – 45 °	24,74	1,74	286,89	85	maj – sep.
Trbiž	Izhodišče	27,26	5,63	338,19	-	-
	Žaluzije – 60 °	27,96	1,72	312,51	69	Jun. – avg.
	Žaluzije – 80 °	27,77	1,8	311,58	68	jun – avg.
	Žaluzije – 80 °	28,62	0,05	304,4	99	maj – sep.
	Rolo	27,71	0,93	304,17	83	maj – sep.
Trst	Izhodišče	15,44	28,8	429,21	-	-
	Fiksna senčila	19,03	16,46	358	43	maj – sep.
	Žaluzije – 5 °	15,66	5,75	246,27	80	maj – sep.
	Rolo	15,65	5,82	246,71	80	maj – sep.

Preglednica 26: Optične vrednosti »rolo« senčil.
Table 26: Optical values of »rolo« shades.

	Celotni sončni spekter		Vidni del sončnega spektra	
	α	ρ	α	ρ
Trbiž	0,4	0,55	0,4	0,55
Trst	0,05	0,94	0,05	0,94



Slika 33: Prikaz oblikovanih fiksnih senčil v programu SketchUp na lokaciji Trst.
Figure 33: Representation of designing shading in SketchUp program in Trieste.

Enako kot pri preostalih dveh kombinacijah preverimo delovanje premičnih senčil na lokaciji Trst. Ponovno si izberemo najprej žaluzije, ki so prav tako aktivne od maja do septembra (glede na Grafikon 11). Če izhajamo iz lokacije Ljubljana in analiz senčenja, lahko sklepamo, da bo potrebni naklon lamel majhen naklon oziroma si prav tako izberemo 5° naklon. Ta močno preprečuje vstop sončnega sevanja v stavbo. Rezultati iz Preglednice 25 kažejo na poglobitno prednost premičnih senčil, in sicer, ta lahko učinkovito senčijo, ko je to potrebno (maj–september), ter hkrati omogočijo PSH v hladnejšem obdobju. To se pozna predvsem v velikem zmanjšanju Q_T (zmanjšanje 183 MJ/m^2). Torej je tako senčenje veliko bolj primerno za lokacijo Trst, kljub izhodiščni zelo visoki vrednosti Q_{NC} . Dodatno preverimo učinkovitost rolo premičnega senčila. Optične lastnosti tekstilnega materiala so drugačne kot v Trbižu in predstavljene v Preglednici 26. Predvsem so v Trstu potrebne temnejše barve z manjšo prepustnostjo celotnega spektra sončnega sevanja (prepustimo samo 5 %). Če primerjamo Q_T pri obeh senčilih (Preglednice 25), ugotovimo, da je vrednost skoraj identična. Pri vrednostih Q_{NH} in Q_{NC} prav tako ni opaziti velikih razlik.

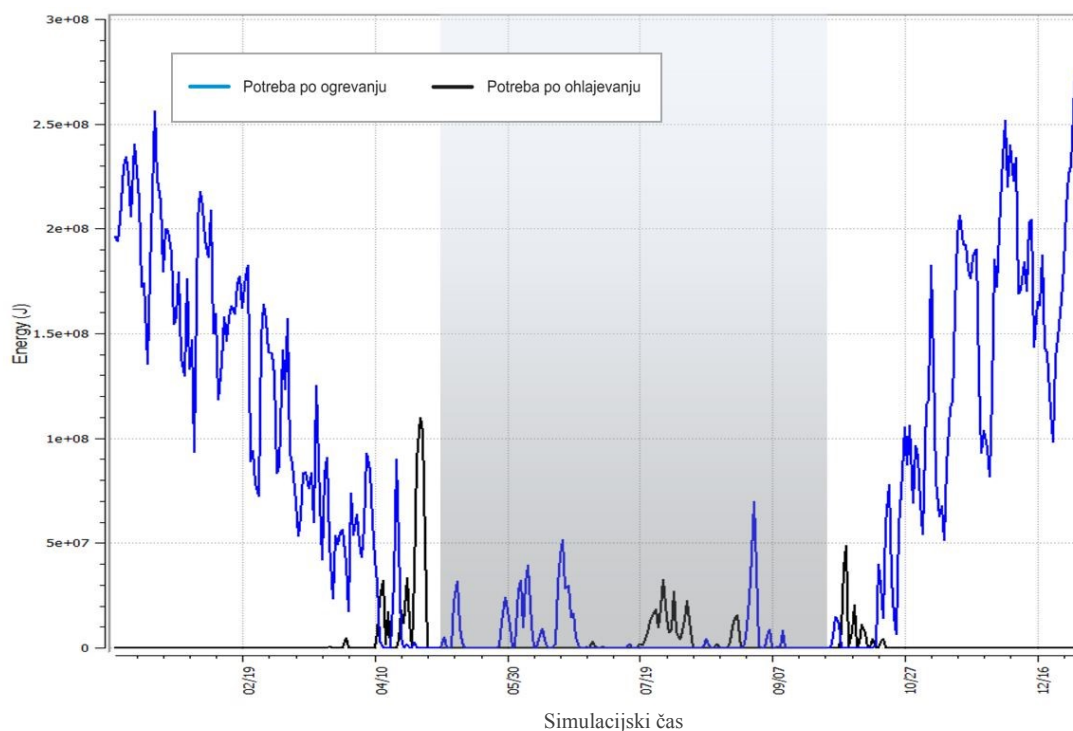
Do enakih ugotovitev lahko pridemo, če si pogledamo grafični prikaz spreminjanja vrednosti Q_{NH} in Q_{NC} po uvedbi senčenja na Grafikonih 13–18. Obdobje senčenja je na posameznih grafikonih označeno s transparentno modro barvo. Za primer Ljubljane primerjajmo Grafikone 8, 13 in 14. Grafikon 13 predstavlja spreminjanje energije pri uvedbi žaluzij pri 5° naklonu lamel, opazimo, da je zmanjšanje potrebe po ohlajevanju ustrezno (črna krivulja), z izjemo lokalnega maksimuma na koncu aprila (takrat še ne senčimo). Dodatno se v poletnem času pojavi potreba po ogrevanju (modra krivulja). S senčili z manj sofisticiranimi načini vodenja, npr enako senčenje od maja do septembra, to težko preprečimo. Vendar je ta vpliv glede na vrednost iz Preglednice 25 bolj zanemarljive narave. V primeru 45° naklona lamel (Grafikon 14) opazimo, da se potreba po ohlajevanju nekoliko poveča, hkrati pa se nekoliko zmanjša porast potrebe po ogrevanju. Kot je bilo opazno pri 5° naklonu.

Grafični prikaz spreminjanja vrednosti Q_{NH} in Q_{NC} po uvedbi senčenja v Trbižu prikazujeta Grafikona 15 in 16. Če ju primerjamo z Grafikonom 10, opazimo, da se pri žaluzijah z 80° naklonom lamel potreba po ohlajevanju popolnoma izniči. Pri rolo senčilih se ta potreba ohrani minimalno, hkrati pa opazimo manjše povečanje potrebe po ogrevanju v poletnem času (za razliko od žaluzij).

Pri Trstu si oglejmo grafični prikaz spreminjanja vrednosti Q_{NH} in Q_{NC} po uvedbi senčenja na Grafikonih 17 in 18 ter ju primerjajmo z Grafikonom 12. Tako žaluzije kot rolo senčila dosegajo primerljive vrednosti in ni opaziti večjih razlik. Problematičen je predvsem potencial pregrevanja v aprilu (preden začnemo senčiti), ampak na podlagi hitre analize, v kateri smo obdobje senčenja podaljšali na april, smo ugotovili, da bi to povzročilo preveliko povečanje potrebe po ogrevanju. Zato

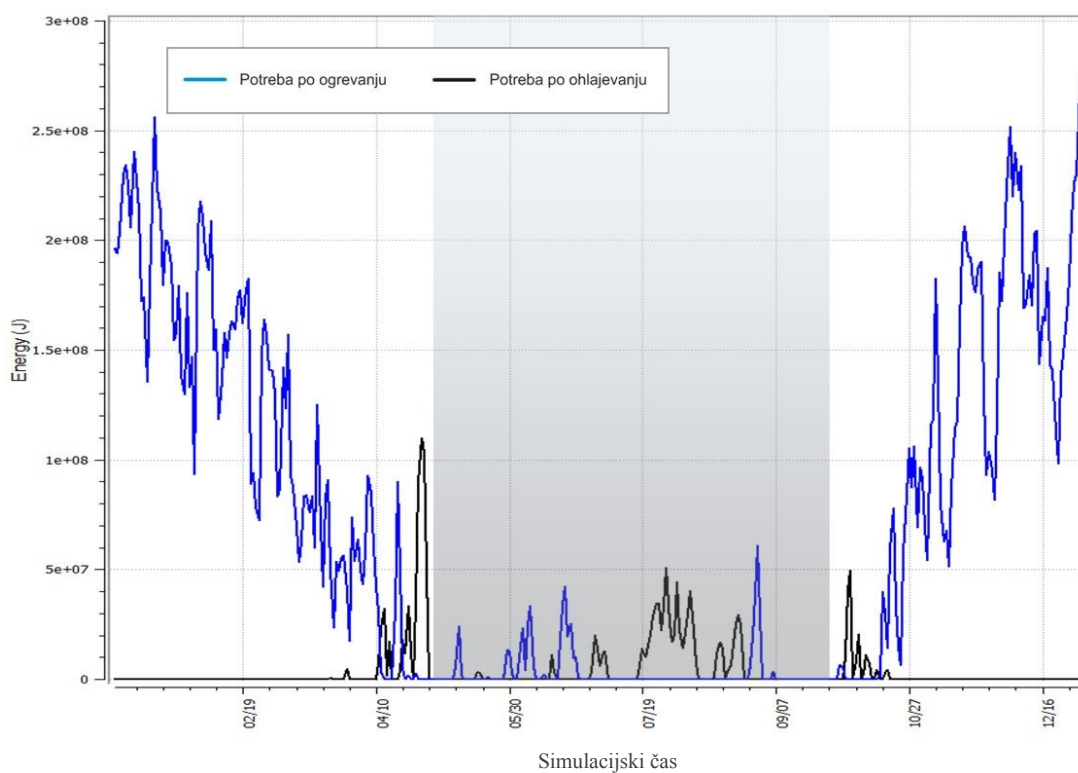
bi morali v okviru prehodnih obdobj uvesti manj intenzivno senčenje (bolj sofisticirani načini vodenja) in opraviti več analiz.

Za premična senčila, ki so po učinkovitosti in neto potrebni energiji med seboj zelo primerljiva, ne moremo z gotovostjo trditi, katera so optimalnejša. Na tem mestu bi bilo priporočeno opraviti dodatne analize osvetljenosti prostorov. Na podlagi le-teh pa bi lahko ocenili, katera senčila bi bila za določen prostor/stavbo optimalnejša.



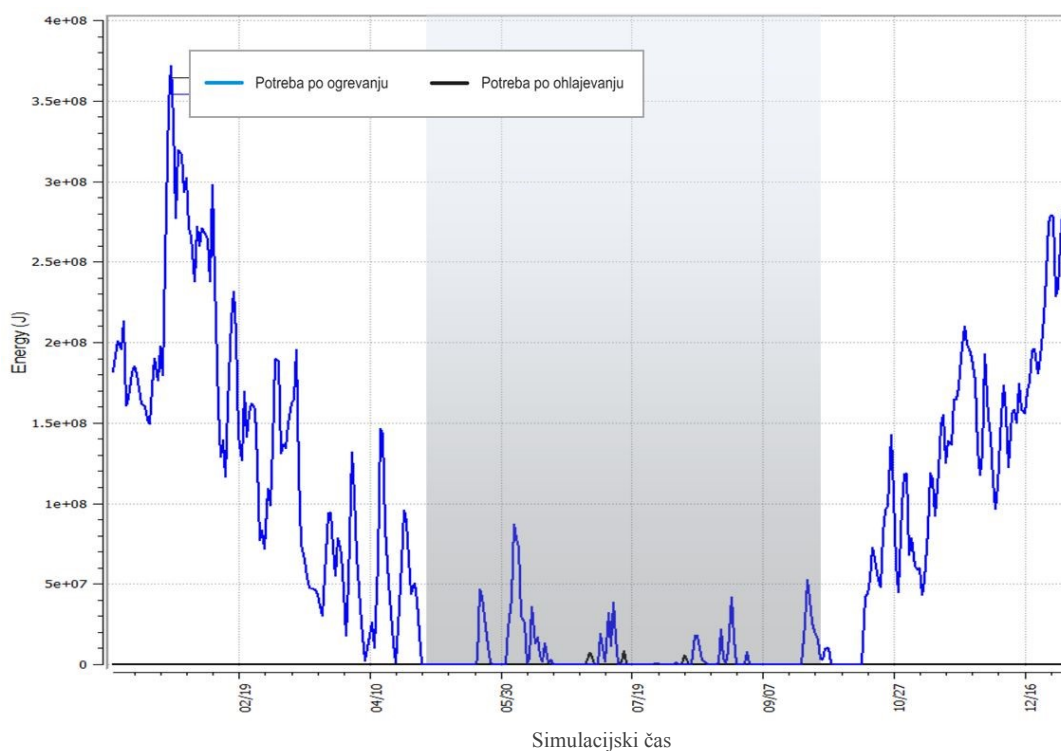
Grafikon 13: Grafični prikaz reduciranja potrebne energije za obratovanje pri žaluzijah s 5° naklonom lamel v Ljubljani.

Graph 13: Graphical representation of energy reduction in case of blinds with 5° blades inclination in Ljubljana.



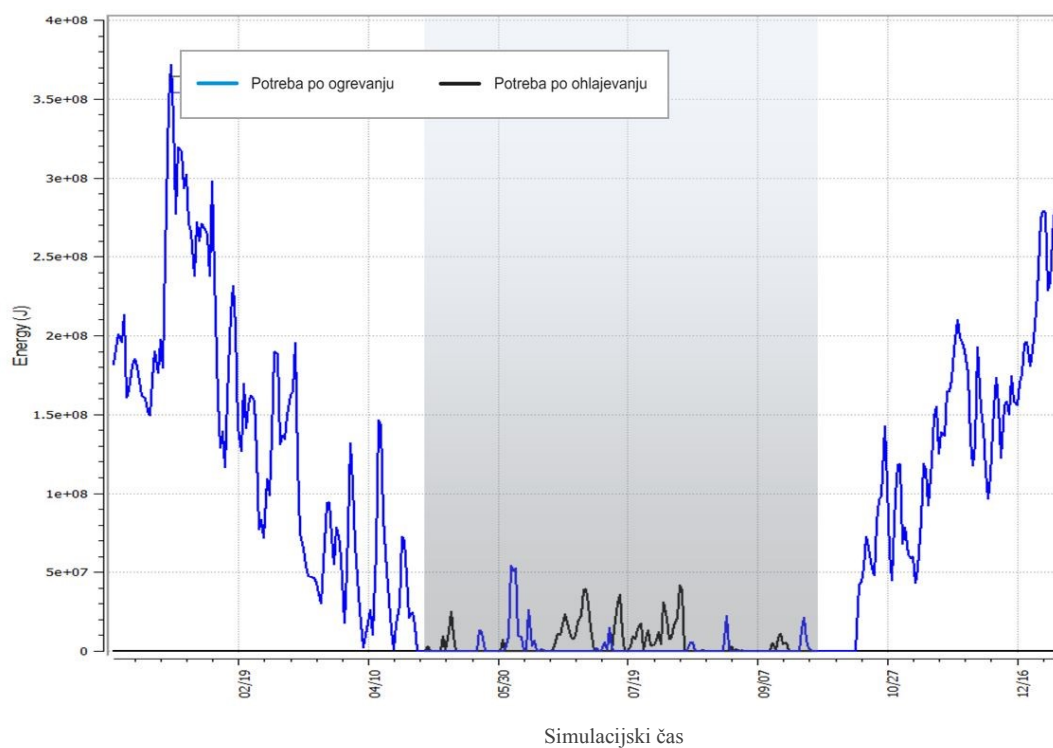
Grafikon 14: Grafični prikaz reduciranja potrebne energije za obratovanje pri žaluzijah s 45° naklonom lamel v Ljubljani.

Graph 14: Graphical representation of energy reduction in case of blinds with 45° blades inclination in Ljubljana.



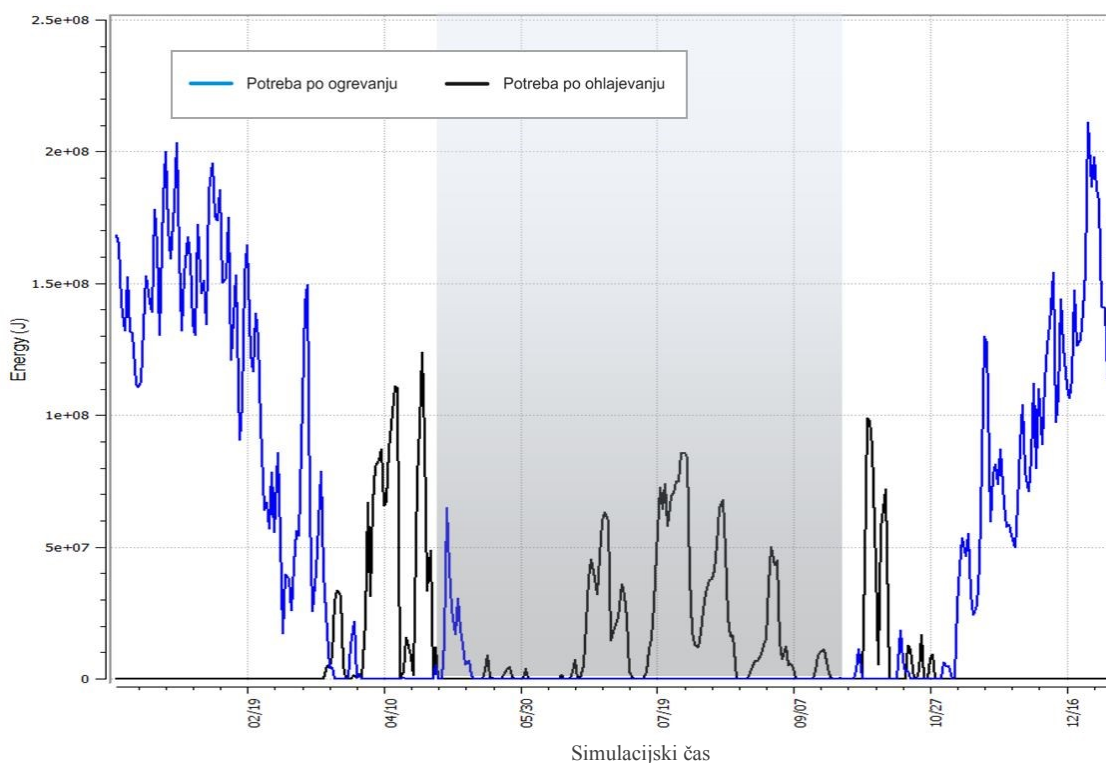
Grafikon 15: Grafični prikaz reduciranja potrebne energije za obratovanje pri žaluzijah z 80 ° naklonom lamel v Trbižu.

Graph 15: Graphical representation of energy reduction in case of blinds with 80 ° blades inclination in Tarvisio.



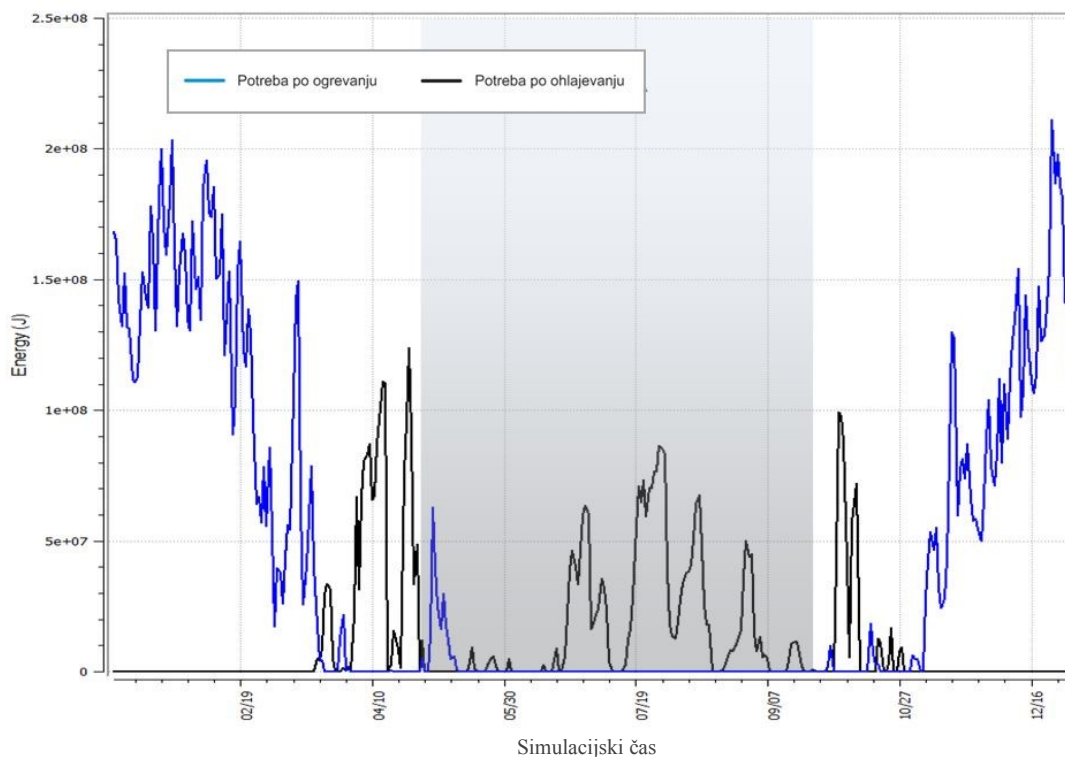
Grafikon 16: Grafični prikaz reduciranja potrebne energije za obratovanje pri rolo senčilih v Trbižu.

Graph 16: Graphical representation of energy reduction in case of »rolo« shades in Tarvisio.



Grafikon 17: Grafični prikaz reduciranja potrebne energije za obratovanje z žaluzijami s 5 ° naklonom lamel v Trstu.

Graph 17: Graphical representation of energy reduction in case of blinds with 5 ° blades inclination in Trieste.



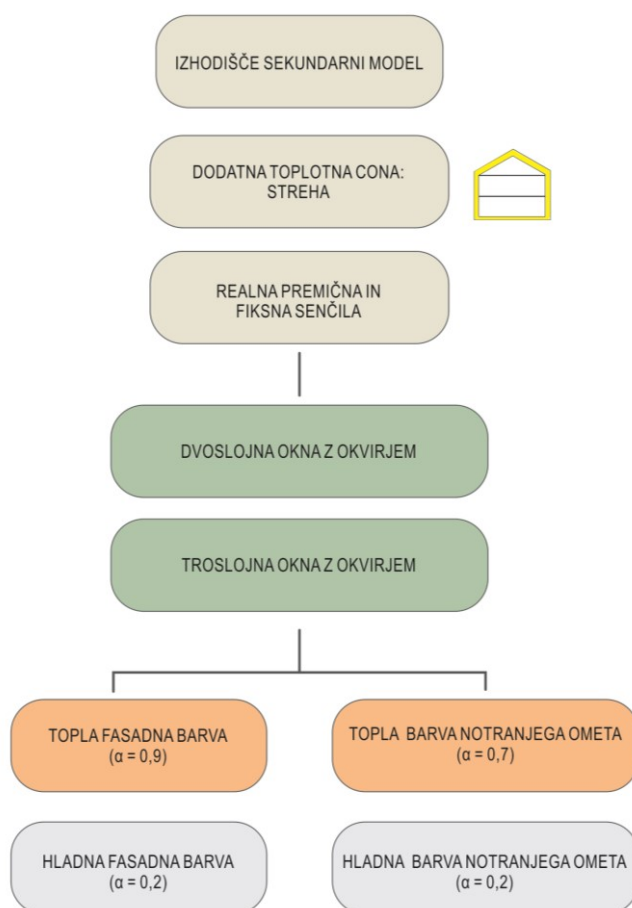
Grafikon 18: Grafični prikaz reduciranja potrebne energije za obratovanje z rolo senčili v Trstu.

Graph 18: Graphical representation of energy reduction in case of »rolo« shades in Trieste.

4.2.3 Prototip modela stavbe

Če zopet najprej povzamemo ugotovitve iz sekundarnega modela, lahko rečemo, da smo z nočnim prezračevanjem učinkovito zmanjšali neto potrebno energijo. Nočno prezračevanje se je kljub majhni intenziteti prezračevanja izkazalo za učinkovit ukrep. Najbolj uspešno (-30 %) smo zmanjšali potrebo po ohlajevanju v Trbižu, hkrati smo to potrebo pozneje z minimalnim senčenjem tudi izničili. Z nočnim prezračevanjem smo porabo energije za hlajenje najmanj uspešno reducirali v Trstu (visoke temperature), hkrati smo morali učinkovito senčiti (prepustimo samo 5 % sončnega sevanja skozi zasteklitev). Glede na delež senčenja uvedemo v Ljubljani podobne ukrepe kot Trstu, vendar če medsebojno primerjamo vrednosti potrebe po ogrevanju te nimajo enakega učinka.

Na tej stopnji modeliranja prototipa stavbe bomo analizirali podrobne načrtovalske ukrepe na ravni ovoja stavbe. Predvsem nas bo zanimalo, kako na porabo energije vplivajo okenski okvirji in barve finalnih oblog (absorptivnost sončne energije). Iz Slike 34 lahko razberemo razčlenjeni postopek definicije prototipa modela stavbe, vhodni podatki za modeliranje so zaključki in rezultati sekundarnega modela stavbe. Ker dejansko stavbe niso kvadri in kocke, smo na stopnji prototipa stavbe definirali tudi ostrežje stavbe. To predstavlja tudi dodatno toplotno cono v stavbi.



Slika 34: Metodologija analiziranja ukrepov na realni stavbi.
Figure 34: Graphical representation of model prototype design process.

4.2.3.1 Vhodni podatki

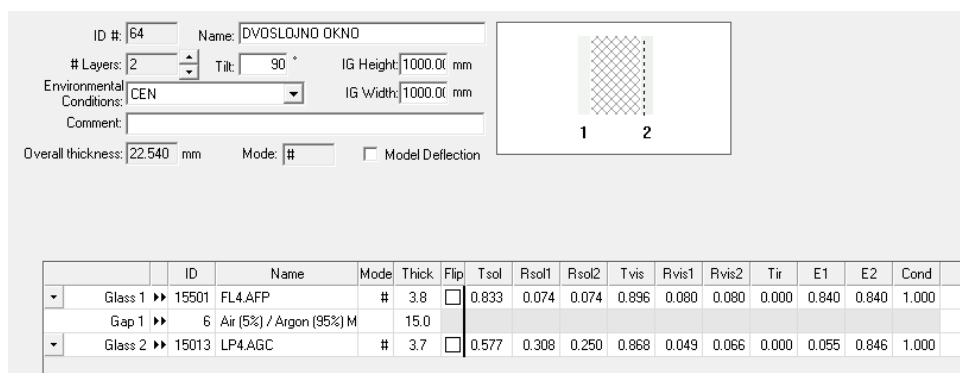
Naš cilj v modeliranju prototipa stavbe je obravnava bolj realnega modela stavbe na podlagi predhodnih izsledkov. Osnovni obliki modela stavbe (kvader) dodamo podstrešje, ki predstavlja novo toplotno cono. Ostrešje ni kondicionirano (ogrevano/ohlajevano). Torej imamo v modelu dve toplotni coni in 11 prostorov (10+1). Preostali vhodni podatki ostajajo enaki kot pri sekundarnem modelu stavbe (senčenje, prezračevanje, nočno prezračevanje, aktivnost, zasedenost, notranji viri).

Zasteklitev in okenski okvir: Pri definiciji in izbiri ustrezne zasteklitve je ključno, da se vprašamo, kakšno zasteklitev potrebujemo oziroma kaj od nje zahtevamo. Na splošno si želimo, da toplotna prehodnost okna (U_w) ni veliko višja od toplotne prehodnosti preostalega stavbnega ovoja. Dodatno nam vrednosti omejuje tudi TSG. Seveda je to bolj pomembno pri lokacijah, kjer je velika potreba po ogrevanju, kot pri lokacijah s potencialom pregrevanja. Faktor, ki nam določa prepustnost sončne energije, je g faktor. Tako g kot U_w faktor (toplotna prehodnost celotnega okna) sta med sabo povezana, bolj je okno izolativno (ima več plasti), manj je prepustno za sončno sevanje. Delež prepustnosti vidne svetlobe nam definira LT faktor. V primarnem in sekundarnem modelu stavbe smo imeli zasteklitve definirane po predlogu programa EnergyPlus. Za cilj pri prototipu stavbe smo si postavili, da sestavo zasteklitve in okenski okvir določimo sami oziroma po zgledu vrednosti zasteklitve proizvajalca Reflex [59]. Tako poskrbimo za bolj podrobne in realne vhodne podatke. Zasteklitev in okenski okvir definiramo s programom WINDOW [60] in tako sestavljeno okno s pomočjo vtičnika SketchUp uvozimo v model EnergyPlus.

V analizah bomo preverjali dvoslojno (Slika 35) in troslojno (Slika 36) zasteklitve, njihove osnovne lastnosti so zapisane v Preglednici 27. Če primerjamo vrednosti toplotne prehodnosti zasteklitve (U_g), se pri troslojni zasteklitvi vrednost skoraj prepolovi, hkrati pa je opazen upad tudi g in LT faktorja. Z dvoslojnim oknom prepustimo 50 % celotnega sončnega spektra in 78 % vidnega dela sončnega spektra. S troslojnim oknom pa 40 % celotnega sončnega spektra in 68 % vidnega dela sončnega spektra. Razčlenjena sestava zasteklitve iz programa WINDOW je za dvoslojno okno prikazana na Sliki 35. Na zunanji strani (plast 1) je visoko prepustno steklo (visoka g in LT faktor), notranje steklo pa je nizko emisijsko okno (nizko emisijski premaz – »low E« je prikazan s črtkano črto), kar se odraža predvsem z zmanjšanjem prepustnosti celotnega sončnega spektra. Vmesni prostor (15 mm) je zapolnjen z mešanico žlahtnega plina argona 95 % in 5 % zraka. Pri troslojnem oknu (Slika 36) je zunanje in notranje steklo nizko emisijsko (nizko emisijski premaz je prikazan s črtkano črto) in visoko prepustno steklo na sredini. Vmesna prostora (2x 15 mm) sta prav tako zapolnjena z mešanico žlahtnega plina argona 95 % in 5 % zraka.

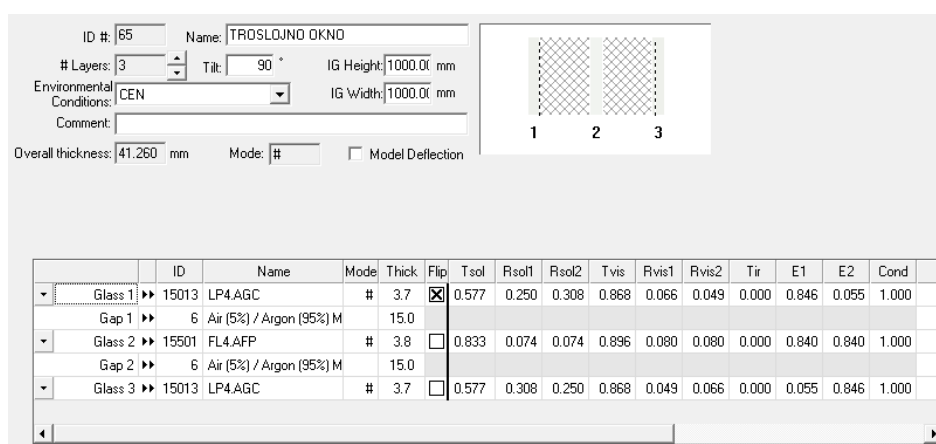
Preglednica 27: Osnovne vrednosti zasteklitve.
Table 27: Basic glazing values.

Veličina	U_g [W/m ² K]	g faktor	LT faktor
Dvoslojno okno (»low E« nanos)	1,467	0,50	0,78
Troslojno okno (dvojni »low E« nanos)	0,715	0,40	0,68



Slika 35: Dvoslojno okno karakteristike, vir slike: [60].

Figure 35: Two-layer window characteristics: the figure source: [60].



Slika 36: Troslojno okno karakteristike, vir slike: [60].

Figure 36: Three-layer window characteristics: the figure source: [60].

Senčenje: Ker se je pri analizah senčenja izkazalo, da lahko dosežemo enako zmanjšanje neto potrebne energije z različnimi vrstami senčil, smo se odločili, da pri vsaki lokaciji izberemo le eno. Za lokacijo Trst smo izbrali uporabo rolo senčil, saj so se izkazala za enako učinkovita v reduciranju neto potrebne energije kot žaluzije (Poglavje 4.2.2.2). Medtem ko smo v Trbižu odločili za uporabo žaluzij, tako da smo lahko obravnavali različne vrste senčil. Pri Ljubljani smo se pri izbiri senčil odločali med različnimi nakloni lamel žaluzij, izbrali smo si 45 ° naklon lamel.

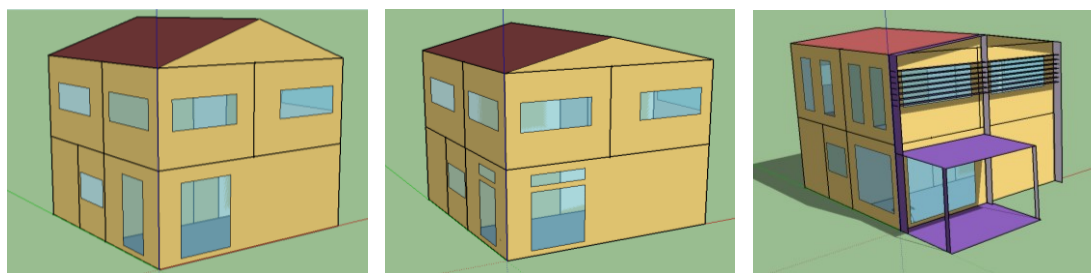
Vhodne vrednosti za rolo senčila na lokaciji Trst smo povzeli po rolojih znamke »Dickson – SWK M 652« [61]. Pomembna lastnost, ki vpliva na optične lastnosti rolo senčila (Preglednica 28), je barva tekstila. Izbrani rolo je temno siv, z dodatkom kovinskih delcev. S temno sivo barvo omogočimo visoko absorpcijo materiala, medtem ko z dodanimi kovinskimi delci omogočimo določeno odbojnost. Značilna je predvsem nizka vrednost prepustnosti za celotno sončno energijo (celoten sončni spekter) in nizka vrednost prepustnosti za vidno svetlobo. Tako da podobno kot v sekundarnem modelu večino sončnega sevanja s pomočjo senčil blokiramo. Uporabljene optične lastnosti žaluzij na lokaciji Trbiž in Ljubljana so prav tako prikazane v Preglednici 28 in smo jih definirali s pomočjo predlaganih vrednosti v programu EnergyPlus [37]. Žaluzije so netransparentne zato je tudi vrednost prepustnosti (τ) za celotni in vidni del sončnega spektra enaka nič. Polovico sončnega spektra žaluzije odbijejo (ρ) nazaj v okolico, polovico absorbirajo (α).

Preglednica 28: Osnovne optične karakteristike.

Table 28: Basic optical characteristics.

	celotni sončni spekter			vidni del sončnega spektra		
	τ	ρ	α	τ	ρ	α
Rolo *	0,05	0,35	0,60	0,06	0,36	0,58
Žaluzije **	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50
vira podatkov: * [61] ** [37]						

Modeliranje prototipa stavbe: Preden smo začeli z analizami, smo na vsaki lokaciji na podlagi prehodnih ugotovitev (primarni in sekundarni model stavbe) modelirali tri izhodiščne prototipne modele stavb (Slika 37). V Trbižu smo za senčenje uporabljali žaluzije z 80 ° nagibom lamel, ki so v uporabi od maja do septembra. Z definicijo podstrešja se nam na modelih spremeni faktor oblike, ki sedaj znaša $fo=0,91$. Model stavbe v Ljubljani je vizualno podoben modelu v Trbižu z manjšim naklonom strehe. Za senčenje smo uporabili žaluzije s 45 ° naklonom lamel, ki so prav tako v uporabi od maja do septembra. Na podlagi ugotovitev iz Grafikona 14, kjer je opazno povečanje potrebe po ogrevanju v poletnem času, smo v ovoj stavbe dodali dve manjši odprtini, ki nista senčeni. Površina zasteklitve ostaja enaka. S to predpostavko želimo zmanjšati potrebo po ogrevanju v poletnem času. Nov faktor oblike modela znaša $fo=0,93$. Oblikovani model v Trstu se vizualno najbolj razlikuje od preostalih dveh. V Trstu smo želeli uvesti fiksna senčila na južno orientiranih odprtinah, zato smo v nadstropju predpostavili fiksna senčila – horizontalne brisoleje; medtem ko smo se odločili, da bomo južno orientirano okno v pritličju senčili s premičnim senčilom tenda. Tenda deluje kot nadstrešek (ko je v uporabi – od maja do septembra) in se v hladnem obdobju pospravi. Horizontalni brisoleji so zamišljeno kot lesene deske in so vse leto netransparentni. Na vseh preostalih (razen severnih) oknih so montirana rolo senčila (Preglednica 28), ki so prav tako v uporabi od maja do septembra. Nov faktor oblike znaša $fo=0,95$, kar je tudi največja vrednost od vseh treh prototipov.



Slika 37: Videt izhodiščnih modelov za načrtovanje prototipa stavbe na vseh treh lokacijah (od leve proti desni: Trbiž, Ljubljana, Trst).

Figure 37: Baseline model appearance of prototype design process in all three locations (from left to right: Tarvisio, Ljubljana, Trieste).

Absorptivnost finalnih oblog: Pri tem bomo uporabljali izraz »hladna fasada« oziroma »hladna fasadna barva«, kar pomeni da barva večino sončnega sevanja odbije nazaj v okolico. Torej ta barva je popolnoma bela. Uporabljali bomo smiselne vrednosti, ki smo jih sami predpostavili, in sicer 20 % absorptivnost celotnega sončnega spektra. Uporabljali bomo tudi izraz »topla fasada« oziroma »topla fasadna barva«, značilnost take barve je, da ima 90 % absorptivnost celotnega sončnega spektra. Torej barva je temno siva.

4.2.3.2 Rezultati

Vpliv dodatne toplotne cone: Glede na vrednosti iz optimalnega sekundarnega modela na vseh treh lokacijah opazimo večjo neto potrebno energijo (Preglednica 29–31), kar lahko pripisujemo dodatni toplotni coni, ki nam spremeni vrednost faktorja oblike, ta je sedaj večji kot pa pri sekundarnem modelu. To nam pove, da že najmanjše spremembe v obliki stavbe močno vplivajo na povečanje neto potrebne energije. S streho smo povečali površino ovoja stavbe, ki je v stiku z zunanostjo. Največji vpliv (Preglednica 29) na povečanje faktorja oblike imamo na lokaciji Trbiž (17 MJ/m^2), saj je Trbiž najbolj občutljiv na dodatne toplotne izgube skozi ovoj stavbe (največja vrednost Q_{NH}). Drugi največji vpliv (Preglednica 31) opazimo v Trstu ($+11 \text{ MJ/m}^2$), kar smo lahko tudi pričakovali, saj se je faktor oblike stavbe najbolj povečal. Na Ljubljano (Preglednica 30) ima dodatna toplotna cona zaradi najmanjšega povečanja faktorja oblike najmanjši vpliv ($+4 \text{ MJ/m}^2$).

Vpliv zasteklitve in okvirja: V predhodnem modelu stavbe (primarni in sekundarni model) smo imeli v programu EnergyPlus definirano troslojno zasteklitev, vendar brez upoštevanja okvirjev, zato je, kot smo pričakovali ukrep z dvoslojnimi okni in lesenimi okvirji precej negativno vplival na energetske bilanco stavbe na vseh treh lokacijah. Najmanjši negativni vpliv (Preglednica 30) opazimo na lokaciji Ljubljana (24 MJ/m^2), največji (Preglednica 29) na lokaciji Trbiž; kar zopet potrjuje domnevo, da je Trbiž glede toplotnih izgub najbolj občutljiva lokacija. Z uvedbo troslojnih oken je v splošnem energetska bilanca pri vseh lokacijah izrazito izboljšana. Zmanjšanje toplotnih izgub in zmanjšanje solarnih dobitkov je imelo največji doprinos v Trstu, s kar 47 MJ/m^2 (glede na dvoslojna okna), opazno se tukaj zmanjša tako Q_{NH} kot Q_{NC} . Medtem ko je v Ljubljani in Trbižu ta vpliv manjši in približno enak (29 MJ/m^2 – glede na dvoslojna okna), manjši vpliv pri teh dveh lokacijah je posledica skoraj zanemarljive vrednosti Q_{NC} . Odčitane vrednosti troslojne zasteklitve so izhodiščne za nadaljnjo primerjavo ukrepov spreminjanja absorptivnosti finalnih oblog.

Barva fasade: Na prvi pogled lahko pomeni le majhno spremembo oziroma ukrep, vendar smo ugotovili, da lahko pomembno vpliva na energetske bilanco stavbe. Lokacije se medsebojno precej razlikujejo. V Trbižu (Preglednica 29) se kot zelo pozitiven ukrep izkažeta topla fasadna barva, npr. temno siva barva, (zmanjšanje Q_T za skoraj 5 MJ/m^2) in topla barva notranjega ometa, ki zmanjša vrednost Q_T za skoraj 3 MJ/m^2 . Ravno obraten učinek ima hladna fasadna barva, npr. bela barva, ki povzroči precej negativen odziv stavbe. V Trbižu želimo s pasivnim načrtovanjem zajeti kar največ sončne energije, s hladno fasado pa se dogaja ravno obratno – jo odbije nazaj v okolico. Zato si v Trbižu želimo, da ima barva veliko sposobnost absorpcije celotnega spektra sončnega sevanja in tako posledično dobimo dodaten toplotni tok skozi ovoj stavbe. Na splošno se rezultati pri Ljubljani (Preglednica 30) nagibajo v enako smer kot v Trbižu. V Ljubljani zaradi prisotne minimalne potrebe po ohlajevanju izboljšave energetske bilance niso tako drastične kot v Trbižu. Zato tudi hladna fasadna barva nima tako drastično negativnega učinka. Vpliv tople barve notranje in zunanje finalne obloge je, zanimivo, precej podoben. Medtem ko je rezultat v Trbižu in Ljubljani podoben, imamo v Trstu ravno obratno sliko (Preglednica 31). Hladna fasadna barva na energetske bilanco pozitivno vpliva, saj zmanjša potrebo po ohlajevanju. Večino sončnega sevanja fasadna barva odbije nazaj v okolico. Medtem ko spreminjanje barve notranjega ometa in absorptivnosti nima velikega vpliva na energetske bilanco. Kljub pozitivnemu učinku hladne fasadne barve, relativna vrednost zmanjšanja ni tako zelo velika (4 MJ/m^2), predvsem zaradi tega, ker imamo kljub visoki potrebi po ohlajevanju tudi potrebo po ogrevanju in se pri omenjenih ukrepih vrednosti izključujeta. Pričakovano večji vpliv bi imela hladna fasada tam, kjer je potreba po ogrevanju zanemarljiva.

Preglednica 29: Rezultati načrtovalskih ukrepov pri prototipu stavbe v Trbižu.

Table 29: The results of the planning measures in case of prototype building in Tarvisio.

Podnebje	HLADNO					
Analizirana lokacija	Trbiž					
Veličina	Q_T [MJ/m ²]	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Ocena ukrepa	Absolutna razlika v Q_T [MJ/m ²]	Relativna razlika v Q_T [%]
Optimalni sekundarni model	304,4	17,62	0,05	-	-	-
Dodatna cona – streha	321,73	30,83	0	-	-	+ 5
Dvoslojna okna z lesenim okvirjem	352,94	34,73	0	-	-	+9
Troslojna okna z bolj izolativnim okvirjem	323,81	31,09	0	-	Izhodišče	- 9
Topla fasadna barva	318,91	30,48	0	POZITIVNO	-4,9	- 1,5
Hladna fasadna barva	338,44	32,92	0	NEGATIVNO	14,63	+ 4,3
Topla barva notranje obloge (strop + stena)	321,64	30,82	0	POZITIVNO	-2,17	- 0,7
Hladna barva notranje obloge (strop + stena)	326,57	31,44	0	NEGATIVNO	2,76	+ 0,9

Preglednica 30: Rezultati načrtovalskih ukrepov pri prototipu stavbe v Ljubljani.

Table 30: The results of the planning measures in case of prototype building in Ljubljana.

Podnebje	ZMerno					
Analizirana lokacija	Ljubljana					
Veličina	Q_T [MJ/m ²]	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Ocena ukrepa	Absolutna razlika v Q_T [MJ/m ²]	Relativna razlika v Q_T [%]
Optimalni sekundarni model	286,89	24,74	1,74	-	-	-
Dodatna cona – streha	290,84	25,94	1,04	-	-	+ 1
Dvoslojna okna z lesenimi okvirji	315,17	28,83	1,18	-	-	+ 8
Troslojna okna z bolj izolativnimi okvirji	285,19	25,61	0,66	-	Izhodišče	- 10
Topla fasadna barva	283,29	25,2	0,83	POZITIVNO	-1,9	- 0,7
Hladna fasadna barva	291,91	26,8	0,31	NEGATIVNO	6,72	+ 2,3
Topla barva notranje obloge (strop + stena)	283,57	25,36	0,71	POZITIVNO	-1,62	- 0,6
Hladna barva notranje obloge (strop + stena)	287,27	25,92	0,62	NEGATIVNO	2,08	+ 0,7

Preglednica 31: Rezultati načrtovalskih ukrepov pri prototipu stavbe v Trstu.

Table 31: The results of the planning measures in case of prototype building in Trieste.

Podnebje	VROČE					
Analizirana lokacija	Trst					
Veličina	Q_T [MJ/m ²]	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Ocena ukrepa	Absolutna razlika v Q_T [MJ/m ²]	Relativna razlika v Q_T [%]
Optimalni sekundarni model	269,49	15,55	8,76	-	-	-
Dodatna cona – streha	281,11	17,52	8,51	-	-	+ 4
Dvoslojna okna z lesenimi okvirji	307,86	20,63	8,47	-	-	+ 8,5
Troslojna okna z bolj izolativnimi okvirji	260,48	17,35	5,84	-	Izhodišče	- 18
Topla fasadna barva	262,4	17,11	6,31	NEGATIVNO	1,92	- 0,7
Hladna fasadna barva	256,14	18,01	4,64	POZITIVNO	-4,34	+ 1,7
Topla barva notranje obloge (strop + stena)	260,26	17,3	6,03	NEVTRALNO	-0,22	0
Hladna barva notranje obloge (strop + stena)	260,8	17,56	5,66	NEVTRALNO	0,32	0

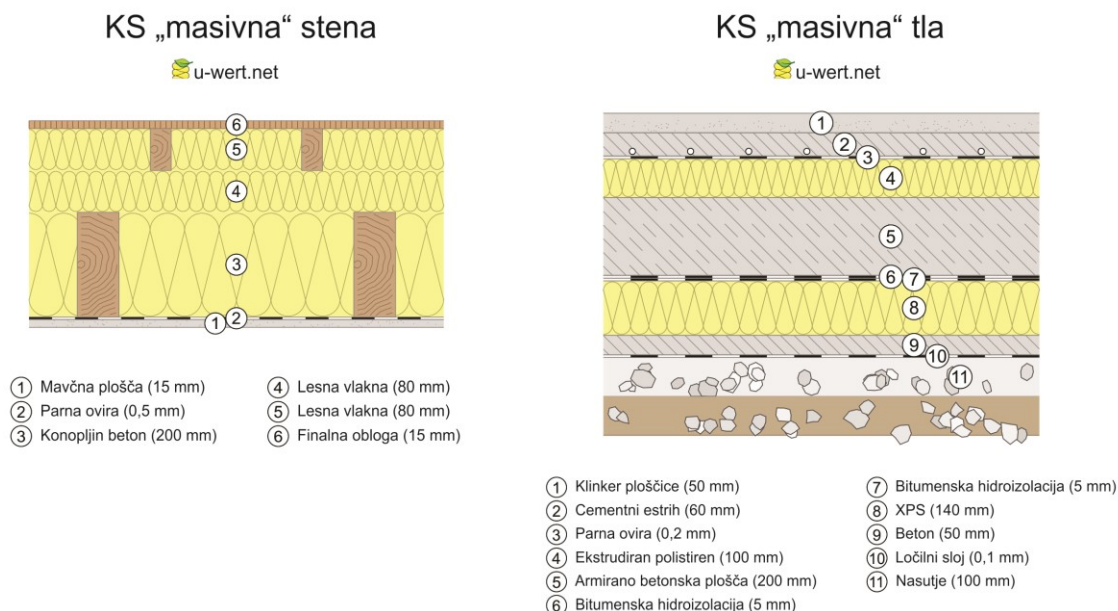
Glede na rezultate analize prototipa stavbe lahko trdimo, da je pri vseh lokacijah ustrezna in potrebna trojna zasteklitev, medtem ko je v Ljubljani in Trbižu zaželeno topla fasadna barva (temni odtenki, npr. temno siva), je v Trstu potrebna hladna fasadna barva (svetli odtenki, npr. bela).

4.3 Termična masa v stavbi

V Poglavju 3.6 smo na podlagi obstoječih študij ugotovili, da se stavbe s termično maso odzivajo drugače kot »lahka« stavba. Veliko študij poudarja pomen mase pri bolj učinkovitem delovanju določenih pasivnih ukrepov. Zato smo iskali rešitve, kako bi montažni stavbi dodali maso ter kakšen vpliv ima ta na energetske bilanco in temperaturno odzivanje stavbe. Najprej smo načrtovali ustrezne konstrukcijske sklope, tako da smo se držali ugotovitev iz poglavja 3.6 (dodatno termično maso integriramo na notranjo stran KS). Uporabili smo material lahkega konopljinega betona kot polnilo za KS stene in opečne ploščice kot finalna obloga KS tal. Vpliv posamezne dodatne termične mase v posameznem KS smo obravnavali ločeno.

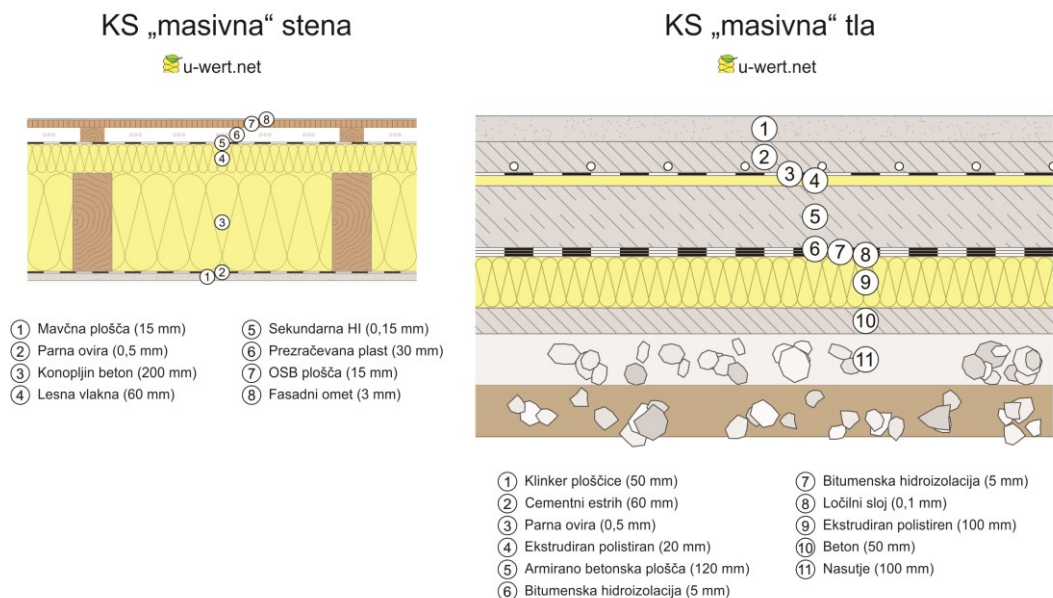
4.3.1 Sestava ovoja stavbe

Pri sestavi posameznih konstrukcijskih sklopov smo se držali omejitev maksimalne toplotne prehodnosti, ki smo jih vpeljali v sekundarnem modelu stavbe. Torej ohraniti moramo ekvivalentno toplotno prehodnost posameznih konstrukcijskih sklopov (tla, stena in streha). Kot smo že omenili bomo dodatno termično maso uvedli samo v KS stena in tla, pri tem KS strehe ostane nespremenjen (»lahek«). Ker bomo dodatno termično maso v KS stena dodali med nosilne elemente (stebri), je ta debelina pri vseh treh lokacijah enaka. Tudi pri KS tla bomo pri vseh treh lokacijah dodali finalno oblogo opečne plošče enakih debelin. Ker smo pri Trbižu in Ljubljani predpostavili enako vrednost toplotne prehodnosti ovoja stavbe, smo tudi sestavo KS stene in tal (Slika 38) ohranili enako. Za toplotno izolacijo v steni smo predpostavili lesna vlakna (2 x 80 mm). Medtem ko smo v tleh predpostavili za toplotno izolacijo, ekstrudiran polistiren (XPS), debelin 100 in 140 mm. Debelino opečnih ploščic, ki delujejo kot termična masa, smo predpostavili na 5 cm.



Slika 38: KS tla in stena z dodano toplotno akumulacijsko maso v Ljubljani in Trbižu, vir slike: [51].
Figure 38: Structural assembly of wall and floor with added thermal mass in Ljubljana and Tarvisio, the figure source: [51].

Na Sliki 39 je prikazana sestava KS stene in tal na lokaciji Trst. Sestava se razlikuje samo v debelini sloja toplotne izolacije. V steni imamo 60 mm lesenih vlaken, v tleh pa 100 in 20 mm ekstrudiranega polistirena (XPS).



Slika 39: KS tla in stena z dodano toplotno akumulacijsko maso v Trstu, vir slike: [51].

Figure 39: Structural assembly of wall and floor with added thermal mass in Trieste, the figure source: [51].

Pripadajoče in izhodiščne vrednosti toplotne prehodnosti za vse tri lokacije so zapisane v Preglednici 32. Ustrezno so izhodiščne vrednosti toplotne prehodnosti KS brez in z dodatno maso primerljive. V preglednici je zapisana tudi vrednost dodatne toplotne kapacitete v KS. To smo izračunali tako, da smo pomnožili gostoto materiala, specifično težo in debelino sloja.

Preglednica 32: Primerjava U vrednosti brez in z maso.

Table 32: The comparison of U values with and without thermal mass.

		U [W/m ² K]			Dodatna toplotna kapaciteta [kJ/K/m ²]	
Variante		Tla	Stena	Streha	Tla	Stena
Ljubljana	Izhodišče	0,145	0,162	0,113	-	-
	Z dodatno maso	0,141	0,16	0,113	239	99
Trbiž	Izhodišče	0,145	0,162	0,113	-	-
	Z dodatno maso	0,141	0,160	0,113	239	99
Trst	Izhodišče	0,202	0,314	0,118	-	-
	Z dodatno maso	0,205	0,307	0,124	239	99

Z dodatno maso v tleh pridobimo precej več toplotne kapacitete kot pa z dodatno maso v stenah, kljub temu, da je material precej bolj tanek (5 cm). Razlog je v majhni masi konopljinega betona in visoki masi opečnih ploščic (Preglednica 5).

4.3.2 Rezultati simulacij z dodatno akumulacijsko maso

Rdeča nit naloge je analiziranje ukrepov pri sprotni kontroli spreminjanja energetske bilance stavbe, vendar je na tem mestu primerjanja rezultatov merodajno primerjati tudi delovanje in odzivanje »lahke« in »težje« stavbe v prostem teku. Zelo pomembno za uporabnikovo počutje je, kako hitro se stavba odziva na spremembe in kakšne absolutne temperaturne maksimume (pregrevanje, podhlajevanje stavbe) dosega. Zanima nas, ali lahko z dodajanjem termične mase omilimo temperaturno nihanje in povečamo temperaturni zamik ter tako ocenimo upravičenost uporabe dodatne toplotne mase v stavbnem ovoju.

Energetsko gledano se je na vseh lokacijah dodatna termična masa izkazala kot pozitiven ukrep. Analizo vpliva smo razčlenili tako, da smo posebej obravnavali vpliv dodatne termične mase v tleh in stenah ter oboje hkrati. Glede na potrebno neto energijo je odziv stavbe na vsaki lokaciji precej drugačen. Največji energetski prihranek lahko pričakujemo v Ljubljani (Preglednica 34), kjer je optimalno hkrati dodati termično maso v tleh in stenah skupaj. Vrednost Q_T zmanjšamo za 7,14 MJ/m², prevladuje zmanjšanje vrednosti potrebe za ogrevanje. Po vrednosti zmanjšanja Q_T sledi Trst (Preglednica 35), najmanjši vpliv se je pokazal v Trbižu (Preglednica 33). Pri obeh lokacijah lahko pričakujemo, da ima dodatna masa največji vpliv v tleh. Vpliv dodatne mase v stenah na vrednost Q_T je zanemarljiv. Zato lahko trdimo, da je smiselno kot optimalni dodatni načrtovalski ukrep izbrati dodatno termično maso samo v tleh. V Trstu znaša zmanjšanje vrednosti Q_T 4,55 MJ/m², zmanjša se potreba po ogrevanju in ohlajevanju. V Trbižu znaša zmanjšanje vrednosti Q_T okoli 3 MJ/m², kar je posledica zmanjšanja potrebe po ogrevanju.

Preglednica 33: Vpliv dodatne mase na porabo energije v Trbižu.

Table 33: The influence of thermal mass on energy consumption in Tarvisio.

Podnebje	HLADNO					
Analizirana lokacija	Trbiž					
Veličina	Q_T [MJ/m ²]	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Ocena ukrepa	Absolutna razlika v Q_T [MJ/m ²]	Relativna razlika v Q_T [%]
Optimalni prototip stavbe	318,91	30,48	0	-	-	-
Dodatna masa (+ 239,4 kJ/K/m ²): tla	316,29	30,15	0	+	-2,62	- 0,8
Dodatna masa (+ 99 kJ/K/m ²): zunanje stene	318,36	30,41	0	nevtravno	-0,55	0
Dodana masa – stene in tla skupaj	315,87	30,10	0	nevtravno	-3,04	- 1,0

Preglednica 34: Vpliv dodatne mase na porabo energije v Ljubljani.
Table 34: The influence of thermal mass on energy consumption in Ljubljana.

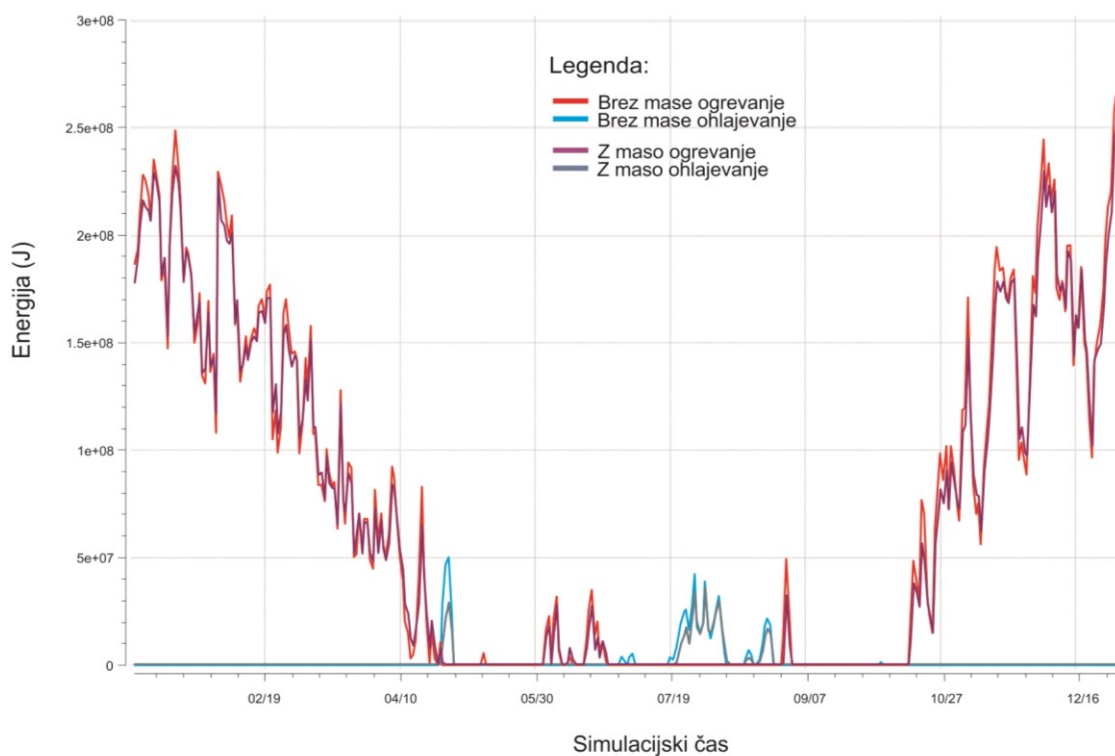
Podnebje	ZMerno					
Analizirana lokacija	Ljubljana					
Veličina	Q_T [MJ/m ²]	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Ocena ukrepa	Absolutna razlika v Q_T [MJ/m ²]	Relativna razlika v Q_T [%]
Optimalni prototip stavbe	283,29	25,2	0,83	-	-	-
Dodatna masa (+ 239,4 kJ/K/m ²): tla	279,62	24,92	0,66	+	-3,67	- 1,3
Dodatna masa (+ 99 kJ/K/m ²): zunanje stene	279,55	24,82	0,75	+	-3,74	- 1,3
Dodana masa – stene in tla skupaj	276,15	24,55	0,59	+	-7,14	- 2,5

Preglednica 35: Vpliv dodatne mase na porabo energije v Trstu.
Table 35: The influence of thermal mass on energy consumption in Trieste.

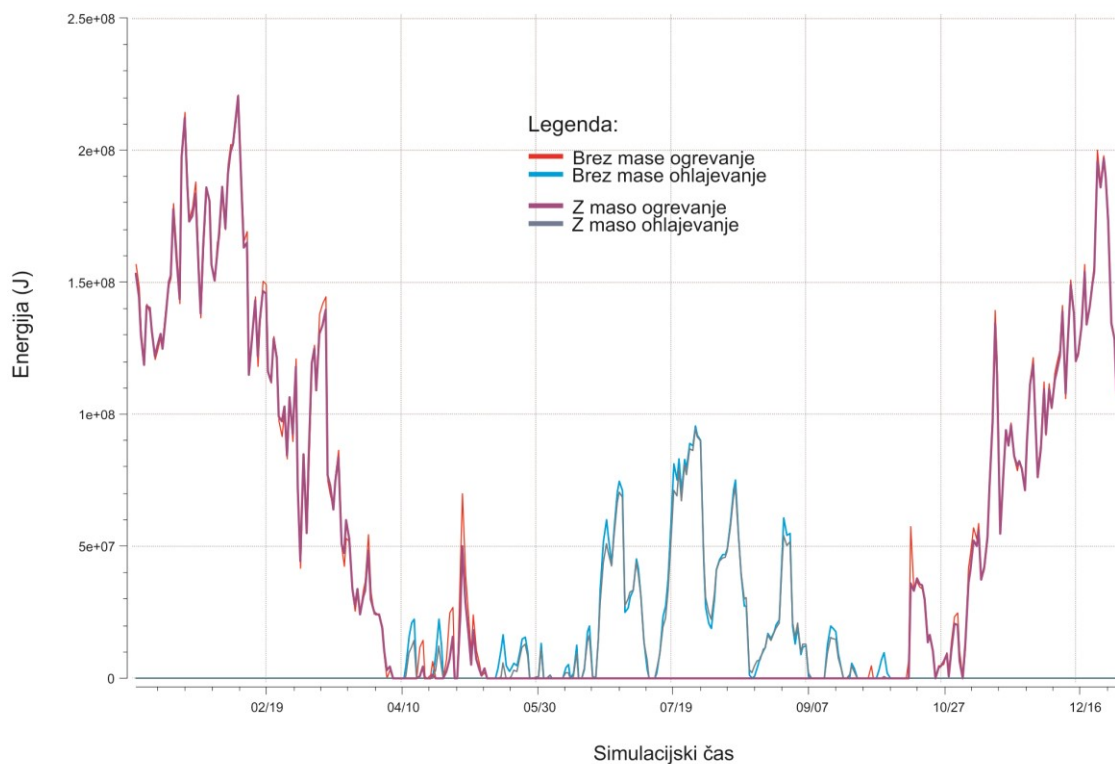
Podnebje	VROČE					
Analizirana lokacija	Trst					
Veličina	Q_T [MJ/m ²]	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Ocena ukrepa	Absolutna razlika v Q_T [MJ/m ²]	Relativna razlika v Q_T [%]
Optimalni prototip stavbe	256,14	18,01	4,64	-	-	-
Dodatna masa (+ 239,4 kJ/K/m ²): tla	251,91	17,76	4,36	+	-4,23	- 1,6
Dodatna masa (+ 99 kJ/K/m ²): zunanje stene	255,62	17,97	4,61	nevtralno	-0,52	0
Dodana masa – stene in tla skupaj	251,59	17,35	4,35	nevtralno	-4,55	- 1,8

Kaj se dogaja s porabo energije skozi čas, je razvidno iz dnevnega nihaja potrebe po ogrevanju in ohlajevanju za obdobje enega leta iz Grafikonov 19, 20, 21. Grafikon 19 kaže nihanje porabe energije v Ljubljani, opazimo, da se slednja enakomerno zmanjša skozi celotno leto, kar je tudi zaželeno. Uspešno reduciramo tudi absolutne maksimume. V prehodnih obdobjih (pomlad, jesen) stavba za delovanje ne potrebuje nobene dodatne energije – je v toplotnem ravnovesju z okolico. Dodatna termična masa to obdobje še nekoliko podaljša. Vendar je to primarno posledica pravilnega načrtovanja in kombinacije pasivnih ukrepov, ki omogočajo, da stavba v prostem teku lahko zagotovi primerno bivalno okolje.

Za razliko od Ljubljane imamo pri Trstu (Grafikon 20) precej večjo potrebo po ohlajevanju. To potrebo s pomočjo dodatne mase učinkovito reduciramo predvsem v prehodnih obdobjih (pomlad, jesen), ko zunanje temperature še niso zelo visoke. Prav tako se reducira potreba po ogrevanju, v prehodnih mesecih (pomlad, jesen). V zimskih mesecih masa nima velikega vpliva, absolutni maksimumi ostajajo enaki. Vseeno lahko opazimo majhen vpliv na zmanjšanje potrebne energije v poletnih mesecih (absolutni maksimumi se rahlo zmanjšajo). Če se sklicujemo na obstoječe raziskave [27], bi to lahko pripisali učinkovitejšemu nočnemu prezračevanju (zaradi primernejšega odzivanja stavbe).

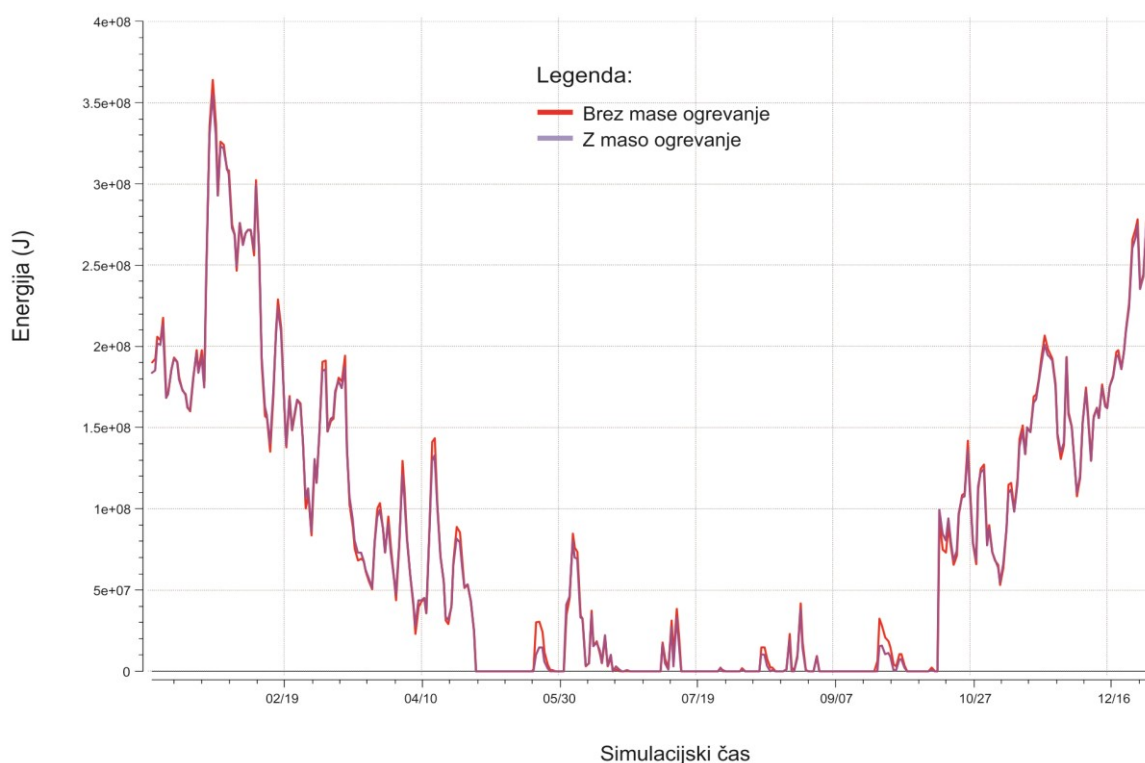


Grafikon 19: Potreba po energiji v stavbi vse leto v Ljubljani.
Graph 19: Required building energy during the year in Ljubljana.



Grafikon 20: Potreba po energiji v stavbi vse leto v Trstu.
Graph 20: Required building energy during the year in Trieste.

V Trbižu je situacija drugačna kot na preostalih dveh lokacijah. Vse leto imamo samo potrebo po ogrevanju, medtem ko smo potrebo po ohlajevanju uspešno izničili s pasivnimi ukrepi. Potencialno bi dodatna termična masa morala delovati predvsem na reduciranje potrebne energije za ohlajevanje v prehodnih mesecih (pomlad, jesen) zaradi večjega temperaturnega zamika. Medtem ko dodatna termična masa na reduciranje potrebe po ogrevanju v dolgih hladnih obdobjih ne more vplivati. Naša predvidevanja se izkažejo za pravilna, saj iz Grafikona 21 lahko razberemo, določeno reduciranje potrebe po energiji v prehodnih obdobjih. V poletnih obdobjih pa na račun mase dobimo še kakšen dodaten dan, ko je stavba v toplotnem ravnovesju z okolico.



Grafikon 21: Potreba po energiji v stavbi vse leto v Trbižu.
Graph 21: Required building energy during the year in Tarvisio.

Če v teh rezultatih skušamo najti trend, ima dodatna termična masa velik vpliv na prehodna obdobja, v katerih ni izrazitih pregrevanj ali ohlajevanj. Kot smo tudi pričakovali, bolj učinkovito vpliva na doseganje nižjih temperatur v poletnem času, še posebej na lokacijah, kjer so zunanje temperature ponoči nizke. V Ljubljani masa zaradi večjih dnevnih temperaturnih nihanj pozitivno vpliva tudi pozimi. Masa omogoča boljše uravnavanje notranje temperature in posledično zmanjšuje potrebo po ogrevanju.

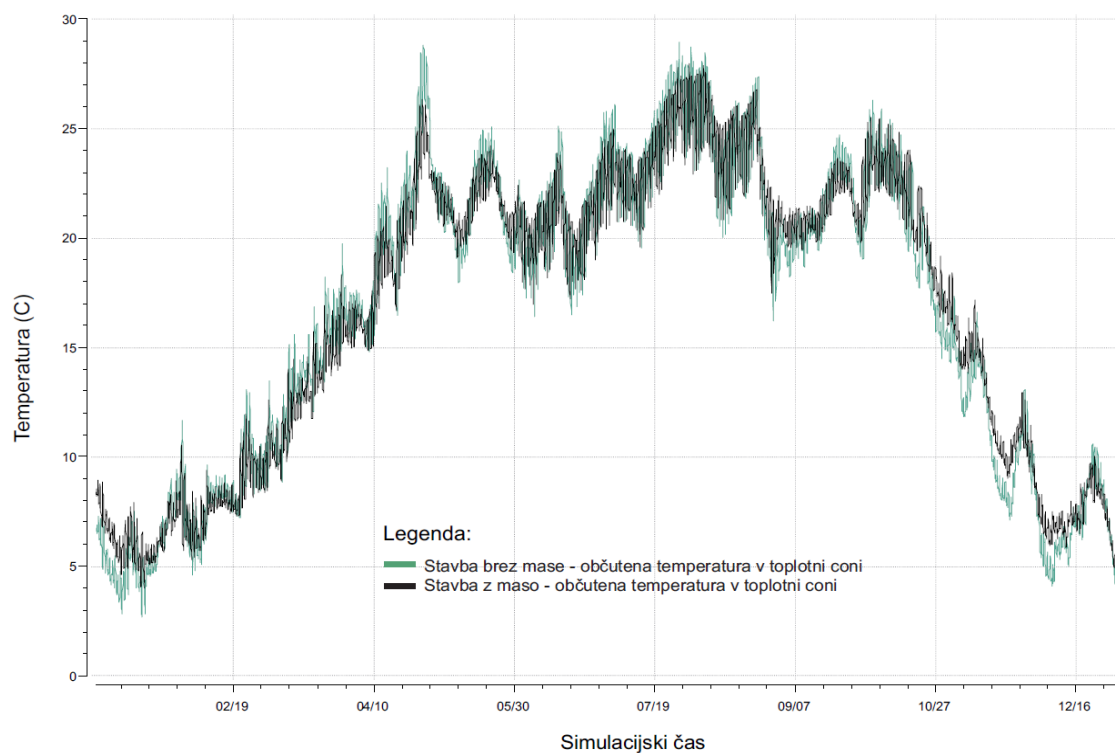
V nadaljevanju bomo analizirali še gibanje občutene temperature v glavni toplotni coni v stavbi in primerjali, kakšen vpliv na le-te ima dodatna termična masa. Občutena temperatura je pomemben pokazatelj uporabnikovega počutja v prostoru (toplotno ugodje), kar je pri bioklimatskem načrtovanju glavni cilj (ustvariti prijetno notranje okolje) [9]. Gibanje občutene temperature bomo opazovali pri izključenih urnikih za ogrevanje in ohlajevanje, saj nas zanima odzivanje stavbe brez uravnavanje

vpliva s tehničnimi sistemi (brez ogrevanja in hlajenja). Pri kakšni zasnovi stavbe je večji potencial prijetnejšega bivalnega okolja?

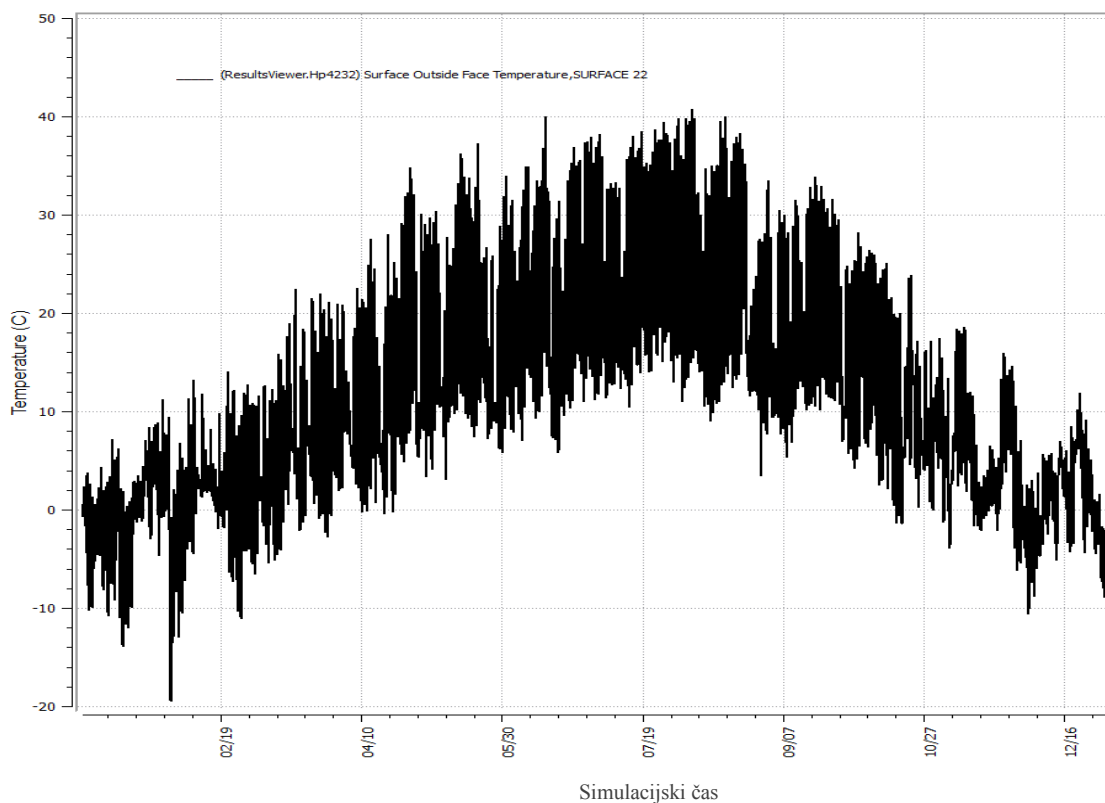
Nihanje občutene temperature si bomo ogledali v časovnem obdobju enega leta (Grafikon 22, 24, 26). Tako bomo lahko ugotovili, kaj se s temperaturnimi maksimumi dogaja na letni ravni. Pri analizi letnih rezultatov v Ljubljani (Grafikon 22) opazimo, da se temperaturni maksimumi konkretno zmanjšajo. V zimskih dneh pade temperatura v stavbi do 5 °C, kar je za 2 do 3 K manj kot pri »lahki« stavbi, in v poletnih mesecih naraste temperatura do 27 stopinj, kar je za 1 do 2 K manj kot pri »lahki« stavbi. Na splošno so dnevni maksimumi skozi leto manjši pri »masivnejši« stavbi. Dodatna termična masa splošno ugodno vpliva, saj imamo več-stopinjsko zmanjšanje temperaturnega nihanja v toplotni coni stavbe.

Samo nihanje občutene temperature v stavbi nam ne pove prav veliko, če ga ne primerjamo z nihanjem zunanje temperature. Iz primerjave vidimo, kako učinkovito stavba sama zmanjša amplitudo nihanja zunanje temperature. Želja je, da bi bila stavba sposobna zmanjšati tako relativne kot absolutne temperaturne maksimume. Lastnost samodejnega uravnavanja temperature je odvisna od pravilnega načrtovanja [11]. Tako da bomo lahko na podlagi primerjave določili tudi oceno ustreznosti pasivnih ukrepov – kako dobro je stavba sposobna sama uravnati zunanje vplive, ko je v prostem teku. Zunanjo temperaturo smo se odločili spremljati na severno orientirani steni v pritličju. Severno steno smo izbrali zato, ker dobi minimalni delež sončnega sevanja in lahko pregrevanje stene zaradi radiacije zanemarimo.

Nihanje zunanje temperature v Ljubljani ima precej veliko amplitudo, še posebej v poletnem času, ko temperature nihajo od 10 °C do 40 °C (razlika 30 K) (Grafikon 23). Absolutno gledano je temperaturna razlika skozi celo leta enaka 60 K, velike absolutne razlike pa od nas zahtevajo, da načrtujemo stavbo, ki ima dober toplotni ovoj in se dobro senči v poletnem času; kar smo že ugotovili, da je značilnost Ljubljane (bioklimatski potencial). Če nihanje zunanjih temperatur primerjamo z notranjimi, ugotovimo, da se absolutna razlika zmanjša za 34 K (amplituda znaša 26 K) pri »lahki« stavbi in za 28 K pri »masivnejši« stavbi (amplituda znaša 22 K). Torej absolutno nihanje zmanjšamo za več kot polovico. Pasivni ukrepi delujejo ustrezno.



Grafikon 22: Ljubljana, letno nihanje občutene temperature.
Graph 22: Ljubljana, annual operative temperature fluctuations.



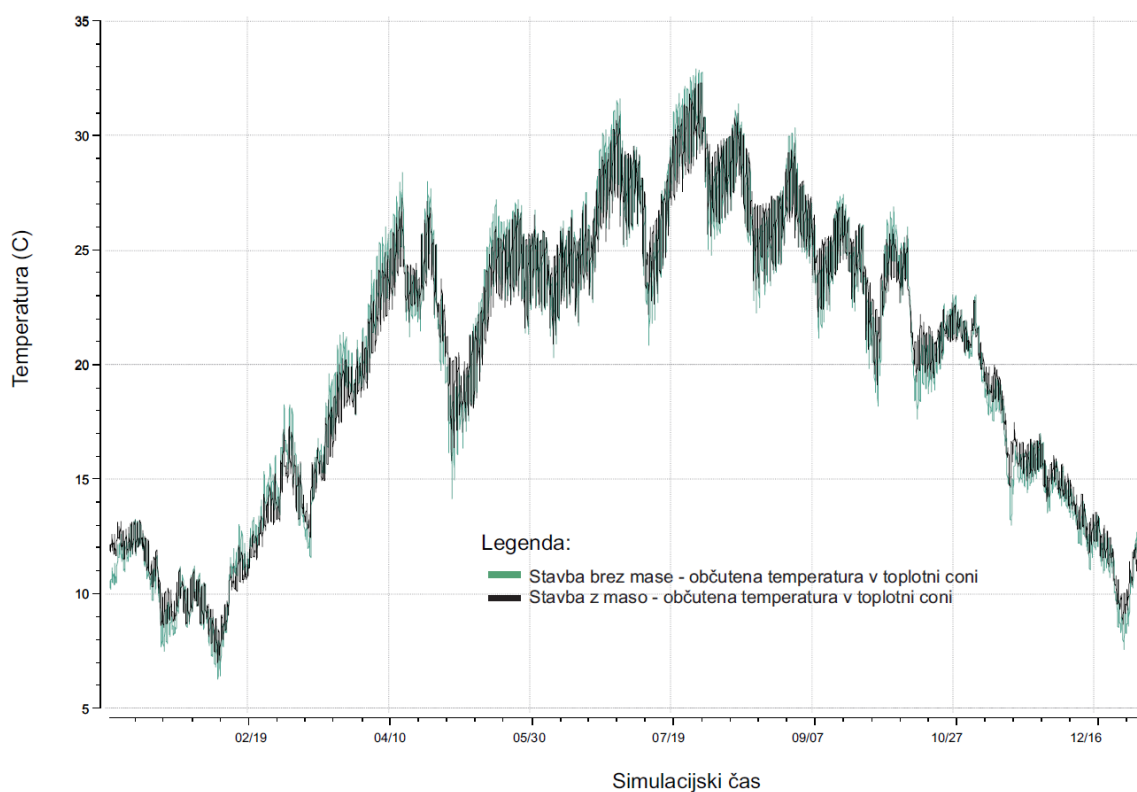
Grafikon 23: Nihanje zunanje temperature na severni steni stavbe v Ljubljani.
Graph 23: External temperature fluctuations on the north building wall in Ljubljana.

V primerjavi z Ljubljano je nihanje zunanjih temperatur v Trstu (Grafikon 25) nekoliko drugačno. Razlike se pojavljajo predvsem v manjši vrednosti relativnega nihanja (dnevne), medtem ko je absolutna vrednost primerljiva. Celoletna absolutna vrednost nihanja temperature je medtem opazno manjša, saj v zimskem času ne dosegamo tako ekstremno nizkih temperatur (do $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, Ljubljana do $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Torej skozi leto opazimo do 38 K temperaturno razliko, kar je za 20 K manj kot v Ljubljani. Grafikon 25 kaže, da je Trst veliko toplejša lokacija prav v zimskem času, medtem ko v Ljubljani lahko v poletnem času dosegamo nekoliko višje temperature.

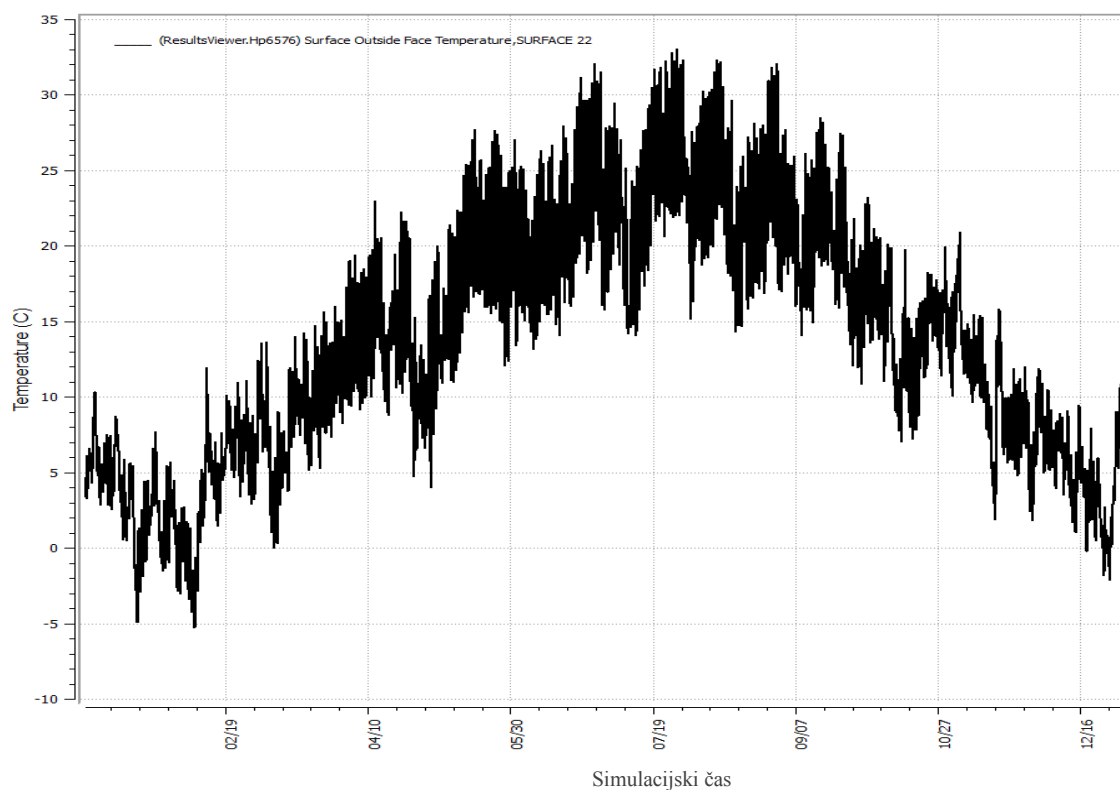
Nihanje temperature v toplotni coni (Grafikon 24) je med lahko in masivnejšo stavo primerljivo. Največje zmanjšanje nihanja je opazno v prehodnih mesecih (pomlad, zima), ko zunanje temperature niso tako visoke. Zanimivo je, da med poletjem, ko so zunanje temperature najvišje, v toplotni coni dosegamo še višje temperature. To je nazoren znak o pregrevanju stavbe. Pri nepravilnem načrtovanju stavbe lahko pričakujemo, da bodo notranje temperature še veliko večje in bi se za zagotavljanje ugodnega toplotnega okolja morali posluževati naprav za mehansko hlajenje. Stavba na splošno zmanjša letno amplitudo nihanja za 10 K (amplituda znaša 26 K). Ta vrednost je precej manjša kot v Ljubljani.

Če primerjamo Grafikone 23, 25, 27, opazimo, da so v Trbižu (Grafikon 27) največja relativna nihanja temperature, še posebej izrazito v poletnem času, ko je temperaturna razlika do 30 K. Temperatura lahko niha od $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pozimi, podobno kot v Ljubljani, dosegamo do $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$, le, da je dogodek tukaj pogostejši. Skozi leto lahko dosežemo do 56 K razlike, kar je posledica tega, da pozimi dosegamo zelo nizke temperature ($-21\text{ }^{\circ}\text{C}$), poleti pa precej visoke ($35\text{ }^{\circ}\text{C}$). Hkrati obstaja možnost, da imamo v poletnem času okoli $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, kar se v Ljubljani ne more zgoditi. Stavba velika zunanja temperaturna nihanja dobro uravnava, saj je absolutna razlika 29 K v »lahki« stavbi in 26 K v »masivnejši« (Grafikon 26); kar je v primerjavi z nihanjem zunanje temperature od 27 do 30 K manj. To je manj kot v Ljubljani in več kot v Trstu.

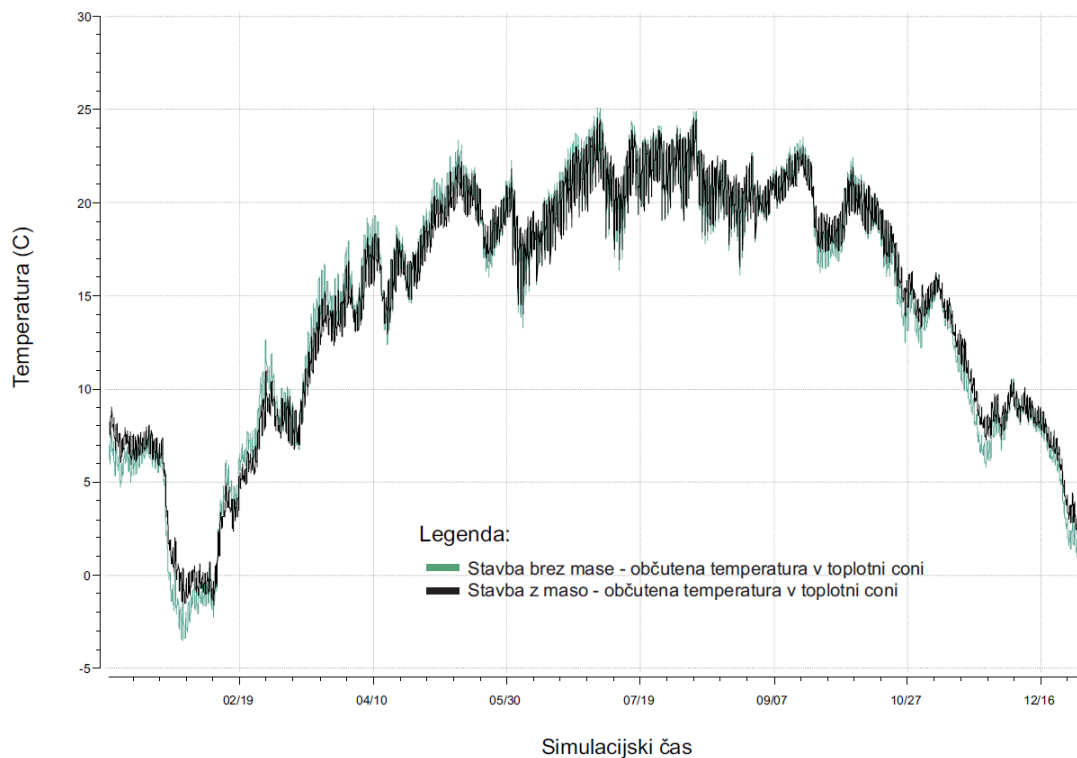
Kronološko gledano ima pri Trbižu (Grafikon 26) masa največji učinek na reduciranje nihanja temperature v prehodnih obdobjih, ustrezno se absolutno zmanjšajo tudi maksimumi v zimskem času. Medtem ko v poletnem času velikega vpliva na občuteno temperaturo ni. To lahko komentiramo s tem, da je stavba že zelo optimizirana in boljšega odzivanja niti dodatna termična masa ne more zagotoviti.



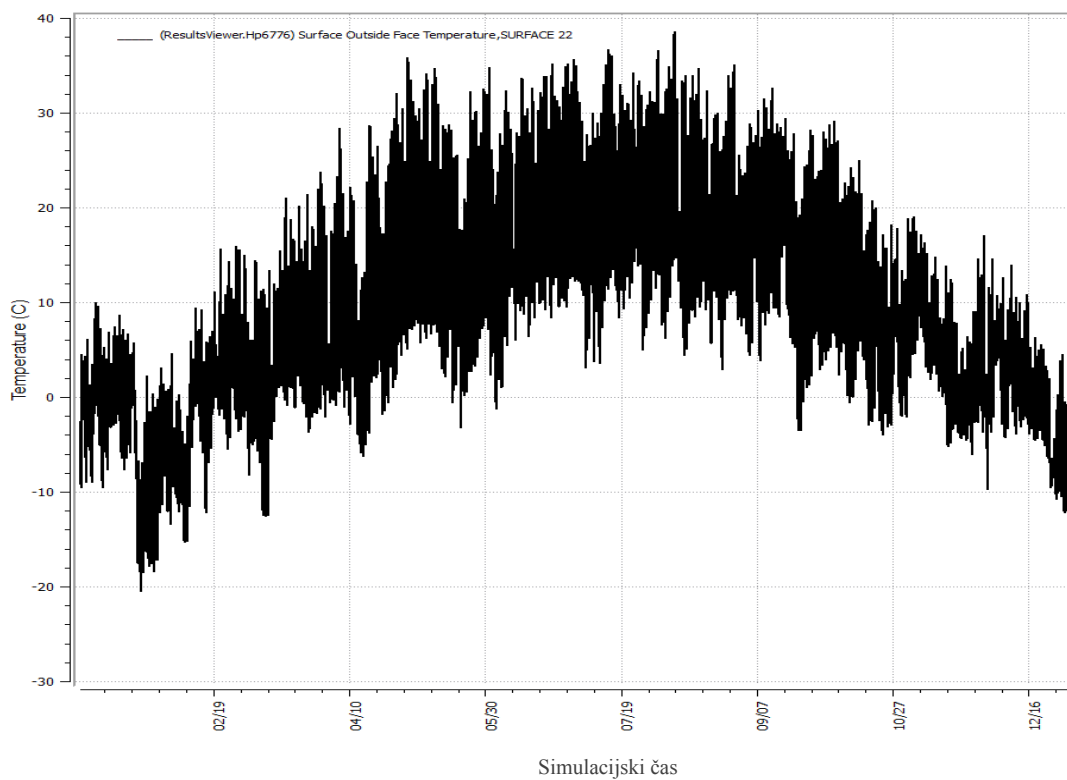
Grafikon 24: Trst, letno nihanje občutene temperature.
Graph 24: Trst, annual operative temperature fluctuations.



Grafikon 25: Nihanje zunanje temperature na S steni stavbe v Trstu.
Graph 25: External temperature fluctuations on the north building wall in Trieste.



Grafikon 26: Trbiž, letno nihanje občutene temperature.
Graph 26: Tarvisio, annual operative temperature fluctuations.



Grafikon 27: Nihanje zunanje temperature na S steni stavbe v Trbižu.
Graph 27 External temperature fluctuations on the north building wall in Tarvisio.

4.4 Analiza rezultatov

4.4.1 Primerjava rezultatov analiz in bioklimatskega potenciala

S pomočjo študije bioklimatskega potenciala in rezultatov, pridobljenih s pomočjo BeChart smo pridobili osnovne merodajne načrtovalske usmeritve za izboljšanje notranjega okolja in zmanjšanje porabe na določeni lokaciji. Okvirno gledano obravnavane tri lokacije na podlagi bioklimatskega potenciala lahko razdelili na hladno, zmerno in toplo podnebje; pri tem Trbiž predstavlja hladno, Ljubljana zmerno in Trst toplo vrsto podnebja. Tako imenovano hladno podnebje odlikujejo značilnosti, kot so majhen potencial senčenja (S), visoka vrednost s potencialom PSH (C) in brez potenciala PSH (D) ter brez potrebe po senčenju in prezračevanju (A). Toplo podnebje po drugi strani odlikujejo visoke vrednosti potrebe po senčenju (S in B) ter potreba po kombinaciji prezračevanja in senčenja (A), nižje vrednosti s potencialom in brez potenciala PSH. Medtem ko zmerno podnebje določajo srednje vrednosti potrebe po senčenju (S in B) in višje vrednosti s potencialom PSH (C) in brez potenciala PSH (D), primerljive s Trbižem. Torej v jeziku porabe energije pri toplem podnebju pričakujemo veliko potrebo po ohlajevanju v večini dela leta in minimalno potrebo po ogrevanju v zimskem času. Pri hladnem podnebju velik del leta lahko pričakujemo potrebo po ogrevanju in minimalno potrebo po ohlajevanju v poletnem času. Pri zmernem podnebju pričakujemo visoko potrebo po ogrevanju v obdobju polovice leta ter prav tako po ohlajevanju drugo polovico.

Trbiž odlikujejo predvsem vrednosti bioklimatskega potenciala za PSH. To, da sta hkrati visoki vrednosti z PHS in brez PHS potenciala nam pove, da hkrati zelo potrebujemo PSH, ampak težko zagotovimo toplotno ugodje samo s PSH. To pa predvsem zaradi hladnih zim in nizkih temperatur ozračja. Z analizami smo že na začetku ugotovili, da je Trbiž lokacija z največjo potrebo po ogrevanju in najmanjšo po ohlajevanju. To nam pove tudi najnižja vrednost bioklimatskega potenciala za senčenje (S) in doseganje toplotnega ugodja s senčenjem (B). Bioklimatski potencial predvsem nakazuje, da bomo morali v Trbižu veliko pozornosti nameniti ukrepom za zmanjšanje toplotnih izgub. To smo opazili tudi v analizah, saj je bilo absolutno nihanje vrednosti pri spreminjanju faktorja oblike največje ravno pri Trbižu. Podobno smo ugotovili tudi pri deležu zasteklitve (WWR), saj je bil slednji zahtevan manjši, zaradi prevladovanja toplotnih izgub nad solarnimi dobitki. Pri analizi trenda padanja potrebe po ogrevanju z dodajanjem debeline toplotne izolacije smo ugotovili, da lahko največje prihranke dosežemo ravno v Trbižu. Bioklimatski potencial potrebe po minimalnem senčenju smo potrdili tudi z analizami, saj samo z uvedbo nočnega prezračevanja potrebo po ohlajevanju zmanjšamo kar za 30 %. To lahko z uvedbo minimalnega senčenja tudi izničimo, pri tem pa je obvezna uporaba premičnih senčil.

Predvsem najnižja vrednost brez potenciala za PSH (D) za lokacijo **Trst** kaže na to, da bomo stavbo delno lahko ogrevali s pomočjo PSH; to smo tudi dokazali pri analizah oblike stavbe in potrebnem deležu WWR. Odstotek zmanjšanja potrebe po ogrevanju po uvedbi oblike stavbe z najmanjšim faktorjem oblike je bil največji na lokaciji Trst. Podobno lahko ugotovimo tudi pri WWR, saj imamo v Trstu največji zahtevan delež zasteklitve, to nam pove, da zajem sončne energije skozi transparentni del prevladuje nad toplotnimi izgubami. Kot je nakazoval bioklimatski potencial z visokimi vrednostmi A, B in S, se je izkazalo tudi z analizami. Trst se je izkazal kot lokacija z največjo potrebo po ohlajevanju, ki je v začetnih analizah, ko še nismo imeli senčenja, večji del leta tudi prevladovala. Na neto potrebno energijo so pozitivno vplivali ukrepi nočnega prezračevanja (A) in senčenja (B in S). Kombinacija nočnega prezračevanja in senčenja je neto potrebno energijo zmanjšala za več kot pol.

Velika vrednost bioklimatskega potenciala S se kaže tudi v izbiri senčenja. Za optimalno senčenje se je izkazalo tisto, ki odbije kar 95 % sončnega sevanja nazaj v okolico. Zaradi zmanjšanja potenciala pregrevanja stavbe, se je pozitivno izkazala hladna barva fasade. Ta dodatno reducira potrebo po ohlajevanju (zmanjševanje pregrevanja).

Medtem ko so se pri drugih dveh lokacijah bioklimatski potenciali nagibali izrazito v eno ali drugo smer, pri **Ljubljani** opazimo vmesne vrednosti. Hkrati opazimo vmesne vrednosti brez potenciala in z potencialom za PSH (D in C), ki se bolj nagibata k vrednostim lokacije Trbiž, in hkrati vmesno potrebo po senčenju (S), ki je po vrednosti ravno na sredini med obema lokacijama. Pri analizah smo ugotovili podobno. Pri ukrepih za zmanjševanje potrebe po ogrevanju se je Ljubljana bolj približala lokaciji Trbiž, oblika stavbe močno reducira vrednosti potrebe po ogrevanju in hkrati je optimalnejši manjši delež zasteklitve (enak kot pri Trbižu). Medtem ko smo pri analizah senčenja ugotovili, da je le-ta bližje Trstu, saj zahteva podoben delež blokiranja sončnega sevanja. Da vrednost S vseeno ni tako velika kot v Trstu, se opazi tako, da lahko z deležem senčenja hitro povečamo potrebo po ogrevanju v poletnem času. V Ljubljani bi bilo zato optimalnejše bolj sofisticiran način vodenja senčil.

Pomembno je, da bioklimatski potencial dobro interpretiramo, saj je le-ta okvirna smernica, iz katere moramo načrtovati dejanske pasivne ukrepe.

4.4.2 Potrditev koncepta stavbe

Ali je modelirana stavba na določeni lokaciji dejansko optimalna, bomo preverili z analizo preostalih modelov na isti lokaciji, kar pomeni, da bomo na lokaciji Ljubljana preverili tudi modela iz Trsta in Trbiža; na lokaciji Trst bomo preverili še modela iz Ljubljane in Trbiža; na lokaciji Trbiž pa bomo preverili modela iz Ljubljane in Trsta. Zanima nas, kaj se dogaja z neto potrebno energijo. Pričakujemo, da bo stavba, modelirana za specifično lokacijo, za delovanje zahtevala najmanjšo neto potrebo po energiji. Pri tem moramo dodati, da smo pri modeliranju prototipa stavbe spremenili izhodiščni faktor oblike, ki sedaj ni več enak pri vseh treh lokacijah. Določen vpliv, ki bo posledica tega, lahko zagotovo pričakujemo. V Trbižu je $f_o = 0,91$, v Ljubljani $f_o = 0,93$ in v Trstu $f_o = 0,95$.

Rezultati na lokaciji Trbiž (Preglednica 36) potrjujejo predpostavko, da je najoptimalnejša ravno stavba, načrtovana za Trbiž. Kljub temu se stavba, načrtovana za lokacijo Ljubljana, precej dobro približa glede na primerjavo neto potrebne energije. Ta rezultat niti ne preseneča, saj so bile zahteve glede pasivnih ukrepov precej podobne (razen deleža senčenja). Medtem ko so rezultati za stavbo, načrtovano za lokacijo Trst, precej slabši. Predpostavimo lahko, da so problematični predvsem ukrepi manjše toplotne prehodnosti ovoja stavbe, večji delež zasteklitve in bolj učinkovito senčenje.

Na lokaciji Ljubljana (Preglednica 37) je prav tako najoptimalnejša stavba načrtovana za omenjeno lokacijo. Podobno kot pri lokaciji Trbiž se stavbi, načrtovani za Ljubljano in Trbiž, glede na neto potrebno energijo najbolj medsebojno približata. Te razlike so nekoliko večje kot pri prejšnjem primeru. Hkrati se povečata potrebi po ohlajevanju in po ogrevanju. Veliko je povečanje neto potrebne energije pri stavbi, načrtovani za lokacijo Trst.

Pri preverjanju lokacije Trst smo naleteli na nepričakovane rezultate. Kot je razvidno iz Preglednice 38, se je kot najoptimalnejša glede na neto potrebno energijo izkazala stavba, načrtovana za lokacijo Trbiž. Podobne vrednosti lahko opazimo tudi glede stavbe načrtovane za lokacijo Ljubljana.

Najprej moramo poudariti, da so razlike v energiji med prototipi zelo majhne in nikakor ne tako velike kot v primeru ostalih dveh lokacij. Tak rezultat je lahko posledica večjih dejavnikov. Zagotovo svojo vlogo igra spremenjen faktor oblike, ki je v primeru stavbe v Trstu največji, vendar vseeno bolj pomembni razlogi tičijo drugje. Na podlagi razmerja med potrebo po ogrevanju in ohlajevanju pri treh različnih prototipih lahko opazimo, da je potreba po ohlajevanju najmanjša pri stavbi Trst, hkrati pa je potreba po ogrevanju največja. Ker imata obe stavbi (Ljubljana in Trbiž) nižje U-faktorje kot tudi manjšo površino zasteklitve lahko sklepamo, da je glavni razlog za nepričakovan rezultat ravno v zasnovi stavbnega ovoja (U-faktor in WWR). Zato bi lahko trdili, da je z gledišča porabe energije za ogrevanje bolj smiselno aplicirati nižje U-faktorje in manjše površine zasteklitev tudi na lokaciji Trst in to kljub temu da so preliminarne simulacije pokazale drugače

Kljub temu, da so si stavbe na prvi pogled precej podobne, se med njimi pri porabi energije lahko pojavljajo velike razlike. Poleg tega imajo določeni pasivni ukrepi precej večji vpliv kot drugi. Zelo velik vpliv na energetske bilanco stavbe ima na primer oblika stavbe. Zato lahko le ugibamo, kaj bi se dogajalo s porabo energije, če bi bila recimo stavba v Trbižu bolj razgibana (višji fo).

Preglednica 36: Kontrola lokacije Trbiž – potrditev koncepta stavbe.

Table 36: The control location Tarvisio – the approval of building concept.

Podnebje	HLADNO			
Analizirana lokacija	Trbiž			
Veličina	Q_T [MJ/m ²]	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Razlika v energiji [MJ/m ²]
Stavba (Trbiž)	315,56	30,06	0	Izhodišče
Stavba (Ljubljana)	317,23	30,27	0	+ 1,67
Stavba (Trst)	380,02	31,11	0	+ 64,46

Preglednica 37: Kontrola lokacije Ljubljana – potrditev koncepta stavbe.

Table 37: The control location Ljubljana – the approval of building concept.

Podnebje	ZMerno			
Analizirana lokacija	Ljubljana			
Veličina	Q_T [MJ/m ²]	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Razlika v energiji [MJ/m ²]
Stavba (Trbiž)	294,74	26,5	0,97	+ 11,45
Stavba (Ljubljana)	283,29	25,2	0,83	Izhodišče
Stavba (Trst)	343,83	32,45	1,05	+ 60,54

Preglednica 38: Kontrola lokacije Trst – potrditev koncepta stavbe.

Table 38: The control location Trieste – the approval of building concept.

Podnebje	VROČE			
Analizirana lokacija	Trst			
Veličina	Q_T [MJ/m ²]	Q_{NH} [GJ]	Q_{NC} [GJ]	Razlika v energiji [MJ/m ²]
Stavba (Trbiž)	251,52	14,67	7,40	- 4,62
Stavba (Ljubljana)	251,94	17,13	5	- 4,2
Stavba (Trst)	256,14	18,01	4,60	Izhodišče

5 KOMUNIKACIJA S SPLOŠNO JAVNOSTJO

5.1 Predstavitev ideje

Dojemanje gradbeništva je med nestrokovno javnostjo precej drugačno, kakor ga vidimo mi – »strokovnjaki«. Javnost svoje informacije črpa predvsem iz medijev, ki niso vedno merodajen vir informacij. Predvsem je opazen vpliv močnih podjetij, ki po medijih oglašujejo svoje ideje. Tukaj lahko omenimo pasivno hišo. Njen cilj je namreč zmanjšanje porabe energije na manj kot 15 kWh/m² letno, to dosega s strogo izolacijo stavbe od okolja. Pojavijo pa se problemi dotoka svežega zraka in dotoka dnevne svetlobe [9]. Kot omenja Košir [10], je zadnje čase vse »trajnostno«, toda, ali je res tako. Trajnostni razvoj, trajnostno načrtovanje, trajnostna družba in seveda trajnostno gradbeništvo mora v besedi trajnostno zajemati ekonomski, okoljski, zdravstveni in sociološki pogled [10]. Kar dejansko ne drži vedno. Trend montažne gradnje in na sploh lesenih hiš pri nas raste [62], les naj bi bil naraven in trajnosten material. Govorimo o krepitvi splošnega zavedanja o lesu in približanju lesene gradnje uporabniku. Pri tem pa se nihče ne vpraša, kako se lesena stavba odziva na podnebje na določeni lokaciji. Ali je dejansko primerno, da kar koli postaviti kamor koli? Hkrati pa govorimo o gradbeništvu, ki »čaka na veter, ki bi razpihal črne oblake« [63]. Prispodoba »črni oblaki« lahko pomeni tudi naše neznanje in nezainteresiranost za iskanje ter uporabo novih rešitev.

Bioklimatsko načrtovanje je lahko naš »veter, ki bo razpihal črne oblake«. Saj se z njim oziramo proti človeku in načrtujemo lokaciji primerno, njegov dobrodošel stranski vpliv je zmanjšanje potrebne energije za obratovanje stavbe. Ampak če se nestrokovna javnost ne zaveda koristi in priložnosti, ki jih tako načrtovanje lahko prinese, so vse analize same sebi namen. Kar pa ni naš cilj. Naš cilj je ustvarjanje trajnostne družbe, ki si želi trajnostnega gradbeništva. Na podlagi napisanega smo se odločili, da na koncu naredimo praktičen izdelek, ki bo na preprost in informativen način predstavil večino dognanj iz naloge. Tako bomo lažje informirali širšo nestrokovno javnost in naredili korak naprej.

Predvsem smo se osredotočili na hitro in nazorno predstavitev ideje bioklimatskega načrtovanja in predstavitev osnovnih pasivnih ukrepov. Te smo povezali s posameznimi lokacijami na območju Slovenije. Ker mora biti izdelek preprost, privlačen in slikovit, smo se odločili oblikovati brošuro. Brošura je informativni dokument, lahko je naravnana bolj promocijsko ali informativno. Preprosto in privlačno nam lahko predstavi organizacijo, proizvod ali storitev [64]. Predvsem si želimo, da se splošna javnost začne zavedati dejstva, kako pomembno je načrtovati skladno z lokacijo in kakšne značilnosti mora imeti stavba, da je primerna za neko lokacijo.

Brošura (glej Prilogo A) je oblikovana tako, da bo list v velikosti formata A4 zložen na tri dele. Najprej bomo zagledali prvi del prve strani zložene brošure (Slika 40), ki jo predstavlja napis: »*Moj planet, moja hiša, moje življenje v harmoniji*«. S tem naslovom smo želeli poudariti pomen sobivanja človeka z naravo ter njuno povezanost. Namesto naslova »bioklimatsko načrtovanje« smo uporabili »trajnostno načrtovanje«, saj je ta veliko bolj prepoznaven in omogoči pravilne asociacije na vsebino brošure. Na drugem delu prve strani je zapisan že omenjeni citat Gro Harlem Brundtland [3], ki opisuje, kaj je trajnostno načrtovanje. Na spodnji strani je dodan še zemljevid Slovenije, ki označuje podnebne značilnosti posameznih lokacij. Z odprtjem drugega dela zagledamo glavno vsebino brošure, ki jo predstavlja druga stran (Slika 41).

Poudarek je na lokaciji in ustreznih pasivnih ukrepih, ki smo jih razdelili glede na tri osnovne vrste podnebja, ki jih predstavlja tudi zemljevid Slovenije na drugem delu prve strani (Slika 40). Zemljevid je podrobneje razložen v nadaljevanju (Poglavje 5.2.1). Pomen lokacije pri načrtovanju smo predstavili s kratkim teoretičnim uvodom. Zaradi lažjega razumevanja izbrane teme smo pasivne ukrepe predstavil s krajšim opisom in tudi grafično – s simboli. Za predstavitev treh značilnih slovenskih podnebj (toplo, zmerno in hladno) smo uvedli tudi simbole. Vse z namenom lažjega branja in preprostosti brošure. Pasivne ukrepe smo vsebinsko ločili na ukrepe, povezane z zasteklitvijo in senčenjem, ter lastnosti, povezane z ovojem in ustreznostjo montažnih hiš.



Slika 40: Prva stran brošure.
Figure 40: First page of the brochure.

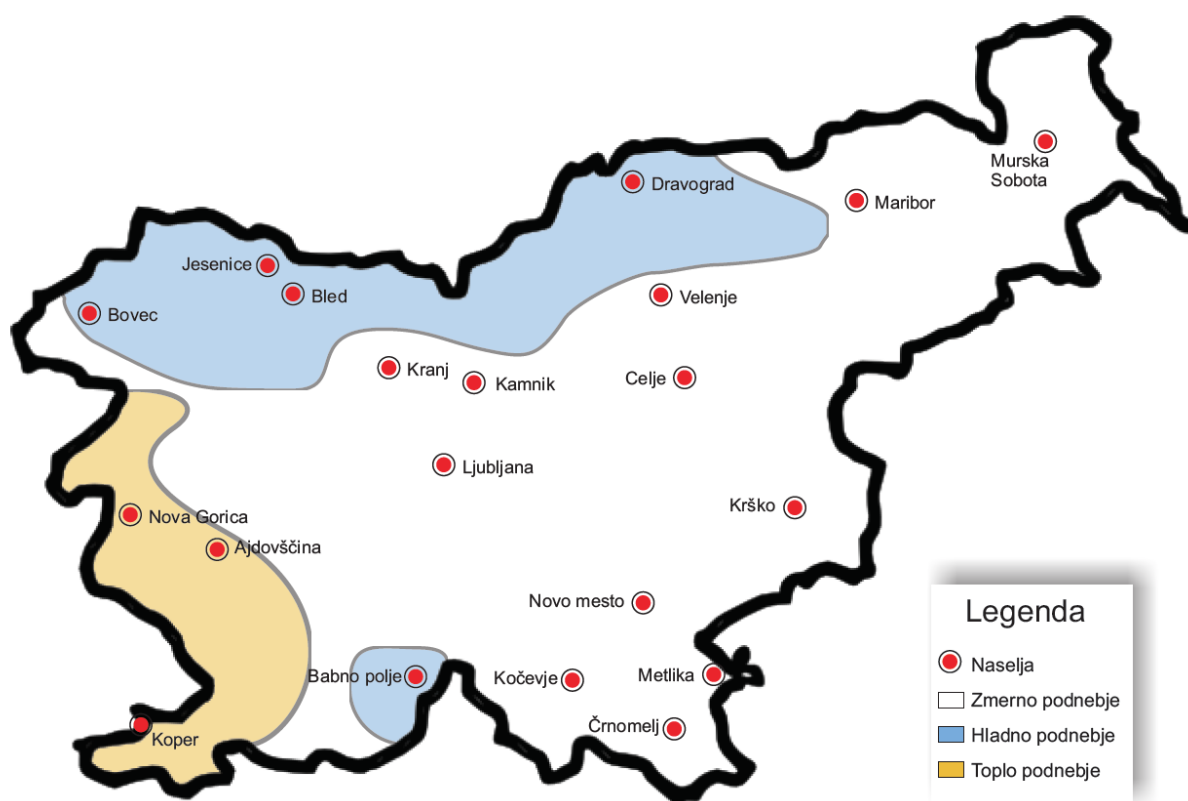
Lastnosti zasteklitve in senčenje			Trajnostno načrtovanje stavb & življenje v harmoniji			Ovoj in ustreznost montažnih stavb		
Hladna klima (npr. Rateče)	Zmerna klima (npr. Ljubljana)	Topla klima (npr. Portorož)	 Stavbo načrtujemo kot del ekosistema – skladno delovanje z naravo in lokalno klimo. Pri procesu načrtovanja v ospredje postavljamo človeka in ustvarjamo njemu primerno toplotno okolje ob hkratni minimalni porabi energije za delovanje.			Hladna klima (npr. Rateče)	Zmerna klima (npr. Ljubljana)	Topla klima (npr. Portorož)
Omogočena komunikacija z zunanostjo  Zmeren delež zasteklitve (optimalno 20%)  Brez majhnih skokov v vilih in dežnem okviru  Manjši delež zasteklitve na S strani  Senčenje skoraj ni potrebno 	Omogočena komunikacija z zunanostjo  Zmeren delež zasteklitve (optimalno 20%)  Brez majhnih skokov v vilih in dežnem okviru  Manjši delež zasteklitve na S strani  Senčenje je potrebno, optimalna so fiksna senčila na J in premična drugod 	Omogočena komunikacija z zunanostjo  Večji delež zasteklitve (optimalno 30%)  Brez majhnih skokov v vilih in dežnem okviru  Manjši delež zasteklitve na S strani  Senčenje je najmanj, optimalna so fiksna senčila na J in premična drugod 	Lokacija izodišče za načrtovanje Kadar govorimo o lokaciji mislimo predvsem na njene klimatske značilnosti. Te se lahko zelo spreminjajo že na majhnih geografskih razdaljah. Naprimer v naši majhni Sloveniji poznamo kar tri prevladujoče tipe klim in dodatni lokalni značilnosti. Na določeni lokaciji nas predvsem zanima količina sončnega sevanja, povprečno gibanje temperatur, vlažnost in delež padavin skozi leto. Vse predpostavke veljajo v primeru, da na parceli kjer stoji naša stavba ni večjih ovir, ki bi preprečevale potencialne sončne dobitke.			Zelo nizka vrednost toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov  Temna fasadna barva  Delovanje lahke montažne stebre ustrezno  Dodatna termična masa ni nujna 	Nizka vrednost toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov  Temna fasadna barva  Delovanje lahke montažne stebre Neustrezno  Dodatna termična masa je nujna tako v strah kot tleh 	Minimalna zahtevna vrednost toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov  Svetla fasadna barva  Delovanje lahke montažne stebre Neustrezno  Dodatna termična masa je zahtevna samo v tleh 

Slika 41: Druga stran brošure.
Figure 41: Second page of the brochure.

5.1.1 Oblikovanje zemljevida z značilnimi vrstami podnebja klim v Sloveniji

Zemljevid Slovenije (Slika 42) omogoča bralcu okvirno določitev podnebja v svojem kraju in olajša interpretacijo podatkov v brošuri. Zemljevid je oblikovan glede na podnebni opis Slovenije, ki ga je podal Ogrin [2] v nekoliko poenostavljeni obliki. Toplo je submediteransko podnebje, ki je značilno predvsem za zahodni del Slovenije, zmerno je zmerno celinsko podnebje, ki je zastopano v večini Slovenije. Del severne Slovenije ima gorsko podnebje, ki ga imenujemo hladno. Poleg severne Slovenije ga lahko pripišemo tudi območju okoli Babnega polja.

Zemljevid značilnih vrst podnebja bi lahko preoblikovali tudi v zemljevid bioklimatskega potenciala. Težava pri takšnih zemljevidih je predvsem ta, da se klima in temperatura z leti spreminjata. Študije opozarjajo na splošno višanje temperature na območju osrednje Evrope in Slovenije [1], torej bi bilo treba take vrste zemljevidov konstantno posodabljati in spremljati podnebne spremembe.



Slika 42: Zemljevid vrste podnebja v Sloveniji.
Figure 42: The climate map of Slovenia.

6 RAZPRAVA

Kljub temu, da je minilo že več kot 50 let, odkar je Olgyay [6] »ponovno« začrtal smernice bioklimatskega načrtovanja in se spraševal o človekovem naravnem bivališču, se še vedno ne zavedamo pomena načrtovanja lokaciji prilagojenih stavb [10]. Veliko rajši smo za svojo vzeli na primer pasivno hišo, katere filozofija ima kot »postransko« posledico zmanjšanje dotoka dnevne svetlobe, količine svežega zraka in prekinitve neposrednega stika z zunanostjo. Toda razvoj človeka že tisočletja temelji na stiku z zunanostjo, ki deluje stimulativno na njegovo fiziologijo in psiho [9]. Neizogibno je tudi dejstvo, da so zemeljski naravni viri omejeni in da je omejena tudi Zemljina zmožnost absorpcije odpadkov [7]. Korak k povečanju komunikacije z okoljem in zmanjšanju porabe naravnih virov nudi bioklimatsko načrtovanje. Stavba, ki deluje skladno z naravo in ni kot vesoljska kapsula v sovražnem okolju, je podnebno pogojena stavba, načrtovana s pomočjo bioklimatskega načrtovanja. Z nalogo smo želeli predstaviti postopek bioklimatskega načrtovanja stavb, ki temelji na ustrezni kombinaciji pasivno solarne arhitekture na specifični lokaciji. To smo naredili tako, da smo načrtovali stavbo z enakimi izhodiščnimi pogoji na treh različnih lokacijah. V procesu načrtovanja je rdečo nit in ključni kriterij optimalnosti predstavljala poraba energije. Naš končni cilj je bil izdelati model stavbe, ki bi optimalno deloval na določeni lokaciji in bi lahko sam uravnaval spremembe v okolici. Pri analiziranju ukrepov in modelov smo uporabljali programsko orodje EnergyPlus, ki uporablja t. i. dinamično metodo prehoda toplote ter možnost spremljanja toplotnih in vizualnih lastnosti notranjega okolja. Hkrati pa lahko v analizi zajamemo vpliv termične mase v stavbi [24].

Glavno izhodišče za načrtovanje nam je predstavljala lokacija. S podnebno analizo izbranih lokacij (Ljubljana, Trbiž in Trst) smo potrdili podnebno pestrost Slovenije [2]. Nekoliko nepričakovano se je podnebje na lokacijah Ljubljana in Trbiž delno ujelo v povprečnih temperaturnih maksimumih in minimumih, pričakovali smo, da bo lokacija Trbiž bolj »mrzla«. Na podnebje v Ljubljani pomembno vpliva njena lega v ljubljanski kotlini [2], saj ta poskrbi za pogost pojav megle in posledično manjšega dotoka sončnega sevanja. Trst je izrazito sončna lokacija z največjo količino sončnega sevanja. Že na osnovni podnebnih značilnosti je moč predvidevati h katerim načrtovalskim ukrepov se bomo nagibali. Za Trst smo ugotovili, da je daleč najtopplejša lokacija in bomo posebno pozornost morali nameniti preprečevanju vdora sončne energije v stavbo in zmanjšanju preostalih toplotnih dobitkov. Pri Trbižu je bila situacija ravno obratna, zaradi njegovih nizkih temperatur, predvsem v hladnem obdobju leta. Ljubljana ni imela tako očitnih hladnih in toplih skrajnosti. Glede nihanja zunanjih temperatur se je bolj nagibala k Trbižu. Sončno obsevanje lokacije ni bilo tako intenzivno kot pri Trstu. Za boljšo definicijo bioklimatskega potenciala, ki izvira iz podnebnih značilnosti lokacije [1], smo uporabili programsko orodje BcChart [44]. To nam poda bolj utemeljeno oceno potrebnih načrtovalskih ukrepov. Podobno kot Pajek in Košir [1] smo ugotovili, da imamo v Trstu največji potencial za doseganje toplotnega ugodja v senčenju stavbe in kombinaciji senčenja ter prezračevanja. V zimskem času pa lahko pričakujemo doseganje toplotnega ugodja s pomočjo PSH. Hkrati nam je bioklimatski potencial nakazoval veliko potrebo po zmanjšanju toplotnih izgub na lokaciji Trbiž in Ljubljana. Senčenje je za doseganje toplotnega ugodja pomembno tudi v Ljubljani in manj pomembno v Trbižu. Ugotovitve bioklimatskega potenciala smo želeli preveriti s pomočjo dinamičnih analiz toplotnega odziva stavbe.

Pasivne ukrepe smo v grobem razdelili na ukrepe za preprečevanje pregrevanja in PSH [4], s katerimi smo želeli izkoristiti ugodne vplive podnebja. Pasivne ukrepe smo analizirali na treh ravneh (primarni

model, sekundarni model in prototip stavbe). Ugotovitve in rezultati predhodnega modela so predstavljali vhodne podatke za naslednji model. Na ravni primarnega modela smo ugotovili, da že minimalna sprememba oblike stavbe korenito vpliva na spremembo potrebe po ogrevanju. Posledično je optimalna oblika stavbe precej kompaktna (oblika »kocke«). Zanimivo se je kot druga najprimernejša oblika izkazala podolgovata stavba z daljšo stranico, usmerjeno proti jugu. Analize deleža zasteklitve so pokazale, da na lokaciji Ljubljana in Trbiž dobimo enak optimalen delež zasteklitve (WWR 20 %). Ta delež je v Trstu zahtevan večji (WWR 30 %). Kar nakazuje, da v Trbižu in Ljubljani nad solarnimi dobitki skozi zasteklitve prevladujejo toplotne izgube. Pri analizah vpliva orientacije zasteklitev opazimo do 10 % razlike v potrebi po ogrevanju med najbolj in najmanj optimalno orientacijo. Pomen vpliva orientacij zasteklitev poudarjajo tudi Košir et al. [23]. Ta naj bi omogočila tudi do 25 % razliko v Q_{NH} . Pri rezultatih naših analiz ta razlika ni tako očitna, saj najbolj neugodnih kombinacij orientacij nismo preverjali. Pri vseh treh lokacijah se izkaže potreba po polovičnem zmanjšanju deleža zasteklitve na severno orientirani zunanji steni. Omenjeni rezultati se nanašajo na poenostavljeno enakomerno porazdeljeno zasteklitev po obodu modela. Vendar nam na solarne dobitke poleg količine površine zasteklitve vpliva tudi oblika oken. Predvsem zaradi pojava nasebnega senčenja in vpliva faktorja okvirja. Nasebno senčenje je dodatno senčenje odprtine zaradi debeline zidu (upoštevanje pri izračunu). Faktor okvirja predstavlja delež okvirja v primerjavi z deležem zasteklitve in je problematičen predvsem pri manjših odprtinah (večji delež okvirja, ki je bolj toplotno prevoden). Analize v primarnem modelu smo zaključili z analizo spreminjanja odvisnosti potrebe po ogrevanju pri linearnem večanju debeline toplotne izolacije. Ta trend je nelinearen in se počasi umirja z dodatnim večanjem debeline toplotne izolacije. Pri tem se pojavi o vprašanje smiselnosti enormnih debelin ovoja stavbe, ki so posledica nižanja toplotne prehodnosti. Največji vpliv na zmanjšanje potrebe po ogrevanju je viden v Trbižu in najmanjši v Trstu. Glede na te rezultate lahko dokončno potrdimo hipotezo, da v Trbižu kot osnovni načrtovalski ukrep prevladuje zmanjševanje toplotnih izgub. Ugotovitev se ujema z izsledki analize bioklimatskega potenciala lokacije. Podobno lahko rečemo tudi za WWR, saj z večanjem faktorja zagotovimo večji zajem solarne energije in tako omogočimo učinkovito uporabo PSH (primer Trsta).

Na ravni sekundarnega modela smo največji poudarek namenili oblikovanju primernih senčil in uvedbi nočnega prezračevanja. Torej smo se veliko ukvarjali z zmanjšanjem potrebe po ohlajevanju. Pri nočnem prezračevanju smo se odločili za najnižjo priporočeno [22] vrednost, in sicer 2 izmenjavi zraka na uro. Ta vrednost naj bi pri stanovanjskih stavbah nihala od 2 do 30 izmenjav zraka na uro [22]. Za nižjo vrednost smo se odločili, ker smo pri vseh lokacijah uvedli enako nočno prezračevanje. Želeli smo ugotoviti, kakšen vpliv ima enaka stopnja na različnih lokacijah. Največji vpliv na zmanjšanje potrebe po ohlajevanju smo opazili v Trbižu (-30 %), sledi Ljubljana (-20 %) in na koncu Trst (-10 %). Pri lokacijah z visoko potrebo po ohlajevanju z minimalnim nočnim prezračevanjem težko intenzivno ohladimo stavbo. Velik pomen za učinkovitost nočnega prezračevanja ima glede na Zhou et al. [27] tudi termična masa v stavbi. Podobno trdijo tudi Hudobivnik et al. [22]. Rezultati analiz senčenja so predstavljali jasen odraz bioklimatskega potenciala lokacije, saj smo za optimalne rezultate v zmanjšanju potrebe po ohlajevanju morali transparentne elemente v Trstu zelo učinkovito senčiti (95 % sončnega sevanja odbiti nazaj v okolico). V Ljubljani smo potrebovali senčenje, ki odbije približno 2/3 sončnega sevanja in v Trbižu le minimalno senčenje. Fiksna senčila so pogojno dopustna le v Trstu (južno orientirane odprtine), saj nam kljub konkretnemu reduciranju potrebe po ohlajevanju hkrati precej povišajo potrebo po ogrevanju. Tak ukrep bi bil v Trbižu in Ljubljani nezaželen.

Pri modeliranju prototipa stavbe smo veliko pozornosti namenili spreminjanju barv (absorptivnosti) finalnih oblog. Uvedli smo t. i. »hladno barvo fasade« ($\alpha = 0,2$), to so predvsem bele barve. Uporabljamo jih z namenom zmanjševanja pregrevanja stavbe. Svetle barve naj bi bile glede na Al-Sanea [24] še posebej učinkovite v kombinaciji z visoko termično maso v stavbi. V analizah, opravljenih v tem magistrskem delu, se hladna barva kot pozitiven ukrep izkaže samo v Trstu in vpliva na zmanjšanje potrebe po ohlajevanju. V Trbižu in Ljubljani pa le-ta povzroči dodatno povečanje potrebe po ogrevanju in ima negativen vpliv, še posebej izrazit v Trbižu. Situacija je ravno obratna, če za fasadno barvo uporabimo t. i. »toplo barvo« ($\alpha = 0,9$). To so predvsem temnejše barve, ki imajo značilno visoko absorpcijo sončne energije. Barva notranjih oblog ima poleg vpliva na osvetljenost v prostoru [57] določen vpliv tudi na energetske bilanco stavbe (absorpcija prejetih solarnih dobitkov). Ta vpliv ni tako izrazit kot pri zunanji fasadi. Toplejše barve notranjih oblog v Ljubljani in Trstu pozitivno vplivajo na neto potrebno energijo v stavbi. Vendar se je treba zavedati, da z željo po zmanjšanju neto potrebne energije lahko precej poslabšamo naravno osvetljenost v prostoru. Seveda je barva notranjih oblog pomembna predvsem pri notranjih površinah, na katere skozi dan sveti sonce.

Med potekom naloge smo opazili, da so lahko določeni pasivni ukrepi učinkovitejši, če so kombinirani s termično maso v stavbi [22, 24, 27]. Zato nas je pri naslednji analizi zanimalo, kako dodatna termična masa vpliva na neto potrebno energijo v stavbi. Dodatno termično maso smo uvedli v ovoj prototipa stavbe, in sicer v zunanje stene s pomočjo konopljinega betona, ki smo ga uporabili kot polnilo med nosilno konstrukcijo (dodatnih 99 kJ/K/m^2), in v tla kot finalno oblogo s pomočjo opečnih ploščic (dodatnih 239 kJ/K/m^2). Poleg vpliva na zmanjšanje neto potrebne energije smo analizirali tudi amplitudo nihanja notranje občutene temperature, ko je stavba v prostem teku. Ugotovili smo, da dodatna termična masa na splošno pri vseh treh lokacijah deluje pozitivno (zmanjšanje neto potrebne energije in zmanjšanje amplitude nihanja temperature), vendar se med lokacijami pri vplivu pojavljajo velike razlike. To potrdi tudi našo tretjo hipotezo. Rezultati so primerljivi s Hudobivnik et al. [22], saj opazimo zmanjšanje relativne občutene temperature in zmanjšanje amplitude dnevnega nihanja temperature. Poleg pozitivnega vpliva, ki ga ima lahko termična masa na delovanje stavbe, Hudobivnik et al. [22] opozarjajo, da lahko pride tudi do negativnega učinka termične mase. Če se stavba zelo pregreje se v primeru velike termične mase v stavbi le-ta lahko veliko počasneje ohladi. Takšna težava bi se lahko pojavila v Trstu. Če povzamemo, ima termična masa največji vpliv v Ljubljani, kar lahko povežemo s podnebnimi značilnostmi lokacije; predvsem z velikimi dnevnimi in letnimi temperaturnimi nihanji. Termična masa ima najmanjši vpliv v Trbižu, saj je stavbo večino leta treba ogrevati. Na stopnji dodajanja termične mase bi bilo priporočljivo delo nadaljevati, predvsem mislimo na določanje optimalne količine termične mase. Študija, ki sta jo izvedla Ralegaonkar in Gupta [24] navaja, da lahko v ovoj stavbe določimo optimalno količino termične mase, saj sta termična masa in potencialno največji prihranek oziroma zmanjšanje neto potrebne energije povezana pojma. Optimalno količino dodatne termične mase bi določili s pomočjo dinamične toplotne upornosti ovoja stavbe, ta je drugačna od klasične toplotne upornosti s stacionarnimi robnimi pogoji. Ta se izračuna za značilen dan za vsak mesec v letu. Dinamični faktor toplotne upornosti se spreminja glede na količino termične mase v zunanjem ovoj stavbe.

Če razpravo sklenimo z analizo hipoteze, da bo vsaka stavba zahtevala drugačno konceptualno zasnovo, jo lahko delno potrdimo in delno ovržemo. Pri vseh lokacijah je bilo na začetnih analizah treba uvesti podobne oziroma enake pasivne ukrepe, saj smo iskali obliko, ki nam bi omogočala čim manjše toplotne izgube ob hkratnih primernih solarnih dobitkih. Bolj so bile analize natančne, večje razlike so se pojavljale med zahtevanimi ukrepi in zasnovo stavbe (debelina toplotne izolacije, senčenje, barva fasade, dodatna termična masa). Takšne rezultate smo dobili zaradi odločitve, da bomo najprej preverjali, kakšne oblike in delež zasteklitve nam omogoča najmanjšo potrebo po ogrevanju. Če bi se analiziranja lotili drugače in bi hkrati upoštevali tudi potrebo po senčenju (ob dodatni predpostavki osnovnega senčenja), bi bili rezultati nekoliko drugačni. Pričakujemo lahko predvsem razliko v optimalni obliki stavbe. Mogoče bi prišli do podobnih ugotovitev kot Košir et al. [23], pri katerih se je kot optimalna oblika stavbe (v zmernem podnebju) izkazala podolgovata južno orientirana stavba. Ta je precej podobna obliki stavbe, ki se je pri nas izkazala za drugo najoptimalnejšo. Za realnejše ovrednotenje optimalnih rezultatov, ki smo jih pridobili z analizami v tem magistrskem delu, bi bilo zagotovo treba opraviti dodatne študije z nekoliko drugačno kombinacijo kriterijev optimalnosti pasivnih ukrepov.

7 ZAKLJUČEK

V magistrskem delu smo želeli pokazati, kako pomembno in uporabno je načrtovanje stavb, ki so podnebno pogojene, se ozirajo na uporabnika in hkrati omogočajo interakcijo stavbe z okolico. Razumeti moramo, da je vsaka stavba na določeni lokaciji specifična enota, ki zahteva inženirsko razmišljanje in načrtovanje. Želimo si namreč stavbo, ki se bo primerno odzivala na spremembe v okolju in delovala skladno z njim, kot dobrodošlo posledico le-tega pa lahko pričakujemo zmanjšanje potrebne energije za obratovanje stavbe.

Z rezultati tega magistrskega dela smo postavili dobro izhodišče in usmeritve za načrtovanje stavb, ki so podnebno pogojene in trajnostne. Beseda zveza »podnebno pogojene« nam pove, da je lokacija pomembno izhodišče za načrtovanje stavb, hkrati pa beseda »trajnostna« zajema ekonomski, okoljski, zdravstveni in sociološki pogled [10]. S stavbo se od okolja ne poskušamo izolirati, ampak se mu prilagodimo in skušamo izkoristiti njegove danosti. To bi morala biti načela vsake sodobne stavbe, ki si jo kot sodobni uporabnik tudi želimo. Pri načrtovanju specifične stavbe lahko ta izhodišča prilagodimo tako, da zadostimo zahtevam naročnika in ustvarimo unikaten izdelek.

Z bioklimatskim načrtovanjem treh enodružinskih montažnih hiš na treh različnih lokacijah smo ugotovili, da imajo že tako majhni in enostavni objekti veliko možnosti za prihranek energije. Na podlagi rezultatov lahko trdimo, da je izdelava tipskih enodružinskih hiš z gledišča energetske optimiziranih stavb težko izvedljiva. Zato predlagamo, da bi se načrtovanja tipskih montažnih hiš lotili z uporabo analize bioklimatskega potenciala lokacije, za katero smo v magistrskem delu dokazali, da ponudi ustrezne usmeritve načrtovalskega potenciala. V Sloveniji bi bile te usmeritve določene glede na tri značilna podnebja (toplo, hladno in zmerno). Na podlagi informacij o specifični lokaciji bi lahko usposobljeni načrtovalec stavbo umestil v prostor in izvedel zahtevano optimizacijo. Pri kompleksnejših stavbah, pa zgolj analiza bioklimatskega potenciala ne bi zadostovala. Potrebne bi bile dinamične analize bioklimatskega načrtovanja, kot je prikazano v tem magistrskem delu, saj takšne analize omogočajo veliko natančnejše rezultate pri analizi kompleksnih kombinacij pasivnih ukrepov in sistemov.

Vse strokovne analize in rezultati pa so le sami sebi namen, če se splošna javnost ne zaveda koristi in priložnosti, ki jih ponuja bioklimatsko načrtovanje. Zato poudarjamo, da je treba narediti korak naprej tudi pri ozaveščanju javnosti. Le tako bomo lahko ustvarili naročnike in potencialni trg za bioklimatsko načrtovanje.

»Od globin oceanov do vrhov gora, od mrzle tundre do vroče Sahare, od mene do tebe. Vse to je naša Zemlja, ki se popolno giblje okoli Sonca in je ustvarjena tako zate kot zame. Zato se jo trudimo ohraniti.«

VIRI

- [1] Pajek, L., Košir, M. 2017. Can building energy performance be predicted by a bioclimatic potential analysis? Case study of the Alpine-Adriatic region. *Energy and Buildings* 139 (2017): 160–173. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817300981> (Pridobljeno januarja 2017.)
- [2] Ogrin, D. 1996. Podnebni tipi v Sloveniji. *Geografski vestnik* 68: 39–59.
- [3] Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. 1987. <chrome-extension://oemmnecbldboiebfnladdacbfmadadm/http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (Pridobljeno januarja 2017.)
- [4] Energy conscious design, A primer for architects: Architecture of Climat. 1992. London, Commission of the European communities.
- [5] Agugliaro, M., Montoya, F., Sabio-Ortega, A., García-Cruz, A. 2015. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49 (2015): 736–755.
- [6] Olgyay, V. 1963. Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism. New Jersey, US, Princeton University Press.
- [7] Szokolay, V. S. 2008. Introduction to Architectural Science. The Basic of Sustainable Design. Oxford, Great Britain, Architectural Press.
- [8] Beacken, G. 2015. Victor Ogyay: Architecture is the cause and solution to climate related problems. Princeton University press blog, objavljeno 22. 10. 2015. <http://blog.press.princeton.edu/2015/10/22/victor-olgyay-architecture-is-the-cause-and-solution-to-climate-related-problems/> (Pridobljeno januarja 2017.)
- [9] Krainer, A., Košir, M., Krist, Ž., Dovjak, M. 2008. Pasivna hiša proti bioklimatski hiši. *Gradbeni vestnik* 57: 58–69.
- [10] Krivec, V. 2016. (Intervju) Mitja Košir, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: Bistvo bioklimatske gradnje je kmečka pamet. 2016. <https://gradbenistvo.finance.si/8847415?cctest&&cookietime=1484402650> (Pridobljeno januarja 2017.)
- [11] Tejero-González, A., Andrés-Chicote, M., García-Ibáñez, P., Velasco-Gómez, E., JavierRey-Martínez, F. 2016. Assessing the applicability of passive cooling and heating techniques through climate factors: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 65 (2016): 727–742. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116303100> (Pridobljeno januarja 2017.)

- [12] Desogus, G., G. F. Cannas, L., Sanna, A. 2016. Bioclimatic lessons from Mediterranean vernacular architecture: The Sardinian case study. *Energy and Buildings* 129 (2016): 574–588. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816306612> (Pridobljeno januarja 2017.)
- [13] Galaso, L. P. L., de Guevara López, L. I., Purkiss, B. J. 2016. The influence of microclimate on architectural projects: a bioclimatic analysis of the single-family detached house in Spain's Mediterranean climate. *Energy Efficiency* 9 (2016): 621–645. doi: 10.1007/s12053-015-9383-x
- [14] Oikonomou, A., Bougiatioti, F. 2011. Architectural structure and environmental performance of the traditional buildings in Florina, NW Greece. *Building and Environment* 46 (2011): 669–689. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310002829> (Pridobljeno januarja 2017.)
- [15] Pozasa, B. M., Neila, F. J., Hygrothermal, G. 2016. Behaviour and thermal comfort of the vernacular housings in the Jerte Valley (Central System, Spain). *Energy and Buildings* 130 (2016): 219–227. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816307411> (Pridobljeno januarja 2017.)
- [16] Givoni, B. 1992. Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy Build* 18 (1992): 11–23. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037877889290047K> (Pridobljeno januarja 2017.)
- [17] Zain-Ahmed, A., Sayigh, A. M. A., Surendran, N. P., Othman, Y. M. 1998. The bioclimatic design approach to low-energy buildings in the Klang Valley, Malaysia. *Renewable Energy* 15 (1998): 437–440. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148198002006> (Pridobljeno januarja 2017.)
- [18] Tzikopoulos, F. A., Karatza, C. M., Paravantis, A. J. 2005. Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings. *Energy and Buildings* 37 (2005): 529–544. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778804002944> (Pridobljeno januarja 2017.)
- [19] Desogus, G., Cannas, G. F. L., Sanna, A. 2016. Bioclimatic lessons from Mediterranean vernacular architecture: The Sardinian case study. *Energy and Buildings* 129 (2016): 574–588.
- [20] Košir, M. 2014–2015. Učinkovita raba energije "Bioklimatsko načrtovanje in pasivno solarna arhitektura – 2. del". Prosojnice pri predmetu Učinkovita raba energije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- [21] Ralegaonkar, V. R., Gupta, R. 2010. Review of intelligent building construction: A passive solar architecture approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (2010): 2238–2242.
- [22] Hudobivnik, B., Pajek, L., Kunič, R., Košir, M. 2016. FEM thermal performance analysis of multi-layer external walls during typical summer conditions considering high intensity passive cooling. *Appl Energy* 178 (2016): 363–375. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916308121> (Pridobljeno januarja 2017.)

- [23] Košir, M., Gostiša, T., Kristl, Ž. 2016. Search for an Optimised Building Envelope Configuration during Early Design Phase with Regard to the Heating and Cooling Energy Consumption (2016): 805–812.
https://www.researchgate.net/publication/304480446_Search_for_an_Optimised_Building_Envelope_Configuration_during_Early_Design_Phase_with_Regard_to_the_Heating_and_Cooling_Energy_Consumption (Pridobljeno januarja 2017.)
- [24] Al-Sanea, A. S., Zedan, F. M., Al-Hussain, S. 2012. Effect of thermal mass on performance of insulated building walls and the concept of energy savings potential. Appl Energy 89 (2012): 430–442.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.009> (Pridobljeno januarja 2017.)
- [25] Garg, N. 1991. Passive options for thermal comfort in building envelopes—An assessment. Solar Energy 6 (1991): 437–441.
- [26] Adekunle, O. T., Nikolopoulou, M. 2016. Thermal comfort, summertime temperatures and overheating in prefabricated timber housing. Building and Environment 103 (2016): 21–35.
- [27] Zhou, J., Zhang, G., Lin, Y., Li, Y. 2007. Coupling of thermal mass and natural ventilation in buildings. Energy and Buildings 40 (2008): 979–986.
- [28] Aste, N., Angelotti, A., Buzzetti, M. 2009. The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings. Energy and Buildings 41 (2009): 1181–1187.
- [29] Navarro, L., de Gracia, A., Colclough, S., Browne, M., McCormack, J. S., Griffiths, P., Cabeza, F. L. 2015. Thermal energy storage in building integrated thermal systems: A review. Part 1. active storage systems. Renewable Energy 88 (2016): 526–547.
- [30] Santamouris, M., Sfakianaki, A., Pavlou, K. 2010. On the efficiency of night ventilation techniques applied to residential buildings. Energy and Buildings 42 (2010): 1309–1313.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810000666> (Pridobljeno januarja 2017.)
- [31] Ascione, F., De Masi, F. R., de Rossi, F., Ruggiero, S., Vanoli, G. 2016. Optimization of building envelope design for nZEBs in Mediterranean climate: Performance analysis of residential case study. Applied Energy 183 (2016): 938–957.
- [32] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES 2010. Uradni list RS, št. 52/2010.
- [33] Tehnična smernica TSG–1–004:2010 Učinkovita raba energije: 16–18.
- [34] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Uradni list RS, št. 42/2002.
- [35] SIST EN ISO 13790: 2008. Energijske lastnosti stavb - Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov.
- [36] Vremenski podatki za program EnergyPlus.
<https://energyplus.net/weather> (Pridobljeno septembra 2016.)

[37] Programski orodji EnergyPlus in OpenStudio. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Energy Efficiency & Renewable Energy. Bulding Tecnologies Office. EnergPlus Energy Simulation Software 2015.

<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> (Pridobljeno septembra 2016.)

[38] Karta Slovenije.

<http://www.nationsonline.org/oneworld/map/slovenia-map.htm> (Pridobljeno novembra 2016.)

[39] Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. 2006. World Map od the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorol Z 15 (2006): 259–263.

[40] Klimatski podatki. Agencija Republike Slovenije za okolje.

<http://www.arso.gov.si/> (Pridobljeno novembra 2016.)

[41] Klimatološki podatki. WeatherSpark.

<https://weatherspark.com/> (Pridobljeno novembra 2016.)

[42] Podatki sončnega sevanja. Stran Evropske Unije.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (Pridobljeno novembra 2016.)

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

<http://www.lumar.si/index.asp> (Pridobljeno septembra 2016.)

[44] Košir, M., Pajek, L. 2016. BcChart v1.0. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering.

[45] Košir, M. 2015-2016. Dnevna svetloba "Načrtovanje 4: komponente - senčila". Prosojnice pri predmetu Dnevna svetloba. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

[46] Načrtovanje fiksnih senčil.

<http://excelcivil.blogspot.si/2012/04/paper-coauthored-with-anagh-been.html> (Pridobljeno novembra 2016.)

[47] Ragsdale, A. L., Raynham, A. E. 1972. Building materials technology, Second Edition. London, Edward Arnold.

[48] Zadruga Konopko, zadruga za razvoj trajnostne pridelave in predelave konoplje - Konopko z.o.o.

<http://www.konopko.si/gradbenistvo> (Pridobljeno septembra 2016.)

[49] Sekolovnik, T. 2016. Gradnja s konopljo. Magistrsko delo. Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno in arhitekturo (samozaložba T. Sekolovnik): 14–15 f.

[50] Konopljin beton značilnosti

<http://www.rememberbrothers.com/en/galleries> (Pridobljeno januarja 2017.)

[51] U-wert.net spletni program.

<https://www.u-wert.net/?p=all#> (Pridobljeno novembra 2016.)

- [52] KIP dimniški inženiring d.o.o. Šentlovrenc 21, 8212 Velika Loka.
<http://www.kip-samot.com/katalog/samot-za-kurisca.html> (Pridobljeno novembra 2016.)
- [53] Konopljin beton.
<http://limecrete.co.uk/hempcrete-factsheet/> (Pridobljeno novembra 2016.)
- [54] Gorjup, A. 2015. Študija vpliva zasnove stavbnega ovoja na kvaliteto bivalnega okolja in rabo energije. Magistrsko delo. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Gorjup): 30–130 f.
- [55] Google SketchUp Make 2016.
<http://www.sketchup.com/download/all> (Pridobljeno septembra 2016.)
- [56] Climate Consultant 6.0.
<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>
(Pridobljeno novembra 2016.)
- [57] Košir, M. 2015-2016. Dnevna svetloba "Načrtovanje 5: oblikovanje prostora". Prosojnice pri predmetu Dnevna svetloba. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- [58] Prevodnik, Š. 2015. Vpliv senčil na osvetljenost prostora. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Š. Prevodnik): 1–100 f.
- [59] Reflex okna.
<http://www.reflex.si/si/> (Pridobljeno decembra 2016.)
- [60] Lawrence Berkeley National Laboratory. 2013. Window 6.3.
<https://windows.lbl.gov/software/window/6/> (Pridobljeno novembra 2016.)
- [61] Dickson Textiles. Tehnične karakteristike rolo senčil.
<https://www.dickson-constant.com/en/UK> (Pridobljeno novembra 2016.)
- [62] Dnevnik. 2016. Naj lesene gradnje 2016: les ohranja kulturo našega prostora.
<https://www.dnevnik.si/1042754145/dom/arhitektura/naj-lesene-gradnje-2016-les-ohranja-kulturo-nasega-prostora> (Pridobljeno januarja 2017.)
- [63] Bratanič, J. 2011. Gradbeništvo: v čakanju vetra, ki bi razpihal črne oblake.
<https://dnevnik.si/1042472742/posel/novice/1042472742> (Pridobljeno januarja 2017.)
- [64] Wikipedia prosta enciklopedija.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Brochure> (Pridobljeno oktobra 2016)

» Ta stran je namenoma prazna.«

PRILOGE

PRILOGA A: BROŠURA ZA SPLOŠNO KOMUNIKACIJO Z JAVNOSTJO

» Ta stran je namenoma prazna.«

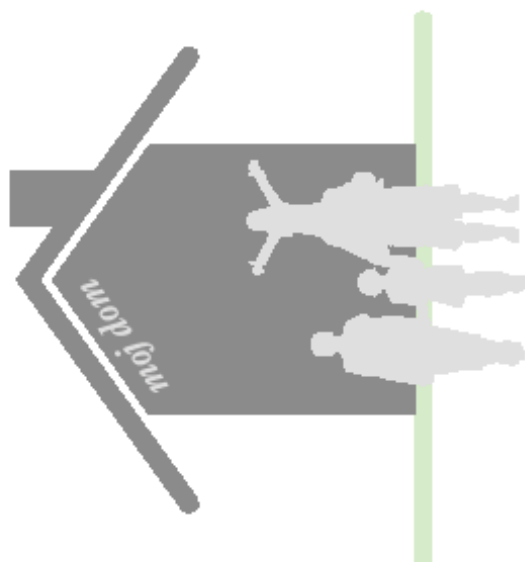


» Ta stran je namenoma prazna.«

Trajnostno načrtovanje stavb & življenje v *harmoniji*

Lastnosti zasteklitve in senčenje

Hladna klima (npr. Rateče)	Zmerna klima (npr. Ljubljana)	Topla klima (npr. Portorož)
Omožena komunikacija z zunanjo okolico	Omožena komunikacija z zunanjo okolico	Omožena komunikacija z zunanjo okolico
Zmeren delež zasteklitve (optimalno 20 %)	Zmeren delež zasteklitve (optimalno 20 %)	Večji delež zasteklitve (optimalno 30 %)
Brez majhnih oken z velikim deležem okvirja	Brez majhnih oken z velikim deležem okvirja	Brez majhnih oken z velikim deležem okvirja
Manjši delež zasteklitve na S strani	Manjši delež zasteklitve na S strani	Manjši delež zasteklitve na S strani
Senčenje skoraj ni potrebno	Senčenje je potrebno, optimalna so fiksna premera senčila	Senčenje je enojno, optimalna so fiksna premera senčila



Stavbo načrtujemo kot del ekosistema - skladno delovanje z naravo in lokalno klimo. Pri procesu načrtovanja v osrednje postavljamo človeka in ustvarjamo njemu primernega toplotnega okolja ob hkratni minimalni porabi energije za delovanje.

Lokacija izodišč za načrtovanje

Kadar govorimo o lokaciji mislimo predvsem na njene klimatske značilnosti. Te se lahko zelo spreminjajo že na majhnih geografskih razdaljah. Na primer v naši majhni Sloveniji poznamo kar tri prevladujoče tipe klim z dodatnimi lokalnimi značilnostmi.

Na dolgi lokaciji nas predvsem zanimali količini sončnega sevanja, povprečno glavnino temperature, vlažnost in delež padavin skozi leto.

Vse predpostavke veljajo v primeru, da na parceli kjer stoji naša stavba ni večjih ovir, ki bi preprečevale potencialne sončne dobitke.

Ovoj in ustreznost montažnih stavb

Hladna klima (npr. Rateče)	Zmerna klima (npr. Ljubljana)	Topla klima (npr. Portorož)
Zelo nizka vrednost toplotne prehodnosti konstrukcijskih ali opor	Nizka vrednost toplotne prehodnosti konstrukcijskih ali opor	Minimalno zahtevana vrednost toplotne prehodnosti konstrukcijskih ali opor
Temna fasadna barva	Temna fasadna barva	Svetla fasadna barva
Delovanje lahke montažne stavbe ustrežno	Delovanje lahke montažne stavbe NE ustrežno	Delovanje lahke montažne stavbe NE ustrežno
Dodatna termična masa ni nujna	Dodatna termična masa je nujna tako v stenah kot stih	Dodatna termična masa je vselej nujna samov tih