

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



MAGISTRSKO DELO

MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE STOPNJE STAVBARSTVO

Ljubljana, 2018

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:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

STRAN ZA POPRAVKE

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

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	502.3:504.7:728.3(497.451.1)(043.3)
Avtor:	Sabina Magyar, dipl. inž. grad. (UN)
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Somentor:	asist. Luka Pajek
Naslov:	Optimizacija rabe energije enodružinske hiše z upoštevanjem globalnega segrevanja.
Tip dokumenta:	magistrsko delo
Obseg in oprema:	86 str., 50 pregl., 19 sl., 28 graf.
Ključne besede:	enodružinska hiša, neto ničenergijska hiša, dovedena energija, energija za ogrevanje in hlajenje, energijska učinkovitost, podnebne spremembe, ukrepi izboljšanja energijske učinkovitosti

Izvleček

V nalogi smo obravnavali model tipične enodružinske hiše na območju Ljubljane, ki smo ji želeli izboljšati zasnovo z namenom zmanjšanja dovedene energije za obratovanje, predvsem za ogrevanje in hlajenje. Ukrepe za doseganje energijske učinkovitosti je potrebno uvesti že v fazi načrtovanja, ob tem pa slediti zakonskim zahtevam za načrtovanje stavb in načelom trajnostnega načrtovanja z implementacijo pasivne solarne arhitekture in ukrepi izboljšanja učinkovite rabe energije. S programskim orodjem BEopt smo izvedli simulacije energijske bilance stavbe z namenom optimizacije dovedene energije, potrebne za obratovanje stavbe. Zavedamo se, da bo ukrepe potrebno prilagoditi na prihajajoče podnebne spremembe, zato smo prikazali tudi razlike med smiselno izbiro načrtovalskih ukrepov v letih 2010, 2020 in 2050 ter ovrednotili ustreznost uvedbe posameznega ukrepa glede na referenčni model. Na podlagi tega smo za posamično obdobje sestavili kombinacije energijsko najučinkovitejših ukrepov. V nalogi smo izbrali scenarij A2 projekcije potenciala globalnega segrevanja organizacije IPCC, ki je opredeljen kot scenarij s srednje–visokimi izpusti. V prihodnosti bo, zaradi nadaljnjega segrevanja ozračja in višanja gostote sončnega sevanja na horizontalno površino, pri načrtovanju stavb poudarek na senčenju in zmanjšanju površine zasteklitev ter gradnji stavb z visoko maso zaradi zmožnosti časovnega zamika prehajanja toplote skozi konstrukcijo. Kot energijsko najučinkovitejša se izkažeta ukrepa pravilne izbire sistema za ogrevanje in izboljšava toplotne prehodnosti netransparentnega dela ovoja stavbe.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	502.3:504.7:728.3(497.451.1)(043.3)
Author:	Sabina Magyar, B.Sc.
Supervisor:	Assist. Prof. Mitja Košir, Ph.D.
Cosupervisor:	Assist. Luka Pajek
Title:	Optimization of energy consumption of a family house taking into account global warming
Document type:	Master Thesis
Scope and tools:	86 p., 50 tab., 19 fig., 28 graph.
Key words:	single-family house, zero net energy house, operational energy, heating and cooling energy demand, energy efficiency, climate change, energy efficient measures

Abstract

The objective of the thesis is to improve the design of a typical single-family house in the area of Ljubljana to reduce operational energy for heating and cooling. Taking energy efficient measures in an early phase of planning is as requisite as following statutory demands for building design and sustainable design principles with passive solar architecture implementation and energy efficiency improvement of the building. Operational energy optimization was completed by using software tool BEopt for energy performance simulation. We are aware that building design measures have to be adapted appropriately to future climate change, therefore we presented the differences between individual building measures in 2010, 2020 and 2050 and evaluated adequacy of individual measure in comparison to the reference model. On this basis we designed a model with the combination of most energy efficient measures. In the thesis we chose a scenario with IPCC's A2 projection of climate change that is defined as medium-high emission scenario. Further, temperature and solar irradiation rise could be expected, which emphasizes the importance of building design measures as shading, window area decrease and the use of high thermal mass building materials to delay heat transfer. In conclusion, the most energy efficient measures are appropriate selection of heating system and improvement of building's envelope thermal transmittance.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Za vso strokovno pomoč, pridobljeno znanje, odzivnost in čas za izdelavo magistrske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Mitji Koširju in somentorju, asist. Luki Pajku.

Posebna zahvala gre družini in bližnjim za vso pomoč in spodbudne besede.

»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 in hipoteze.....	2
2 VPLIV PODNEBJA IN PODNEBNIH SPREMEMB NA RABO ENERGIJE V STAVBAH	3
2.1 Podnebne značilnosti izbrane lokacije.....	3
2.2 Projekcije podnebnih sprememb	6
2.3 Pregled obstoječe literature.....	8
3 METODE DELA	11
3.1 Struktura in potek naloge.....	11
3.2 Zakonske zahteve za načrtovanje stavb	11
3.3 Baza EnergyPlus Weather data	13
3.4 Programsko orodje CCWorldWeatherGen.....	13
3.5 Programsko orodje Climate Consultant	14
3.6 Programsko orodje BEopt.....	17
4 ANALIZA PODNEBJA OBRAVNAVANE LOKACIJE	20
4.1 Analiza podnebnih danosti lokacije.....	20
4.1.1 Temperatura zunanjega zraka.....	20
4.1.2 Sončno sevanje na horizontalno površino	20
4.1.3 Oblačnost neba	22
4.1.4 Relativna vlažnost zraka.....	23
4.1.5 Ostali podatki o podnebjju	23
4.2 Projekcije podnebnih sprememb	23
4.2.1 Temperatura zunanjega zraka.....	25
4.2.2 Sončno sevanje na horizontalno površino	28
4.2.3 Oblačnost neba	32
4.2.4 Relativna vlažnost zraka.....	32
4.3 Bioklimatska analiza lokacije.....	33
4.3.1 Potrebe po ukrepih v letu 2010.....	34
4.3.2 Potrebe po ukrepih v letu 2020.....	35
4.3.3 Potrebe po ukrepih v letu 2050.....	37
4.3.4 Primerjava smiselnosti ukrepov v letih 2010, 2020, 2050	39
5 MODELIRANJE STAVBE	44
5.1 Zasnova stavbe	44
5.2 Karakteristike stavbe.....	46
5.3 Ukrepi.....	50
5.4 Kombinacije ukrepov.....	54
6 REZULTATI RABE ENERGIJE STAVBE	56

6.1	Izhodiščni model	56
6.1.1	Analiza rabe energije v letu 2010	56
6.1.2	Analiza rabe energije v letu 2020	57
6.1.3	Analiza rabe energije v letu 2050	57
6.2	Izvedba ukrepov	58
6.2.1	Analiza rabe energije v letu 2010	58
6.2.2	Analiza rabe energije v letu 2020	61
6.2.3	Analiza rabe energije v letu 2050	63
6.3	Izbor kombinacije ukrepov.....	65
6.3.1	Analiza rabe energije v letu 2010	66
6.3.2	Analiza rabe energije v letu 2020	67
6.3.3	Analiza rabe energije v letu 2050	68
6.4	Večanje zmogljivosti fotovoltaike.....	69
7	PRIMERJAVA REZULTATOV V LETIH 2010, 2020, 2050	71
7.1	Izhodiščni model	71
7.2	Ukrepi	72
7.3	Kombinacije ukrepov	75
7.4	Določitev učinkovitosti ukrepov	77
8	ZAKLJUČEK	80
	VIRI	82
	PRILOGA A	A
	PRILOGA B	B
	PRILOGA C	C
	PRILOGA D	D
	PRILOGA E	E

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Anomalija povprečne globalne T površja Zemlje v primerjavi z obdobjem 1986–2005 [24].	7
Grafikon 2: Scenariji projekcij podnebnih sprememb [26].	8
Grafikon 3: Princip delovanja programskega orodja BEopt [2].	19
Grafikon 4: Mesečna povprečja dnevnih T zraka v Ljubljani [39].	20
Grafikon 5: Mesečna povprečja dnevnega H_s v Ljubljani [39].	21
Grafikon 6: Komponente sončnega sevanja v Ljubljani [39].	22
Grafikon 7: Povprečna dnevna oblačnost neba v Ljubljani [39].	22
Grafikon 8: Povprečna dnevna relativna vlažnost zraka v Ljubljani [39].	23
Grafikon 9: Povprečna letna T zraka izbranih lokacij (1961–2015) [48].	24
Grafikon 10: Povprečne mesečne T zraka v Ljubljani [39]; primerjava 2010 in 2020.	26
Grafikon 11: Povprečne mesečne T zraka v Ljubljani [39]; primerjava 2010 in 2050.	26
Grafikon 12: Mesečna povprečja dnevnega H_s v Ljubljani [39]; primerjava 2010 in 2020.	29
Grafikon 13: Mesečna povprečja dnevnega H_s v Ljubljani [39]; primerjava 2010 in 2050.	29
Grafikon 14: Povprečna dnevna oblačnost neba v Ljubljani.	32
Grafikon 15: Relativna vlažnost zraka v Ljubljani.	33
Grafikon 16: Pasivni ukrepi za doseganje toplotnega udobja v prostem teku stavbe v letu 2010.	35
Grafikon 17: Pasivni ukrepi za doseganje toplotnega udobja v prostem teku stavbe v letu 2020.	37
Grafikon 18: Pasivni ukrepi za doseganje toplotnega udobja v prostem teku stavbe v letu 2050.	39
Grafikon 19: Ukrep 2 – Senčenje zasteklitev.	40
Grafikon 20: Ukrep 3 – Visoka masa stavbe.	41
Grafikon 21: Ukrep 4 – Visoka masa stavbe + nočno hlajenje.	41
Grafikon 22: Ukrep 7 – Naravno prezračevanje.	42
Grafikon 23: Ukrep 10 – Pasivni solarni dobitki pri nizki masi stavbe.	42
Grafikon 24: Ukrep 11 – Pasivni solarni dobitki pri visoki masi stavbe.	43
Grafikon 25: Q_{nh} , Q_{nc} in deficit energije izhodiščnega modela za 2010, 2020, 2050.	72
Grafikon 26: Q_{nh} , Q_{nc} in deficit energije stavbnega modela pri uporabi različnih ukrepov vključno z izhodiščnim modelom za 2010, 2020, 2050.	73
Grafikon 27: Q_{nh} , Q_{nc} in deficit energije kombinacije ukrepov vključno z izhodiščnim modelom za 2010, 2020, 2050.	76
Grafikon 28: Primerjava komponent Q_e izbranih modelov za 2010, 2020, 2050.	78

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Mesečna povprečja T zunanjega zraka v Ljubljani [21].	6
Preglednica 2: Geografska umestitev Ljubljane [22].	6
Preglednica 3: Vrednosti toplotnih prehodnosti netransparentnega stavbnega ovoja [7].	12
Preglednica 4: Model HadCM3 [41].	14
Preglednica 5: Parametri cone udobja za Climate Consultant [39].	14
Preglednica 6: Načrtovalske strategije za doseganje toplotnega udobja [39].	16
Preglednica 7: Razlaga oznak Preglednic 8–10.	26
Preglednica 8: Spremembe povprečnih T zraka v Ljubljani (2010–2020).	27
Preglednica 9: Spremembe povprečnih T zraka v Ljubljani (2020–2050).	27
Preglednica 10: Spremembe povprečnih T zraka v Ljubljani (2010–2050).	27
Preglednica 11: Razlaga oznak Preglednic 12–14.	30
Preglednica 12: Spremembe povprečnega H_s v Ljubljani (2010–2020).	30
Preglednica 13: Spremembe povprečnega H_s v Ljubljani (2020–2050).	30
Preglednica 14: Spremembe povprečnega H_s v Ljubljani (2010–2050).	31
Preglednica 15: Izbrani načrtovalski ukrepi za doseganje toplotnega udobja v prostem teku stavbe.	33
Preglednica 16: Karakteristike izhodiščne stavbe.	44
Preglednica 17: Karakteristike konstrukcijskih sklopov izhodiščne stavbe.	46
Preglednica 18: Karakteristike zasteklitve izhodiščne stavbe.	48
Preglednica 19: Karakteristike sistemov za prezračevanje, ogrevanje in hlajenje izhodiščne stavbe.	48
Preglednica 20: Karakteristike sistemov za pripravo tople sanitarne vode izhodiščne stavbe.	49
Preglednica 21: Karakteristike porabnikov energije in notranjih virov energije izhodiščne stavbe.	49
Preglednica 22: Karakteristike fotovoltaike za izhodiščno stavbo.	50
Preglednica 23: Sprememba orientacije stavbe.	50
Preglednica 24: Izboljšanje toplotne prehodnosti KS–jev.	51
Preglednica 25: izboljšanje toplotne prehodnosti in višanje mase KS–jev.	52
Preglednica 26: Izboljšanje kvalitete zasteklitve.	53
Preglednica 27: Sprememba WWR–ja.	53
Preglednica 28: Višanje stopnje senčenja v poletnih mesecih.	53
Preglednica 29: Večanje globine nadstreška.	54
Preglednica 30: Višanje stopnje naravnega prezračevanja.	54
Preglednica 31: Menjava sistema ogrevanja/hlajenja.	54
Preglednica 32: Sprememba urnikov ogrevanja/hlajenja.	54
Preglednica 33: Ostali viri rabe energije.	56
Preglednica 34: Energijska bilanca modela izhodiščne stavbe v letu 2010.	57
Preglednica 35: Energijska bilanca modela izhodiščne stavbe v letu 2020.	57
Preglednica 36: Energijska bilanca modela izhodiščne stavbe v letu 2050.	58
Preglednica 37: Razlaga oznak za Preglednice 38–40.	58
Preglednica 38: Energijska bilanca ukrepov za znižanje rabe energije (2010).	58
Preglednica 39: Energijska bilanca ukrepov za znižanje rabe energije (2020).	61
Preglednica 40: Energijska bilanca ukrepov za znižanje rabe energije (2050).	63
Preglednica 41: Razlaga oznak za Preglednico 42.	66
Preglednica 42: Energijska bilanca kombinacije ukrepov za znižanje rabe energije (2010).	66
Preglednica 43: Razlaga oznak za Preglednico 44.	67
Preglednica 44: Energijska bilanca kombinacije ukrepov za znižanje rabe energije (2020).	67
Preglednica 45: Razlaga oznak za Preglednico 46.	68
Preglednica 46: Energijska bilanca kombinacije ukrepov za znižanje rabe energije (2050).	69

Preglednica 47: Razlaga oznak za Preglednico 48.....	70
Preglednica 48: Višanje zmogljivosti PV.....	70
Preglednica 49: Razlaga oznak za Preglednico 50.....	71
Preglednica 50: Primerjava letne Q_e izhodiščnega modela.	71

KAZALO SLIK

Slika 1: Podnebni tipi po Köppen–Geiger na območju Slovenije [18].....	4
Slika 2: Podnebni tipi na območju Slovenije [20].....	5
Slika 3: Psihrometrična karta [39].....	15
Slika 4: Projekcija spremembe trajanja sončnega obseva v Sloveniji [49].	24
Slika 5: Psihrometrična karta za leto 2010 [39].	34
Slika 6: Psihrometrična karta za leto 2020 [39].	36
Slika 7: Psihrometrična karta za leto 2050 [39].	38
Slika 8: Orientacija in pogled na severovzhodno fasado [2].	45
Slika 9: Jugovzhodna fasada [2].....	45
Slika 10: KS zunanje stene.	46
Slika 11: KS predelne stene.....	46
Slika 12: KS strehe.	47
Slika 13: KS tal.....	47
Slika 14: KS zunanje stene po ukrepih (nizka masa).	51
Slika 15: KS strehe po ukrepih (nizka masa).	51
Slika 16: KS tal po ukrepih (nizka masa).	51
Slika 17: KS zunanje stene po ukrepih (visoka masa).....	52
Slika 18: KS strehe po ukrepih (visoka masa).....	52
Slika 19: KS tal po ukrepih (visoka masa).	52

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: URNIK GRETJA

PRILOGA B: URNIK HLAJENJA

PRILOGA C: DNEVNI URNIK LETNEGA POVPREČJA DELOVANJA GOSPODINJSKIH
APARATOV

PRILOGA D: URNIK RABE RAZSVETLJAVE

PRILOGA E: URNIK PRISOTNOSTI UPORABNIKOV STAVBE

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Okrajšava	Pomen
A_g	površina zasteklitve [m^2]
ASHRAE	The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Ameriško inženirsko združenje) [1]
BDP	Bruto domači proizvod
BEopt	Building Energy Optimization (programsko orodje za optimizacijo rabe energije v stavbi) [2]
CDD	Cooling Degree Days (temperaturni presežek lokacije [Kdan]) Je vsota dnevnih razlik med izhodiščno temperaturo in zunanjo povprečno dnevno temperaturo zraka za tiste dni med 1. julijem in 30. junijem, ko je povprečna dnevna temperatura višja ali enaka izhodiščni temperaturi.
CO_2	ogljikov dioksid
COP	Coefficient of Performance (grelna število) Je merilo učinkovitosti toplotne črpalke; razmerje med pridobljeno toplotno energijo in porabljenim delom za delovanje toplotne črpalke (elektrika).
DOE	Department of Energy (Ministrstvo za energijo ZDA)
EPBD-r	Direktiva EU o energetske učinkovitosti stavb [3]
EU	Evropska Unija
[GtC]	merska enota za: gigaton ogljika
GWP	Global Warming Potential (potencial globalnega segrevanja)
H_s	sončno sevanje na horizontalno površino [W/m^2]
HDD	Heating Degree Days (temperaturni primanjkljaj lokacije [Kdan]) Je vsota dnevnih razlik med izhodiščno temperaturo in zunanjo povprečno dnevno temperaturo zraka za tiste dni med 1. julijem in 30. junijem, ko je povprečna dnevna temperatura nižja ali enaka 12 °C.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Medvladni odbor za podnebne spremembe)
IWEC	International Weather for Energy Calculation (Mednarodni vremenski podatki za energijske izračune) [4]
KS	konstrukcijski sklop
MKP	mavčno kartonska plošča
NREL	National Renewable Energy Laboratory (Državni laboratorij ZDA za obnovljive vire energije) [5]
OSB	oriented strand board (plošča iz usmerjenih lesnih vlaken)
OVE	obnovljivi viri energije
PURES	Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah [6]
PV	Photovoltaics (fotovoltaika)
Q_e	dovedena energija [kWh/m^2]
Q_{nc}	dovedena energija za hlajenje [kWh/m^2]
Q_{nh}	dovedena energija za ogrevanje [kWh/m^2]
RS	Republika Slovenija
T	temperatura [°C]
TČ	toplotna črpalka
TSG4	Tehnična smernica za graditev [7]

UNEP	United Nations Environment Programme (Okoljski program Združenih narodov)
WMO	World Meteorological Organization (Svetovna meteorološka organizacija)
WWR	window to wall ratio (delež transparentnih površin na zunanji, fasadni steni)
XPS	ekstrudiran polistiren
ZDA	Združene države Amerike
ZNE	Zero Net Energy (neto ničenergijska stavba)

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

Gradbeni sektor, katerega velik delež predstavlja stavbni sektor, je izdaten onesnaževalec okolja. Stavbe na svetovni ravni izkoriščajo 30–40 % celotne skupne primarne energije in so posledično krive za 40–50 % globalnih emisij toplogrednih plinov [8]. Emisije CO₂ predstavljajo približno 80 % rabe vse energije pri obratovanju stavbe v celotni življenjski dobi stavbe [9, 10], v primeru stavbe z dobro toplotno izolacijo pa naj bi ta delež znašal 40–60 % [11]. Za zmanjšanje negativnih vplivov na okolje je tako potrebno zmanjšati rabo naravnih virov in količino emisij v vseh fazah življenjskega cikla objekta. Potencial nižanja dovedene energije v stavbah je velik, zato je smiselno ukrepati že pri zgodnjih fazah načrtovanja, prav tako pa je potrebno sanirati obstoječe stavbe, v kar nas posredno usmerjajo zakoni in direktive, med drugim EPBD-r [3], podlaga za PURES [6] in ostali cilji trajnostnega načrtovanja. EPBD-r upošteva cilje strategije EU 20–20–20 do 2020, t.j. 20 % zmanjšanje emisij CO₂, 20 % povečanje energijske učinkovitosti in zagotavljanje 20 % deleža obnovljivih virov energije v primarni energijski bilanci, kamor znatno prispevajo tudi stavbe. Po letu 2020 bodo morale biti vse nove stavbe skoraj ničenergijske, za stavbe v lasti in rabi javnih organov pa bo to veljalo že po letu 2018 [3]. Energetski cilji EU za leto 2030 so zmanjšanje emisij TGP za najmanj 40 % glede na vrednosti iz leta 1990, najmanj 27 % delež proizvodnje energije iz OVE in povečanje energijske učinkovitosti za 27–30 % [12]. Cilji EU za leto 2050 so zastavljeni še ostreje, glavni med njimi je 80–95 % zmanjšanje emisij TGP glede na vrednosti iz leta 1990 [13].

Za doseganje ciljev trajnostnega načrtovanja je pomembno, da razumemo pojem trajnostnega razvoja. Trajnostni sonaravni razvoj je oblika razvoja, ki zadovoljuje potrebe sedanjega človeškega rodu, ne da bi ogrozila možnosti prihodnjih rodov [14]. Pri trajnostnem načrtovanju stavb je poleg implementiranja pasivne solarne arhitekture in ukrepov izboljšanja učinkovite rabe energije potrebno nameniti pozornost tudi izvedbi gradnje (optimizacija rabe gradbenega materiala) in izbiri gradbenih materialov (naravni ter lokalni materiali z možnostjo recikliranja). Načrtovalske ukrepe pri stavbah, kot jih poznamo danes, bo v prihodnosti potrebno prilagoditi na prihajajoče podnebne spremembe. Nekatere spremembe v podnebjju so vidne že danes. Letno povprečje temperature zunanega zraka se v primerjavi s preteklostjo viša, ekstremni vremenski dogodki postajajo vse pogostejši, razporeditev padavin je vedno bolj neenakomerna. Potrebno je preučiti predvsem vpliv dviga temperature zunanega zraka na rabo energije v stavbah in definirati tiste komponente rabe energije, na katere lahko najbolj vplivamo z načrtovalskimi ukrepi.

V nalogi bomo obravnavali lahko leseno in masivno armiranobetonsko enodružinsko hišo, postavljeno na območje mestne občine Ljubljana. Ukrepe za doseganje energijske učinkovitosti stavbe bomo zastavili glede na rezultate simulacije bioklimatskega potenciala lokacije, kjer bomo analizirali lokalno podnebje predvsem glede na temperaturo zraka, relativno vlažnost in prejeta sončno sevanje na horizontalni površini. S tem preverimo možnosti implementiranja pasivne solarne arhitekture, bodisi višanje mase stavbe za učinek časovnega zamika prehoda toplote zaradi sončnega sevanja v sezoni hlajenja, najbolj optimalno orientacijo stavbe ter velikost in orientacijo zasteklitev. Izboljšamo lahko stavbni ovoj, vgradimo primerna notranja ali zunanja senčila, optimiziramo sisteme ogrevanja, hlajenja in prezračevanja, poleg tega je za znižanje dovedene energije v stavbi potrebno smotrno naravno

prezračevanje ter smiselno programiranje urnikov ogrevanja in hlajenja stavbe ter senčenja zasteklitev. Ker želimo načrtovati za prihodnost, načrtujemo v smeri neto ničenergijske stavbe, zato v stavbo vgradimo sistem generiranja energije, fotovoltaike, ki bo proizvedel več energije, kot je stavba rabi. Preverili bomo tudi, kakšna je razlika med implementacijo posameznega ukrepa in kombinacije več ukrepov v letih 2010, 2020 in 2050 glede na izhodiščni model. Pri vrednotenju rezultatov se bomo osredotočili na višino dovedene energije za obratovanje stavbe, predvsem za ogrevanje in hlajenje. Kot izhodišče za smernice načrtovanja stavb v današnjem času privzamemo leto 2010, saj procesi načrtovanja kot tudi bioklimatskega načrtovanja stavb pogosto temeljijo na preteklih izkušnjah, prav tako pa se v nalogi sklicujemo na smernice in standarde, npr. PURES [6], ki je v veljavi od leta 2010.

1.1 Cilji in hipoteze

V nalogi želimo preveriti učinkovitost načrtovalskih ukrepov za enodružinsko hišo na območju Ljubljane ob upoštevanju lastnosti podnebja za leto 2010 ter s pomočjo projekcij podnebnih sprememb izboljšati zasnovo stavbe za leti 2020 in 2050. Prikazati želimo razlike med smiselnostjo izbire ukrepov med posameznimi obdobji, naš glavni namen pa je zmanjšanje dovedene energije stavbe. Zastavljeni cilji naloge so:

- Definicija podnebnih značilnosti Ljubljane in analiza projekcij za prihodnost. Zanimajo nas temperatura zraka, prejeto sončno sevanje na horizontalni površini in bioklimatski potencial lokacije.
- Na podlagi slednjega pripraviti model enodružinske hiše in zastaviti predloge učinkovite strategije pasivnega ogrevanja ali hlajenja stavbe za posamezna obdobja.
- S pomočjo simulacij rabe energije v stavbi definirati glavne porabnike energije in poiskati kombinacijo ukrepov z najnižjo rabo energije v treh različnih obdobjih ter primerjati rezultate s predhodno zastavljenimi cilji, hipotezami in že obstoječimi viri.

V nalogi preverjamo sledeče hipoteze:

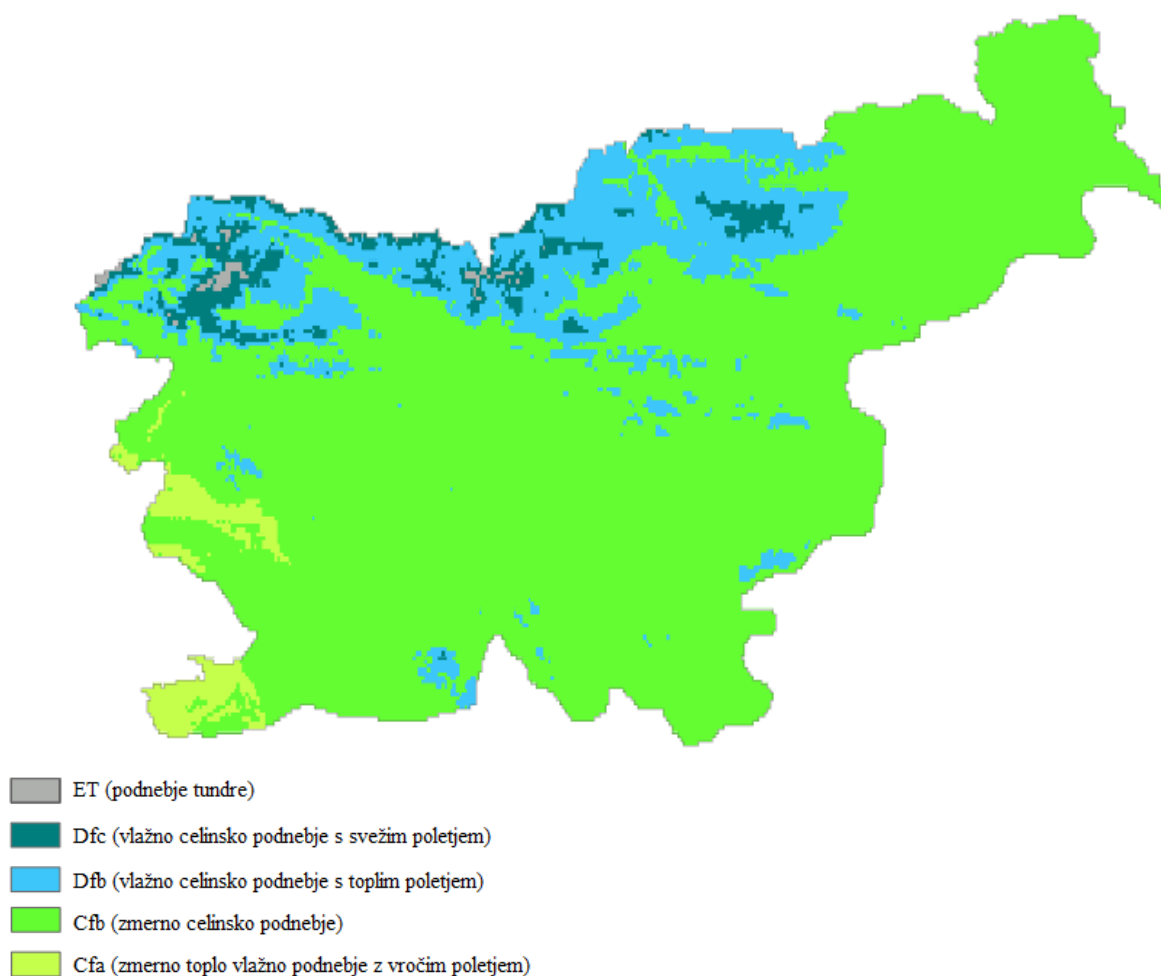
- V prihodnosti bo zaradi projekcij dviga temperatur zunanjega zraka in povečanega sončnega sevanja potreba po hlajenju notranjosti stavbe višja kot danes in potreba po ogrevanju stavbe nižja kot danes. Posledično bo vse večji poudarek na ukrepih, povezanih z zmanjševanjem pregrevanja notranjosti stavbe.
- Energijsko najučinkovitejši ukrep nižanja Q_{nh} in Q_{nc} stavbe je izboljšanje toplotne prehodnosti transparentnega in netransparentnega ovoja stavbe.
- Stavba z visoko maso ob projiciranem dvigu temperatur zunanjega zraka zaradi zmožnosti časovnega zamika prehoda toplote skozi konstrukcijo v prihodnosti rabi manj energije za delovanje kot stavba z nizko maso.

2 VPLIV PODNEBJA IN PODNEBNIH SPREMEMB NA RABO ENERGIJE V STAVBAH

2.1 Podnebne značilnosti izbrane lokacije

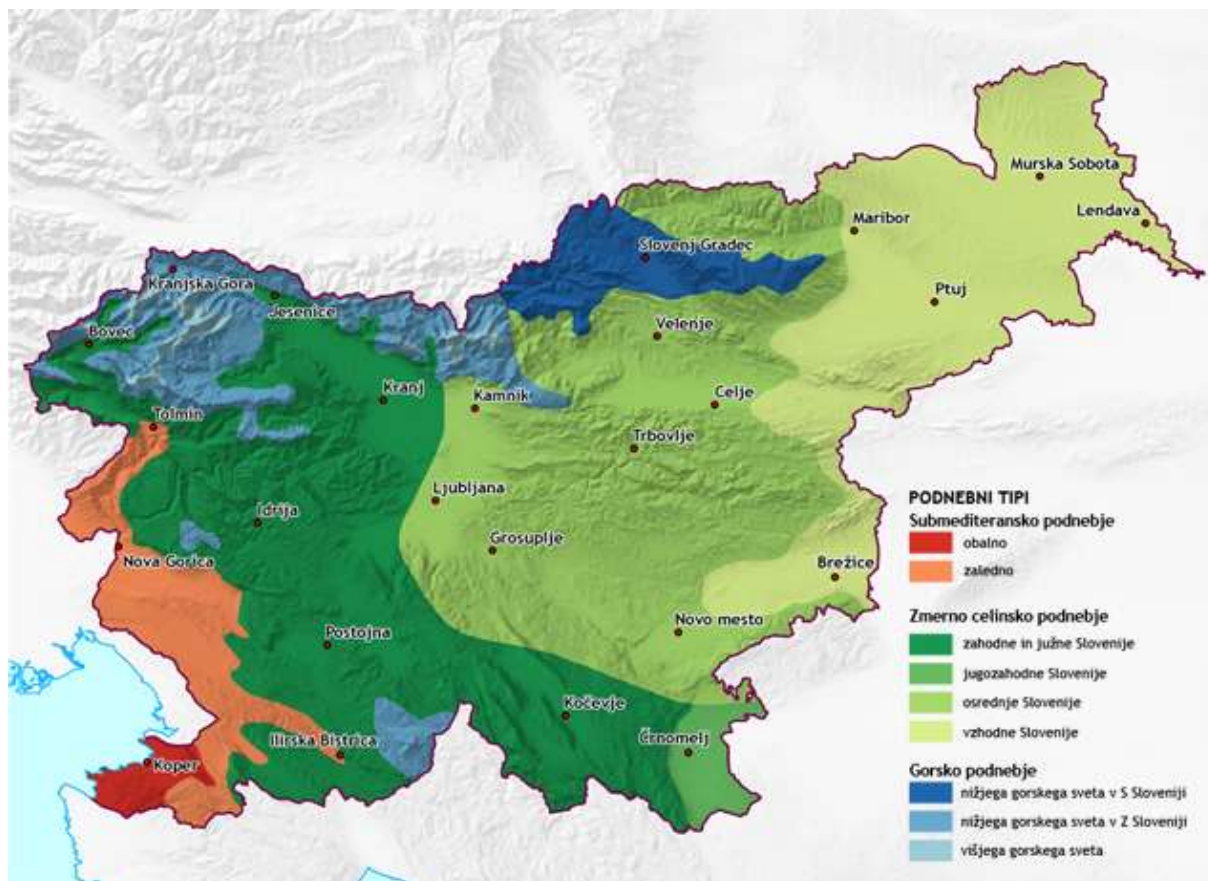
Evropa, drugi najmanjši kontinent, se nahaja na severni polobli našega planeta. Na severu, jugu in zahodu je omejena z morjem, na vzhodu pa se njeno ozemlje nadaljuje v največji kontinent, Azijo. Večina Evrope leži v zmerno toplem pasu, njeni skrajni severni deli segajo v subpolarni, skrajni južni deli pa v subtropski pas. Med slednje uvrščamo države s sredozemskim podnebjem na jugu Evrope, ki ga oblikuje Sredozemsko morje, ob katerem ležijo. Na podnebje Evrope vplivajo vremenotvorna središča, predvsem islandski ciklon, katerega vpliv je čutiti čez celo leto, prinaša pa vlago in ohladitve. Pozimi se čuti vpliv sibirskega anticiklona, ki prinaša jasno, suho in hladno vreme, v poletnih mesecih pa vpliv azorskega anticiklona, ki prav tako prinaša jasno in suho, vendar zelo vroče vreme. Severnoatlantski morski tok na zahodu s prinosom nadpovprečno tople morske vode oblikuje oceanski tip podnebja, ki zaradi vpliva celine proti vzhodu preide v celinsko podnebje [15].

Glede na geografsko in gospodarsko lego Slovenijo umeščamo med države srednje Evrope. Skupaj z italijanskima pokrajinama Benečijo in Furlanijo–Julijsko krajino, avstrijskima Štajersko in Koroško, hrvaškim polotokom Istro ter Primorsko–goransko županijo tvori regijo Alpe–Adria [16]. Območje regije, ki se razprostira na 79152 km² pod vplivom celinskega in sredozemskega podnebja, je zelo razgibano, saj se od 0 m nadmorske višine dvigne tudi do 3342 m nad morje. Jadranska obala z zahodnim delom Istre je po sistemu klasifikacije podnebja Köppen–Geiger, ki temelji na vrednostih temperature zraka in količinah ter sezonski distribuciji padavin, upošteva pa tudi značilnosti lokalne vegetacije in živalstva [17], uvrščena v tip podnebja Cfa – zmerno toplo vlažno podnebje z vročim poletjem. Severni del regije Alpe–Adria z avstrijsko Koroško in Štajersko, skrajnim severnim delom Italije ter območjem Julijskih Alp uvrščamo v tip podnebja Dfb in Dfc – vlažno celinsko podnebje s toplim in svežim poletjem. Gorski vrhovi Alp medtem kažejo značilnosti polarnega podnebja (ET). Kot je prikazano na Sliki 1, se na stičišču omenjenih tipov podnebja nahaja Slovenija, ki skupaj z južnim delom avstrijske Štajerske, Primorsko–goransko županijo ter srednjima deloma Benečije in Furlanije–Julijske krajine leži v skupini Cfb [16]. Podnebje na tem območju je zmerno toplo vlažno s toplim poletjem in blago zimo. Časovni in prostorski razpored padavin je najbolj odvisen od ciklonov, ki prihajajo iz smeri oceanov in povzročijo višek padavin v toplem delu leta.



Slika 1: Podnebni tipi po Köppen–Geiger na območju Slovenije [18].

Na območju Slovenije, ki leži v zmerno toplen pasu, najdemo tri podnebne tipe. Predeli severne Slovenije, predvsem območja nad 1500 m nadmorske višine, imajo gorsko podnebje. Vplivi tega podnebja se kažejo tudi v gorskih dolinah, ki ležijo pod 1500 m nadmorske višine in na jugu Slovenije, natančneje v Babni dolini. Zahodna Slovenija, kamor uvrščamo območje obale in goriške, ima večinoma submediteransko podnebje s sorazmerno enakomerno razporejeno količino padavin čez vse leto. Na večini območja Slovenije, predvsem v smeri proti notranjosti države in ob naraščanju nadmorske višine podnebje preide v zmerno celinsko, ki ga delimo na štiri podtipe podnebja, definirane pretežno po geografski legi. Na Sliki 2 so prikazani z odtenki zelene barve [19].



Slika 2: Podnebni tipi na območju Slovenije [20].

Ljubljana leži v zmernem celinskem podnebju osrednje Slovenije s toplimi poletji, zmerno mrzlimi zimami ter višjimi temperaturami in milejšimi padavinami v jesenskem času. V Preglednici 1 so predstavljena mesečna povprečja temperature zunanjega zraka v Ljubljani za referenčno obdobje 1960–1990. Najhladnejši mesec, s povprečno minimalno temperaturo zraka $-6,2^{\circ}\text{C}$ in povprečno temperaturo zraka $-3,2^{\circ}\text{C}$, je januar. S povprečno maksimalno temperaturo zraka $30,2^{\circ}\text{C}$ in povprečno temperaturo zraka $23,2^{\circ}\text{C}$ je najtoplejši mesec avgust. Pozno jeseni in pozimi ob jasnih nočeh se lahko v ljubljanski kotlini pojavi temperaturna inverzija, ki povzroči nižje minimalne temperature in pojave kot so zmrzal in slana. Povprečna letna količina padavin znaša med 1000 in 1300 mm, padavinski režim je subkontinentalni s prvim viškom padavin poleti in drugim jeseni, medtem ko je najmanj padavin pozimi [19]. V Preglednici 2 je predstavljena geografska umestitev Ljubljane.

Preglednica 1: Mesečna povprečja T zunanjega zraka v Ljubljani [21].

Mesec	T _{avg} [°C]	T _{max,avg} [°C]	T _{min,avg} [°C]
Januar	-3,2	0,0	-6,2
Februar	4,5	8,2	1,5
Marec	10,2	16,3	4,1
April	12,1	17,7	6,9
Maj	16,9	22,7	11,2
Junij	21,7	27,8	16,0
Julij	23,2	29,3	16,8
Avgust	23,2	30,2	16,7
September	14,3	19,1	11
Oktober	12,0	18,7	6,8
November	6,2	9,6	3,2
December	1,9	5,0	-1,0
Letno povprečje	11,9	17,1	7,2

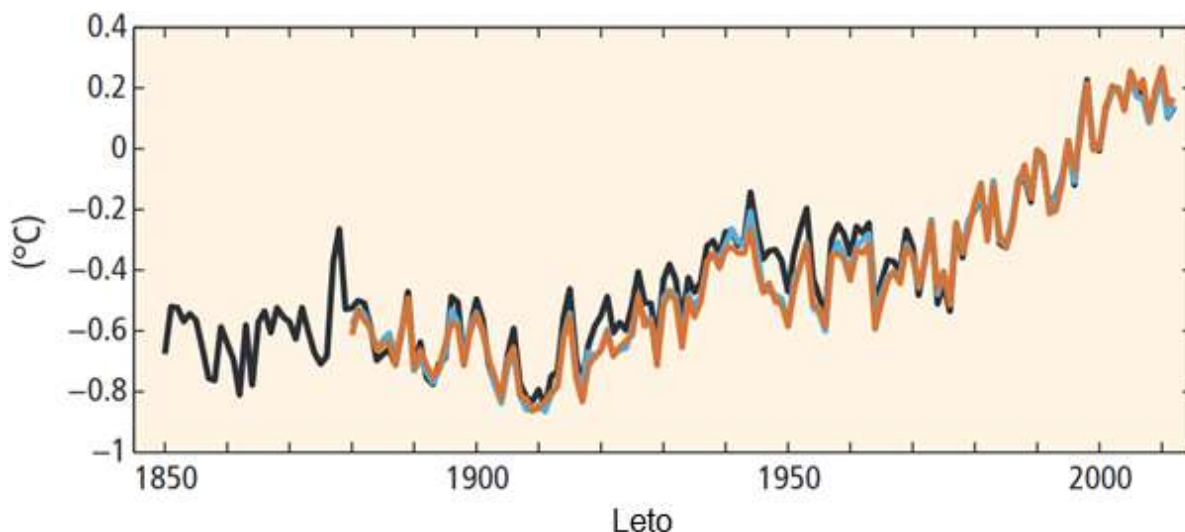
Preglednica 2: Geografska umestitev Ljubljane [22].

Mesto	Geografska lega	Nadmorska višina [m]	Reliefna oblika	Podnebje / Köppen–Geiger klasifikacija
Ljubljana	46°03'20" N 14°30'30" E	295	Kotlina	Zmerno celinsko / Cfb

2.2 Projekcije podnebnih sprememb

Podnebne spremembe so stalnica v geološki zgodovini našega planeta, le v preteklosti človeška dejavnost nanje ni vplivala tako intenzivno kot v današnjem času. Nasprotno lahko trdimo za obdobje od sredine 20. stoletja naprej, saj raziskave klimatologov zaključujejo, da so spremembe podnebja v zadnjih desetletjih posledica naraščanja koncentracije toplogrednih plinov v ozračju, ki se tja sproščajo ob dejavnostih človeka kot so industrija, promet, energetika ipd. Koncentracija toplogrednih plinov v ozračju bo vsaj še nekaj desetletij naraščala, saj imajo le-ti dolgo življenjsko dobo. Projekcije za prihodnost potrjujejo že opažene spremembe podnebja, kot npr. segrevanje ozračja, povečanje intenzitete in frekvence ekstremnih vremenskih dogodkov ter neenakomerno razporeditev padavin [23].

Grafikon 1 prikazuje anomalijo povprečne globalne temperature površja Zemlje za obdobje 1850–2012 v primerjavi z obdobjem 1986–2005. Tri različne barve predstavljajo različne podatkovne nize iz baze IPCC [24]. Povprečna temperatura zemeljskega površja predvsem v zadnjih treh desetletjih občutno raste.



Grafikon 1: Anomalija povprečne globalne T površja Zemlje v primerjavi z obdobjem 1886–2005 [24].

Leta 1988 sta WMO in UNEP ustanovila IPCC, katerega naloga je vsestransko, objektivno, javno in transparentno ocenjevanje znanstvenih, tehničnih ter družbeno-ekonomskih podatkov, ključnih za razumevanje znanstvene osnove tveganja človeško povzročenih podnebnih sprememb, njihovih potencialnih posledic, možnosti prilagoditve na posledice in omejevanja le-teh. Skupina avtorjev, ki jih v skladu z njihovim znanjem izbere IPCC, je v obdobju od 1990 do 2014 med drugim objavila pet celovitih poročil ocen o pregledu najnovejše klimatološke znanosti [25]. V tretjem poročilu IPCC iz leta 2000 je predstavljenih 40 scenarijev GWP do leta 2100, razdeljenih v 4 skupine (A1, A2, B1, B2), prikazanih na Grafikonu 2, ki se med seboj razlikujejo glede na pričakovano stopnjo emisij toplogrednih in ostalih škodljivih plinov (npr. SO_2). GWP je predstavljen z enoto emisij kumulativnega CO_2 , saj ta plin predstavlja več kot dve tretjini izpustov vseh toplogrednih plinov v ozračje. Zaradi pomanjkanja podatkov o preteklih pojavih, lokalnih odstopanj pri merjenju podnebnih parametrov zaradi mikroklimе, nepredvidljive časovne in geografske razporeditve vremenskih pojavov, spremenljivosti demografskih trendov in ekonomskega ter tehnološkega razvoja so rezultati opravljenih raziskav sprejemljivi le hipotetično. Scenariji projekcij napovedujejo za leto 2100 med 772 in 2538 GtC v ozračju in kar 10 do 26-kratno rast bruto svetovne proizvodnje [26].

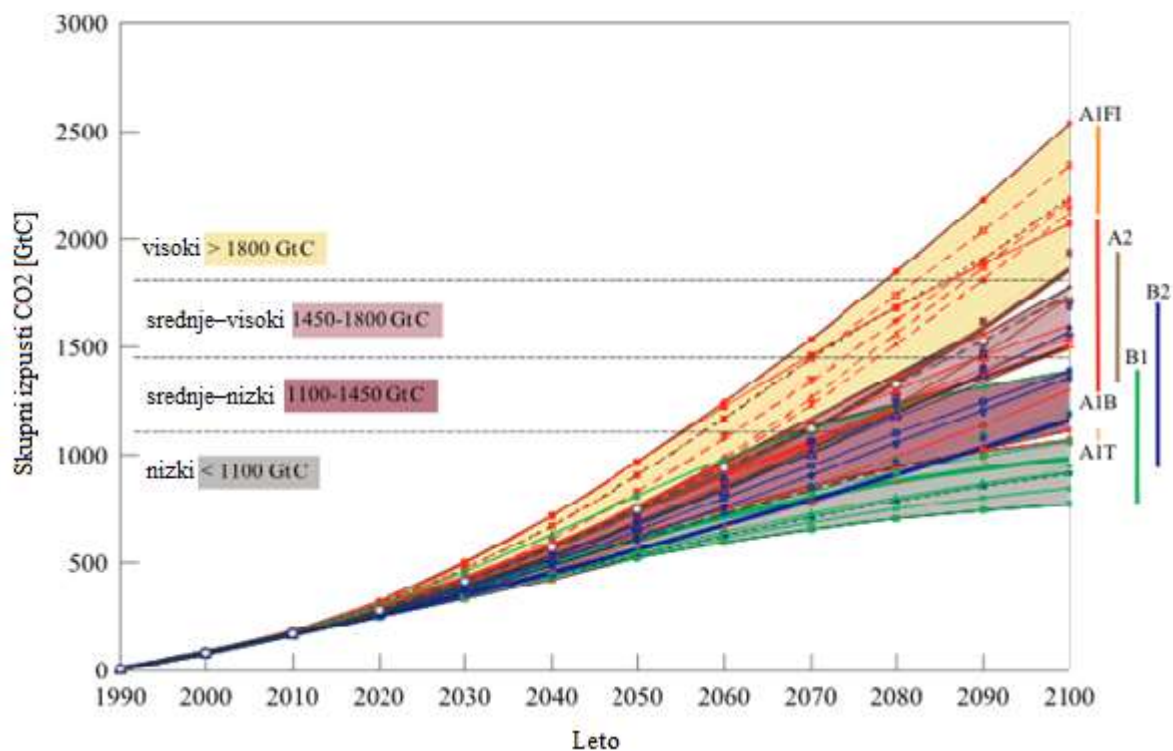
Skupina scenarijev projekcij A1 (razpon 1049–2538 GtC) napoveduje izjemno hitro ekonomsko rast in uvedbo novih učinkovitih tehnologij. Rast prebivalstva doseže vrh pri 8,7 milijarde sredi 21. stoletja, zatem pade na 7 milijard kot posledica nizke rodnosti in umrljivosti. Zaradi hitrega razvoja pride do povečane kulturne in družbene interakcije, večanja razlik med posameznimi območji, vendar znatnega upada razpona med osebnimi dohodki na krajevnih nivojih. Skupina scenarijev A1 se razveja v tri scenarije, ki se razlikujejo glede na tehnološko smer razvoja: A1F1 (razpon 2127–2538 GtC) temelji na rabi fosilnih virov energije, A1T (razpon 1049–1113 GtC) na rabi nefosilnih virov energije, A1B (razpon 1301–2073 GtC) pa predstavlja srednjo pot med slednjima [26].

Scenarij A2 (razpon 1352–1938 GtC) spada med tiste s srednje-visokimi izpusti. Projicirana je neenakomerna, vendar počasna ekonomska in tehnološka rast ter večanje razlik med razvitimi državami

in državami v razvoju. Glede rasti prebivalstva so projekcije naslednje: 8,2 milijarde prebivalcev na Zemlji do leta 2020, 11,3 milijarde do 2050 in 15 milijard do 2100 [26].

Projekcija scenarija B1 (razpon 772–1390 GtC) napoveduje heterogen svet z enako rastjo prebivalstva do sredine 21. stoletja kakor pri scenariju A2, vendar upadom v drugi polovici stoletja. Nagle spremembe se bodo zgodile predvsem v storitveni in informacijski ekonomiji, poudarjena bosta zmanjšanje rabe surovin in uvajanje tehnologij za učinkovito rabo virov v industriji, zmanjšal se bo tudi razpon med osebnimi dohodki na krajevnih nivojih. Tako v ekonomiji kot tudi v skrbi za okolje in v celotni družbi bo pojem trajnostnosti med glavnimi vodili [26].

Scenarij B2 (razpon 1164–1686 GtC) projicira bolj lokalne oziroma krajevne usmeritve v ekonomsko, družbeno in okoljsko trajnostnost. Prebivalstvo bo s konstantno, vendar blažjo rastjo kot pri scenariju A2 doseglo število 10,4 milijarde do leta 2100, prav tako povprečni bosta ekonomska in tehnološka rast, slednja bo predvsem bolj raznolika kot v scenarijih B1 in A1 [26].



Grafikon 2: Scenariji projekcij podnebnih sprememb [26].

2.3 Pregled obstoječe literature

V želji po načrtovanju energijsko učinkovitih stavb v prihodnosti je načrtovalske ukrepe potrebno prilagoditi razmeram, ki prihajajo. Da bi to lahko ustrezno izpeljali, je potrebno poiskati komponente rabe energije v stavbi in poudariti tiste, na katere lahko ob hkratni prevladi glede višine rabe vplivamo z načrtovalskimi ukrepi. Energija, potrebna za delovanje stavbe sestoji pretežno iz energije za ogrevanje in hlajenje (Q_{nh} in Q_{nc}), prezračevanje, pripravo tople sanitarne vode, razsvetljavo, gospodinjske aparate ter ostale elektronske naprave. Dvig temperature zunanega zraka lahko vpliva le na spremembo rabe

energije za ogrevanje, hlajenje in prezračevanje, zato se osredotočimo nanje. Ugodje v bivalnem okolju, ki ga je potrebno zagotoviti skozi celo leto, lahko dosežemo le s premišljenim načrtovanjem, v prihodnosti pa bo potrebno strategije načrtovanja prilagoditi podnebnim spremembam. Naslednje študije preučujejo možen vpliv podnebnih sprememb, predvsem dviga temperature zunanega zraka in gostote sončnega sevanja na horizontalno površino, na rabo energije v stavbah.

Ob zagotavljanju primerne temperature notranjega zraka se pri vsakem dvigu temperature ozračja za 1 °C dovedena energija za ogrevanje in hlajenje dvigne za 20 % do 25 % [27], predvsem na račun rasti dovedene energije za hlajenje. To velja predvsem za slabše izolirane stavbe. Ostale komponente rabe energije v stavbi, kot so npr. razsvetljava, segrevanje sanitarne vode, gospodinjski aparati in elektronske naprave, niso tako občutljive na podnebne spremembe [27]. V svetovnem povprečju dvig temperature zunanega zraka za 2 °C prinese zvišanje rabe energije v stavbah za 0,1 %, saj se bolj poveča CDD kot pade HDD [28]. Za primerjavo naj navedemo, da dodaten 1 HDD pomeni 0,01 %, dodaten 1 CDD pa 0,04 % narast dovedene energije za ogrevanje ali hlajenje stavbe. Konkretnije je za območje Slovenije (Ljubljana) po podnebnem scenariju A1 do konca tega stoletja projiciran sezonski dvig CDD s 77 na 157 in upad HDD s 3010 na 2192 [29]. Iz baze Eurostat razberemo podatke o HDD za Slovenijo med leti 2008 in 2017. Sezonsko povprečje v tem obdobju se giba okoli 2800 z najvišjo vrednostjo v letu 2010 (3135) in najnižjo v letu 2014 (2342) [30].

Tveganje pregrevanja ZNE stavb v Združenem Kraljestvu bo do leta 2080 predstavljalo težavo že v vseh prostorih stavbe. S časom bo na pomenu pridobivalo zmanjševanje solarnih dobitkov v sezoni hlajenja predvsem s senčenjem zastekljenih površin stavbnega ovoja. ZNE stavbam se bo zaradi podnebnih sprememb do leta 2080 letna dovedena energija znižala za 11 kWh/m², generirana energija iz obnovljivih virov pa se bo povečala za 2 kWh/m² [31]. Analiza bilance dovedene energije za ogrevanje in hlajenje stavb v Evropi za prihodnost zaključuje, da bo skupna dovedena energija v stavbah v Evropi upadla, saj se bo na severu Evrope potreba po energiji za ogrevanje zmanjšala precej bolj, kot se bo na jugu Evrope povečala potreba po energiji za hlajenje. Stavbe na severu Evrope bi v primeru uresničitve projekcije podnebnih sprememb za doseganje enake stopnje energijske učinkovitosti kot danes, toplotno izolirali manj, na jugu Evrope pa bolj [29].

Razne študije rabe energije stanovanjskih stavb zaključujejo, da ima energijska prenova stavbe občutno večji vpliv na rabo energije kot podnebne spremembe [32, 33]. Pri navajanju rezultatov je seveda pomembno navesti izhodiščne vrednosti toplotnih prehodnosti ovoja in zasteklitev, zrakotesnost stavbe, način prezračevanja, vrste vgrajenih materialov, tip podnebja ipd. Izboljšanje energijske učinkovitosti stavbnega ovoja ima namreč ob visokih vrednostih toplotne prehodnosti (U) velik vpliv na dovedeno energijo za ogrevanje in hlajenje v stavbi, vendar ta učinek z nižanjem U vrednosti upada, tako da od določene točke naprej finančni vložki v izboljšanje toplotne prehodnosti stavbnega ovoja niso smiselni [34].

Iz zgornjih projekcij lahko povzamemo, da spremembe v prihodnosti težko potrdimo z gotovostjo, predvsem pa se točnost teh projekcij izgubi v posploševanju na svetovno ali evropsko merilo. Za zmerno toplo podnebje, ki ga imamo v Ljubljani, lahko naredimo nekaj zaključkov. Zanima nas stanje prostega

teka stavbe oz. doseganje toplotnega udobja v notranjosti stavbe z ukrepi pasivne solarne arhitekture brez aktivnih posegov ogrevanja ali hlajenja, posledično z ničto rabo energije za delovanje stavbe. V preteklosti smo lahko za doseganje toplotnega udobja v prostem teku stavbe izkoriščali več solarnih dobitkov, v prihodnosti bo potrebno poskrbeti za boljše senčenje zasteklitev (s senčenjem bomo dosegali toplotno udobje v prostem teku stavbe za 2–7 % več časa kot danes) [35] in predvsem manjši odstotek zasteklitev, saj bo težavo zaradi višjih temperatur zunanjega zraka predstavljalo pregrevanje stavbe zaradi sončnega sevanja, poleg tega bo potrebnega več naravnega prezračevanja, katerega potencial koristimo v nočnem času sezone hlajenja [35]. Slednje ugotovitve izhajajo iz primerjave rabe energije bioklimatske enodružinske hiše in navadne enodružinske hiše iz konca 20. stoletja na območju Slovenije v letu 2050. Dovedena energija za hlajenje bo v prihodnosti predstavljala večino rabljene energije v stavbah, v bioklimatski stavbi bo ta odstotek zaradi višjega razmerja WWR še višji, zato ima ta stavba potencialno večji vpliv na okolje. Primer potrjuje, da bo večina današnjih rešitev in strategij bioklimatske gradnje v prihodnosti manj učinkovita [35].

3 METODE DELA

3.1 Struktura in potek naloge

Naloge smo se lotili sistematično, potek dela je razčlenjen na sklope. Na začetku je bilo potrebno postaviti trdno načrtovalsko izhodišče, zato prvi sklop zajema predpripravo za korake, ki sledijo. Delo se je začelo z iskanjem primernih strokovnih virov, torej že opravljenih raziskav s področja vpliva podnebnih sprememb na načrtovanje stavb, študij rabe energije stanovanjskih stavb in ostalih vplivov na rabo energije v stavbah. Potrebno je bilo preučiti obstoječo zakonodajo na področju načrtovanja stavb t.j. PURES [6], TSG4 [7] in Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [36]. Na podlagi zbranega smo določili hipoteze in cilje naloge.

Za potrebe simulacij energijske bilance v stavbah obsega drugi del naloge analizo podnebja in podnebnih danosti izbrane lokacije na podlagi zbranih podatkov o podnebju, pridobljenih iz baze EnergyPlus Weather data [37] prav tako pa ustvarjenih s pomočjo programskega orodja CCWorldWeatherGen [38] za pripravo projekcij podnebja za leti 2020 in 2050. S programskim orodjem Climate Consultant [39] smo opravili analize bioklimatskih danosti lokacije in ustvarili predloge učinkovite strategije pasivnega ogrevanja ali hlajenja stavbe za posamezna obdobja.

V tretjem delu sledi priprava referenčnega modela enodružinske hiše, izbira konstrukcijskih sklopov toplotnega ovoja, določitev geometrije stavbe, ostalih karakteristik vgrajenih materialov in načina rabe stavbe ter sestava predloga seznama načrtovalskih ukrepov za opravljanje dinamičnih analiz modelov v programskem orodju BEopt [2]. Cilj je poiskati ukrepe, ki čim bolj znižajo dovedeno energijo za ogrevanje in hlajenje stavbe ter ovrednotiti ustreznost uvedbe posameznega ukrepa v treh različnih obdobjih glede na referenčni model. Zatim na podlagi teh rezultatov sestavimo kombinacije ukrepov za stavbo z visoko in nizko maso za vsa tri obravnavana obdobja.

Zadnji, četrti del obsega pregled rezultatov simulacij posameznih ukrepov, njihovo medsebojno primerjavo, izbiro in vrednotenje optimalnih rešitev, primerjavo le-teh s predhodno zastavljenimi cilji in hipotezami ter že obstoječimi viri.

3.2 Zakonske zahteve za načrtovanje stavb

V Republiki Sloveniji je pri načrtovanju stavb potrebno izpolnjevati nekatere zakonske zahteve, ki določajo minimalne kriterije oziroma mejne vrednosti določenih parametrov. Predpisane vrednosti predstavljajo naše načrtovalsko izhodišče. Vrednostim je potrebno zadostiti, vendar, po potrebi in če je to smiselno, lahko omejitve tudi zaostrimo, saj stremimo k trajnostnem načrtovanju in prilagoditvi stavbe potrebam uporabnikov.

Eden pomembnih vidikov načrtovanja in kasneje delovanja stavbe je raba energije v stavbi. Tehnične zahteve energijske učinkovitosti stavb, okvirne vrednosti in metode izračunov so zapisane v PURES [6] in TSG4 [7]. PURES [6] deluje v skladu z Direktivo 2010/31/EU [3]. Velja tako za novogradnje kot

rekonstrukcije stavb, kjer se posega v najmanj 25 % površine toplotnega ovoja. Pokriva področja toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja ali njihove kombinacije, priprave tople vode, razsvetljave, zagotavljanja lastnih obnovljivih virov energije za delovanje sistemov v stavbi, predlaga tudi metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavbe.

Pri načrtovanju netransparentnega dela ovoja stavbe je potrebno zadostiti vrednostim toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov stavbe, navedenim v Preglednici 3.

Preglednica 3: Vrednosti toplotnih prehodnosti netransparentnega stavbnega ovoja [7].

	U_{tal} [W/m ² K]	U_{strehe} [W/m ² K]	U_{stene} [W/m ² K]
Po TSG4 [7] (maksimum)	0,30	0,20	0,28

Za transparentne dele ovoja stavbe so v TSG4 [7] navedene naslednje maksimalne dovoljene toplotne prehodnosti:

- Zasteklitev v ogrevanih prostorih stavbe: $U_{st} = 1,1$ W/m²K
- Okna (steklo in lesen/plastičen okvir): $U = 1,3$ W/m²K
- Okna (steklo in kovinski okvir): $U = 1,6$ W/m²K

Pravilno načrtovanje prezračevanja je pomembno tako za zagotovitev primerne bivalne in delovnega okolja kot tudi za nižjo rabo energije v stavbi. TSG4 [7] navaja, da morajo imeti vse prezračevalne in klimatske naprave, namenjene normalnemu obratovanju stavbe, vgrajene prenosnike toplote za vračanje toplote zavrženega ali odtočnega zraka pri ogrevanju s temperaturnim izkoristkom nad 65 %. Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [36] predpisuje minimalno volumsko izmenjavo zraka (n), ki jo je potrebno zagotoviti in vzdrževati:

- Prisotnost ljudi v prostorih: $n = 0,5$ h⁻¹
- Odsotnost ljudi v prostorih: $n = 0,2$ h⁻¹

Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [36] definira tudi primerno višino temperature zraka v bivalni coni za sedeče osebe:

- Čas brez ogrevanja: med 22 °C in 26 °C, priporočljivo med 23 °C in 25 °C.
- Čas ogrevanja: med 19 °C in 24 °C, priporočljivo med 20 °C in 22 °C.

Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [36] prav tako definira predpisano vlažnost zraka v prostorih. Zagotovljena mora biti taka vlažnost zraka, da ta s svojim neposrednim oziroma posrednim učinkom ne vpliva na ugodje in zdravje ljudi in ne povzroči nastanka površinske kondenzacije na stenah. Pri temperaturi zraka med 20 °C in 26 °C je območje dopustne relativne vlažnosti med 30 % in 70 %, medtem ko je v stanovanjskih prostorih zaradi zmanjševanja rasti alergenov in patogenih organizmov priporočljiva relativna vlažnost zraka pod 60 %.

Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj predpisuje svetlo višino stanovanjskih prostorov, ki naj znaša najmanj 2,50 m [40].

3.3 Baza EnergyPlus Weather data

Za izbrano lokacijo pridobimo iz baze EnergyPlus Weather data [37] vremensko datoteko .epw (IWEC) [4], ki vsebuje podatke o podnebjju, potrebne za simulacije energijske bilance v stavbah, izbrane za najmanj 12 let v obdobju merjenja med letoma 1982 in 1999. Poleg obravnavanih parametrov, naštetih spodaj, bosta v nadaljevanju na kratko predstavljeni še povprečna mesečna količina padavin [mm/m²] in hitrost [m/s] ter smer vetrov.

Temperatura:

- Mesečno povprečje dnevni temperatur T_{avg} [°C],
- Mesečno povprečje dnevni maksimumov $T_{max,avg}$ [°C],
- Mesečno povprečje dnevni minimumov $T_{min,avg}$ [°C].

Sončno sevanje na horizontalno površino:

- Mesečno povprečje dnevnega sončnega sevanja G_{avg} [Wh/m²],
- Mesečno povprečje dnevni maksimumov $G_{max,avg}$ [Wh/m²],
- Mesečno povprečje dnevni minimumov $G_{min,avg}$ [Wh/m²].

Oblačnost neba:

- Povprečna dnevna oblačnost neba [%].

Relativna vlažnost zraka:

- Mesečno povprečje dnevni maksimumov $RH_{max,i}$ [%],
- Mesečno povprečje dnevni minimumov $RH_{min,i}$ [%].

3.4 Programsko orodje CCWorldWeatherGen

CCWorldWeatherGen tool [38], orodje za projekcije podnebnih sprememb Univerze Southampton, deluje na metodologiji modela HadCM3 [41] (Hadley Centre Coupled Model, version 3), razvitega v Centru Hadley v Veliki Britaniji. HadCM3 je oblika metodologije empiričnega zmanjševanja skale globalnih modelov splošne cirkulacije (MSC) [42]. Izhodišče metodologiji predstavljajo projekcije organizacije IPCC glede potenciala globalnega segrevanja (GWP) po scenariju A2. Ta je v tretjem celovitem poročilu ocen klimatološke znanosti [26] med štiridesetimi scenariji projekcij letnih svetovnih izpustov kumulativnega CO₂ opredeljen kot scenarij s srednje–visokimi izpusti (razpon 1352–1938 GtC). CCWorldWeatherGen [38] pretvori vhodne podatke vremenske datoteke zapisa .epw z urnimi podatki za željeno lokacijo na podlagi omenjene teorije v podnebne parametre za leta 2020, 2050 ali 2080 v obliki zapisa .epw ali .tmy2.

MSC, ki je najpogosteje uporabljeno orodje za analizo podnebnih sprememb, predstavljajo tridimenzionalni numerični modeli, v katerih so z diferenčnimi enačbami zajeti glavni fizikalni, kemijski in biološki procesi v ozračju, oceanih, ledu in na zemeljskem površju. MSC je potrebno opraviti zaradi slabše prostorske ločljivosti teh modelov, ki pride do izraza pri analizi lokalnih podnebnih razmer na

manjši, regionalni skali. Zaradi omejenih računalniških zmogljivosti MSC ni možno ustvariti v tako natančni prostorski mreži z numeričnimi opisi procesov in dejavnikov, ki vplivajo na podnebje, da bi lahko razložili lokalne podnebne dejavnike [43]. V Preglednici 4 so predstavljene specifične modela HadCM3, kot so horizontalna ločljivost podatkov v enotah dolžinske in širinske stopinje ter število modelskih točk v horizontalni podatkovni mreži.

Preglednica 4: Model HadCM3 [41].

Ime modela	Obdobje	Horizontalna ločljivost	Mreža
HadCM3	1951–2099	3,8 x 2,5°	96 x 73

Ker so lokalne podnebne razmere v veliki meri odvisne od procesov, ki potekajo v manjši skali kot je ločljivost MSC, vsebuje le-ta parametrizacije za povprečno topografijo in vegetacijo posameznih mrežnih celic. Model temelji na izmerjenih vrednostih v preteklosti, za namen projiciranja rezultatov pa predpostavimo, da bo matematičen opis odvisnosti lokalne in globalne podnebne spremenljivke po empiričnem zmanjševanju skale še veljaven [44].

Vremenske datoteke za prihodnost so primerne predvsem za rabo v programskih orodjih, namenjenih simulaciji delovanja stavb. Pomembno je opozoriti, da rezultate simulacij ni možno potrditi z gotovostjo, saj računski del ozadja programa temelji na projekcijah za prihodnost glede podnebnih sprememb, prav tako pa na predpostavkah za gospodarsko–ekonomsko, tehnološko, socialno in ostala področja.

3.5 Programsko orodje Climate Consultant

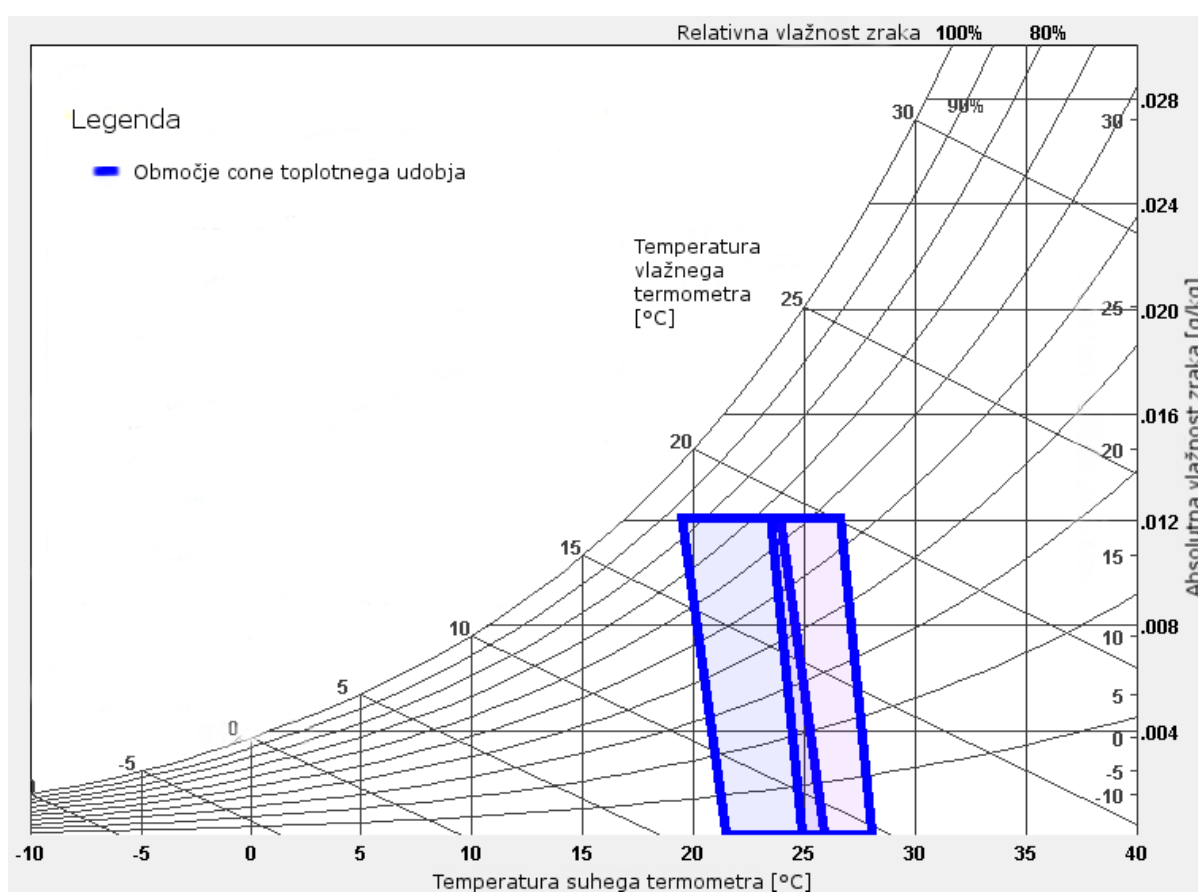
Z računalniškim orodjem Climate Consultant [39], razvitim na oddelku za arhitekturo in urbanizem Univerze v Kaliforniji v Los Angelesu, grafično prikažemo podnebne značilnosti lokacije na podlagi vremenske datoteke zapisa .epw. S pomočjo zbranih in urejenih podnebnih podatkov in z željo po trajnostnem načrtovanju energijsko učinkovitih stavb definiramo podnebne vplive na stavbe in njihovo delovanje v odnosu na dano lokacijo. Programsko orodje omogoča tudi izdelavo psihrometrične karte, na podlagi katere lahko oblikujemo bioklimatske načrtovalske ukrepe za izboljšano delovanje stavbe v smislu zmanjšanja rabe energije za samo delovanje stavbe skozi celo leto. Pri izbiri ukrepov se sklicujemo na zagotavljanje toplotnega udobja v bivalnem okolju po modelu ASHRAE 55 [45]. Za ta model se odločimo, ker so parametri toplotnega udobja najbližje definiranim v predpisih Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb [36], na katerega se pri našem načrtovanju sklicujemo. Od temperature zraka, omejene na 20–25 °C je odvisna tudi relativna vlažnost zraka, najvišja dovoljena hitrost gibanja zraka v prostoru pa je navzgor omejena z 0,25 m/s [45]. Z modro barvo vidno območje cone toplotnega udobja na Sliki 3 je definirano z izbiro modela udobja ASHRAE 55 [45]. Uporabljeni parametri cone udobja so predstavljeni v Preglednici 5.

Preglednica 5: Parametri cone udobja za Climate Consultant [39].

Primerna temperatura zraka v bivalni coni za sedeče osebe	20–25 °C
Maksimalna temperatura vlažnega termometra	22,3 °C
Maksimalna relativna vlažnost zraka	80 %
Maksimalna hitrost vpihovanja zraka z mehanskim prezračevanjem	0,8 m/s

Psihrometrična karta navadno vsebuje naslednje fizikalne parametre toplotnega udobja. Na primeru, prikazanemu na Sliki 3, lahko odčitamo prve 4 izmed spodaj naštetih:

- temperatura suhega termometra; DBT [°C],
- temperatura vlažnega termometra; WBT [°C],
- absolutna vlaga v zraku; AH [g/kg],
- relativna vlaga v zraku; RH [%],
- entalpija; H [kJ/kg],
- senzibilna in latentna toplota [kJ/kg],
- specifični volumen vlage v zraku; SV [m³/kg],
- delni in nasičeni parni tlak [kPa],
- linija saturacije; SH [°C].



Slika 3: Psihrometrična karta [39].

Vsaka izmed 8760-ih točk na diagramu psihrometrične karte, pridobljene iz programskega orodja Climate Consultant [39], predstavlja višino temperature in vlage v zraku za posamezno uro v koledarskem letu. Odstotek ur, ki pade v določeno izmed 16 različnih skupin načrtovalskih strategij, predstavljenih v Preglednici 6, nas usmeri k izbiri učinkovitih strategij pasivnega ogrevanja ali hlajenja stavbe. V delih leta, kadar so za doseganje toplotnega udobja le s pasivnimi načrtovalskimi ukrepi temperatura zraka previsoke oziroma prenizke, je potrebno zagotoviti dodatno ogrevanje ali hlajenje stavbe. Na obravnavani lokaciji velja to za obdobji poletja in zime. Preglednica 5 predstavlja 16 načrtovalskih strategij za doseganje toplotnega udobja.

Preglednica 6: Načrtovalske strategije za doseganje toplotnega udobja [39].

Zap. št.	Načrtovalska strategija	Razlaga posamezne načrtovalske strategije
1	Toplotno udobje brez ukrepov	Toplotno udobje v prostem teku stavbe je doseženo brez ukrepov. Udobje doseženo s tem ukrepom je na psihrometrični karti definirano s temperaturo suhega termometra [°C] in vlago v zraku [%].
2	Senčenje	Uporaba zunanjih ali notranjih senčil, nameščenih na zasteklitev za preprečitev pregrevanja notranjosti stavbe zaradi sončnega sevanja. Udobje doseženo s tem ukrepom je na psihrometrični karti definirano s temperaturo suhega termometra [°C] in vrednostjo minimalnega sončnega sevanja na horizontalno površino, nad katero je vse zasteklitve potrebno senčiti.
3	Visoka masa stavbe	Stavbe z masivno nosilno konstrukcijo (npr. armiranobetonske stene) imajo drugačen časovni potek toplotnega odziva. Materiali z višjo sposobnostjo akumulacije toplote lahko shranijo več toplote, ki jo s časovnim zamikom oddajo nazaj v okolico. Udobje doseženo s tem ukrepom je na psihrometrični karti definirano z maksimalno in minimalno temperaturo suhega termometra [°C].
4	Visoka masa stavbe + nočno hlajenje	Kombinacija visoke mase stavbe z nočnim hlajenjem stavbe deluje na podlagi gibanja zraka zaradi tlačnih razlik. Ponoči pride do razlik med temperaturo zunanjega in notranjega zraka. Slednjega, segretega, želimo zamenjati s svežim, zunanjim zrakom. Udobje doseženo s tem ukrepom je na psihrometrični karti definirano z maksimalno in minimalno temperaturo suhega termometra [°C].
5	Evaporacijsko hlajenje	Hlajenje, ki deluje na podlagi izhlapevanja vode z izrabo okoliške toplote za prehod vode iz tekočega v plinasto stanje. Za učinkovitost mehanizma je pomembno, da v okoliškem zraku ni visoke vlage. Udobje doseženo s tem ukrepom je na psihrometrični karti definirano s temperaturo vlažnega termometra [°C].
6	Dvostopenjsko evaporacijsko hlajenje	Hlajenje, ki deluje na podlagi izhlapevanja vode z izrabo okoliške toplote za prehod vode iz tekočega v plinasto stanje. Prva stopnja hlajenja ohladi zunanost izmenjevalnika toplote, skozi katerega zrak vstopi v drugo fazo, kjer je ohlajen z direktnim evaporacijskim hlajenjem.
7	Naravno prezračevanje	Hlajenje notranjega zraka z izmenjavo svežega zraka iz okolice. To lahko storimo s preprihom, ki ga ustvarimo z odpiranjem oken ali vrat. Učinkovitost je odvisna od temperaturnih razlik notranjega in zunanjega zraka, velikosti in pozicije odprtín. Efektivnost naravnega prezračevanja lahko merimo z minimalno hitrostjo premikanja zunanjega in maksimalno hitrostjo gibanja notranjega zraka [m/s]. Udobje doseženo s tem ukrepom je na psihrometrični karti definirano z maksimalno relativno vlago v zraku [%] in maksimalno temperaturo vlažnega termometra [°C].
8	Intenzivno prezračevanje	Predstavlja naravno prezračevanje, vendar z dodatno pomočjo ventilatorja ali drugih naprav za spodbujanje gibanja zraka. Pospešeno gibanje zraka da uporabnikom zaradi višjega toplotnega toka, ki ga odnaša s kože, občutek hladilnega efekta. Efektivnost prezračevanja začnemo meriti pri minimalni hitrosti gibanja notranjega zraka 0,2 m/s. Pod to mejo se smatra, da strategija nima učinka.
9	Notranji dobitki	Dobitki toplote, ki nastanejo kot stranski produkt delovanja gospodinjskih aparatov, elektronskih naprav ali razsvetljave in toplota, ki jo oddajajo ljudje, lahko zagotovijo toplotno udobje.

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 6.

10	Pasivni solarni dobitki pri nizki masi stavbe	Dobitki toplote zaradi sončnega sevanja skozi v zastekljene površine so za zagotavljanje toplotnega udobja pomembni predvsem pozimi, poleti pa povzročajo pregrevanje prostorov. Pri nizki masi stavbe (npr. lesena palična konstrukcija) je toplotni tok med okolico in notranjostjo stavbe višji, zato je časovni zamik prehoda toplote, ki znaša 3 ure, krajši v primerjavi s stavbami z visoko maso. Programsko orodje ima pripisan ukaz, da z ukrepom senčenja zasteklitev zaustavi vse direktne solarne dobitke, kadar ti v stavbi niso zaželeni.
11	Pasivni solarni dobitki pri visoki masi stavbe	Dobitki toplote zaradi sončnega sevanja skozi v zastekljene površine so za zagotavljanje toplotnega udobja pomembni predvsem pozimi, poleti pa povzročajo pregrevanje prostorov. Pri visoki masi stavbe (npr. armiranobetonska konstrukcija) je toplotni tok med okolico in notranjostjo stavbe nižji, zato je tudi časovni zamik prehoda toplote daljši kot pri stavbah z nizko maso, znaša pa 12 ur. Programsko orodje ima pripisan ukaz, da z ukrepom senčenja zaustavi vse direktne solarne dobitke, kadar ti v stavbi niso zaželeni.
12	Vetrna zaščita	Predstavljajo jo naravne ovire kot so drevesa, hribi ali pa okoliška infrastruktura. Te prepreke ovirajo pretok zraka, kar v poletnih mesecih na stavbo vpliva neugodno. Obratno je pozimi, ko ovire delujejo pozitivno, saj se nepremičen zrak lažje segreje. Udobje doseženo s tem ukrepom je na psihrometrični karti definirano z minimalno hitrostjo gibanja zunanjega zraka [m/s] in temperaturo vlažnega termometra [°C].
13	Vlaženje zraka	Dovajanje vlage zraku, za kar bi bila v današnjih dobro tesnjenih stavbah na izbrani lokaciji potreba le v zimskem času, kadar kurjava izsuši notranji zrak. Ukrep povzroči dvig absolutne vlage v zraku in upad temperature suhega termometra [°C], torej je efekt podoben evaporacijskemu hlajenju.
14	Razvlaževanje	Odvajanje odvečne vlage iz notranjega zraka. Ukrep povzroči upad absolutne vlage v zraku in upad temperature suhega termometra [°C].
15	Hlajenje	Nižanje temperature notranjega zraka z npr. klimatsko napravo, česar se poslužujemo predvsem poleti. Udobje doseženo s tem ukrepom je na psihrometrični karti definirano s temperaturo zunanjega zraka [°C].
16	Ogrevanje	Višanje temperature notranjega zraka, česar se poslužujemo predvsem pozimi, pa tudi v prehodnih obdobjih. Udobje doseženo s tem ukrepom je na psihrometrični karti definirano s temperaturo zunanjega zraka [°C].

3.6 Programsko orodje BEopt

BEopt [2] je prosto dostopno programsko orodje, razvito s strani državnega laboratorija ZDA za obnovljive vire energije (NREL), ki v sklopu programa Building America s ciljem izboljšave energijske učinkovitosti stanovanjskih stavb deluje pod okriljem ministrstva za energijo (DOE) v ZDA. Programsko orodje omogoča iskanje optimalnih rešitev pri načrtovanju stanovanjskih stavb tako s stroškovnega vidika kot tudi z vidika energijske učinkovitosti. Omogoča tudi nadzor nad kvaliteto bivalnega okolja, npr. toplotnega udobja, saj med rezultati simulacij najdemo grafični zapis časovnega poteka notranje temperature zraka ali vlage v zraku. Rezultati simulacij izhodiščnega modela, med katerimi krmarimo in jih vrednotimo glede na namen naših analiz, so grafično prikazani z razčlenbo rabe energije po komponentah. Na podlagi rezultatov, beleženih v analizi z 10–minutnim časovnim

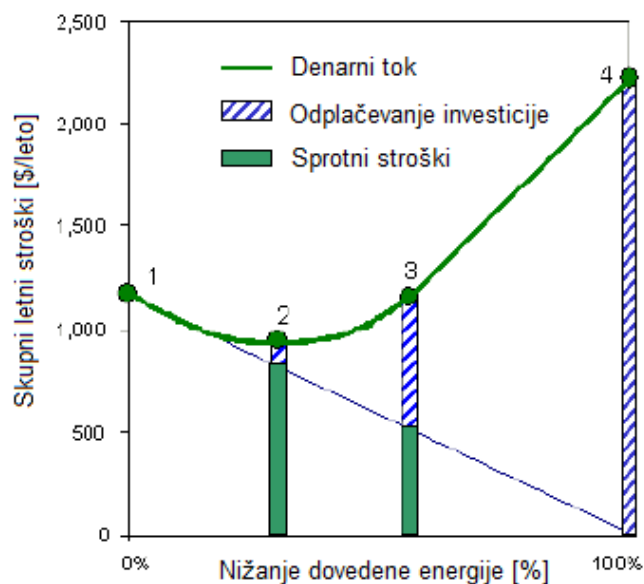
intervalom lahko zaključimo kako ravnati glede izbire konstrukcije stavbe, vgrajenih sistemov ogrevanja, hlajenja, prezračevanja in razsvetljave ter ostalih potrošnikov energije.

Določanje vhodnih podatkov za namen simulacije je izjemno pomembno za potek analize in za kasnejše vrednotenje rezultatov. Preko knjižnice orodij upravljamo vnaprej določene parametre, ki jih po potrebi prilagajamo ali pa dodajamo svoje. Tako lahko definiramo tloris, obliko, lokacijo in starost stavbe, načine rabe energije in višino stroškov energije. Izris geometrije stavbe se vrši na mreži, katere kvadratni prostorčki predstavljajo po 0,305 m (1 čevlj). Določimo lahko etažno višino, tip in naklon strehe, nekaterim prostorom pa lahko določimo namembnost, kar pogojuje, ali je prostor ogrevan ali ne. Znotraj naštetih možnosti še natančneje definiramo karakteristike toplotnega ovoja stavbe, izberemo vrste električnih naprav, načine ogrevanja, hlajenja, prezračevanja itd. Ker je programsko orodje primarno narejeno za trg ZDA, uporablja imperialni sistem merskih enot, za vsako izmed ponujenih možnosti pa ponuja vrednost investicije v ameriških dolarjih (\$).

Na voljo so tri vrste analiz: načrtovalska, parametrična in optimizacijska. Pri načrtovalskem načinu analize vsaki kategoriji pripišemo en vhodni podatek, ki je nato v analizi primerjan z referenco. Pri parametričnem načinu analize lahko vsaki kategoriji določimo več vhodnih podatkov. Kombinacija teh je nato v analizi primerjana z referenco, torej novogradnjo ali že obstoječo stavbo, ki jo želimo sanirati. Prav tako lahko v optimizacijskem načinu analize vsaki kategoriji določimo več vhodnih podatkov. Analiza se začne pri referenci in nato poteka z optimalno kombinacijo izbranih parametrov. Naš cilj je poiskati kombinacijo nizke rabe energije s hkrati čim nižjo finančno investicijo v stavbo.

Programsko orodje, kot že omenjeno, omogoča rabo postopka načrtovanja stavbe z optimizacijo, katere končni cilj je stavba ZNE z ničto rabo neobnovljivega dela primarne energije, torej brez emisij ogljika. Taka stavba je energijsko pozitivna in povezana v energetska omrežje. V ugodnih okoliščinah proizvede presežek energije, ki ga odda v omrežje, preostali čas pa rabi dovedeno energijo iz omrežja. ZNE stavba lahko za svoje delovanje rabi tudi relativno visoko količino energije, vendar bo njen končni energijski tok na letni ravni v primeru zagotovitve visoke proizvodnje OVE enak nič [46]. Pot do cilja, torej ZNE stavbe v programskem orodju BEopt [2] vodi preko vrste ukrepov za znižanje rabe energije v stavbi ob hkratnem upoštevanju stroškov investicij in delovanja stavbe. Simulacije je možno opraviti za eno– ali večstanovanjske novogradnje, kot tudi za prenovu že obstoječih stavb. Ker je naš cilj parametrično načrtovanje energijsko učinkovite in stroškovno optimalne stavbe, načrtujemo stavbo, ki rabi za potrebe svojega delovanja majhno količino energije, le-to pa proizvede z OVE. Meja dovoljene rabe energije, ki je izražena z neobnovljivim delom primarne energije, je postavljena v nacionalnih predpisih in je posledica dobrih praks s kombinacijami ukrepov energijske učinkovitosti in tehnologij za izrabo OVE na določenem območju [46]. Programsko orodje med načine proizvodnje OVE uvršča sončne kolektorje, ki sončno sevanje pretvarjajo v toplotno energijo za segrevanje sanitarne vode ali vode za ogrevanje stavbe in sončne celice oz. fotovoltaike (PV), ki sončno sevanje pretvarjajo v električno energijo. Kadar sistem, povezan z elektrodistribucijskim omrežjem, proizvede presežek električne energije, jo v omrežje oddaja, ko pa energije primanjkuje, jo iz njega črpa.

Kot že omenjeno, je bilanca rabe energije ZNE stavbe enaka nič, vendar kljub temu stremimo k izboljšanju energijske učinkovitosti in posledično znižanju rabe energije, saj to pomeni manjšo potrebo po proizvodnji energije in posledično manjši vložek v fotovoltaike. Koncept, h kateremu stremimo, ponazarja graf nižanja dovedene energije iz neobnovljivih virov v odstotkih [%] in letnih stroškov rabe energije [\$/\$leto], prikazan na Grafikonu 3. Slednji so izračunani na podlagi seštevek letnih stroškov zaradi rabe energije in vrednosti ukrepov za doseg energijske učinkovitosti vključenih v odplačevanje posojila, najetega za odplačilo stroškov gradnje hiše.



Grafikon 3: Princip delovanja programskega orodja BEopt [2].

Točka 1 na Grafikonu 3 predstavlja izhodiščni primer, pri katerem je odstotek prihranka, povezanega z višino dovedene energije, enak nič, vsi stroški dovedene energije pa so poravnani z mesečnim plačilom položnic. Točka 2 predstavlja cilj te naloge. Znesek letnih stroškov zaradi rabe energije z vštetiimi ukrepi za doseg energijske učinkovitosti je namreč minimalen, stroški rabe energije so poravnani z mesečnim plačilom položnic, ukrepi za višanje energijske učinkovitosti pa se dodajo k odplačevanju začetnega posojila za gradnjo stavbe. Za to točko je stopnjo dovedene energije možno znižati le s hkratnim povišanjem letnih stroškov. V točki 3 sta višini stopnje dovedene energije in letnih stroškov odplačevanja investicije enaki. Od tu naprej predstavlja večji strošek odplačevanje investicije, do točke 4, oziroma neto ničenergijskega stanja pa vodi ravna črta, ki predstavlja ceno električne energije [kWh/m²], generirane iz obnovljivih virov, npr. s pomočjo fotovoltaike. V tej točki je višina dovedene energije enaka generirani, zato so letni stroški, ki bi nastali zaradi rabe energije, enaki nič, celoten delež stroškov pa se doda k odplačilu posojila, oz. k višini začetne investicije.

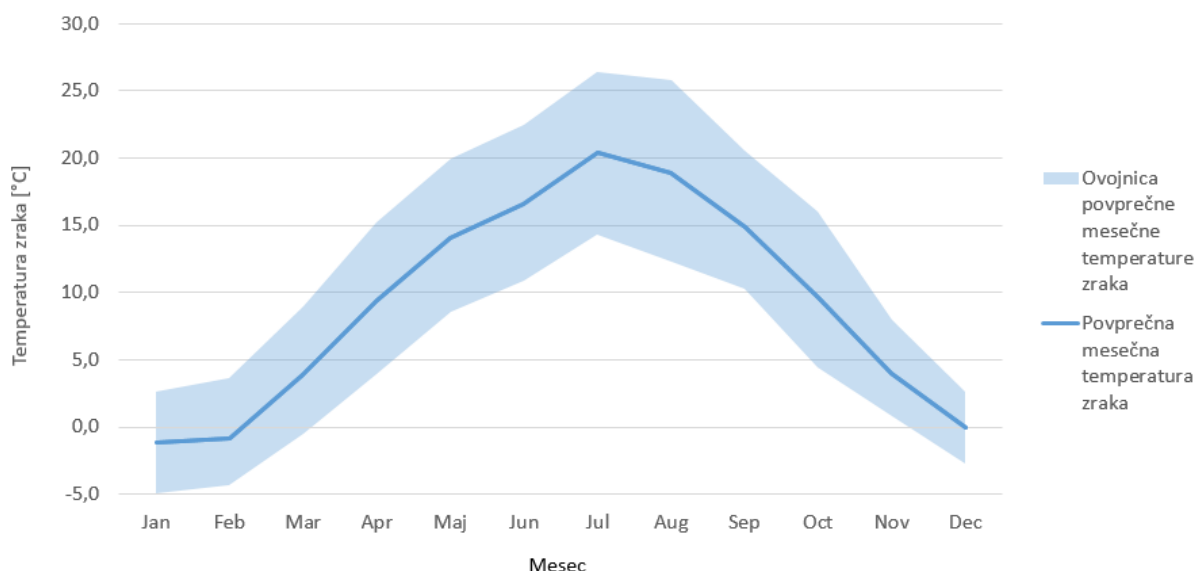
4 ANALIZA PODNEBJA OBRAVNAVANE LOKACIJE

4.1 Analiza podnebnih danosti lokacije

Za razumevanje potenciala podnebnih sprememb v prihodnosti je ključnega pomena dobro poznavanje sedanjih značilnosti vremena in podnebja ter povezave in soodvisnosti med posameznimi elementi podnebnega sistema. Za potrebe naše naloge in na splošno energijsko učinkovitega načrtovanja stavb je pomembno poznati predvsem značilnosti temperature zunanjega zraka in gostote sončnega sevanja.

4.1.1 Temperatura zunanjega zraka

Grafikon 4 prikazuje povprečna, maksimalna in minimalna mesečna povprečja dnevni temperatur zraka skozi leto 2010. Maksimalna in minimalna mesečna povprečja dnevni temperatur predstavljajo ovojnico svetlo modre barve. Povprečja dnevni temperatur se gibljejo okrog $-4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $26,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Povprečne mesečne temperature se gibljejo od $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $20,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, povprečne mesečne maksimalne od $2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $26,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ in minimalne od $-4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Razlika med povprečno mesečno minimalno in povprečno mesečno maksimalno temperaturo zraka je največja avgusta ($13,5\text{ K}$) in najmanjša decembra ($5,3\text{ K}$). V poletnih mesecih (junij, julij, avgust) se povprečna mesečna temperatura giba med $16,6$ in $20,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, minimalna med $10,9$ in $14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ter maksimalna med $22,5$ in $26,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, povprečno najtoplejši mesec je julij. V zimskih mesecih (januar, februar, december) se povprečna mesečna temperatura giba med $-1,2$ in $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, minimalna med $-4,9$ in $-2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ter maksimalna med $2,6$ in $3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, povprečno najhladnejši mesec je januar.

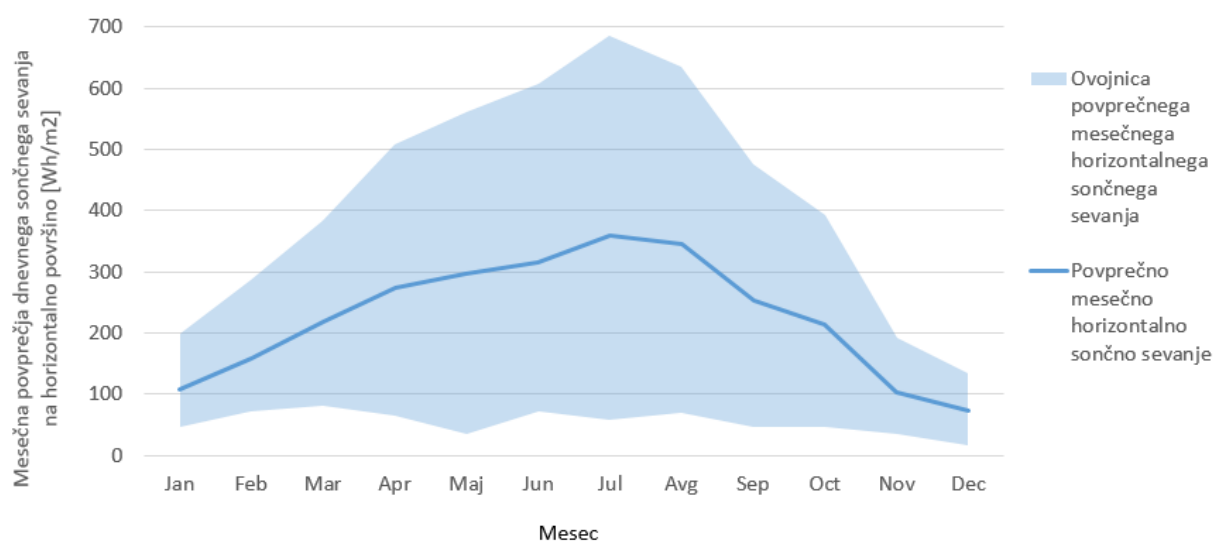


Grafikon 4: Mesečna povprečja dnevni T zraka v Ljubljani [39].

4.1.2 Sončno sevanje na horizontalno površino

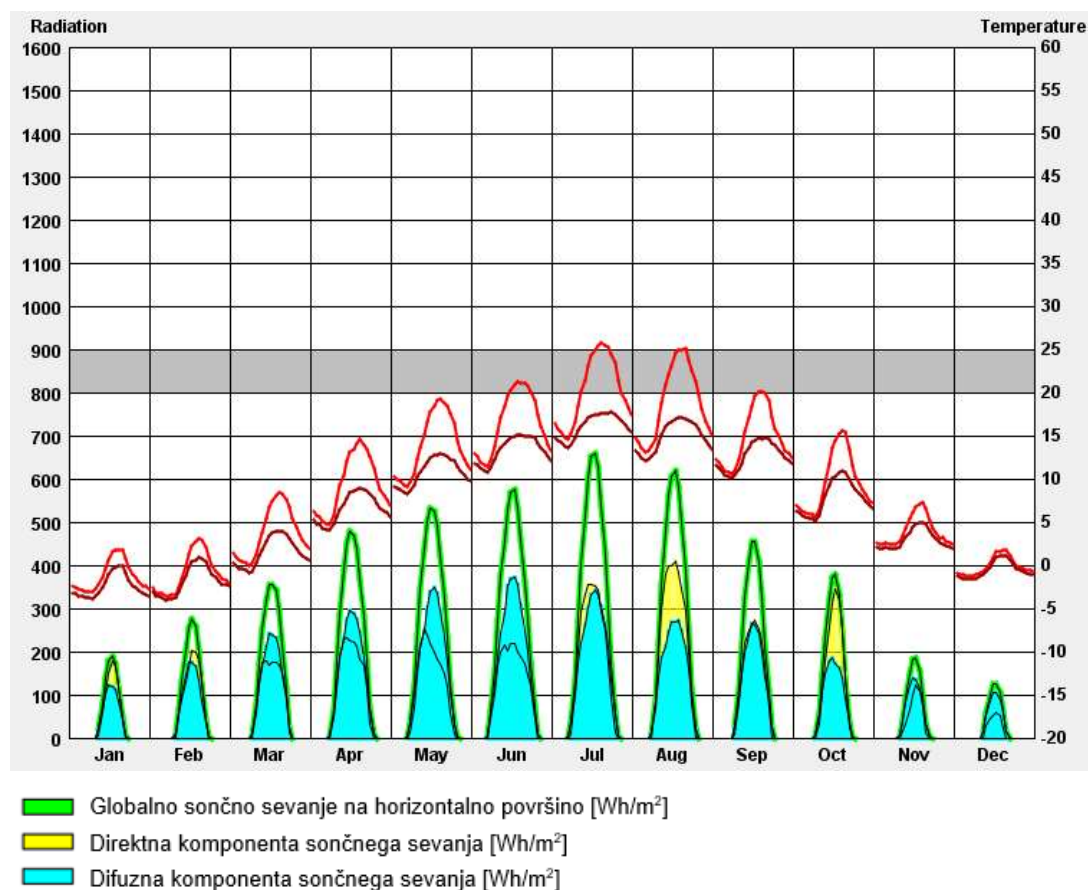
Grafikon 5 prikazuje mesečna povprečja dnevni vrednosti sončnega sevanja na horizontalno površino v letu 2010. Maksimalna in minimalna mesečna povprečja dnevnega sončnega sevanja na horizontalno

površino predstavljajo ovojnico svetlo modre barve. Maksimum globalnega dnevnega sončnega sevanja v mesečnem povprečju, $687,2 \text{ Wh/m}^2$, pade na horizontalno površino julija, proti zimskemu obdobju pa se postopno zmanjšuje do izrazito najnižje vrednosti $133,7 \text{ Wh/m}^2$ v decembru, ki je mesec z najmanj prejetega dnevnega sončnega sevanja. Minimumi globalnega dnevnega sončnega sevanja v mesečnem povprečju se gibljejo med $17,2 \text{ Wh/m}^2$ decembra in $81,3 \text{ Wh/m}^2$ marca. Povprečno največ dnevnega sončnega sevanja na horizontalno površino je julija, $358,7 \text{ Wh/m}^2$, sledijo preostali poletni meseci. Prav tako je julija največja razlika med maksimalno in minimalno vrednostjo mesečnega povprečja dnevnega sončnega sevanja na horizontalno površino, znaša pa $628,9 \text{ Wh/m}^2$.



Grafikon 5: Mesečna povprečja dnevnega H , v Ljubljani [39].

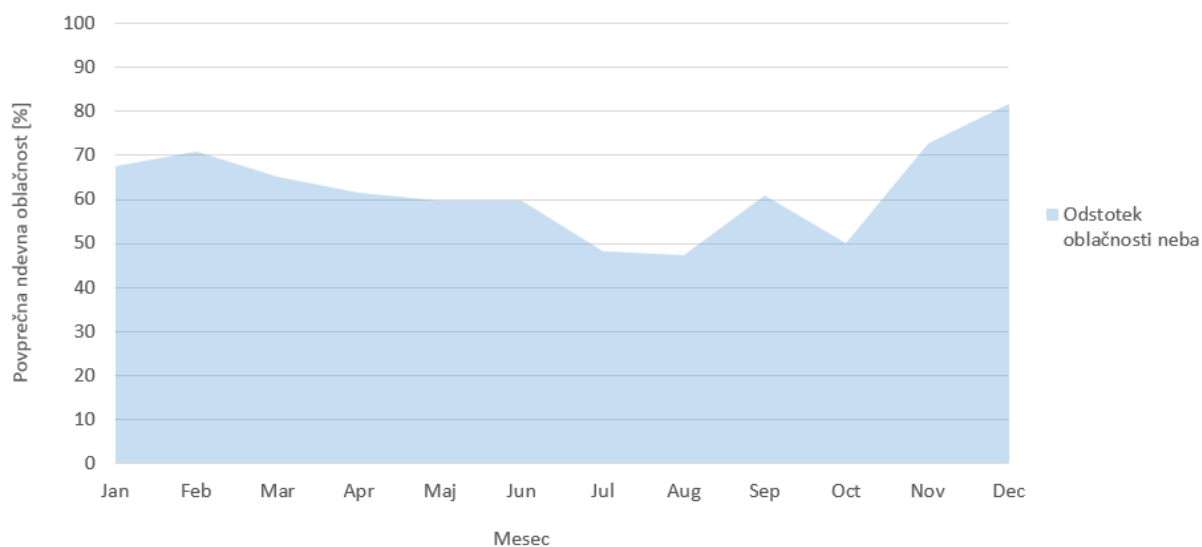
V Ljubljanski kotlini se pogosto zadržuje megla (121 dni na leto) ali nizka oblačnost, kar vpliva na skupno gostoto sončnega sevanja, saj povzroča prevlado difuzne komponente sončnega sevanja nad direktno komponento. To je najbolj očitno v obdobju od marca do vključno junija in v mesecu decembru. Direktna komponenta sončnega sevanja prevladuje le v januarju, avgustu in oktobru, februarja, julija, septembra in novembra pa sta komponenti skoraj poravnani. Grafikon 6 prikazuje urna povprečja sončnega sevanja za posamezne mesece.



Grafikon 6: Komponente sončnega sevanja v Ljubljani [39].

4.1.3 Oblačnost neba

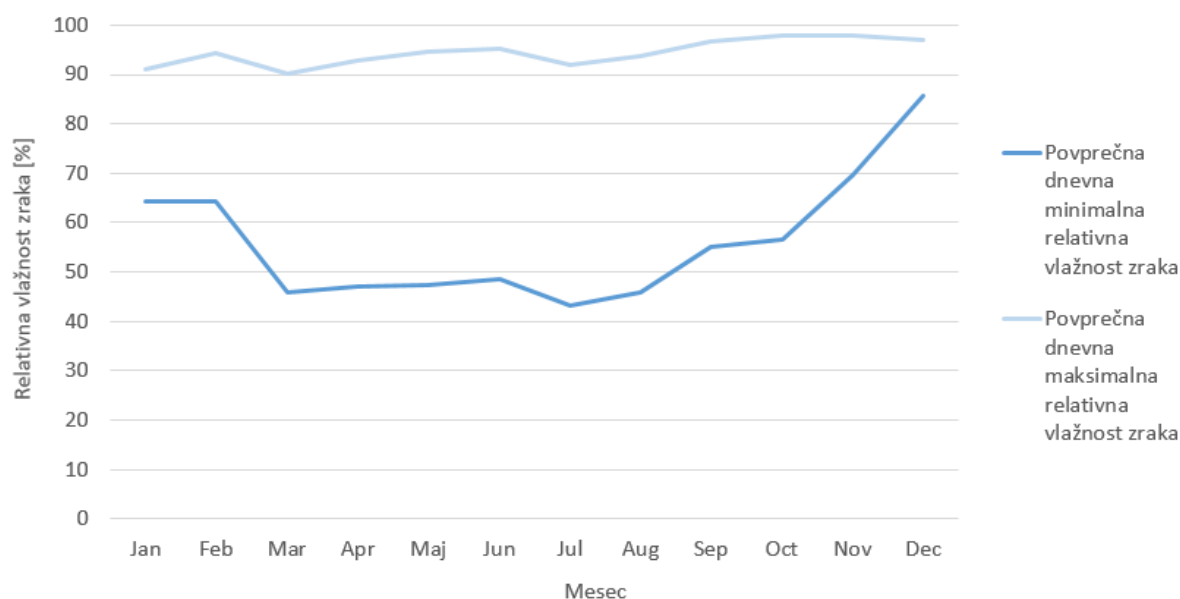
Na Grafikonu 7 so prikazana mesečna povprečja dnevne oblačnosti neba skozi leto. Najbolj oblačen je december, kar 81,7 % časa, sledita mu november in februar. Nebo je najmanj oblačno avgusta (47,4 % časa) ter julija in oktobra.



Grafikon 7: Povprečna dnevna oblačnost neba v Ljubljani [39].

4.1.4 Relativna vlažnost zraka

Relativna vlažnost zraka je precej visoka skozi celotno leto, kar prikazuje Grafikon 8. Zrak je najbolj suh julija in avgusta. Povprečna dnevna minimalna relativna vlaga je najnižja julija, 43,1 %, sledijo ostali poletni in pomladni meseci. Najvlažnejši so zimski meseci, saj maksimumi presegajo 97 %, decembra pa se vlaga v zraku ne spusti pod 85,7 %.



Grafikon 8: Povprečna dnevna relativna vlažnost zraka v Ljubljani [39].

4.1.5 Ostali podatki o podnebjju

Letna količina padavin znaša okoli 1350 mm/m². Padavine so skozi celotno leto približno enakomerno razporejene, z manjšim odstopanjem v zimskem času. Manj padavin pade med decembrom in majem, večina se jih pojavi od junija do novembra.

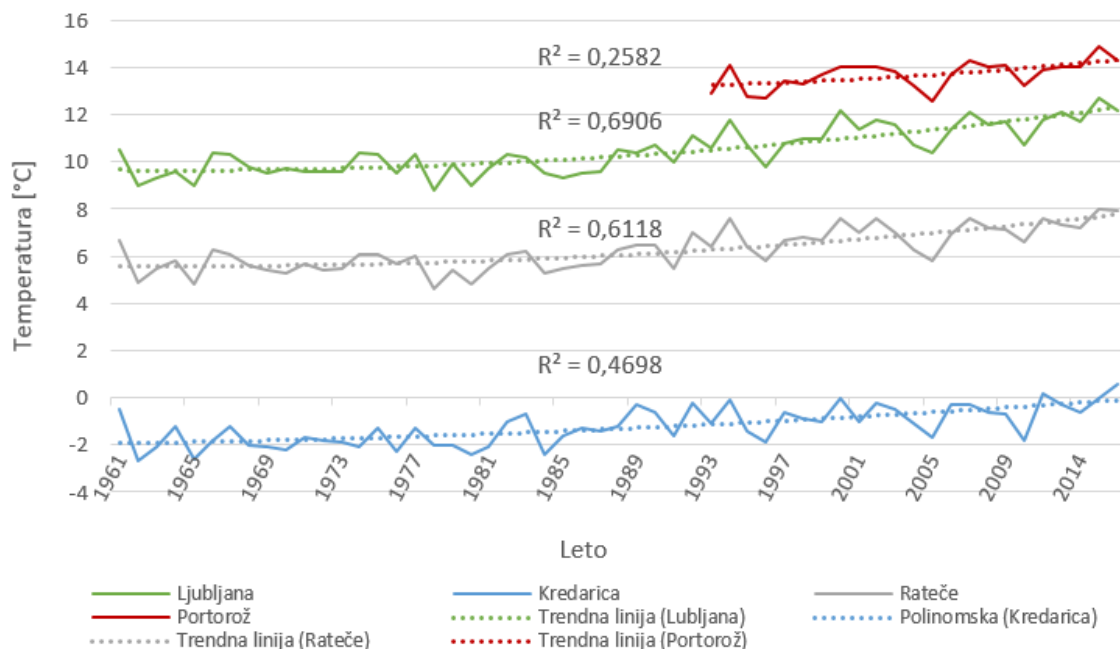
Skozi leto se povprečna hitrost vetra giblje med 0 m/s in 4 m/s, redko doseže 8 m/s. Najpogostejše piha iz severozahoda in jugovzhoda, vendar pogostost pihanja vetra v teh smereh ne preseže 10 % vseh ur.

4.2 Projekcije podnebnih sprememb

Ker podnebnih sprememb ne moremo preprečiti v kratkem času, se bo nanje potrebno prilagajati z ustreznimi ukrepi, ki lahko njihove neželene učinke znatno zmanjšajo.

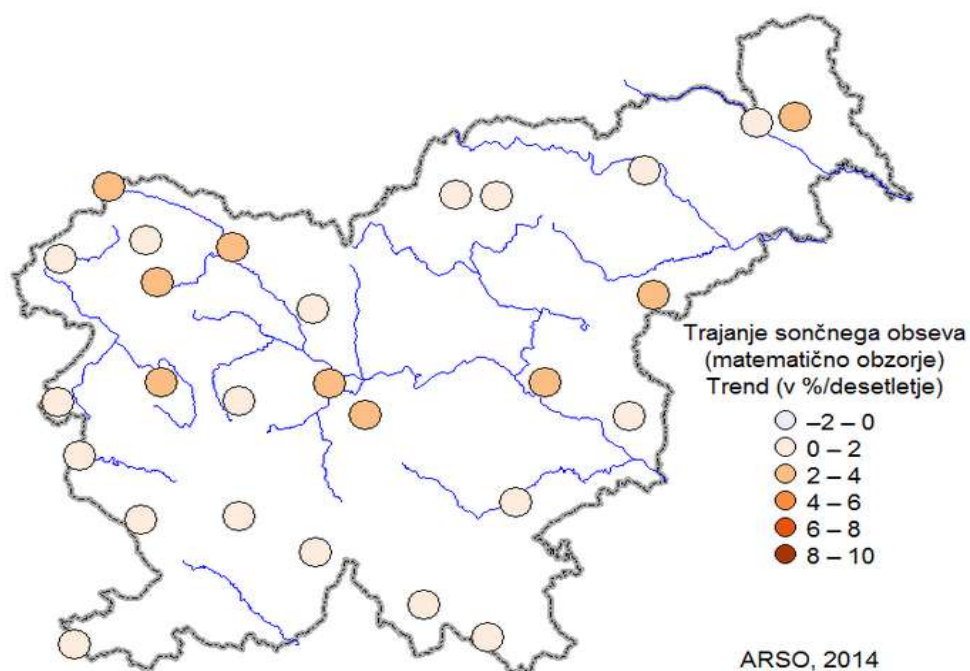
Grafikon 9 prikazuje gibanje povprečnih letnih temperatur zraka v izbranih krajih Slovenije (Ljubljana, Kredarica, Rateče, Portorož) v obdobju 1961–2015, ob tem pa so izrisane tudi trendne linije za obravnavano obdobje, z izjemo Portoroža, kjer so bili podatki glede temperatur zraka dostopni za leta od 1993 naprej. Slovensko podnebje je približno 2 °C toplejše, kot je bilo sredi minulega stoletja, porast povprečne letne temperature je najbolj izrazit v zadnjih treh desetletjih, predvsem poleti in sicer na

vzhodu države nekoliko bolj kot na zahodu. Trend naraščanja letnih temperatur na območju Slovenije se bo nadaljeval. V naslednjem tridesetletnem obdobju se bo ozračje na letni ravni v povprečju ogrelo za 1 °C, z izjemo pomladi, kjer je pričakovani dvig manjši od 0,5 °C [47].



Grafikon 9: Povprečna letna T zraka izbranih lokacij (1961–2015) [48].

S Slike 4 je razvidna projekcija spremembe trajanja sončnega obsevanja, ki se bo v prihodnosti v osrednji Sloveniji daljšalo od 0 do 2 % na desetletje, na skrajnem severozahodu in severovzhodu pa za 2 do 4 % na desetletje [49].



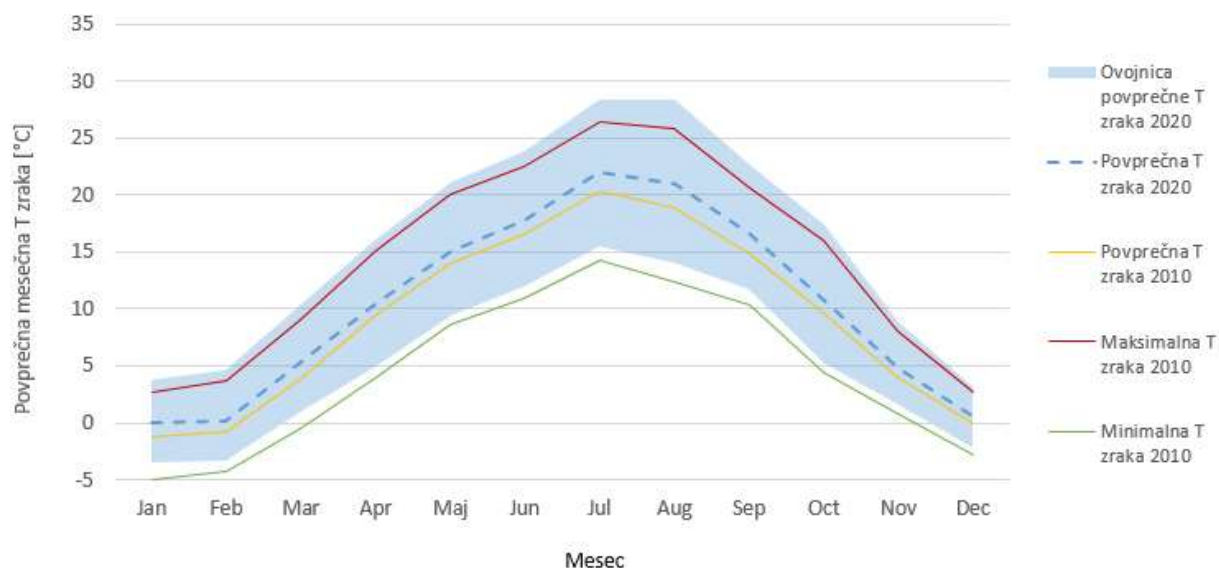
Slika 4: Projekcija spremembe trajanja sončnega obseva v Sloveniji [49].

Naslednje projekcije podnebnih sprememb za prihodnost veljajo za srednjo pot med najbolj črnogledimi in najbolj optimističnimi scenariji izpustov toplogrednih plinov na našem planetu. Sledi predstavitev projekcije podnebnih značilnosti za leti 2020 in 2050, pridobljene s programskim orodjem CCWorldWeatherGen [38] ter primerjava podnebnih značilnosti vseh treh obravnavanih obdobj.

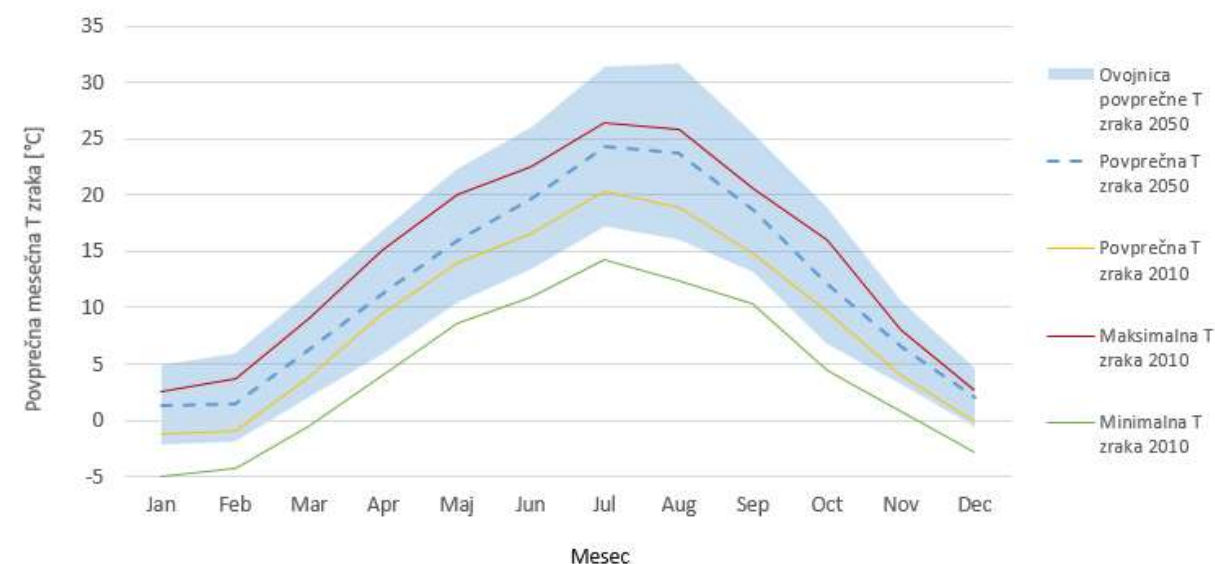
4.2.1 Temperatura zunanjega zraka

Sledi predstavitev projekcij temperature zraka za leto 2020 v Ljubljani in primerjava s temperaturo zraka za leto 2010 ter grafični prikaz slednjega v Grafikonu 10. Skozi leto 2020 se povprečne mesečne temperature gibljejo od 0 °C do 22 °C, povprečne mesečne maksimalne od 3,2 °C do 28,4 °C in minimalne od -3,5 °C do 15,5 °C. Razlika med povprečno mesečno minimalno in povprečno mesečno maksimalno temperaturo zraka je največja avgusta (14,3 K) in najmanjša decembra (5,3 K). V poletnih mesecih (junij, julij, avgust) se povprečna mesečna temperatura giba med 17,9 in 22 °C, minimalna med 12 in 15,5 °C ter maksimalna med 23,9 in 28,4 °C, povprečno najtoplejši mesec je julij. V zimskih mesecih (januar, februar, december) se povprečna mesečna temperatura giba med 0 in 0,5 °C, minimalna med -3,5 in -2,1 °C ter maksimalna med 3,2 in 4,7 °C, povprečno najhladnejši mesec je januar.

Projekcije temperature zraka za leto 2050 v Ljubljani in primerjava s temperaturo zraka za leto 2010 ter grafični prikaz slednjega najdemo v Grafikonu 11. Skozi leto 2050 se povprečne mesečne temperature gibljejo od 1,3 °C do 24,3 °C, povprečne mesečne maksimalne od 4,6 °C do 31,7 °C in minimalne od -2,2 °C do 17,2 °C. Razlika med povprečno mesečno minimalno in povprečno mesečno maksimalno temperaturo zraka je največja avgusta (15,6 K) in najmanjša decembra (5,2 K). V poletnih mesecih (junij, julij, avgust) se povprečna mesečna temperatura giba med 19,7 in 24,3 °C, minimalna med 13,5 in 17,2 °C ter maksimalna med 26 in 31,7 °C, povprečno najtoplejši mesec je julij. V zimskih mesecih (januar, februar, december) se povprečna mesečna temperatura giba med 1,3 in 2 °C, minimalna med -2,2 in -0,6 °C ter maksimalna med 4,6 in 5,9 °C, povprečno najhladnejši mesec je januar.



Grafikon 10: Povprečne mesečne T zraka v Ljubljani [39]; primerjava 2010 in 2020.



Grafikon 11: Povprečne mesečne T zraka v Ljubljani [39]; primerjava 2010 in 2050.

V Preglednicah 8–10 so zbrane razlike vrednosti mesečnih povprečij temperatur zraka za izbrana obdobja, Preglednica 7 pa vsebuje razlago oznak za omenjene preglednice.

Preglednica 7: Razlaga oznak Preglednic 8–10.

Obarvanost polja	Razlaga
	Trije (štirje v primeru enakih vrednosti tretjega in četrtega meseca) meseci z največjo spremembo povprečne vrednosti temperature v izbranem obdobju.
	Trije (štirje v primeru enakih vrednosti tretjega in četrtega meseca) meseci z najmanjšo spremembo povprečne vrednosti temperature v izbranem obdobju.

Preglednica 8: Spremembe povprečnih T zraka v Ljubljani (2010–2020).

Mesec	Povprečna mesečna T [°C]	Povprečna mesečna T _{max} [°C]	Povprečna mesečna T _{min} [°C]
Januar	1,2	1,1	1,4
Februar	1,0	1,0	1,0
Marec	1,5	1,4	1,5
April	0,9	0,9	0,9
Maj	1,0	1,2	0,8
Junij	1,2	1,4	1,1
Julij	1,6	2,0	1,2
Avgust	2,1	2,6	1,7
September	1,7	2,1	1,4
Oktober	1,1	1,4	0,8
November	0,8	0,9	0,8
December	0,6	0,5	0,6
Letno povprečje	1,2	1,4	1,1

Preglednica 9: Spremembe povprečnih T zraka v Ljubljani (2020–2050).

Mesec	Povprečna mesečna T [°C]	Povprečna mesečna T _{max} [°C]	Povprečna mesečna T _{min} [°C]
Januar	1,3	1,2	1,3
Februar	1,3	1,2	1,5
Marec	1,0	0,9	1,0
April	0,9	0,9	1,0
Maj	1,0	1,1	1,0
Junij	1,8	2,1	1,5
Julij	2,3	3,1	1,7
Avgust	2,7	3,3	2,0
September	2,1	2,8	1,5
Oktober	1,5	1,5	1,6
November	1,7	1,7	1,6
December	1,5	1,4	1,5
Letno povprečje	1,6	1,8	1,4

Preglednica 10: Spremembe povprečnih T zraka v Ljubljani (2010–2050).

Mesec	Povprečna mesečna T [°C]	Povprečna mesečna T _{max} [°C]	Povprečna mesečna T _{min} [°C]
Januar	2,5	2,3	2,7
Februar	2,3	2,2	2,5
Marec	2,4	2,3	2,5
April	1,9	1,8	1,9
Maj	2,0	2,3	1,8

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 10.

Junij	3,1	3,5	2,6
Julij	3,9	5,0	2,9
Avgust	4,8	5,9	3,8
September	3,8	4,9	2,9
Oktober	2,6	2,9	2,4
November	2,5	2,6	2,4
December	2,0	2,0	2,1
Letno povprečje	2,8	3,1	2,5

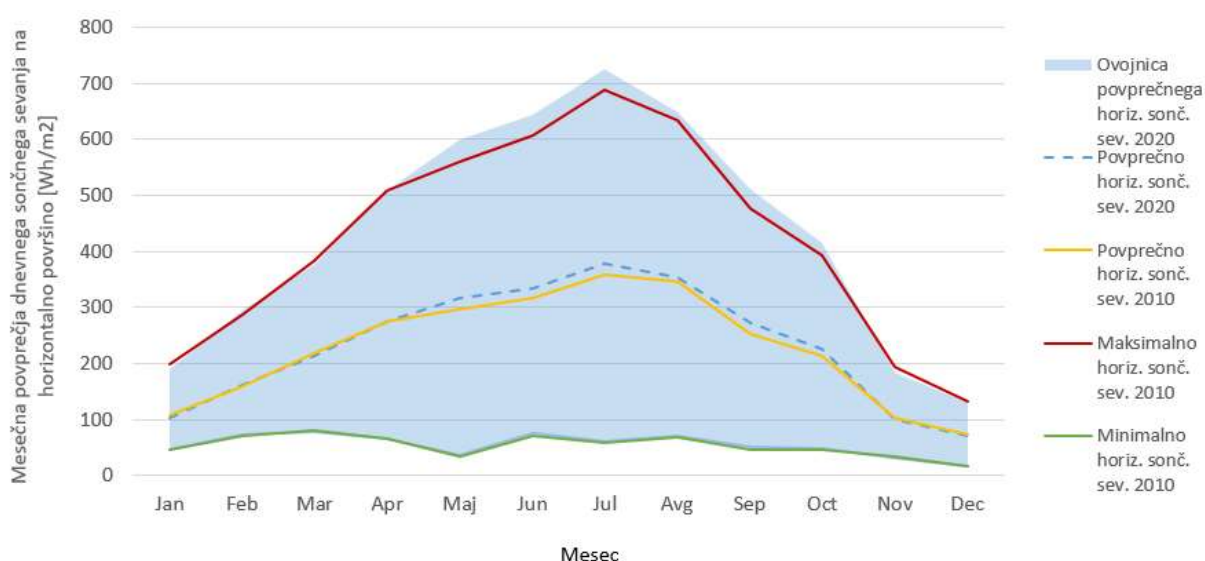
Iz predstavljenih projekcij in numeričnih podatkov, zbranih v Preglednici 8, opazamo, da se povprečne mesečne temperature od leta 2010 do 2020 dvignejo za 1,2 °C, najmanj decembra, novembra in aprila 0,6, 0,8 in 0,9 °C ter največ julija, septembra in avgusta, 1,6, 1,7 in 2,1 °C. Povprečne mesečne maksimalne temperature se dvignejo za 1,4 °C, najmanj decembra, aprila in novembra 0,5, 0,9 in 0,9 °C ter največ julija, septembra in avgusta, 2,0, 2,1 in 2,6 °C. Povprečne mesečne minimalne temperature se dvignejo za 1,1 °C, najmanj decembra in oktobra, novembra ter maja, 0,6 in 0,8 °C ter največ januarja, marca in avgusta, 1,4, 1,5 in 1,7 °C. Projekcije za leto 2050 napovedujejo še dodaten dvig temperatur, tako da so razlike med letoma 2010 in 2050, predstavljene v Preglednici 9, še večje. Povprečne mesečne temperature se od leta 2010 do 2050 dvignejo za 2,8 °C, najmanj aprila, maja in decembra, 1,9, 2,0 in 2,0 °C ter največ septembra, julija in avgusta, 3,8, 3,9 in 4,8 °C. Povprečne mesečne maksimalne temperature se dvignejo za 3,1 °C, najmanj aprila, decembra in februarja, 1,8, 2,0 in 2,2 °C ter največ septembra, julija in avgusta, 4,9, 5,0 in 5,9 °C. Povprečne mesečne minimalne temperature se dvignejo za 2,5 °C, najmanj maja, aprila in decembra, 1,8, 1,9 in 2,1 °C ter največ julija, septembra in avgusta, 2,9 in 3,8 °C.

Iz predstavljenih projekcij lahko zaključimo, da se bodo do leta 2020 najmanj segreli april, november in december, najbolj pa julij, avgust in september. Od leta 2020 do 2050 (Preglednica 10) bodo spremembe v temperaturi zraka najmanjše v mesecih marec, april in maj ter največje julija, avgusta in septembra. Do leta 2050 se bodo, v primerjavi z 2010, najmanj segreli april, maj in december, najbolj pa julij, avgust in september. Opazno je, da maksimumi naraščajo intenzivneje kot minimumi.

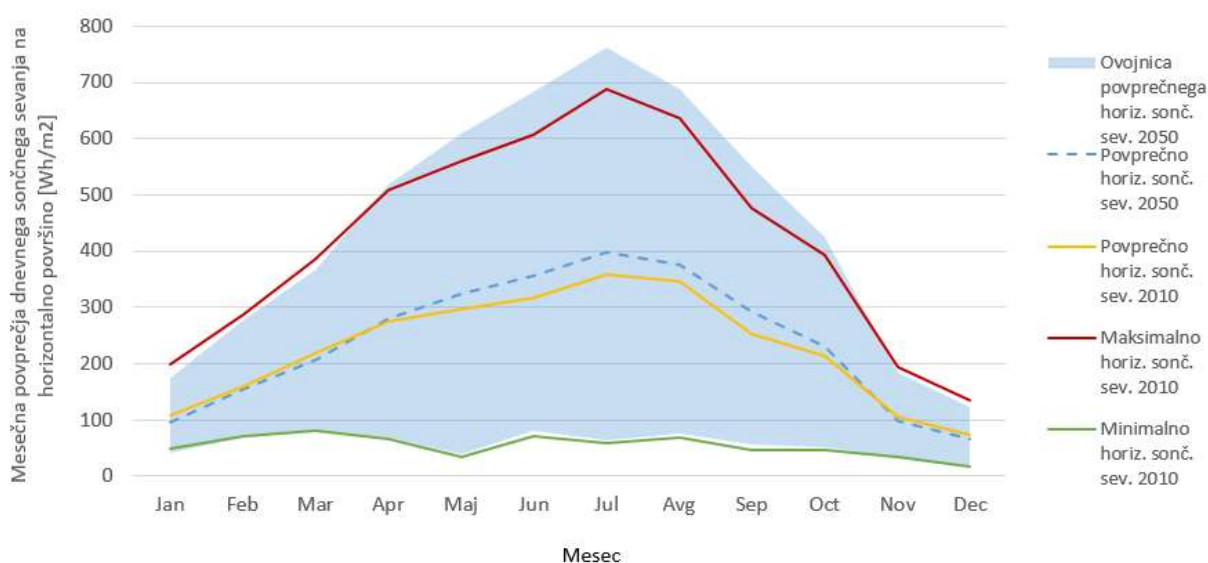
4.2.2 Sončno sevanje na horizontalno površino

Grafično predstavitev projekcij mesečnih povprečij dnevni vrednosti sončnega sevanja na horizontalno površino za leto 2020 v Ljubljani s prikazom razlik glede na leto 2010 najdemo v Grafikonu 12. Skozi leto 2020 se mesečno povprečje dnevnega sončnega sevanja na horizontalno površino giblje od 71,4 do 378,1 Wh/m², mesečno povprečje maksimumov dnevnega sončnega sevanja na horizontalno površino od 131,4 do 724,3 Wh/m² in mesečno povprečje minimumov dnevnega sončnega sevanja na horizontalno površino od 16,9 do 79,6 Wh/m². Razlika med povprečnim mesečnim minimalnim in povprečnim mesečnim maksimalnim sončnim sevanjem na horizontalno površino je največja julija (662,9 Wh/m²) in najmanjša decembra (114,5 Wh/m²). V poletnih mesecih (junij, julij, avgust) se mesečno povprečje dnevnega sončnega sevanja na horizontalno površino giba med 335,4 in 378,1 Wh/m², v mesecih med novembrom in januarjem pa med 71,6 in 103,9 Wh/m².

Prikaz razlik mesečnih povprečij dnevnih vrednosti sončnega sevanja sončnega na horizontalno površino med leti 2010 in 2050 v Grafikonu 13 kaže na še višje maksimume v poletnih mesecih. Skozi leto 2050 se mesečno povprečje dnevnega sončnega sevanja na horizontalno površino giblje od 67,1 do 397,8 Wh/m², mesečno povprečje maksimumov dnevnega sončnega sevanja na horizontalno površino od 123,6 do 762,1 Wh/m² in mesečno povprečje minimumov dnevnega sončnega sevanja na horizontalno površino od 15,8 do 80,1 Wh/m². Razlika med povprečnim mesečnim minimalnim in povprečnim mesečnim maksimalnim sončnim sevanjem na horizontalno površino je največja julija (697,5 Wh/m²) in najmanjša decembra (107,8 Wh/m²). V poletnih mesecih (junij, julij, avgust) se mesečno povprečje dnevnega sončnega sevanja na horizontalno površino giblje med 356,6 in 397,8 Wh/m², v mesecih med novembrom in januarjem pa med 67,1 in 98,5 Wh/m².



Grafikon 12: Mesečna povprečja dnevnega H_s v Ljubljani [39]; primerjava 2010 in 2020.



Grafikon 13: Mesečna povprečja dnevnega H_s v Ljubljani [39]; primerjava 2010 in 2050.

V Preglednicah 12–14 so zbrane razlike mesečnih povprečij dnevnih vrednosti gostote sončnega sevanja na horizontalno površino za izbrana obdobja, Preglednica 11 pa vsebuje razlago oznak za omenjene preglednice.

Preglednica 11: Razlaga oznak Preglednic 12–14.

Obarvanost polja	Razlaga
	Trije (štirje v primeru enakih vrednosti tretjega in četrtega meseca) meseci z največjim dvigom mesečnega povprečja dnevnega H_s v izbranem obdobju.
	Trije (štirje v primeru enakih vrednosti tretjega in četrtega meseca) meseci z največjim upadom mesečnega povprečja dnevnega H_s v izbranem obdobju.

Preglednica 12: Spremembe povprečnega H_s v Ljubljani (2010–2020).

Mesec	H_s [Wh/m ²]	$H_{s,max}$ [Wh/m ²]	$H_{s,min}$ [Wh/m ²]
Januar	–5,0	–9,2	–2,1
Februar	4,6	8,4	2,2
Marec	–4,3	–7,6	–1,6
April	0,7	1,3	0,0
Maj	20,7	39,2	2,4
Junij	18,8	36,1	4,2
Julij	19,4	37,2	3,2
Avgust	7,9	14,5	1,6
September	19,1	36,0	3,6
Oktober	12,9	23,9	2,8
November	–4,5	–8,3	–1,6
December	–1,3	–2,4	–0,2
Letno povprečje	7,4	14,1	1,2

Preglednica 13: Spremembe povprečnega H_s v Ljubljani (2020–2050).

Mesec	H_s [Wh/m ²]	$H_{s,max}$ [Wh/m ²]	$H_{s,min}$ [Wh/m ²]
Januar	–8,6	–15,5	–3,8
Februar	–9,6	–17,5	–4,6
Marec	–6,7	–11,8	–2,4
April	5,0	9,3	1,4
Maj	5,9	11,0	0,7
Junij	21,2	40,6	4,8
Julij	19,8	37,7	3,2
Avgust	21,1	38,9	4,2
September	21,0	39,6	3,9
Oktober	4,8	8,8	1,1
November	–1,1	–2,1	–0,1
December	–4,3	–7,8	–1,2
Letno povprečje	5,7	10,9	0,6

Preglednica 14: Spremembe povprečnega H_s v Ljubljani (2010–2050).

Mesec	H_s [Wh/m ²]	$H_{s,max}$ [Wh/m ²]	$H_{s,min}$ [Wh/m ²]
Januar	–13,6	–24,7	–5,9
Februar	–5,0	–9,0	–2,4
Marec	–11,0	–19,4	–4,1
April	5,7	10,6	1,4
Maj	26,6	50,1	3,1
Junij	40,0	76,7	9,0
Julij	39,1	74,9	6,4
Avgust	29,1	53,4	5,8
September	40,1	75,6	7,5
Oktober	17,8	32,7	3,9
November	–5,6	–10,4	–1,8
December	–5,6	–10,1	–1,4
Letno povprečje	13,1	25,0	1,8

Iz predstavljenih projekcij in numeričnih podatkov, zbranih v Preglednici 12, opazamo, da se letno povprečje dnevne gostote sončnega sevanja na horizontalno površino od leta 2010 do 2020 dvigne za 7,4 Wh/m². Najbolj naraste maja, julija in septembra, 20,7, 19,4 in 19,1 Wh/m², upade pa v januarju, novembru in marcu in sicer za 5,0, 4,5 in 4,3 Wh/m². Letno povprečje maksimalnega sončnega sevanja na horizontalno površino se dvigne za 14,1 Wh/m². Najbolj naraste maja, julija in junija, 39,2, 37,2 in 36,1 Wh/m², upade pa v januarju, novembru in marcu in sicer za 9,2, 8,3 in 7,6 Wh/m². Letno povprečje minimalnega sončnega sevanja na horizontalno površino se dvigne za 1,2 Wh/m². Najbolj naraste junija, septembra in julija, 4,2, 3,6 in 3,2 Wh/m², upade pa v januarju, marcu in novembru in sicer za 2,1, 1,6 in 1,6 Wh/m².

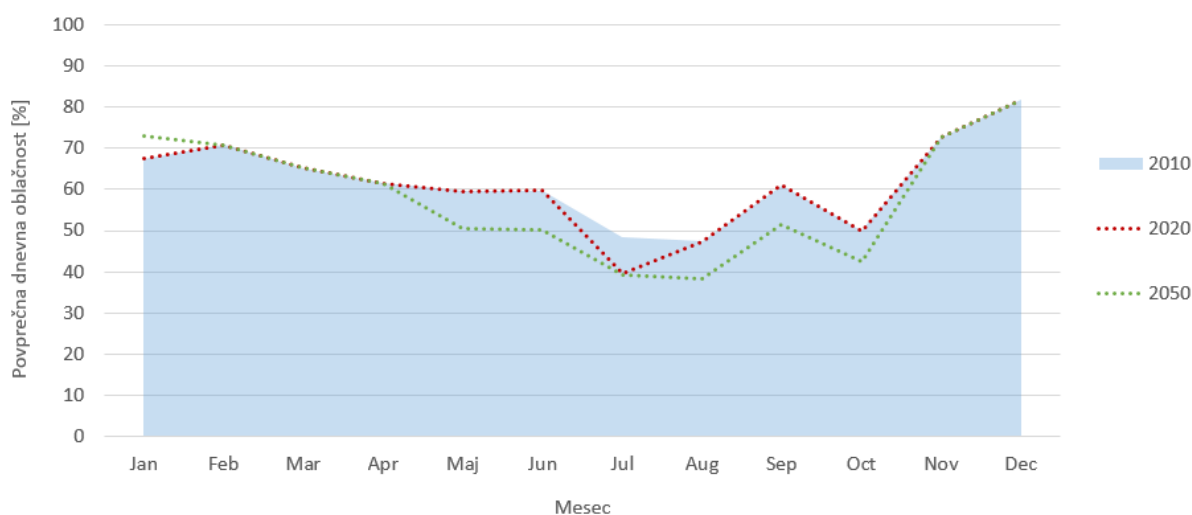
Projekcije za leto 2050 napovedujejo nadaljnji dvig mesečnih povprečij dnevnega sončnega sevanja na horizontalno površino, kar je razvidno iz Preglednice 13. Letno povprečje dnevne gostote sončnega sevanja na horizontalno površino se od leta 2020 do 2050 dvigne za 5,7 Wh/m². Najbolj naraste junija, avgusta in septembra, 21,2, 21,1 in 21,0 Wh/m², upade pa v februarju, januarju in marcu in sicer za 9,6, 8,6 in 6,7 Wh/m². Letno povprečje maksimalnega sončnega sevanja na horizontalno površino se dvigne za 10,9 Wh/m². Najbolj naraste junija, septembra in avgusta in sicer 40,6, 39,6 in 38,9 Wh/m², upade pa v februarju, januarju in marcu in sicer za 17,5, 15,5 in 11,8 Wh/m². Letno povprečje minimalnega sončnega sevanja na horizontalno površino se dvigne za 0,6 Wh/m². Najbolj naraste junija, avgusta in septembra, 4,8, 4,2 in 3,9 Wh/m², upade pa v februarju, januarju in marcu in sicer za 4,6, 3,8 in 2,4 Wh/m².

Iz predstavljenih projekcij lahko zaključimo, da bodo maksimumi mesečnih povprečij dnevnega globalnega sončnega sevanja na horizontalno površino tudi v prihodnje julija, sledili bodo preostali poletni meseci, proti zimskemu obdobju pa se bodo postopno zmanjševali do izrazitih minimumov v decembru. Do leta 2020 se bo gostota sončnega sevanja na horizontalno površino najbolj dvignila v mesecih od maja do julija, najbolj bo pa upadla januarja, novembra in marca. Od leta 2020 do 2050

(Preglednica 13) bo dvig največji v juniju, septembru in avgustu, upad pa v februarju, januarju in marcu. Tako se bo do leta 2050, v primerjavi z 2010, gostota sončnega sevanja na horizontalno površino najbolj dvignila v juniju, septembru in juliju, najbolj pa bo upadla v januarju, marcu in novembru. Opazno je, da maksimumi naraščajo intenzivneje kot minimumi.

4.2.3 Oblačnost neba

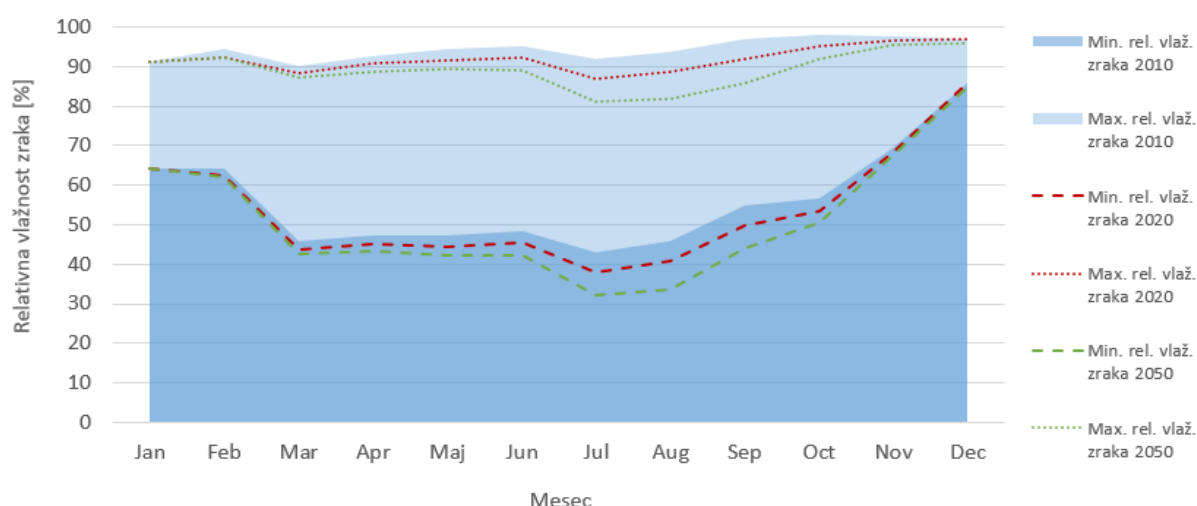
Iz projekcij oblačnosti za leti 2020 in 2050 v Grafikonu 14 razberemo, da bo najbolj oblačen, kar 81,7 % časa, še naprej ostal december, sledijo preostali zimski meseci. Leta 2020 bo nebo najmanj oblačno julija (39,7 % časa), leta 2050 bo v obdobju med aprilom in oktobrom z avgustovskim minimumom 38,3 % povprečno manj oblačnosti kot danes.



Grafikon 14: Povprečna dnevna oblačnost neba v Ljubljani.

4.2.4 Relativna vlažnost zraka

Relativna vlažnost zraka po projekcijah za leti 2020 in 2050 ostaja visoka skozi celo leto, kar prikazuje Grafikon 15. Zrak bo najbolj suh julija in avgusta. Povprečna dnevna minimalna relativna vlaga bo prav tako najnižja julija, sledijo ostali poletni in pomladni meseci. Najvlažnejši bodo zimski meseci, maksimumi novembra in decembra bodo presegali 95 %, decembra 2020 oziroma 2050 pa se vlaga v zraku ne bo spustila pod 85,7 % oziroma 84,7 %.



Grafikon 15: Relativna vlažnost zraka v Ljubljani.

4.3 Bioklimatska analiza lokacije

Iz psihrometričnih kart želimo razbrati kakšne so možnosti rabe pasivnih strategij za doseganje toplotnega udobja in zmanjšanja rabe energije v stavbi. V delih leta, kadar to ne bo možno, bo potrebno konvencionalno ogrevanje oziroma hlajenje stavbe. Iz analize podnebnih sprememb v treh časovnih obdobjih želimo razbrati morebitne spremembe v razmerjih med bioklimatskimi ukrepi, predstavljenimi v Preglednici 15 in identificirati smiselni nabor le-teh za posamično obdobje.

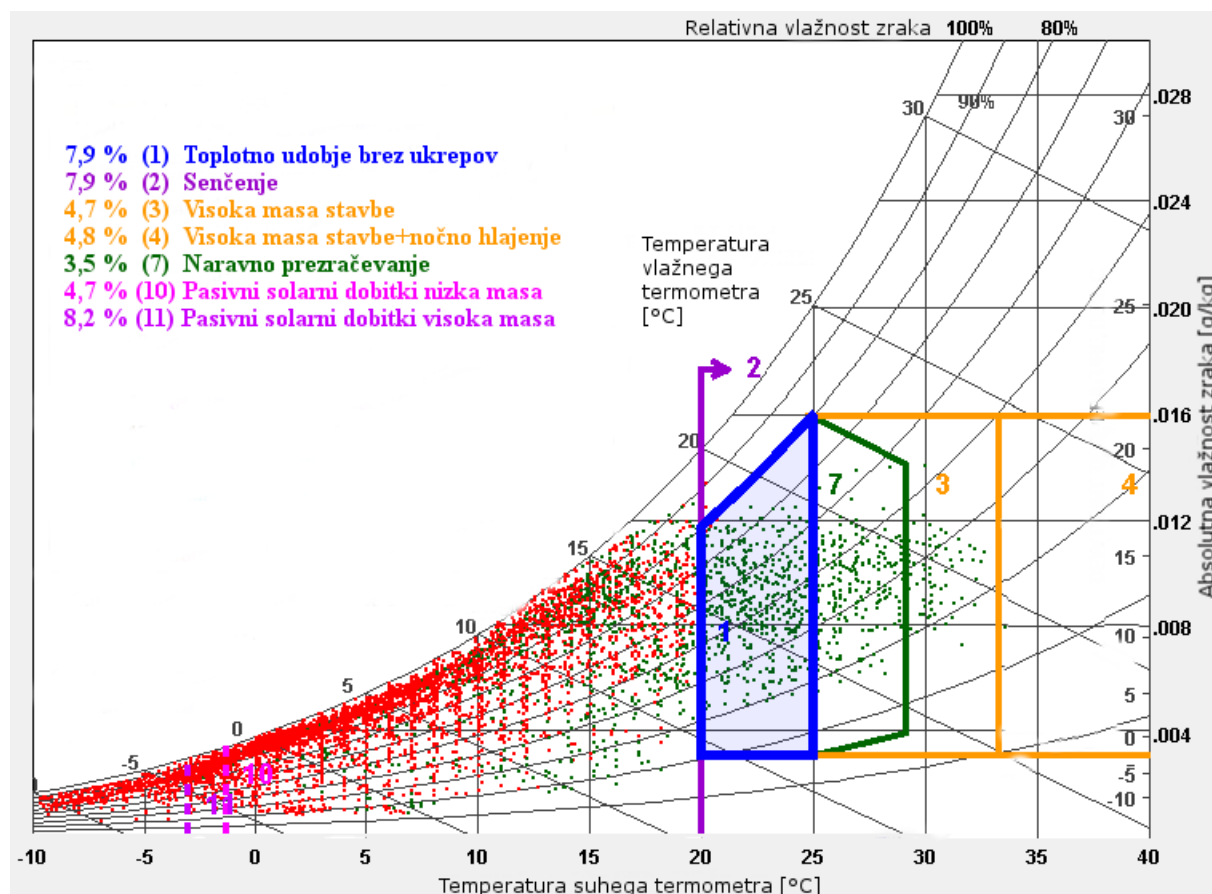
Za vsako izmed treh obravnavanih obdobji sledi prikaz psihrometrične karte (Slike 5–7) in izbranih ukrepov za doseganje toplotnega udobja v prostem teku stavbe (Grafikoni 16–18). Ker se želimo osredotočiti na pasivne ukrepe, s katerimi lahko zagotovimo določen odstotek ur toplotnega udobja v stavbi, s seznama šestnajstih ukrepov predhodno predstavljenih v Preglednici 6, odstranimo toplotno udobje brez dodatnih ukrepov, ki dejansko ni ukrep, ampak naš cilj. Odstranimo tudi evaporacijsko hlajenje, ki ga v Ljubljani zaradi visoke vlage v zraku ne moremo izvajati, notranje dobitke, ki jih v programskem orodju BEopt [2] ne spreminjamo in vetrno zaščito, ki je ne upoštevamo, saj v programskem orodju BEopt [2] umestimo obravnavano stavbo v prostor brez sosednjih stavb ali naravnih ovir. Dodatnega vlaženja in razvlaževanja zraka ter intenzivnega prezračevanja tukaj ne upoštevamo, prav tako ne ogrevanja in hlajenja, saj metodi ne spadata med pasivne ukrepe zagotavljanja toplotnega udobja.

Preglednica 15: Izbrani načrtovalski ukrepi za doseganje toplotnega udobja v prostem teku stavbe.

Ukrepi	
2	Senčenje zasteklitev
3	Visoka masa stavbe
4	Visoka masa stavbe + nočno hlajenje
7	Naravno prezračevanje
10	Pasivni solarni dobitki nizka masa
11	Pasivni solarni dobitki visoka masa

4.3.1 Potrebe po ukrepih v letu 2010

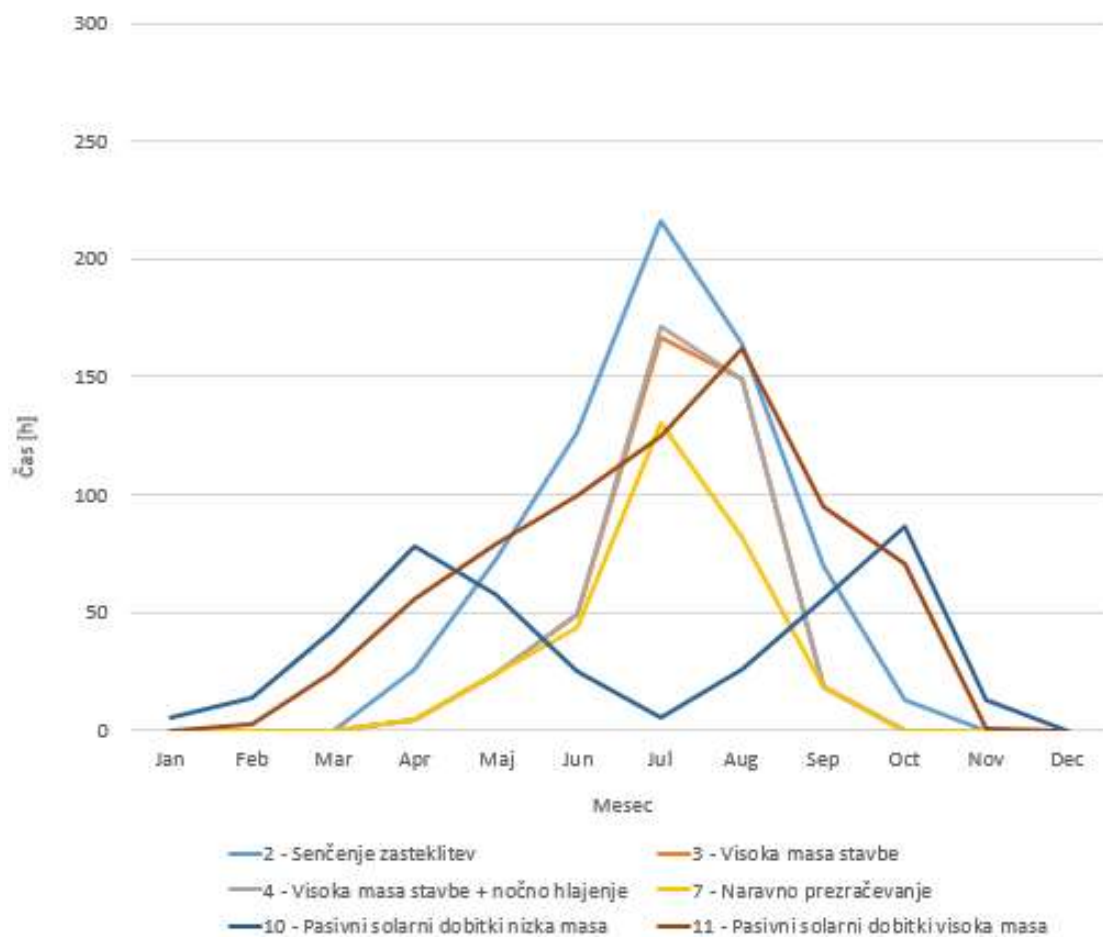
Slika 5 predstavlja letno potrebo po izbranih ukrepih v odstotkih časa (100 % predstavlja 8760 ur – pri mesecih z 31 dnevi 744 ur, pri mesecih z 30 dnevi 720 ur in pri mesecu z 28 dnevi 672 ur). V primeru, da uvedemo vseh 16 ukrepov, dosežemo toplotno udobje v 100 % časa. V letu 2010 je v načrtovanem bivalnem okolju brez dodatnih ukrepov toplotnemu udobju zadoščeno v 7,9 % časa oz. 692 urah. V kar 59,3 % časa oz. 5195 urah je potrebno za zagotovitev toplotnega udobja prostore ogrevati, v 23,7 % časa oz. 2076 urah pa udobje dosežemo z notranjimi dobitki zaradi odpadne toplote, ki jo oddajajo delujoče naprave, razsvetljava in ljudje v stavbi. Intenzivno prezračevanje zagotovi udobje v 3,5 % časa oz. 307 urah. Med ukrepi najdemo tudi evaporacijsko in dvostopenjsko evaporacijsko hlajenje stavbe, vendar ga izključimo iz nabora, saj je na izbrani lokaciji vlažnost zraka (glej poglavje 4.1.4) previsoka za takšen ukrep hlajenja stavbe.



Slika 5: Psihrometrična karta za leto 2010 [39].

Pomembno je, da časovno opredelimo izvajanje določenih ukrepov oziroma obdobje v letu, ko ima izbran ukrep največji učinek. Grafikon 16 predstavlja pasivne ukrepe, s katerimi lahko zagotovimo določeno število ur toplotnega udobja v prostem teku stavbe, prikazanih na y-osi. Navezuje se tudi na podatke s Slike 5. Poleti bo tako več potrebe po senčenju zasteklitev (ukrep 2), ki v celem letu zagotovi udobje v 7,9 % časa oz. 692 urah in dodatnemu hlajenju stavbe z naravnim prezračevanjem (7). Naravno prezračevanje z odpiranjem oken ali vrat zagotovi udobje v 3,5 % časa oz. 307 urah. Ukrepa visoke mase in nočnega hlajenja (ukrepa 3 in 4) sta najbolj koristna v poletnih mesecih. Visoka masa

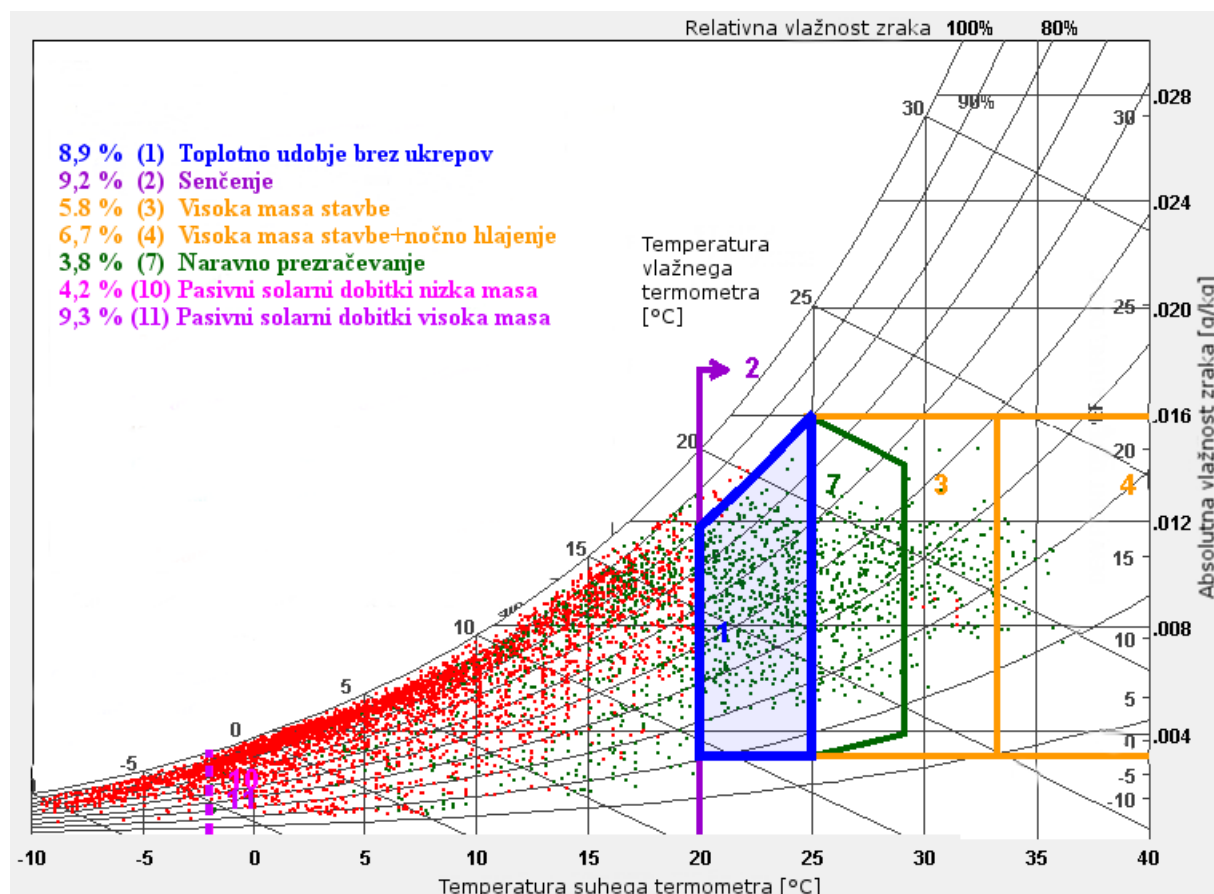
stavbe lahko udobje v prostem teku stavbe zagotovi v 4,7 % časa oz. 412 urah, saj čez dan akumulirano toploto odda v okolico z nočnim hlajenjem, kar doprinese še dodatnih 4,8 % časa oz. 420 ur udobja. Za znižanje potrebe po kurjavi želimo v prehodnih obdobjih in pozimi čim več pasivnih solarnih dobitkov. Pri nizki masi stavbe (10) lahko zagotovimo udobje v 4,7 % časa oz. 412 urah, pri visoki masi stavbe (11) pa v 8,2 % časa oz. 718 urah.



Grafikon 16: Pasivni ukrepi za doseganje toplotnega udobja v prostem teku stavbe v letu 2010.

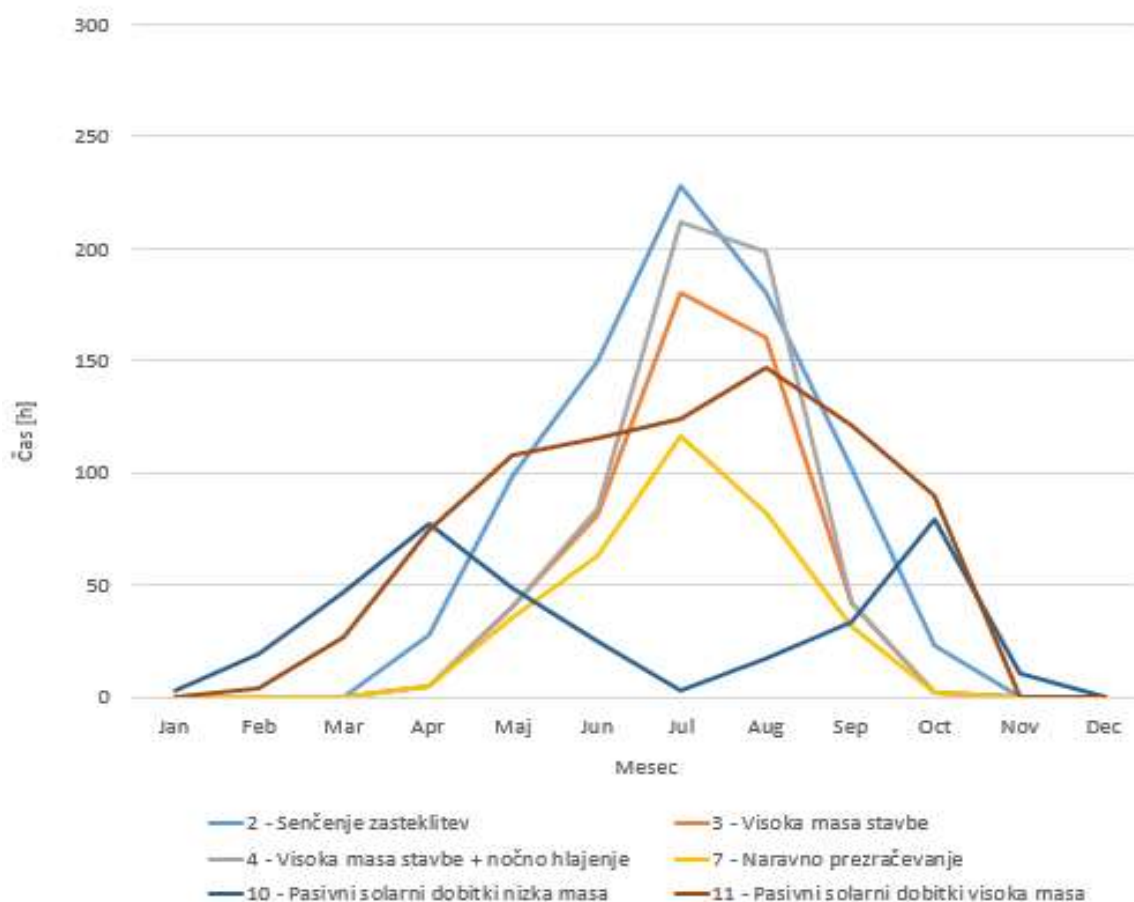
4.3.2 Potrebe po ukrepih v letu 2020

Razvidno iz Slike 6 je, da bo v letu 2020 v načrtovanem bivalnem okolju toplotnemu udobju brez dodatnih ukrepov zadoščeno v 8,9 % časa oz. 780 urah, kar je 88 ur več kot v letu 2010. V 54,9 % časa oz. 4809 urah je potrebno za zagotovitev toplotnega udobja prostore ogrevati (385 ur manj kot v 2010). V 24,9 % časa oz. 2181 urah lahko udobje zagotovimo z notranjimi dobitki (105 ur več kot v 2010), intenzivno prezračevanje pa zagotovi udobje v 3,8 % časa oz. 333 urah (26 ur več kot v 2010).



Slika 6: Psihrometrična karta za leto 2020 [39].

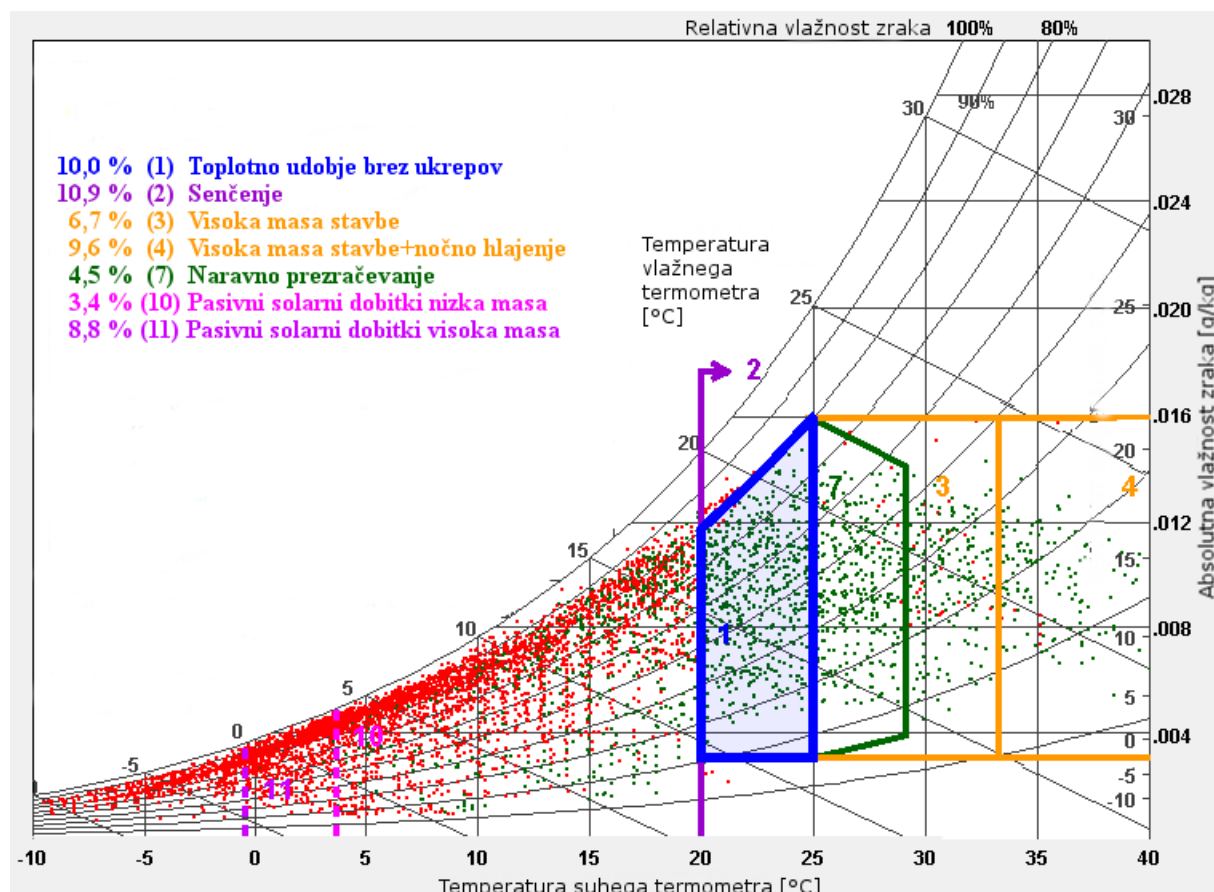
Sledi časovna opredelitev izvajanja določenih ukrepov oziroma opredelitev obdobj v letu, ko ima izbran ukrep največji učinek. Grafikon 17 predstavlja pasivne ukrepe, s katerimi lahko zagotovimo določeno število ur toplotnega udobja v prostem teku stavbe, prikazanih na y osi. Navezujemo se tudi na podatke s Slike 6. Poleti bo tako več potrebe po senčenju zasteklitev (ukrep 2), ki v celem letu zagotovi udobje v 9,2 % časa oz. 788 urah (96 ur več kot v 2010) in dodatnemu hlajenju stavbe z naravnim prezračevanjem (7). Naravno prezračevanje z odpiranjem oken ali vrat zagotovi udobje v 3,8 % časa oz. 333 urah (26 ur več kot v 2010). Ukrepa visoke mase in nočnega hlajenja (ukrepa 3 in 4) sta najbolj koristna v poletnih mesecih. Visoka masa stavbe lahko zagotovi udobje v prostem teku stavbe v 5,8 % časa oz. 508 urah (96 ur več kot v 2010), saj čez dan akumulirano toploto odda v okolico z nočnim hlajenjem, kar doprinese še dodatnih 6,7 % časa oz. 587 ur (166 ur več kot v 2010) udobja. V prehodnih obdobjih in pozimi želimo čim več pasivnih solarnih dobitkov za znižanje potrebe po kurjavi. Pri nizki masi stavbe (10) lahko zagotovimo udobje v 4,2 % časa oz. 368 urah (44 ur manj kot v 2010), pri visoki masi stavbe (11) pa v 9,3 % časa oz. 815 urah (96 ur več kot v 2010).



Grafikon 17: Pasivni ukrepi za doseganje toplotnega udobja v prostem teku stavbe v letu 2020.

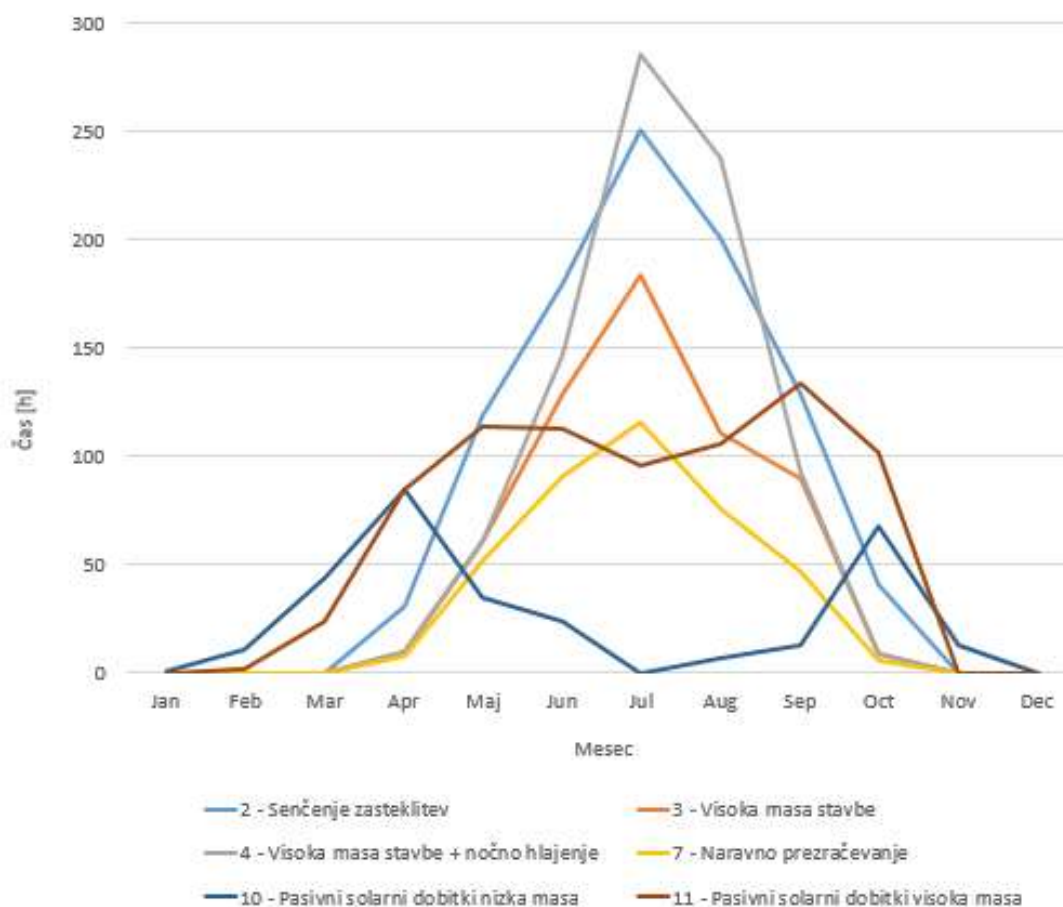
4.3.3 Potrebe po ukrepih v letu 2050

Slika 7 prikazuje psihrometrično karto za leto 2050 in predlog ukrepov za doseganje toplotnega udobja. V letu 2050 je v načrtovanem bivalnem okolju toplotnemu udobju v prostem teku stavbe brez dodatnih ukrepov zadoščeno v 10 % časa oz. 876 ur, kar je 96 ur več kot v letu 2020 in 184 ur več kot v letu 2010. V 50,9 % časa oz. 4459 urah je potrebno za zagotovitev toplotnega udobja prostore ogrevati (350 ur manj kot v 2020 in 736 ur manj kot v 2010). V 24,5 % časa oz. 2146 urah lahko udobje zagotovimo z notranjimi dobitki (35 ur manj kot v 2020 in 70 ur več kot v 2010), intenzivno prezračevanje pa zagotovi udobje v 4,9 % časa oz. 429 urah (96 ur več kot v 2020 in 123 ur več kot v 2010).



Slika 7: Psihrometrična karta za leto 2050 [39].

Sledi časovna opredelitev izvajanja določenih ukrepov oziroma opredelitev obdobj v letu, ko ima izbran ukrep največji učinek. Grafikon 18 predstavlja pasivne ukrepe, s katerimi lahko zagotovimo določeno število ur toplotnega udobja v prostem teku stavbe, prikazanih na y osi. Navezujemo se tudi na podatke s Slike 6. Poleti bo tako več potrebe po senčenju zasteklitev (ukrep 2), ki v celem letu zagotovi udobje v 10,9 % časa oz. 955 ur (166 ur več kot v 2020 in 263 ur več kot v 2010) in dodatnemu hlajenju stavbe z naravnim prezračevanjem (7). Naravno prezračevanje z odpiranjem oken ali vrat zagotovi udobje v 4,5 % časa oz. 394 urah (61 ur več kot v 2020 in 88 ur več kot v 2010). Ukrepa visoke mase in nočnega hlajenja (ukrepa 3 in 4) sta najbolj koristna v poletnih mesecih. Visoka masa stavbe lahko zagotovi udobje v prostem teku stavbe v 6,7 % časa oz. 587 urah (79 ur več kot v 2020 in 175 ur več kot v 2010), saj čez dan akumulirano toploto odda v okolico z nočnim hlajenjem, kar doprinese še dodatnih 9,6 % časa oz. 841 ur (254 ur več kot v 2020 in 420 ur več kot v 2010) udobja. V prehodnih obdobjih in pozimi želimo čim več pasivnih solarnih dobitkov za znižanje potrebe po kurjavi. Pri nizki masi stavbe (10) lahko zagotovimo udobje 3,4 % časa oz. 298 ur (70 ur manj kot v 2020 in 114 ur manj kot v 2010), pri visoki masi stavbe (11) pa v 8,8 % časa oz. 771 ur (44 ur manj kot v 2020 in 53 ur več kot v 2010).



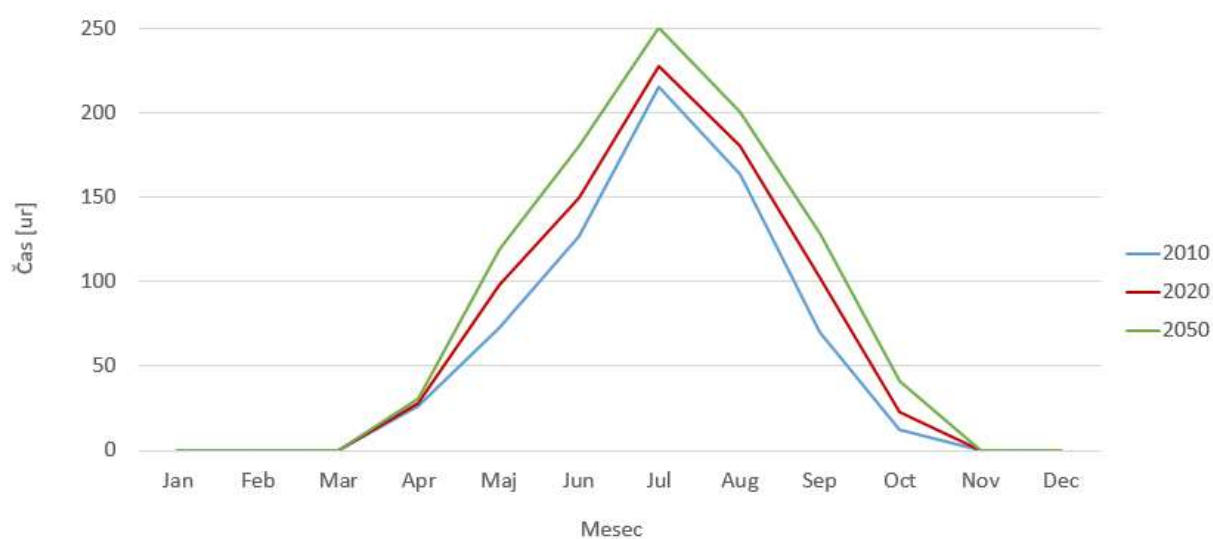
Grafikon 18: Pasivni ukrepi za doseganje toplotnega udobja v prostem teku stavbe v letu 2050.

4.3.4 Primerjava smiselnosti ukrepov v letih 2010, 2020, 2050

Pred primerjavo smiselnosti izbire določenih ukrepov v obravnavanih obdobjih sledi kratka primerjava doseganja toplotnega udobja v prostem teku stavbe brez ukrepov in predstavitev časovnih razlik zagotavljanja udobja z ukrepi, ki niso pasivni. Toplotno udobje v bivalnih prostorih v času prostega teka stavbe bo v letu 2020 v primerjavi z 2010 v prvi polovici leta doseženo v 780 urah, kar je 88 ur več kot v letu 2010. V letu 2050 se glede na 2020 število ur na celoletni ravni poviša na 876 ur, vendar julija, septembra in oktobra ne doseže vrednosti iz leta 2010. Pozimi zaradi nizkih temperatur zunanega zraka doseganje udobja brez dodatnih ukrepov ni možno. Ukrep intenzivnega prezračevanja je smiselno v obdobju med aprilom in oktobrom s poletnim vrhom, vendar upadom julija v prihodnosti. V letu 2020 naravno prezračevanje zagotovi toplotno udobje v 333 urah, kar je 26 ur več kot v 2010, v letu 2050 pa v 429 urah. Sklepamo, da bo v prihodnosti zaradi zvišanja poletnih temperatur stavbo potrebno še dodatno hladiti, saj naravno prezračevanje zagotavlja udobje le v majhnem številu ur letno. Notranji dobitki predstavljajo zadovoljiv vir toplote med marcem in novembrom z izjemo julija in avgusta, ko bi jih bilo potrebno reducirati, saj še dodatno grejejo že pregreto stavbo. Ta pojav bo še bolj opazen v letih 2020 in 2050, saj bo stavba zaradi podnebnih sprememb bolj segreta kot v letu 2010. V letu 2020 notranji dobitki zagotavljajo udobje v 2181 urah, kar je 105 ur več kot v 2010, v letu 2050 pa v 2146 urah, kar je 35 ur manj kot v 2020. Ukrep ogrevanja za doseganje toplotnega udobja v stavbi je glede na število ur letno najpomembnejši izmed ukrepov v vseh obravnavanih obdobjih. V letu 2020 lahko toplotno

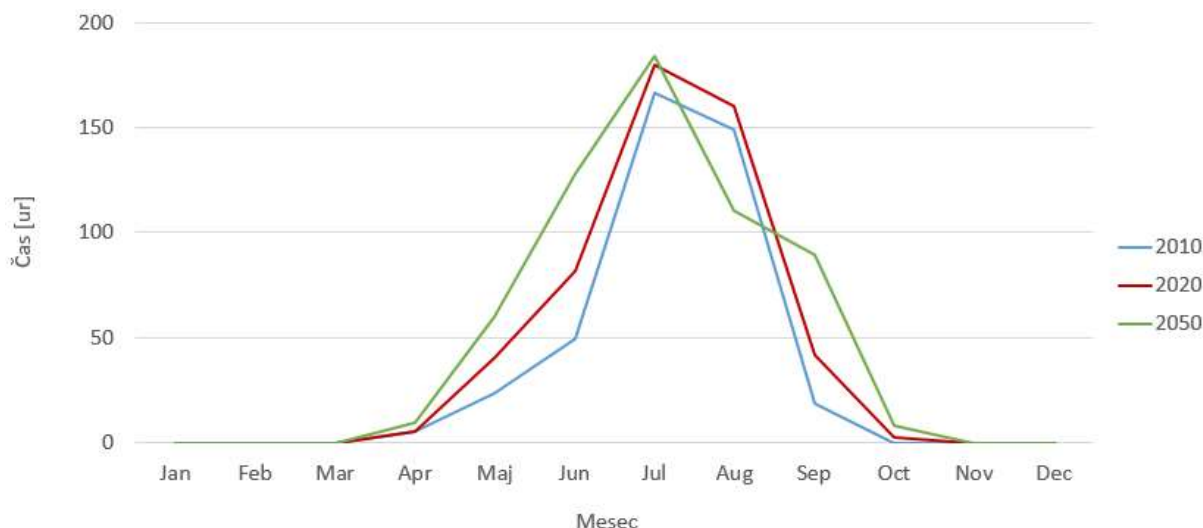
udobje z ogrevanjem zagotovimo v 4809 urah, kar je 385 ur manj kot v 2010, v letu 2050 pa v 4459 urah, kar je 350 ur manj v 2020. Povišanje temperatur v prihodnosti ima očiten vpliv na zmanjšanje letne potrebe po ogrevanju stavbe predvsem v prehodnih obdobjih.

Grafikoni 19–24 predstavljajo vpliv posameznih izbranih ukrepov na število ur zagotavljanja toplotnega udobja po mesecih v pripadajočih letih. Grafikon 19 predstavlja razlike v potrebi po senčenju zasteklitev v izbranih obdobjih. Med aprilom in oktobrom bo v prihodnosti rasla potreba po senčenju tako na mesečnih kot celoletnih ravneh. Seveda je največja potreba po senčenju v poletnih mesecih, ki mu sledijo prehodna obdobja (pomlad in jesen). Na letni ravni potreba po senčenju v letu 2020 naraste na 788 ur, kar je 96 ur več kot v 2010, v letu 2050 pa na 955 ur, kar je 166 ur več kot v 2020.



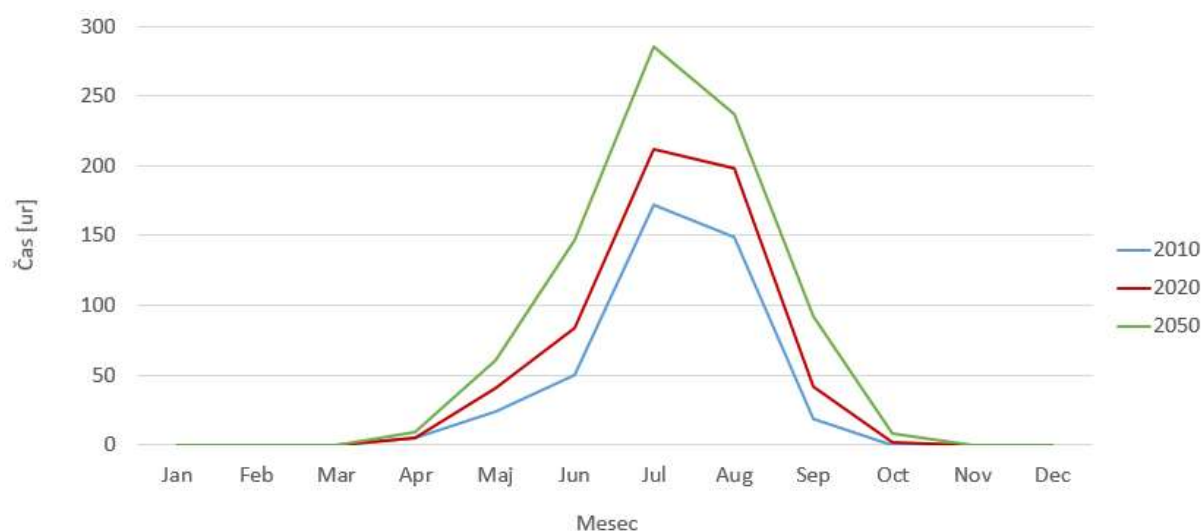
Grafikon 19: Ukrep 2 – Senčenje zasteklitev.

Grafikon 20 prikazuje vpliv stavbe z visoko maso, ki je najbolj očiten v poletju in prehodnih mesecih, kadar stavba čez dan akumulira več toplote iz okolice v primerjavi z lahko stavbo in jo potem ponoči oddaja nazaj v okolico, s čimer se pospešeno ohlaja. Zaradi časovnega zamika prehoda toplote skozi konstrukcijo na dnevni ravni dosežemo časovni zamik ogrevanja notranjosti stavbe. V letu 2020 bo v primerjavi z letom 2010 vpliv mase za zagotavljanje toplotnega udobja še višji. Leta 2020 bo udobju zagotovljeno v 508 urah, kar je 96 ur več kot v 2010. Vzorec se nadaljuje tudi v leto 2050, kadar je udobje zagotovljeno v 587 urah, kar je 79 ur več kot v 2020, vendar z izjemo avgusta, kadar visoka masa več ne deluje blagodejno, saj zaradi previsokih dnevnih temperatur akumulira več toplote, kot je je čez noč zmožna oddati nazaj v okolico.



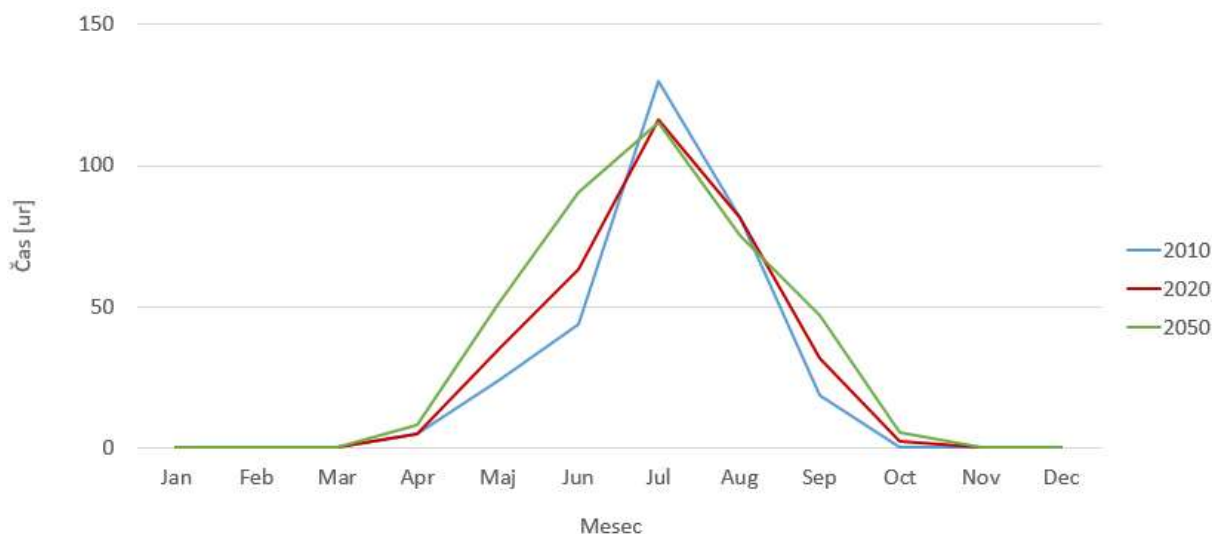
Grafikon 20: Ukrep 3 – Visoka masa stavbe.

Primernejši za analizo obnašanja stavbe z visoko maso je ukrep 4, ki povezuje ukrep visoke mase z nočnim hlajenjem stavbe. Letno število ur doseganja toplotnega udobja z nočnim hlajenjem stavbe z visoko maso se v letih 2020 in 2050 poveša, kar je vidno na Grafikonu 21, opaznejši vpliv tega ukrepa je v poletnih mesecih z vrhom v juliju. V letu 2020 je udobje zagotovljeno v 587 urah oz. 166 ur več kot v 2010, v letu 2050 pa v 841 urah oz. 254 ur več kot 2020.



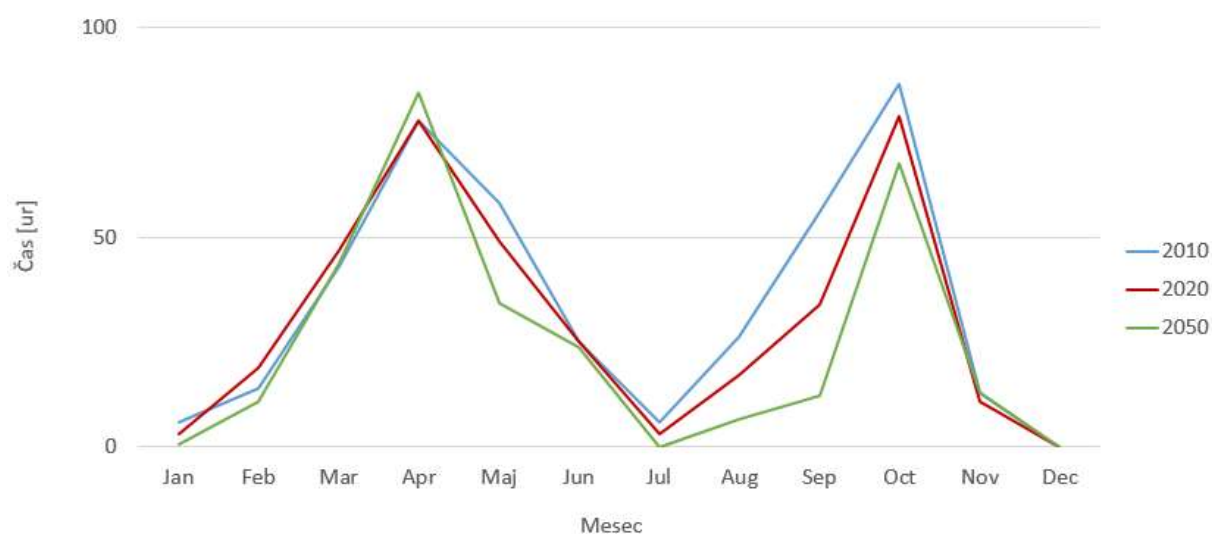
Grafikon 21: Ukrep 4 – Visoka masa stavbe + nočno hlajenje.

Ukrep naravnega hlajenja, predstavljen na Grafikonu 22, je smiseln v obdobju med aprilom in oktobrom s poletnim vrhom, vendar upadom julija in avgusta v prihodnosti. Naravno prezračevanje zagotavlja udobje v majhnem letnem številu ur, poleg tega ga poleti ni smiselno opravljati čez dan, ko so temperature zunanjega zraka na vrhuncu. Na letni ravni je udobje v letu 2020 zagotovljeno v 333 urah oz. 26 ur več kot 2010, v letu 2050 pa v 394 urah oz. 61 ur več kot v 2020.



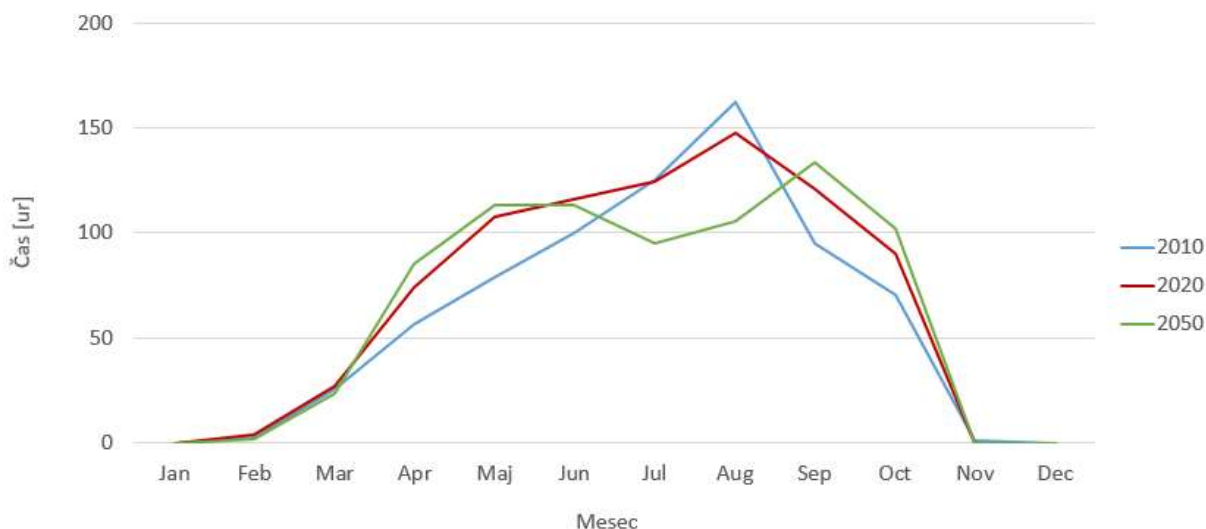
Grafikon 22: Ukrep 7 – Naravno prezračevanje.

Stavba z nizko maso v prehodnih obdobjih zadovoljivo zadržuje pasivne solarne dobitke, kar je razvidno z Grafikona 23, vendar ta ukrep nima pozitivnega vpliva v poletnih mesecih, s prihodnostjo pa se stanje še slabša. Na letni ravni je toplotnemu udobju ob upoštevanju tega ukrepa v letu 2020 zadoščeno v 368 urah, kar je 44 ur manj kot v 2010, v letu 2050 pa v 298 urah, kar je 70 ur manj kot v 2020.



Grafikon 23: Ukrep 10 – Pasivni solarni dobitki pri nizki masi stavbe.

Grafikon 24 prikaže, da stavba z visoko maso na letni ravni bolje uravnava pasivne solarne dobitke od stavbe z nizko maso, kar je najbolj očitno poleti. Pojav je posledica nižjega toplotnega toka med zunanostjo in notranostjo, zato je tudi časovni zamik prehoda toplote daljši, kot pri stavbah z nizko maso. Pri stavbah z visoko maso ta znaša 12 ur, pri stavbah z nizko pa 3 ure [39]. Program ima pripisan tudi ukaz, da z ukrepom senčenja zasteklitev zaustavi vse direktne solarne dobitke, kadar ti v stavbi niso zaželeni [39]. Zaradi visokih poletnih temperatur predvsem v letu 2050 ta ukrep prinese slabše rezultate kot v letih 2010 in 2020. V letu 2020 zagotavlja udobje v 815 urah, kar je 96 ur več kot v 2010, v letu 2050 pa v 771 urah, kar je 44 ur manj kot v 2020.



Grafikon 24: Ukrep 11 – Pasivni solarni dobitki pri visoki masi stavbe.

Skozi obravnavana obdobja pridobivata na pomembnosti predvsem ukrepa visoke mase z nočnim hlajenjem (ukrep 4) ter senčenja (ukrep 2) in sicer z izrazitim vrhom v času sezone hlajenja. To je pričakovano, saj vemo, da konstrukcija z visoko maso akumulira več toplote od konstrukcije z nižjo maso, prav tako ima daljši časovni zamik oddaje toplote nazaj v okolico. Slednje se zgodi v nočnem času, kadar temperature zraka padejo, za večjo učinkovitost se odprejo okna, s čimer se poveča izmenjava zraka med notranjostjo in okolico. Pomembnost tega ukrepa na letni ravni naraste s 420 ur v letu 2010 na 841 ur v letu 2050. Samo ukrep visoke mase stavbe (ukrep 3) ne prinese tako dobrih rezultatov, saj raste skozi leta precej manj in sicer s 412 ur v letu 2010 na 587 ur v letu 2050. Še manj raste ukrep pasivnih solarnih dobitkov pri visoki masi stavbe (11), čeprav zagotavlja veliko skupno število ur udobja. Od leta 2010 do 2050 namreč naraste s 718 na 771 ur. Primerno senčenje je pomembno v mesecih od aprila do oktobra z vrhom julija. Na letni ravni potreba po senčenju naraste s 692 ur v letu 2010 na 955 ur v letu 2050. Letna razporeditev primernosti ukrepa naravnega prezračevanja (ukrep 7) za zagotavljanje toplotnega udobja je podobna prejšnjima ukrepoma, vendar zagotavlja udobje le v 307–394 urah letno. Pasivni solarni dobitki pri nizki masi stavbe (ukrep 10) predstavljajo učinkovit ukrep zagotavljanja udobja v prehodnih mesecih, torej predvsem med marcem in majem ter septembra in oktobra. V izrazito poletnih in zimskih mesecih ta ukrep ne zagotavlja udobja, saj so takrat temperature zunanjega zraka previsoke oziroma prenizke. Na letni ravni število ur pada od 412 v letu 2010 do 298 v letu 2050.

Posamična analiza možnih ukrepov brez apliciranja na stavbo težko poda realno sliko obnašanja le-teh, zato jih bomo v nadaljevanju naloge preverili še na modelu in analizirali njihove vplive na energijsko učinkovitost stavbe. Analizo lahko zaključimo z vzpostavitvijo hierarhije pomembnosti ukrepov. Leta 2010 in 2020 smo z ukrepoma 11 in 2 zagotovili največ udobja, sledijo ukrepi 4, 3, 10 in na koncu 7. Leta 2050 je na prvem mestu ukrep 2, sledita 4 in 11, za njimi pa 3, 7, 10. Najbolj torej pridobivata na pomenu ukrepa senčenja in visoke mase stavbe.

5 MODELIRANJE STAVBE

Sledi predstavitev geometrije in ostalih karakteristik izhodiščnega modela stavbe, nato pa v poglavju 5.3 Ukrepi še predstavitev zastavljenih ukrepov za izboljšanje energijske učinkovitosti stavbe. Pri načrtovanju hiše smo sledili zakonskim zahtevam za načrtovanje stavb iz poglavja 3.2 in načelom trajnostnega načrtovanja z implementacijo pasivne solarne arhitekture in rabo OVE. Tako izhodiščni model, kot predstavljeni ukrepi in izbrane kombinacije ukrepov bodo kasneje analizirani v treh časovnih obdobjih (2010, 2020, 2050), saj želimo prikazati razlike v smiselnosti uvedbe posameznega ukrepa glede na časovno obdobje. Modeli za analizo so ustvarjeni v programskem orodju BEopt [2].

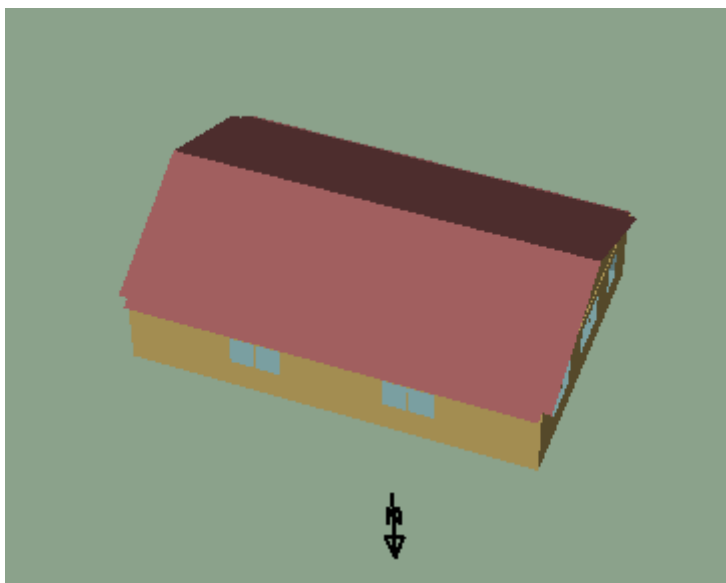
5.1 Zasnova stavbe

Analiziramo model pritlične enodružinske hiše pravokotnega tlorisa z dvokapno streho in odprto etažo do strešne konstrukcije. Neto uporabna površina znaša 100 m², prostornina 320 m³, vsi prostori so bivalni in ogrevani, torej imamo samo eno toplotno cono. Za takšno zasnovo smo se odločili po pregledu arhiva Statističnega urada RS [50] za povprečne velikosti stanovanj in gospodinjstev v Sloveniji in zaključili, da znaša primerna velikost bivalnih prostorov približno 30 m²/osebo. Izbrana kvadratura je ustrežna za bivanje treh do štirih družinskih članov. Karakteristike izhodiščne stavbe so predstavljene v Preglednici 16.

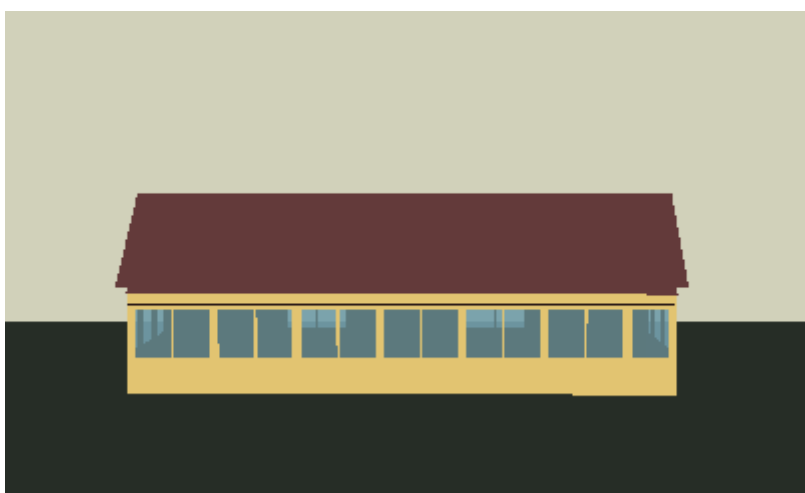
Preglednica 16: Karakteristike izhodiščne stavbe.

Načrt	Izhodiščna stavba
Enodružinska hiša	3–4-članska
Tloris (zunanje dimenzije)	13,7 x 9,1 m = 125 m ² (uporabna površina 100 m ²)
Prostornina	320 m ³
Svetla etažna višina	2,5 m
Tip in naklon strehe	dvokapnica; 14°
Globina napušča	0,3 m
Namembnost prostorov	bivalni – ogrevani
Notranje temperature	čas ogrevanja: T = 21,5 °C (v času neuporabe stavbe 18 °C) čas hlajenja: T = 25 °C (v času neuporabe stavbe 27 °C)
Orientacija stavbe	SV – JZ
Sosednje stavbe	brez
Okolje	predmestje

Stavba je postavljena v predmestje Ljubljane in orientirana smer SV–JZ (45° zamik od severne osi), torej daljše stranice stavbe na severovzhod in jugozahod, saj z južno orientacijo najbolj izkoriščamo popoldanske solarne dobitke skozi ovoj stavbe. Zaradi istega razloga postavimo zasteklitev, katere karakteristike so predstavljene v Preglednici 18, pretežno na južno fasado. Morebitne sosednje stavbe izključimo iz analize, saj želimo preveriti kakšen je potencial lokacije za solarne dobitke. Ta model je naše analitično izhodišče (0), saj ukrepe št. 1–10 v vseh treh časovnih obdobjih ocenjujemo glede nanj.



Slika 8: Orientacija in pogled na severovzhodno fasado [2].



Slika 9: Jugovzhodna fasada [2].

Za optimalnejšo rabo energije v stavbi nastavimo urnike ogrevanja in hlajenja, grafično predstavljene v Prilogah A in B. Znotraj dnevnega urnika nastavimo urne operativne vrednosti ločeno za delovne dni in za konec tedna. Kot je zapisano v Preglednici 16, ogrevamo prostore v času rabe stavbe na $21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, v času neuporabe stavbe oz. ponoči temperaturo uravnavamo na $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. V času hlajenja želimo med rabo stavbe doseči $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, v času neuporabe stavbe in ponoči pa je sistem nastavljen na $27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sistem gretja uravnava temperaturo v sezoni ogrevanja od ponedeljka do petka med 4–8 h zjutraj in med 13–23 h popoldne oziroma zvečer na $21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, preostali čas se temperatura zraka uravnava na $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sistem ogrevanja se aktivira dovolj zgodaj, da je hiša v času pričetka dneva za člane družine že ogreta, potem, ko se odpravijo v službo oz. šolo, je temperatura ponovno uravnana na $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ob koncu tedna med 6–23h je sistem uravnan na željeno temperaturo $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sistem hlajenja uravnava temperaturo v sezoni hlajenja od ponedeljka do petka med 13–22h, saj zgodaj zjutraj, ko se člani družine odpravljajo v službo oz. šolo, še ni potrebe po hlajenju, ponovno pa se aktivira dovolj zgodaj, da so prostori ob

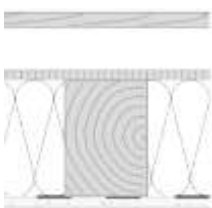
prihodu družine nazaj domov že ohlajeni. V nočnem terminu ni potrebe po aktivnem hlajenju, preostanek časa temperaturo uravnavamo na 27 °C.

5.2 Karakteristike stavbe

Pri določanju konstrukcijskih sklopov ovoja stavbe se sklicujemo na minimalne predpise TSG4 [7]. Tudi ostale karakteristike stavbe so omejene s predpisi, omenjenimi v poglavju 3.2 Zakonske zahteve za načrtovanje stavb. V stavbo so vgrajeni stroškovno učinkoviti sistemi za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje in pripravo tople sanitarne vode ter primerna razsvetljava.

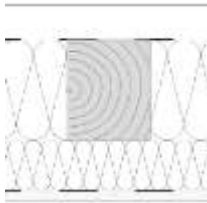
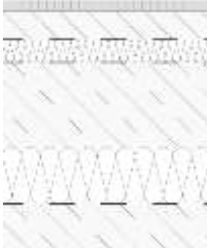
Preglednica 17 prikazuje konstrukcijske sklope ovoja stavbe in predelnih sten prvotne zasnove lesene stavbe, ki ustreza minimalnim predpisom toplotne prehodnosti ovoja stanovanjskih stavb po TSG4 [7]. Položaja predelnih sten v programskem orodju ne gre definirati, privzeto je le, da je seštevek njihovih površin enak površini tal, torej 100 m².

Preglednica 17: Karakteristike konstrukcijskih sklopov izhodiščne stavbe.

Zunanja stena	Konstrukcijski sklop		
 Slika 10: KS zunanje stene.	Material (sledijo si od zunaj proti znotraj)	λ [W/mK]	d [m]
	Lesena fasadna obloga	0,14	0,02
	Lesena podkonstrukcija, vzdolžne letve	/	0,05
	OSB plošča	0,13	0,012
	Leseni okvirji, zapolnjeni s poliuretansko peno	0,04	0,14
	Parna ovira	0,22	0,0002
	MKP	0,21	0,0125
	Finalni premaz	0,25	0,001
	$U = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Predelna stena	Konstrukcijski sklop		
 Slika 11: KS predelne stene.	Material	λ [W/mK]	d [m]
	Finalni premaz	0,25	0,001
	MKP	0,21	0,0125
	kovinska podkonstrukcija, kamena volna	0,037	0,06
	MKP	0,21	0,0125
	Finalni premaz	0,25	0,001
	$U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$		

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 17

Streha	Konstrukcijski sklop		
 Slika 12: KS strehe.	Material (sledijo si od zunaj proti znotraj)	λ [W/mK]	d [m]
	Pločevinasta kritina	50	0,0005
	Letve 5x6 cm prečno, vzdolžno na 0,4 m	/	0,05
	Strešna lepenka brez posipa	0,19	0,0013
	Leseni špirovci, medprostor zapolnjen s stekleno volno	0,035	0,12
	Lesena podkonstrukcija s stekleno volno	0,035	0,06
	PE folija	0,22	0,0002
	MKP	0,21	0,0125
	Finalni premaz	0,25	0,001
	U = 0,19 W/m²K		
Tla	Konstrukcijski sklop		
 Slika 13: KS tal.	Material (sledijo si od zunaj proti znotraj)	λ [W/mK]	d [m]
	Podložni beton	2,0	0,08
	Bitumen	0,17	0,0012
	XPS	0,038	0,1
	PE folija	0,4	0,0002
	AB plošča	2,0	0,15
	Kamena volna	0,038	0,04
	PE folija	0,4	0,0002
	Estrih	1,4	0,05
	Parket	0,21	0,02
U = 0,25 W/m²K			

Izberemo lesena okna z dvoslojno zasteklitvijo s polnilom iz argona v medstekelnem prostoru in nizkoemisijским premazom low-E, kot prikazuje Preglednica 18. Pri izbiri zasteklitve se osredotočimo predvsem na vrednost toplotne prehodnosti zasteklitve (U_g) in faktor prepustnosti sončnega sevanja (g). Določimo WWR faktor, razmerje med transparentnim in netransparentnim delom stavbnega ovoja. Za boljši izkoristek solarnih dobitkov je zasteklitev pretežno na južni fasadi. V Preglednici 18 so orientacije fasad oz. zasteklitev zapisane s kombinacijo kratic za glavne smeri neba (S, J, V, Z). Apliciramo primerna senčila, t.j. zunanje žaluzije. Zanje se odločimo, ker v primerjavi z notranjimi žaluzijami učinkoviteje preprečijo vstop sončnemu sevanju, z reguliranjem kota lamel pa lahko uravnavamo količino svetlobe, spuščene v prostore. Faktorji senčenja, v razponu vrednosti od 0 do 1, predstavljajo vrednost za določen mesec, s katero se pomnožijo dejanski dobitki sončnega sevanja skozi transparentne površine. Faktor 0 pomeni 100 % senčenje zasteklitev, faktor 1 pa stanje brez redukcije solarnih dobitkov skozi zasteklitev. Tako poletnim mesecem pripišemo nižje vrednosti teh faktorjev, saj želimo preprečiti pregrevanje notranjosti stavbe. Z nadstreškom nad okni na južni fasadi želimo omiliti količino direktnega sončnega sevanja predvsem v poletnih mesecih, kadar je pot oziroma lega sonca na nebu višja kot pozimi.

Preglednica 18: Karakteristike zasteklitve izhodiščne stavbe.

Zasteklitev	Izhodiščna stavba
Okna	lesen okvir, dvojna zasteklitev, argon, low-E premaz $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ $g = 0,62$ [51]
WWR	JZ = 40 % ($A_g = 13,4 \text{ m}^2$) JV, SZ = 20 % ($A_g = 4,4 \text{ m}^2$) SV = 10 % ($A_g = 3,4 \text{ m}^2$)
Senčenje	zunanje žaluzije april – september = 0,5 oktober – marec = 0,95
Globina nadstreška nad okni na južni fasadi	globina 0,6 m

Pri mehanskem prezračevanju smo omejeni na nabor predlaganih možnosti v programskem orodju, tako izberemo najintenzivnejšega med tistimi z rekuperacijo in sicer tipa ERV (rekuperacija z vračanjem energije in vlage) stopnje $0,5 \text{ h}^{-1}$ za zasedeno oziroma $0,2 \text{ h}^{-1}$ za nezasedeno stavbo, kot je vidno iz Preglednice 19. Programsko orodje avtomatsko doda še dnevno lokalno prezračevanje kuhinje trajanja 1 h stopnje $5,7 \text{ h}^{-1}$ in kopalnice trajanja 1 h stopnje $1,7 \text{ h}^{-1}$. Čeprav z vgrajenimi sistemi mehanskega prezračevanja z rekuperacijo in dodatno okrepljenega prezračevanja kuhinje ter kopalnice enkrat dnevno v stavbi ni potrebe po naravnem prezračevanju, dovolimo kratkotrajno možnost odpiranja oken ali vrat trikrat tedensko za namen povečanja bivalnega udobja, vendar le v primerih, ko dosegamo projektirane temperature notranjega zraka in vlage v zraku. Za namen naravnega prezračevanja se odpre tretjina vseh oken ali vrat v hiši in sicer za 20 % zmožnosti odpiranja.

Toplotna črpalka zrak/voda izkorišča razliko v temperaturi zunanjega in notranjega zraka za ogrevanje oziroma hlajenje vode, ki kroži po integriranem sistemu. Za delovanje toplotne črpalke je seveda potrebna tudi energija. Hladilna in grelna kapaciteta oz. razmerje med brezplačno energijo, pridobljeno iz okolice (v našem primeru zraka) in plačano energijo (elektriko) je pri najnovejših črpalkah 5 in več, kar pomeni, da za 5 kWh pridobljene toplotne energije uporabnik plača 1 kWh, 4 kWh pa dobi brezplačno [52]. Za optimalnejšo rabo energije za ogrevanje in hlajenje stavbe smo kot že omenjeno nastavili urnike ogrevanja in hlajenja, predstavljene v Preglednici 16.

Preglednica 19: Karakteristike sistemov za prezračevanje, ogrevanje in hlajenje izhodiščne stavbe.

Prezračevanje, ogrevanje, hlajenje	Izhodiščna stavba
Mehansko	prisotnost/odsotnost ljudi v prostorih: $n = 0,5 \text{ h}^{-1} / 0,3 \text{ h}^{-1}$
Naravno	3 x tedensko
Način ogrevanja/hlajenja	TČ zrak/voda, dvostopenjska; COP = 3,7

Povprečne vrednosti rabe sanitarne vode (90–160 l/os/dan) za ZDA najdemo v priročniku Building America Benchmark [6]. Ker za povprečno slovensko gospodinjstvo velja približno enkrat nižja raba, vrednost faktoriramo z 0,5 [30]. Upoštevamo 50 litrov dnevne rabe sanitarne vode po osebi, tako da je

za 3–4 člansko družino primerna 190–litrška TČ za ogrevanje sanitarne vode, kar je zapisano v Preglednici 20.

Preglednica 20: Karakteristike sistemov za pripravo tople sanitarne vode izhodiščne stavbe.

Sanitarna voda	Izhodiščna stavba
Ogrevanje	TČ zrak/voda $V = 190 \text{ l}$; $\text{COP} = 2,8$
Raba	$\approx 50 \text{ l/os/dan}$ [6]

Gospodinjiski aparati, razsvetljava in ostale električne naprave so velik potrošnik električne energije, prav tako pa veliko energije v obliki odpadne toplote oddajo v prostor. Skupno s toplotnim tokom, ki ga oddajajo uporabniki stavbe, jih štejemo med notranje vire energije. Ta je dobrodošla predvsem v ogrevalnem delu leta, kadar viri dodatno dogrejejo prostore, v poletnih mesecih pa nam povzroča nepotrebno dodatno toploto v stavbi. Pri naslednjih podatkih o notranjih virih energije se sklicujemo na vrednosti iz standarda SIST EN ISO 13790 [54] za primer enodružinske hiše. Toplotni tok, ki ga oddaja ena oseba znaša 70 W, vrednost toplote, ki jo odda razsvetljava pa 8 W/m². Pri obravnavi dobitkov notranjih virov so pomembni urniki delovanja naprav, rabe razsvetljave in prisotnosti uporabnikov v stavbi. Uvedemo prednastavljen urnik delovanja gospodinjiskih aparatov [57], prikazan v Prilogi C. Na njem je prikazan delež povprečnega urnega delovanja vseh aparatov na dnevni ravni. Vidimo, da naprave najintenzivneje, s 50–60 % deležem delovanja vseh naprav, delujejo v večernem času med 17–22 h. Programsko orodje [2] privzame rabo razsvetljave, prikazane v Prilogi D. Ta je predstavljena z urnim povprečjem delovanja čez dan in posplošena na mesečno raven. Viški rabe razsvetljave so vidni predvsem v večernem času in zjutraj, s širšim časovnim oknom rabe v zimskih mesecih. Urnik prisotnosti uporabnikov stavbe, predložen v Prilogi E, prikazuje dnevni delež prisotnosti oseb v stavbi za eno osebo [2]. Karakteristike porabnikov energije in notranjih virov energije so predstavljene v Preglednici 21.

Preglednica 21: Karakteristike porabnikov energije in notranjih virov energije izhodiščne stavbe.

Raba energije in notranji viri energije	Izhodiščna stavba
Gospodinjiski aparati	hladilnik, štedilnik s pečico, pomivalni stroj, pralni stroj (skupna priključna moč 10 kW)
Razsvetljava	LED (gostota moči 8 W/m ²)
Raba energije – ostale el. naprave	manjši gospodinjiski aparati, multimedija ipd. (skupna priključna moč 3kW)
Uporabniki stavbe – toplotni tok	$4 \times 70 \text{ W} = 280 \text{ W}$

Zaradi želje po zmanjšanju vpliva stavbe na okolje zaradi rabe energije na streho namestimo fotovoltaike. Mikro sončnim elektrarnam z največjo nazivno močjo 11 kVA omogoča uredba o samooskrbi z električno energijo iz OVE v Republiki Sloveniji priklop na elektrodistribucijsko omrežje s posebnim načinom priključitve in obračuna električne energije, ki se imenuje »net-metering« oz. neto meritev [53]. Ta deluje na osnovi števca električne energije, ki se vrti v obe smeri, električno omrežje pa deluje kot hranilnik električne energije. Podnevi ali poleti, kadar sončna elektrarna proizvaja več električne energije kot jo objekt rabi, oddaja viške v omrežje, ponoči in pozimi pa objekt jemlje

električno energijo iz omrežja. Za določitev površine sončnih celic, nameščenih na streho stavbe v praksi računamo 7,5 do 8 m² strehe za 1 kWp moči sončnih celic, tako da imamo za naš primer na voljo okrog 8 kWp moči za območje strešne površine, obrnjene proti jugu. Moč Wp je vršna moč (peak), ki velja le pri 25 °C, sončnem sevanju 1000 W/m² in določeni gostoti zraka, kar pomeni, da je realna normalna efektivna moč nižja. Za 1 kWp moči dobimo proizvedenih 1000–1100 kWh energije, odvisno od lokacije, osenčenosti celic in že navedenih pogojev [53]. Hiša, velika 150–200 m², potrebuje 5–6 kWp elektrarno, v povprečnem slovenskem gospodinjstvu pa znaša raba elektrike približno 4000–5000 kWh na leto [30]. Odločimo se za sončno elektrarno moči 4 kWp, kot je zapisano v Preglednici 22.

Preglednica 22: Karakteristike fotovoltaike za izhodiščno stavbo.

Proizvodnja energije	Izhodiščna stavba
Fotovoltaika	Moč: 4 kWp Orientacija: J Naklon: 30°

5.3 Ukrepi

Pri izbiri ukrepov sledimo glavnemu cilju naloge, ta je izboljšava zasnove stavbe z namenom izboljšanja njene energijske učinkovitosti, torej zmanjšanja rabe energije za obratovanje v treh izbranih obdobjih. Osredotočimo se na Q_{nh} in Q_{nc} . Pri temu si pomagamo z ugotovitvami in izbranimi strategijami za doseganje toplotnega udobja iz poglavja 4.3 Bioklimatska analiza lokacije.

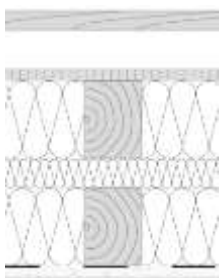
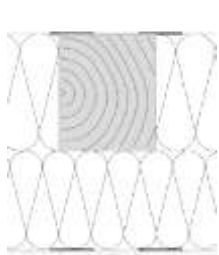
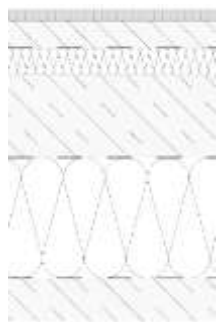
Pri prvem ukrepu (Preglednica 23) želimo preveriti ustreznost orientacije izhodiščnega modela. Ta je pomembna zaradi možnosti pasivnega solarnega ogrevanja, ki ga lahko koristimo predvsem v zimskem in prehodnem obdobju. Preverimo, ali bo posledica ukrepa višanje dobitkov sončnega sevanja in s tem nižanje potrebe po ogrevanju v zimskem času ter poletno pregrevanje stavbe in posledično višanje potrebe po hlajenju v poletnem času. Ostale karakteristike stavbe ostanejo nespremenjene.

Preglednica 23: Sprememba orientacije stavbe.

Ukrep št. 1	
Orientacija stavbe	S–J

Preglednica 24 prikazuje ukrep št. 2, tako izboljšavo toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov zunanjih sten, strehe in tal, da bo stavba nizkoenergijska. S tem dosežemo nižanje izgub toplote oziroma hladu stavbe v okolico in posledično nižjo stopnjo dovedene energije za ogrevanje in hlajenje. Zasnova konstrukcijskih sklopov, z razliko povečanja debeline toplotne izolacije, ostaja podobna izhodiščni. Z izboljšano zasnovo KS–jev toplotnega ovoja stavbe smo želeli doseči vrednosti $U_{sten} = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{strehe} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ in $U_{tal} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ [55].

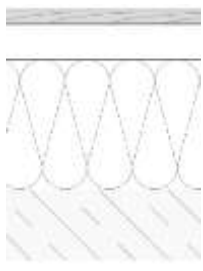
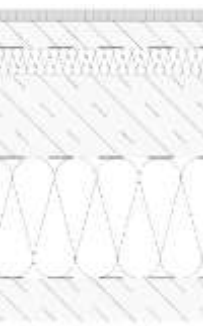
Preglednica 24: Izboljšanje toplotne prehodnosti KS-jev.

Ukrepi št. 2			
Zunanja stena	Konstruktivski sklop		
 Slika 14: KS zunanje stene po ukrepih (nizka masa).	Material (sledijo si od zunaj proti znotraj)	λ [W/mK]	d [m]
	Lesena fasadna obloga	0,14	0,02
	Lesena podkonstrukcija, vzdolžne letve	/	0,05
	OSB plošče	0,13	0,012
	Dvojni leseni okvirji zapolnjeni s stekleno volno	0,032	0,16
	Parna ovira	0,22	0,0002
	MKP	0,21	0,0125
	Finalni premaz	0,25	0,001
	$U = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Streha	Konstruktivski sklop		
 Slika 15: KS strehe po ukrepih (nizka masa).	Material (sledijo si od zunaj proti znotraj)	λ [W/mK]	d [m]
	Pločevinasta kritina	50	0,0005
	Letve 5x6 cm prečno, vzdolžno na 0,4 m	/	0,05
	Strešna lepenka brez posipa	0,19	0,0013
	Leseni špirovci, medprostor zapolnjen s stekleno volno	0,032	0,12
	Lesena podkonstrukcija s stekleno volno	0,032	0,1
	PE folija	0,22	0,0002
	MKP	0,21	0,0125
	Finalni premaz	0,25	0,001
	$U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Tla	Konstruktivski sklop		
 Slika 16: KS tal po ukrepih (nizka masa).	Material (sledijo si od zunaj proti znotraj)	λ [W/mK]	d [m]
	Podložni beton	2,0	0,08
	Bitumen	0,17	0,0012
	XPS	0,038	0,22
	PE folija	0,4	0,0002
	AB plošča	2,0	0,15
	Kamena volna	0,038	0,05
	PE folija	0,4	0,0002
	Estrih	1,4	0,05
	Parket	0,21	0,02
	$U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$		

Pri ukrepu št. 3 smo lahke lesene konstrukcijske sklope zamenjali s težjimi, armiranobetonskimi, saj nas zanimajo razlike med obnašanjem lahke stavbe in stavbe z višjo maso kot posledica temperaturnih razlik zunanjega zraka. Tudi pri temu ukrepu želimo doseči tako izboljšavo toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov zunanjih sten, strehe in tal, da bo stavba nizkoenergijska. Ohranimo leseno streho, saj programsko orodje ni ponujalo možnosti armiranobetonske strehe, sestava talne konstrukcije

pa je enaka kot pri ukrepu št. 2. Preglednica 25 prikazuje konstrukcijske sklope armiranobetonske stavbe.

Preglednica 25: izboljšanje toplotne prehodnosti in višanje mase KS–jev.

Ukrep št. 3			
Zunanja stena	Konstrukcijski sklop		
 Slika 17: KS zunanje stene po ukrepih (visoka masa).	Material (sledijo si od zunaj proti znotraj)	λ [W/mK]	d [m]
	Lesena fasadna obloga	0,14	0,02
	Kovinska podkonstrukcija, vzdolžno	/	0,05
	steklena volna, vodoodbojna	0,035	0,18
	AB stena	2,0	0,1
	Finalni premaz	0,25	0,001
	$U = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Streha	Konstrukcijski sklop		
 Slika 18: KS strehe po ukrepih (visoka masa).	Material (sledijo si od zunaj proti znotraj)	λ [W/mK]	d [m]
	Pločevinasta kritina	50	0,001
	Letve 5x6 cm prečno, vzdolžno na 0,4 m	/	0,05
	Strešna lepenka brez posipa	0,19	0,0013
	SIP panel (OSB+XPS+OSB)	0,146	0,29
	MKP	0,21	0,0125
	Finalni premaz	0,25	0,001
	$U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Tla	Konstrukcijski sklop		
 Slika 19: KS tal po ukrepih (visoka masa).	Material (sledijo si od zunaj proti znotraj)	λ [W/mK]	d [m]
	Podložni beton	2,0	0,08
	Bitumen	0,17	0,0012
	XPS	0,038	0,22
	PE folija	0,4	0,0002
	AB plošča	2,0	0,15
	Kamena volna	0,038	0,05
	PE folija	0,4	0,0002
	Estrih	1,4	0,05
	Parket	0,21	0,02
	$U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$		

Tudi zasteklitev predstavlja del stavbnega ovoja, vendar želimo vpliv izboljšanja toplotne prehodnosti zasteklitve preveriti v posebnem ukrepu št. 4, saj je vrsta zasteklitve pomembna tudi za izkoriščanje pasivnega ogrevanja prostorov. Namestimo troslojno zasteklitev, ki ima nižjo toplotno prehodnost v primerjavi z izhodiščno dvoslojno, prav tako ima nižjo energijsko prehodnost, kar bo pomenilo manj

solarnih dobitkov v notranjosti stavbe. Karakteristike izboljšane zasteklitve so predstavljene v Preglednici 26.

Preglednica 26: Izboljšanje kvalitete zasteklitve

Kvaliteta zasteklitve	Ukrep št. 4
Okna	Lesen okvir, trojna zasteklitev, argon, low-E premaz $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ $g = 0,48$ [51]

Z ukrepom št. 5 (Preglednica 27) želimo preveriti, kakšen vpliv ima večanje oz. manjšanje razmerja med transparentnim in netransparentnim delom stavbnega ovoja na rabo energije stavbe. Orientacije fasad oz. zasteklitev zapišemo s kombinacijo kratic za glavne smeri neba (S, J, V, Z). Pri ukrepu 5a povečamo delež WWR JZ fasade s 40 na 60 %, JV in SZ fasade z 20 na 30 %, medtem ko SV ostane 10 %. Pri ukrepu 5b zmanjšamo delež WWR JZ fasade s 40 na 30 %, JV in SZ fasade z 20 na 10 % ter SV z 10 na 5 %.

Preglednica 27: Sprememba WWR-ja.

Razporeditev zasteklitve po fasadah	Ukrepa št. 5a in 5b
WWR	JZ = 60 % ($A_g = 20,1 \text{ m}^2$) JV, SZ = 30 % ($A_g = 6,7 \text{ m}^2$) SV = 10 % ($A_g = 3,4 \text{ m}^2$)
	JZ = 30 % ($A_g = 10,0 \text{ m}^2$) JV, SZ = 10 % ($A_g = 2,2 \text{ m}^2$) SV = 5 % ($A_g = 1,7 \text{ m}^2$)

Preglednica 28 prikaže spremembo karakteristik senčenja. Nameščena senčila, t.j. zunanje žaluzije so primerna, zato jih ne menjamo, z ukrepom št. 6 povečamo le stopnjo senčenja poleti z 0,5 na 0,4. Za to se odločimo, ker v prihodnje pričakujemo povišano sončno sevanje in želimo preprečiti poletno pregrevanje stavbe.

Preglednica 28: Višanje stopnje senčenja v poletnih mesecih.

Senčenje	Ukrep št. 6
Senčenje	zunanje žaluzije maj – avgust = 0,4

Z ukrepom št. 7, predstavljenim v Preglednici 29, želimo preveriti ali večanje globine nadstreška nad okni na južni fasadi ugodno omili količino direktnega sončnega sevanja predvsem v poletnih mesecih, kadar je pot oziroma lega sonca na nebu višja kot pozimi. Nasprotno pa ne želimo zmanjšanja solarnih dobitkov pozimi.

Preglednica 29: Večanje globine nadstreška.

Dodatno senčenje	Ukrep št. 7
Globina nadstreška nad okni na južni fasadi	Globina 0,9 m

Za namen povečanja bivalnega udobja, vendar le v primerih, ko dosegamo projektirane temperature notranjega zraka in vlage v zraku, dovolimo vsakodnevno naravno prezračevanje, v poletnih mesecih v nočnem času. V času prezračevanja se odpre tretjina vseh oken ali vrat v hiši in sicer za 20 % zmožnosti odpiranja. To predstavlja naš ukrep št. 8, predstavljen v Preglednici 30.

Preglednica 30: Višanje stopnje naravnega prezračevanja.

Prezračevanje	Ukrep št. 8
Naravno	7 x tedensko

Kot ukrep št. 9 zamenjamo sistem ogrevanja in hlajenja in sicer na toplotno črpalko voda/voda. Namestitev sistema predstavlja veliko investicijo, saj je potrebna izvedba vrtin. Temperatura podtalne vode niha minimalno, prav tako je specifična toplota vode več kot 4x višja od specifične toplote zraka [56], zato je TČ voda/voda energijsko učinkovitejša. Za primerljivost rezultatov z izhodiščem ohranimo enak COP. Karakteristike toplotne črpalke so predstavljene v Preglednici 31.

Preglednica 31: Menjava sistema ogrevanja/hlajenja.

Ogrevanje, hlajenje	Ukrep št. 9
Način ogrevanja/hlajenja	TČ voda/voda, dvostopenjska; COP = 3,7

Dobro izolirana stavba ima manjše izgube toplote v sezoni ogrevanja in hladu v sezoni hlajenja. V času neuporabe stavbe in ponoči bi bilo v želji po znižanju dovedene energije za ogrevanje in hlajenje bolj smiselno ugasniti regulacijo ogrevanja in hlajenja, vendar le, če v stavbi dosegamo temperaturo udobja in se stavba ne pregreva ali podhladi, kar bi lahko privedlo do nastanka kondenzacije in posledično plesni ali do višje potrebe po dovedeni energiji za ponovno ogrevanje oz. hlajenje prostorov. Kot ukrep št. 10, predstavljen v Preglednici 32, preizkusimo kako se stavba obnese s prekinjeno regulacijo notranje temperature na 21,5 °C v ogrevalni in 25 °C v hladilni sezoni. Urniki aktivnega delovanja ostanejo enaki kot v izhodiščem primeru, le-ti so prikazani v Prilogah A in B.

Preglednica 32: Sprememba urnikov ogrevanja/hlajenja.

Urniki ogrevanja in hlajenja	Ukrep št. 10
Notranje temperature	Čas ogrevanja (raba stavbe): T = 21,5 °C Čas hlajenja (raba stavbe): T = 25 °C

5.4 Kombinacije ukrepov

Tako kot pri izbiri ukrepov, tudi pri izbiri kombinacije ukrepov sledimo glavnemu cilju naloge, ta pa je izboljšava zasnove stavbe z namenom izboljšanja njene energijske učinkovitosti. Preveriti želimo ali so

ukrepi medsebojno kompatibilni, torej ali kombinacija ukrepov vodi do nižanja stopnje dovedene energije. Tudi tu se osredotočimo na višino dovedene energije za ogrevanje in hlajenje. Pri tem si pomagamo z rezultati simulacij rabe energije za posamičen ukrep, na podlagi česar izberemo tiste, ki najbolj znižajo količino dovedene energije za ogrevanje oz. hlajenje. To storimo za vsa tri izbrana obdobja, zavedamo pa se, da se bo končna izbira kombinacije ukrepov razlikovala po obdobjih. Kot skozi celotno nalogo tudi zdaj predvidevamo, da bo skozi čas naraščala pomembnost preprečevanja pregrevanja zaradi sončnega sevanja v sezoni hlajenja.

Za posamično obdobje določimo 4 končne kombinacije ukrepov A, B, C in D ki izhajajo iz hipotez, zastavljenih na začetku naloge. Le-te se nanašajo na pomembnost načrtovalskega ukrepa zmanjšanja toplotne prehodnosti stavbnega ovoja, kamor spada tudi zasteklitev in pozitivnega učinka časovnega zamika prehoda toplote skozi konstrukcijo z visoko maso. Tako dobimo naslednjo osnovo izbora ukrepov, ki jih, glede na stopnjo nižanja količine dovedene energije za ogrevanje in hlajenje po posamičnem obdobju, kasneje dopolnimo še z ostalimi ukrepi:

- A: nizka masa stavbe,
- B: nizka masa stavbe z izboljšanim U-jem zasteklitve (ukrep 4),
- C: visoka masa stavbe,
- D: visoka masa stavbe z izboljšanim U-jem zasteklitve (ukrepa 3 in 4).

6 REZULTATI RABE ENERGIJE STAVBE

V nadaljevanju najdemo prikaz energijskih simulacij izhodiščnega modela, posameznih ukrepov in kombinacije ukrepov za leta 2010, 2020 in 2050. Pri vrednotenju rezultatov se nanašamo na dovedeno energijo Q_e v stavbi [kWh/m^2], ki jo, razčlenjeno po komponentah, prikažemo še v odstotkih spremembe višine dovedene energije glede na izhodiščni model. Dovedena energija Q_e je sestavljena iz štirih komponent: Q_{nh} , Q_{nc} , dovedena energija za pripravo tople vode in ostali viri rabe energije. Med slednje štejemo razsvetljavo, gospodinjske aparate, prezračevanje in ostale električne ter elektronske naprave, katerih karakteristike letnega povprečja rabe energije so predstavljene v Preglednici 33. Ta komponenta dovedene energije ostaja skozi vse faze simulacij nespremenjena, saj z načrtovalskimi ali gradbenimi posegi na njeno bilanco ne moremo vplivati, prav tako ni odvisna od podnebnih sprememb [27]. Ker podnebne spremembe nimajo vpliva na rabo energije za pripravo tople vode, se osredotočimo predvsem na opazovanje sprememb v višini dovedene energije za ogrevanje, ki predstavlja največji delež rabe energije v stavbi in opazujemo kaj se skozi časovna obdobja dogaja z dovedeno energijo za hlajenje. Za lažjo primerjavo rezultatov in učinkovitejše vrednotenje sprememb vsak ukrep primerjamo z izhodiščnim modelom. Zanima nas tudi energijski deficit stavbe, ki ga določimo kot razliko med dovedeno energijo in energijo, proizvedeno s fotovoltaiko, nameščeno na streho stavbe.

Preglednica 33: Ostali viri rabe energije.

Ostali viri rabe energije	[kWh/m^2]
Razsvetljava (Q_e)	8,21
Gospodinjski aparati (Q_e)	7,97
Prezračevanje (Q_e)	3,02
Ostale el. naprave (Q_e)	10,11
Skupno (Q_e)	29,31

6.1 Izhodiščni model

Sledi prikaz rezultatov simulacij izhodiščnega modela za leta 2010, 2020 in 2050, ki služijo za primerjavo učinkovitosti nadaljnje uvedbe načrtovalskih ukrepov in izbire končne kombinacije le-teh.

6.1.1 Analiza rabe energije v letu 2010

Preglednica 34 prikazuje energijsko bilanco modela izhodiščne stavbe v letu 2010. Skupna dovedena energija izhodiščne stavbe znaša $58,3 \text{ kWh/m}^2$, od tega predstavlja 37,1 % oz. $21,6 \text{ kWh/m}^2$ dovedeno energijo za ogrevanje in 3,7 % oz. $2,1 \text{ kWh/m}^2$ energijo za hlajenje, kar skupno nanese 40,8 % deleža celotne dovedene energije oz. $23,7 \text{ kWh/m}^2$. Leta 2010 fotovoltaika na strehi generira $36,8 \text{ kWh/m}^2$, kar predstavlja 63,2 % deleža celotne dovedene energije v stavbi. Deficit energije tako znaša $21,5 \text{ kWh/m}^2$.

Preglednica 34: Energijska bilanca modela izhodiščne stavbe v letu 2010

	0	
	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]
Q _{nh}	21,6	37,1
Q _{nc}	2,1	3,7
Priprava tople vode (Q _e)	5,2	8,9
Ostalo (Q _e)	29,3	50,3
Skupna (Q _e)	58,3	/
PV generirana energija	36,8	63,2
Deficit energije	21,5	36,8

6.1.2 Analiza rabe energije v letu 2020

Preglednica 35 prikazuje energijsko bilanco modela izhodiščne stavbe v letu 2020. Skupna dovedena energija izhodiščne stavbe znaša 53,9 kWh/m², od tega predstavlja 29,6 % oz. 15,9 kWh/m² dovedeno energijo za ogrevanje in 6,8 % oz. 3,7 kWh/m² energijo za hlajenje, kar skupno nanese 36,4 % deleža celotne dovedene energije oz. 19,6 kWh/m². Leta 2020 fotovoltaiika na strehi generira 37,9 kWh/m², kar predstavlja 70,3 % deleža celotne dovedene energije v stavbi. Deficit energije tako znaša 16,0 kWh/m².

Preglednica 35: Energijska bilanca modela izhodiščne stavbe v letu 2020

	0	
	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]
Q _{nh}	15,9	29,6
Q _{nc}	3,7	6,8
Priprava tople vode (Q _e)	5,0	9,2
Ostalo (Q _e)	29,3	54,4
Skupna Q _e	53,9	/
PV generirana energija	37,9	70,3
Deficit energije	16,0	29,7

6.1.3 Analiza rabe energije v letu 2050

Preglednica 36 prikazuje energijsko bilanco modela izhodiščne stavbe v letu 2050. Skupna dovedena energija izhodiščne stavbe znaša 52,0 kWh/m², od tega predstavlja 23,9 % oz. 12,4 kWh/m² dovedeno energijo za ogrevanje in 10,6 % oz. 5,5 kWh/m² energijo za hlajenje, kar skupno nanese 34,5 % deleža celotne dovedene energije oz. 17,9 kWh/m². Leta 2050 fotovoltaiika na strehi generira 38,2 kWh/m², kar predstavlja 73,4 % deleža celotne dovedene energije v stavbi. Deficit energije tako znaša 13,8 kWh/m².

Preglednica 36: Energijska bilanca modela izhodiščne stavbe v letu 2050

	0	
	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]
Q _{nh}	12,4	23,9
Q _{nc}	5,5	10,6
Priprava tople vode (Q _e)	4,8	9,2
Ostalo (Q _e)	29,3	56,3
Skupna (Q _e)	52,0	/
PV generirana energija	38,2	73,4
Deficit energije	13,8	26,6

6.2 Izvedba ukrepov

Sledi prikaz rezultatov simulacij uvedbe načrtovalskih ukrepov za leta 2010, 2020 in 2050, ki kasneje služijo za simulacijo modelov s končnimi kombinacijami ukrepov. Spremljamo količino skupne dovedene energije, osredotočimo se predvsem na dovedeno energijo za ogrevanje in hlajenje. Rezultati primerjave teh vrednosti z vrednostmi izhodiščnega modela so prikazani kot razlika [%].

Preglednica 37: Razlaga oznak za Preglednice 38–40.

Obarvanost polja	Razlaga
	Porast Q _e [%] v odvisnosti glede na izhodiščni model.
	Znižanje Q _e [%] v odvisnosti glede na izhodiščni model.

6.2.1 Analiza rabe energije v letu 2010

Preglednica 38: Energijska bilanca ukrepov za znižanje rabe energije (2010).

	1			2			3		
	Razlika [%]	Q _e [kWh/ m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/ m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/ m ²]	Delež [%]
Q _{nh}	8,3	23,4	39,1	-25,1	16,2	30,3	-22,5	16,8	31,0
Q _{nc}	-5,5	2,0	3,4	26,0	2,7	5,0	26,0	2,7	5,0
Priprava tople vode (Q _e)	0,0	5,2	8,7	0,6	5,2	9,8	1,1	5,2	9,7
Ostalo (Q _e)	/	29,3	48,9	/	29,3	54,9	/	29,3	54,3
Skupna Q _e	2,9	59,9	/	-8,3	53,4	/	-7,3	54,0	/
PV generirana energija	/	36,8	61,4	/	36,8	68,9	/	36,8	68,1
Deficit energije	7,8	23,1	38,6	-22,5	16,6	31,1	-19,8	17,2	31,9

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 38

	4			5a			5b		
	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]
Q _{nh}	-10,7	19,3	34,4	-12,2	19,0	33,6	7,6	23,3	39,2
Q _{nc}	6,9	2,3	4,1	43,8	3,1	5,4	-27,4	1,6	2,6
Priprava tople vode (Q _e)	1,1	5,2	9,3	0,0	5,2	9,2	1,1	5,2	8,8
Ostalo (Q _e)	/	29,3	52,2	/	29,3	51,8	/	29,3	49,4
Skupna Q _e	-3,6	56,2	/	-2,9	56,6	/	1,9	59,4	/
PV generirana energija	/	36,8	65,6	/	36,8	65,1	/	36,8	62,0
Deficit energije	-9,8	19,3	34,4	-7,9	19,8	34,9	5,2	22,6	38,0
	6			7			8		
	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]
Q _{nh}	6,1	22,9	38,6	7,9	23,3	39,0	0,3	21,7	37,3
Q _{nc}	-8,2	2,0	3,3	-9,6	1,9	3,2	-12,3	1,9	3,2
Priprava tople vode (Q _e)	0,6	5,2	8,8	0,6	5,2	8,7	0,6	5,2	9,0
Ostalo (Q _e)	/	29,3	49,3	/	29,3	49,0	/	29,3	50,5
Skupna Q _e	2,0	59,4	/	2,6	59,8	/	-0,3	58,1	/
PV generirana energija	/	36,8	61,9	/	36,8	61,6	/	36,8	63,4
Deficit energije	5,5	22,6	38,1	7,1	23,0	38,4	-0,8	21,3	36,6
	9			10					
	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]			
Q _{nh}	-28,7	15,4	30,0	-14,0	18,6	33,6			
Q _{nc}	-36,9	1,4	2,6	4,1	2,2	4,0			
Priprava tople vode (Q _e)	1,2	5,3	10,2	0,0	5,2	9,4			
Ostalo (Q _e)	/	29,3	57,1	/	29,3	53,0			
Skupna Q _e	-11,9	51,3	/	-5,0	55,3	/			
PV generirana energija	/	36,8	71,7	/	36,8	66,5			
Deficit energije	-32,4	14,5	28,3	-13,7	18,5	33,5			

Medsebojna primerjava ukrepov, izvedenih v letu 2010, pokaže razlike učinkovitosti ukrepov na podlagi količine dovedene energije v stavbi, kar je tudi razvidno iz Preglednice 38. Vrednosti Q_e za simulirane načrtovalske ukrepe v nadaljevanju vrednotenja rezultatov zapišemo znotraj oklepajev. Pričnemo s predstavitevjo rezultatov simulacij ukrepov, ki najbolj zvišajo energijsko učinkovitost stavbe. Najučinkovitejši izmed ukrepov, ukrep 9 predstavlja prehod na toplotno črpalko voda–voda, prinese pa kar 28,7 % znižanje Q_{nh} (15,4 kWh/m²), še večje znižanje Q_{nc} 36,9 % (1,4 kWh/m²) in skupno znižanje Q_e 11,9 % (51,3 kWh/m²). Sprememba sistema ogrevanja se izkaže za energijsko zelo učinkovito. Glede na stopnjo znižanja dovedene energije mu sledita ukrepa znižanja toplotne prehodnosti netransparentnega dela stavbnega ovoja in višanje mase KS-jev (Q_e 25,1 % in 22,5 %). Ukrep 2,

izboljšanje toplotne prehodnosti sten, strehe in tal prinese 25,1 % znižanje Q_{nh} (16,2 kWh/m²), vendar Q_{nc} naraste za 26,0 % (2,7 kWh/m²). Le-ta predstavlja majhen delež skupne Q_e , zato se slednja zniža za 8,3 % (53,4 kWh/m²). Podobne rezultate nam da ukrep znižanja toplotne prehodnosti netransparentnih površin stavbnega ovoja z višanjem mase konstrukcije, ukrep 3. Ta prinese 22,5 % znižanje Q_{nh} (16,8 kWh/m²), vendar Q_{nc} naraste za 26,0 % (2,7 kWh/m²), kar pa predstavlja majhen delež skupne Q_e , tako da se ta zniža za 7,3 % (54,0 kWh/m²). Izboljšanje lastnosti stavbnega ovoja torej ugodno vpliva na zmanjšanje dovedene energije za ogrevanje, ki predstavlja tretjino skupne Q_e . Zadnji ukrep, deseti po vrsti, predstavlja uvedbo izklapljanja urnikov ogrevanja in hlajenja. Ta prinese kar 14,0 % znižanje Q_{nh} (18,6 kWh/m²), 4,1 % rast Q_{nc} (2,2 kWh/m²) in 5,0 % znižanje skupne Q_e (55,3 kWh/m²). Velik upad dovedene energije za ogrevanje predstavlja tudi izboljšanje toplotne prehodnosti zasteklitve. Zaradi nizke toplotne prehodnosti iz stavbe uhaja manj toplote, tako ukrep 4 prinese 10,7 % znižanje Q_{nh} (19,3 kWh/m²), zaradi istega razloga pa sledi 6,9 % zvišanje Q_{nc} (2,3 kWh/m²). Skupna Q_e pade za 3,6 % (56,2 kWh/m²). Majhno, le 0,3 % znižanje skupne Q_e (58,09 kWh/m²) nastane zaradi višanja pogostosti naravnega prezračevanja na 7-krat tedensko, kar predstavlja ukrep 8. Sicer povzroči 0,3 % rast Q_{nh} (21,7 kWh/m²), pomembno pa je, da Q_{nc} upade za 12,3 % (1,9 kWh/m²).

Analizo energijske bilance ukrepov zaključimo s predstavitvijo rezultatov za ukrepe, ki ne prinesejo vidnih izboljšav energijske učinkovitosti in jih zato ocenimo kot nesmiselne. Ukrepi 1, 5b, 6 in 7 povzročijo veliko zmanjšanje tako poletnih, kot zimskih solarnih dobitkov skozi transparentne površine na ovoju stavbe, zato Q_{nh} naraste za 6,1–8,3 %. Ukrep 1, sprememba orientacije stavbe na S–J prinese 5,5 % znižanje Q_{nc} (2,0 kWh/m²), vendar Q_{nh} naraste za 8,3 % (23,4 kWh/m²), prav tako naraste skupna Q_e in sicer za 2,9 % (59,9 kWh/m²). Podoben pojav je viden pri ukrepu 5b, nižanju odstotka zastekljenih površin fasade, ki prinese 7,6 % rast Q_{nh} (23,3 kWh/m²) in 27,4 % upad Q_{nc} (1,6 kWh/m²). Skupna Q_e tako naraste za 1,9 % (59,4 kWh/m²). Obratno velja za ukrep višanja odstotka zastekljenih površin fasade 5a, ki zaradi povišanih solarnih dobitkov skozi večje površine zasteklitev povzroči 12,2 % upad Q_{nh} (19,0 kWh/m²) vendar 43,8 % narast Q_{nc} (3,1 kWh/m²), kar ni dobrodošlo, saj lahko pričakujemo pregrevanje notranjosti prostorov. Skupna Q_e se zmanjša za 2,9 % (56,6 kWh/m²). Ukrep 6, višanje intenzivnosti senčenja med majem in septembrom je očitno pretirano, saj povzroči 6,1 % rast Q_{nh} (22,9 kWh/m²) in 8,2 % znižanje Q_{nc} (2,0 kWh/m²) ter skupno 2,0 % višji Q_e (59,4 kWh/m²). Tudi naslednji ukrep povzroči višanje količine dovedene energije za ogrevanje. Zaradi ukrepa 7, večanja globine nadstreška na 0,9 m Q_{nc} upade za 9,6 % (1,9 kWh/m²), Q_{nh} naraste za 7,9 % (23,3 kWh/m²), prav tako naraste skupna Q_e in sicer za 2,6 % (59,8 kWh/m²).

6.2.2 Analiza rabe energije v letu 2020

Preglednica 39: Energijska bilanca ukrepov za znižanje rabe energije (2020).

	1			2			3		
	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]
Q _{nh}	6,1	16,9	30,9	-25,2	11,9	23,7	-22,4	12,4	24,3
Q _{nc}	-3,2	3,5	6,5	16,8	4,3	8,5	16,0	4,2	8,4
Priprava tople vode (Q _e)	0,0	5,0	9,1	-1,8	4,9	9,7	-0,6	5,0	9,7
Ostalo (Q _e)	/	29,3	53,5	/	29,3	58,1	/	29,3	57,6
Skupna Q _e	1,6	54,8	/	-6,5	50,4	/	-5,6	50,9	/
PV generirana energija	/	37,9	69,2	/	37,9	75,1	/	37,9	74,4
Deficit energije	5,3	16,9	30,8	-21,8	12,5	24,9	-18,8	13,0	25,6
	4			5a			5b		
	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]
Q _{nh}	-11,0	14,2	27,1	-9,9	14,4	26,7	6,1	16,9	31,3
Q _{nc}	4,0	3,8	7,3	36,8	5,0	9,3	-24,0	2,8	5,2
Priprava tople vode (Q _e)	0,0	5,0	9,5	0,6	5,0	9,3	0,0	5,0	9,2
Ostalo (Q _e)	/	29,3	56,0	/	29,3	54,6	/	29,3	54,3
Skupna Q _e	-3,0	52,3	/	-0,4	53,7	/	0,2	54,0	/
PV generirana energija	/	37,9	72,4	/	37,9	70,5	/	37,9	70,1
Deficit energije	-10,0	14,4	27,6	-1,2	15,8	29,5	0,6	16,1	29,9
	6			7			8		
	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/m ²]	Delež [%]
Q _{nh}	6,4	17,0	31,1	7,2	17,1	31,2	0,2	16,0	29,8
Q _{nc}	-10,4	3,3	6,0	-8,8	3,3	6,1	-11,2	3,3	6,1
Priprava tople vode (Q _e)	0,0	5,0	9,1	0,0	5,0	9,1	0,0	5,0	9,3
Ostalo (Q _e)	/	29,3	53,7	/	29,3	53,6	/	29,3	54,8
Skupna Q _e	1,2	54,5	/	1,5	54,7	/	-0,7	53,5	/
PV generirana energija	/	37,9	69,4	/	37,9	69,2	/	37,9	70,8
Deficit energije	4,1	16,7	30,6	5,1	16,9	30,8	-2,4	15,7	29,2

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 39

	9			10		
	Razlika [%]	Q_e [kWh/ m^2]	Delež [%]	Razlika [%]	Q_e [kWh/ m^2]	Delež [%]
Q_{nh}	-22,1	12,4	25,0	-16,4	13,3	26,0
Q_{nc}	-15,2	3,1	6,2	3,2	3,8	7,4
Priprava tople vode (Q_e)	0,6	5,0	9,9	-1,2	4,9	9,6
Ostalo (Q_e)	/	29,3	58,9	/	29,3	57,1
Skupna Q_e	-7,6	49,8	/	-4,7	51,4	/
PV generirana energija	/	37,9	76,0	/	37,9	73,7
Deficit energije	-25,6	11,9	24,0	-15,9	13,5	26,3

Medsebojna primerjava ukrepov, izvedenih v letu 2020, pokaže razlike učinkovitosti ukrepov na podlagi količine dovedene energije v stavb, kar je tudi razvidno iz Preglednice 39. Vrednosti Q_e za simulirane načrtovalske ukrepe v nadaljevanju vrednotenja rezultatov zapišemo znotraj oklepajev. Pričnemo s predstavitvijo rezultatov simulacij ukrepov, ki najbolj zvišajo energijsko učinkovitost stavbe. Najučinkovitejši izmed ukrepov, ukrep 9 predstavlja prehod na toplotno črpalko voda–voda, prinese pa kar 22,1 % nižjo Q_{nh} (12,4 kWh/ m^2) in 15,2 % nižjo Q_{nc} (3,1 kWh/ m^2), skupno je Q_e nižji za 7,6 % (49,8 kWh/ m^2). Sprememba sistema ogrevanja se izkaže za energijsko zelo učinkovito, sledita ukrepa izboljšanja toplotne prehodnosti netransparentnega dela stavbnega ovoja in višanje mase KS–jev. Znižanje toplotne prehodnosti sten, strehe in tal predstavlja ukrep 2, prinese pa 25,2 % nižji Q_{nh} (11,9 kWh/ m^2), vendar Q_{nc} naraste za 16,8 % (4,3 kWh/ m^2). Ker le-ta predstavlja majhen delež skupne Q_e , se slednja zniža za 6,5 % (50,4 kWh/ m^2). Podobne rezultate nam da ukrep znižanja toplotne prehodnosti netransparentnih površin stavbnega ovoja z višanjem mase konstrukcije, ukrep 3. Ta prinese 22,4 % znižanje Q_{nh} (12,4 kWh/ m^2), vendar Q_{nc} naraste za 16,0 % (4,2 kWh/ m^2), kar predstavlja majhen delež skupne Q_e , tako da se ta zniža za 5,6 % (50,9 kWh/ m^2). Izboljšanje lastnosti stavbnega ovoja torej ugodno vpliva na zmanjšanje dovedene energije za ogrevanje, ki predstavlja četrtno skupne Q_e . Zadnji ukrep, deseti po vrsti, predstavlja uvedbo izklapljanja urnikov ogrevanja in hlajenja. Ta prinese kar 16,4 % znižanje Q_{nh} (13,3 kWh/ m^2), 3,2 % rast Q_{nc} (3,8 kWh/ m^2) in 4,7 % znižanje skupne Q_e (51,4 kWh/ m^2). Velik upad dovedene energije za ogrevanje predstavlja tudi izboljšanje toplotne prehodnosti zasteklitve. Zaradi nizke toplotne prehodnosti uhaja iz stavbe manj toplote, tako da ukrep 4 prinese 11,0 % znižanje Q_{nh} (14,2 kWh/ m^2), vendar zaradi istega razloga sledi 4,0 % zvišanje Q_{nc} (3,8 kWh/ m^2). Skupna Q_e pade za 3,0 % (52,3 kWh/ m^2). Majhno, 0,7 % znižanje celotne Q_e (53,5 kWh/ m^2) nastane zaradi višanja pogostosti naravnega prezračevanja na 7–krat tedensko, kar predstavlja ukrep 8. Ta povzroči 0,2 % rast Q_{nh} (16,0 kWh/ m^2), pomembno pa je, da Q_{nc} upade za 11,2 % (3,3 kWh/ m^2). Naslednja ukrepa povzročita rahlo zvišanje skupne dovedene energije, vendar po razčlenitvi rezultatov opazimo, da Q_{nc} močno upade. Ukrep 5b, nižanje odstotka zastekljenih površin fasade sicer prinese 6,1 % rast Q_{nh} (16,9 kWh/ m^2) vendar kar 24,0 % upad Q_{nc} (2,8 kWh/ m^2). Skupna Q_e tako naraste za minimalnih 0,2 % (54,0 kWh/ m^2). Ukrep 6, večanje intenzivnosti senčenja med majem in septembrom povzroči 6,4 % rast Q_{nh} (17,0 kWh/ m^2), 10,4 % nižji Q_{nc} (3,3 kWh/ m^2) in skupno 1,2 % višji Q_e (54,5 kWh/ m^2).

Analizo energijske bilance ukrepov zaključimo s predstavitvijo rezultatov za ukrepe, ki ne prinesejo vidnih izboljšav energijske učinkovitosti in jih zato ocenimo kot nesmiselne. Ukrep 1, sprememba orientacije stavbe na S–J povzroči veliko zmanjšanje tako poletnih, kot zimskih solarnih dobitkov skozi transparentne površine na ovoju stavbe, zato Q_{nh} naraste za 6,1 %, Q_{nc} se zniža za 3,2 % (3,5 kWh/m²), prav tako pa naraste skupna Q_e in sicer za 1,6 % (54,8 kWh/m²). Podoben pojav je viden pri ukrepu 7, ki zaradi večanja globine nadstreška na 0,9 m povzroči manjšanje solarnih dobitkov. Q_{nc} upade za 8,8 % (3,3 kWh/m²), Q_{nh} naraste za 7,2 % (17,1 kWh/m²), prav tako naraste skupna Q_e in sicer za 1,5 % (54,7 kWh/m²). Obratno velja za ukrep višanja odstotka zastekljenih površin fasade 5a, ki zaradi povišanih solarnih dobitkov skozi večje površine zasteklitev sicer povzroči 9,9 % upad Q_{nh} (14,4 kWh/m²) vendar 36,8 % narast Q_{nc} (5,0 kWh/m²), kar ni dobrodošlo, saj lahko pričakujemo pregrevanje notranjosti prostorov. Skupna Q_e se zmanjša za 0,4 % (53,7 kWh/m²).

6.2.3 Analiza rabe energije v letu 2050

Preglednica 40: Energijska bilanca ukrepov za znižanje rabe energije (2050).

	1			2			3		
	Razlika [%]	Q_e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q_e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q_e [kWh/m ²]	Delež [%]
Ogrevanje (Q_e)	3,5	12,9	24,6	–24,8	9,3	18,9	–22,4	9,6	19,4
Hlajenje (Q_e)	–3,2	5,3	10,2	10,1	6,1	12,3	10,1	6,1	12,2
Priprava tople vode (Q_e)	0,0	4,8	9,1	–0,6	4,7	9,6	–0,6	4,7	9,5
Ostalo (Q_e)	/	29,3	56,0	/	29,3	59,2	/	29,3	58,9
Skupno (Q_e)	0,5	52,3	/	–4,9	49,5	/	–4,3	49,8	/
PV generirana energija	/	38,2	73,0	/	38,2	77,2	/	38,2	76,7
Deficit energije	2,0	14,1	27,0	–18,4	11,3	22,8	–16,3	11,6	23,3
	4			5a			5b		
	Razlika [%]	Q_e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q_e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q_e [kWh/m ²]	Delež [%]
Ogrevanje (Q_e)	–10,8	11,1	21,8	–7,1	11,5	21,8	3,5	12,9	25,1
Hlajenje (Q_e)	1,6	5,6	11,0	33,0	7,3	13,8	–20,7	4,4	8,5
Priprava tople vode (Q_e)	0,0	4,8	9,4	0,0	4,8	9,0	0,6	4,8	9,4
Ostalo (Q_e)	/	29,3	57,7	/	29,3	55,3	/	29,3	57,1
Skupno (Q_e)	–2,4	50,8	/	1,8	53,0	/	–1,3	51,4	/
PV generirana energija	/	38,2	75,2	/	38,2	72,1	/	38,2	74,4
Deficit energije	–9,1	12,6	24,8	6,8	14,8	27,9	–4,8	13,2	25,6

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 40

	6			7			8		
	Razlika [%]	Q_e [kWh/ m^2]	Delež [%]	Razlika [%]	Q_e [kWh/ m^2]	Delež [%]	Razlika [%]	Q_e [kWh/ m^2]	Delež [%]
Ogrevanje (Q_e)	4,7	13,0	25,0	10,8	13,8	26,3	0,2	12,5	24,1
Hlajenje (Q_e)	-9,0	5,0	9,6	-20,2	4,4	8,4	-8,0	5,1	9,8
Priprava tople vode (Q_e)	0,6	4,8	9,2	0,6	4,8	9,2	0,6	4,8	9,3
Ostalo (Q_e)	/	29,3	56,2	/	29,3	56,0	/	29,3	56,8
Skupno (Q_e)	0,2	52,1	/	0,5	52,3	/	-0,7	51,6	/
PV generirana energija	/	38,2	73,2	/	38,2	73,0	/	38,2	74,0
Deficit energije	0,9	14,0	26,8	2,0	14,1	27,0	-2,7	13,5	26,0
	9			10					
	Razlika [%]	Q_e [kWh/ m^2]	Delež [%]	Razlika [%]	Q_e [kWh/ m^2]	Delež [%]			
Ogrevanje (Q_e)	-13,9	10,7	21,3	-17,2	10,3	20,6			
Hlajenje (Q_e)	-1,1	5,5	10,9	2,1	5,6	11,3			
Priprava tople vode (Q_e)	0,0	4,8	9,5	0,0	4,8	9,6			
Ostalo (Q_e)	/	29,3	58,3	/	29,3	58,6			
Skupno (Q_e)	-3,4	50,2	/	-3,9	50,0	/			
PV generirana energija	/	38,2	76,0	/	38,2	76,4			
Deficit energije	-12,9	12,1	24,0	-14,6	11,8	23,6			

Medsebojna primerjava ukrepov, izvedenih v letu 2050, pokaže razlike učinkovitosti ukrepov na podlagi količine dovedene energije v stavb, kar je tudi razvidno iz Preglednice 40. Vrednosti Q_e za simulirane načrtovalske ukrepe v nadaljevanju vrednotenja rezultatov zapišemo znotraj oklepajev. Pričnemo s predstavitvijo rezultatov simulacij ukrepov, ki najbolj zvišajo energijsko učinkovitost stavbe. Najučinkovitejša izmed ukrepov sta ukrepa znižanja toplotne prehodnosti netransparentnega dela stavbnega ovoja in višanje mase KS-jev. Znižanje toplotne prehodnosti sten, strehe in tal, ki predstavlja ukrep 2, prinese 24,8 % znižanje Q_{nh} (9,3 kWh/ m^2), vendar pa Q_{nc} naraste za 10,1 % (6,1 kWh/ m^2). Ker le-ta predstavlja majhen delež skupne Q_e , se slednja zniža za 4,9 % (49,5 kWh/ m^2). Podobne rezultate nam da ukrep znižanja toplotne prehodnosti netransparentnih površin stavbnega ovoja z višanjem mase konstrukcije, ukrep 3. Ta prinese 22,4 % nižji Q_{nh} (9,6 kWh/ m^2), vendar Q_{nc} naraste za 10,1 % (6,1 kWh/ m^2), kar predstavlja majhen delež skupne Q_e , tako da se slednja zniža za 4,3 % (49,8 kWh/ m^2). Izboljšanje lastnosti stavbnega ovoja torej ugodno vpliva na zmanjšanje dovedene energije za ogrevanje, ki predstavlja petino skupne Q_e . Zadnji ukrep, deseti po vrsti, predstavlja uvedbo izklapljanja urnikov ogrevanja in hlajenja. Ta prinese kar 17,2 % znižanje Q_{nh} (10,3 kWh/ m^2), 2,1 % rast Q_{nc} (5,6 kWh/ m^2) in 3,9 % znižanje skupne Q_e (50,0 kWh/ m^2). Ukrep 9 predstavlja prehod na toplotno črpalko voda-voda, prinese pa 13,9 % nižji Q_{nh} (10,7 kWh/ m^2) in 1,1 % nižji Q_{nc} (5,5 kWh/ m^2), tako se skupni Q_e zniža za 3,4 % (50,2 kWh/ m^2). Sprememba sistema ogrevanja se izkaže za energijsko učinkovito. Tudi izboljšava toplotne prehodnosti zasteklitve prinese znižanje dovedene energije za ogrevanje. Zaradi nizke toplotne prehodnosti ovoja uhaja iz stavbe manj toplote, tako da ukrep 4 prinese 10,8 % nižji Q_{nh} (11,1 kWh/ m^2), vendar zaradi istega razloga sledi 1,6 % zvišanje Q_{nc} (5,6 kWh/ m^2). Skupna Q_e pade za 2,4 %

(50,8 kWh/m²). Obratno velja za ukrep 5b, nižanje odstotka zastekljenih površin fasade, ki sicer prinese 3,5 % rast Q_{nh} (12,9 kWh/m²) vendar kar 20,7 % upad Q_{nc} (4,4 kWh/m²). Skupna Q_e tako upade za 1,3 % (51,4 kWh/m²). Naslednji trije ukrepi ne prinesejo vidnejše razlike pri skupni bilanci dovedene energije, vendar jih združuje lastnost nižanja dovedene energije za hlajenje. Pri ukrepih 7 in 6 je tako, ker povzročita predvsem zmanjšanje poletnih solarnih dobitkov skozi transparentne površine na ovoju stavbe. Pri ukrepu 7, večanju globine nadstreška na 0,9 m, Q_{nc} upade za kar 20,2 % (4,4 kWh/m²), Q_{nh} naraste za 10,8 % (13,8 kWh/m²), minimalno, za 0,5 % (52,3 kWh/m²) naraste skupna Q_e . Pri ukrepu 6, večanju intenzivnosti senčenja med majem in septembrom, opazimo 4,7 % rast Q_{nh} (13,0 kWh/m²), 9,0 % nižji Q_{nc} (5,0 kWh/m²) in skupno 0,2 % višji Q_e (52,1 kWh/m²). Podoben pojav je viden pri višanju pogostosti naravnega prezračevanja na 7–krat tedensko, kar predstavlja ukrep 8. Ta povzroči 0,2 % rast Q_{nh} (12,5 kWh/m²), pomembno pa je, da Q_{nc} upade za 8,0 % (5,1 kWh/m²), kar je posledica nočnega hlajenja stavbe predvsem v času hladilne sezone. Skupni Q_e se zniža za 0,7 % (51,6 kWh/m²).

Analizo energijske bilance ukrepov zaključimo s predstavitvijo rezultatov za ukrepe, ki ne prinesejo vidnih izboljšav energijske učinkovitosti in jih zato ocenimo kot nesmiselne. Daleč najslabše se obnese ukrep višanja odstotka zastekljenih površin fasade 5a, ki zaradi povišanih solarnih dobitkov skozi večje površine zasteklitev sicer povzroči 7,1 % upad Q_{nh} (11,5 kWh/m²) vendar 33,0 % narast Q_{nc} (7,3 kWh/m²), kar ni dobrodošlo, saj lahko pričakujemo pregrevanje notranjosti prostorov. Skupna Q_e naraste za 1,8 % (53,0 kWh/m²). Ukrep 1, sprememba orientacije stavbe na S–J prinese 3,2 % znižanje Q_{nc} (5,3 kWh/m²), vendar Q_{nh} naraste za 3,5 % (12,9 kWh/m²), minimalno, za 0,5 % (52,3 kWh/m²) naraste tudi skupna Q_e .

6.3 Izbor kombinacije ukrepov

Na podlagi dobljenih rezultatov posameznih simulacij zaključimo, kateri ukrepi bi bili za izbrano obdobje in vrsto gradnje energijsko najučinkovitejši. Za vsa tri obravnavana obdobja bomo izbrali ukrepe 8, 9 in 10, torej povišano stopnjo naravnega prezračevanja, prehod na sistem ogrevanja in hlajenja s toplotno črpalko voda–voda in spremembo urnikov ogrevanja/hlajenja. Omenjenim ukrepom dodamo še medsebojno izključujoča se ukrepa 2 oz. 3, ki predstavljata ukrep izboljšanja toplotne prehodnosti netransparentnih površin stavbnega ovoja oziroma višanja mase konstrukcije, kar kombiniramo z ukrepom 4, ki predstavlja prehod iz dvoslojne v troslojno zasteklitev. Tako dobimo štiri različne kombinacije ukrepov (A, B, C, D). Seveda so ukrepi glede na posamična obdobja pokazali različne rezultate količine dovedene energije v stavbi, tako je opaziti, da s časom narašča potreba po zmanjševanju prehoda sončnega sevanja v notranjost stavbe, kar je posledica rasti temperature zunanjega zraka in gostote sončnega sevanja. Tako za leto 2020 dodamo ukrepa 5b in 6, zmanjšanje WWR oziroma povišanje intenzitete senčenja v sezoni hlajenja. Za leto 2050 dodamo še ukrep 7, ki predstavlja poglobitev nadstreška nad južno orientiranimi okni na 0,9 m, kar omili vstop sončnih žarkov predvsem v poletnih mesecih, kadar je pot sonca visoko na nebu.

Sledi prikaz rezultatov simulacij uvedbe kombinacije načrtovalskih ukrepov za leta 2010, 2020 in 2050. Spremljamo količino skupne dovedene energije, osredotočimo se predvsem na dovedeno energijo za ogrevanje in hlajenje. Rezultati primerjave teh vrednosti z vrednostmi izhodiščnega modela so prikazani

kot razlika [%], vrednosti Q_e za simulirane načrtovalske ukrepe v nadaljevanju vrednotenja rezultatov zapišemo znotraj oklepajev.

6.3.1 Analiza rabe energije v letu 2010

Izbrane kombinacije ukrepov:

- A (2, 8, 9, 10),
- B (2, 4, 8, 9, 10),
- C (3, 8, 9, 10),
- D (3, 4, 8, 9, 10).

Rezultati opravljene simulacije kombinacije ukrepov za leto 2010 se nahajajo v Preglednici 42. Preglednica 41 vsebuje razlago oznak za Preglednico 42.

Preglednica 41: Razlaga oznak za Preglednico 42.

Obarvanost polja	Razlaga
	Narast Q_e [%] v odvisnosti glede na rezultate izhodiščnega modela v letu 2010.
	Znižanje Q_e [%] v odvisnosti glede na rezultate izhodiščnega modela v letu 2010.

Preglednica 42: Energijska bilanca kombinacije ukrepov za znižanje rabe energije (2010).

	A			B		
	Razlika [%]	Q_e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q_e [kWh/m ²]	Delež [%]
Ogrevanje (Q_e)	-50,1	10,8	23,1	-56,9	9,3	20,5
Hlajenje (Q_e)	-31,5	1,5	3,1	-24,7	1,6	3,6
Priprava tople vode (Q_e)	-0,6	5,2	11,0	-0,6	5,2	11,4
Ostalo (Q_e)	/	29,3	62,7	/	29,3	64,6
Skupno (Q_e)	-19,8	46,7	/	-22,1	45,4	/
PV generirana energija	/	36,8	78,8	/	36,8	81,1
Deficit energije	-53,8	9,9	21,2	-60,0	8,6	18,9
	C			D		
	Razlika [%]	Q_e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q_e [kWh/m ²]	Delež [%]
Ogrevanje (Q_e)	-49,1	11,0	23,5	-56,6	9,4	20,6
Hlajenje (Q_e)	-34,2	1,4	3,0	-26,0	1,6	3,5
Priprava tople vode (Q_e)	-0,6	5,2	11,0	0,6	5,2	11,5
Ostalo (Q_e)	/	29,3	62,5	/	29,3	64,4
Skupno (Q_e)	-19,5	46,9	/	-21,9	45,5	/
PV generirana energija	/	36,8	78,5	/	36,8	80,9
Deficit energije	-53,0	10,1	21,5	-59,6	8,7	19,1

Razlike med modeli so minimalne, saj so razlike v višini dovedene energije manj kot 1,5 kWh/m². Iz Preglednice 42 vidimo, da se je skupna dovedena energija zmanjšala za 19,5–22,1 % in se sedaj giblje med 45,4 in 46,9 kWh/m². Tako smo zmanjšali deficit energije za kar 53,0–60,0 % na sedanjih 8,6–10,1 kWh/m². Q_{nh} predstavlja 20,5–23,5 % delež celotne dovedene energije, Q_{nc} pa le 3,0–3,6 %. Q_{nh} najbolj upade pri kombinaciji ukrepov B, torej pri stavbi z nizko maso in troslojno zasteklitvijo in sicer za 56,9 % (9,3 kWh/m²). Sledi ji kombinacija ukrepov D s primerljivo višino upada Q_{nh} 56,6 % (9,3 kWh/m²). Ti dve kombinaciji ukrepov tudi najbolj znižata količino skupne dovedene energije in sicer B za 22,1 % (45,4 kWh/m²) ter D 21,9 % (45,5 kWh/m²). Najslabše rezultate količine celotne dovedene energije da kombinacija C, sledi ji A, kar pa ne velja za Q_{nc} , saj sta se ta zniža za 34,2 % pri C (1,4 kWh/m²) in za 31,5 % pri A (1,5 kWh/m²), vendar zaradi izjemno majhnega deleža energije za hlajenje ne naredi razlike pri končnih rezultatih. Zaključimo, da je za leto 2010 primernejša izbira kombinacije ukrepov B s troslojno zasteklitvijo, saj v primerjavi z dvoslojno povzroči upad dovedene energije za ogrevanje, narast energije za hlajenje pa je minimalen. Primerjava stavb z nizko in visoko maso ne pokaže opaznih razlik pri dovedeni energiji.

6.3.2 Analiza rabe energije v letu 2020

Izbrane kombinacije ukrepov:

- A (2, 5b, 6, 8, 9, 10),
- B (2, 4, 5b, 6, 8, 9, 10),
- C (3, 5b, 6, 8, 9, 10),
- D (3, 4, 5b, 6, 8, 9, 10).

Rezultati opravljene simulacije kombinacije ukrepov za leto 2010 se nahajajo v Preglednici 44. Preglednica 43 vsebuje razlago oznak za Preglednico 44.

Preglednica 43: Razlaga oznak za Preglednico 44.

Obarvanost polja	Razlaga
	Narast Q_e [%] v odvisnosti glede na rezultate izhodiščnega modela v letu 2020.
	Znižanje Q_e [%] v odvisnosti glede na rezultate izhodiščnega modela v letu 2020.

Preglednica 44: Energijska bilanca kombinacije ukrepov za znižanje rabe energije (2020).

	A			B		
	Razlika [%]	Q_e [kWh/m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q_e [kWh/m ²]	Delež [%]
Ogrevanje (Q_e)	–45,8	8,6	19,2	–50,7	7,9	17,7
Hlajenje (Q_e)	–38,4	2,3	5,0	–36,0	2,3	5,3
Priprava tople vode (Q_e)	–1,2	4,9	10,9	–1,2	4,9	11,1
Ostalo (Q_e)	/	29,3	64,9	/	29,3	66,0
Skupno (Q_e)	–16,3	45,1	/	–17,6	44,4	/
PV generirana energija	0,0	37,9	83,9	0,0	37,9	85,2
Deficit energije	–54,6	7,3	16,1	–59,0	6,6	14,8

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 44

	C			D		
	Razlika [%]	Q_e [kWh/ m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q_e [kWh/ m ²]	Delež [%]
Ogrevanje (Q_e)	-43,9	8,9	19,7	-49,1	8,1	18,2
Hlajenje (Q_e)	-40,0	2,2	4,8	-36,8	2,3	5,2
Priprava tople vode (Q_e)	-1,2	4,9	10,9	-1,2	4,9	11,0
Ostalo (Q_e)	/	29,3	64,6	/	29,3	65,6
Skupno (Q_e)	-15,8	45,4	/	-17,1	44,7	/
PV generirana energija	/	37,9	83,5	/	37,9	84,8
Deficit energije	-53,2	7,5	16,5	-57,6	6,8	15,2

Sedaj so razlike v višini dovedene energije med modeli manj kot 1,0 kWh/m². Iz Preglednice 44 vidimo, da se je skupna dovedena energija zmanjšala za 15,8–17,6 % in se sedaj giblje med 44,4 in 45,4 kWh/m². Tako smo zmanjšali deficit energije za kar 53,2–59,0 % na sedanjih 6,6–7,5 kWh/m². Q_{nh} predstavlja 17,7–19,7 % delež celotne dovedene energije, Q_{nc} pa le 4,8–5,3 %. Q_{nh} najbolj upade pri kombinaciji ukrepov B, torej stavbi z nizko maso in troslojno zasteklitvijo in sicer za 50,7 % (7,9 kWh/m²), sledi ji kombinacija ukrepov D s primerljivo višino upada Q_{nh} 49,7 % (8,1 kWh/m²). Ti dve kombinaciji ukrepov tudi najbolj znižata količino skupne dovedene energije in sicer B za 16,3 % (45,1 kWh/m²) in D za 17,1 % (44,7 kWh/m²). Najslabše rezultate količine dovedene energije da kombinacija ukrepov C, sledi ji A, kar pa ne velja za Q_{nc} , saj se ta pri C zniža za 40,0 % (2,2 kWh/m²) in pri A za 38,4 % (2,3 kWh/m²), vendar to zaradi izjemno majhnega deleža komponente dovedene energije za hlajenje ne naredi razlike pri končnih rezultatih. Zaključimo, da za leto 2020 troslojna zasteklitev ni primerna, saj v primerjavi z dvoslojno povzroči narast dovedene energije za hlajenje. Skupna dovedena energija pri lahki stavbi je nižja, ker pa je dovedena energija za hlajenje višja, bi kot najprimernejšo izbrali kombinacijo ukrepov C.

6.3.3 Analiza rabe energije v letu 2050

Izbrane kombinacije ukrepov:

- A (2, 5b, 6, 7, 8, 9, 10),
- B (2, 4, 5b, 6, 7, 8, 9, 10),
- C (3, 5b, 6, 7, 8, 9, 10),
- D (3, 4, 5b, 6, 7, 8, 9, 10).

Rezultati opravljene simulacije kombinacije ukrepov za leto 2010 se nahajajo v Preglednici 46. Preglednica 45 vsebuje razlago oznak za Preglednico 46.

Preglednica 45: Razlaga oznak za Preglednico 46.

Obarvanost polja	Razlaga
	Narast Q_e [%] v odvisnosti glede na rezultate izhodiščnega modela v letu 2050.
	Znižanje Q_e [%] v odvisnosti glede na rezultate izhodiščnega modela v letu 2050.

Preglednica 46: Energijska bilanca kombinacije ukrepov za znižanje rabe energije (2050).

	A			B		
	Razlika [%]	Q _e [kWh/ m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/ m ²]	Delež [%]
Ogrevanje (Q _e)	-38,9	7,6	16,7	-45,0	6,8	15,3
Hlajenje (Q _e)	-31,9	3,8	8,3	-29,8	3,9	8,6
Priprava tople vode (Q _e)	-0,6	4,7	10,5	-0,6	4,7	10,6
Ostalo (Q _e)	/	29,3	64,6	/	29,3	65,5
Skupno (Q _e)	-12,7	45,4	/	-14,0	44,8	/
PV generirana energija	/	38,2	84,1	/	38,2	85,3
Deficit energije	-47,9	7,2	15,9	-52,5	6,6	14,7
	C			D		
	Razlika [%]	Q _e [kWh/ m ²]	Delež [%]	Razlika [%]	Q _e [kWh/ m ²]	Delež [%]
Ogrevanje (Q _e)	-37,3	7,8	17,1	-43,2	7,1	15,7
Hlajenje (Q _e)	-33,0	3,7	8,1	-30,3	3,8	8,5
Priprava tople vode (Q _e)	-0,6	4,7	10,4	-0,6	4,7	10,6
Ostalo (Q _e)	/	29,3	64,3	/	29,3	65,2
Skupno (Q _e)	-12,4	45,6	/	-13,6	45,0	/
PV generirana energija	/	38,2	83,8	/	38,2	84,9
Deficit energije	-46,8	7,4	16,2	-51,0	6,8	15,1

Sedaj se razlike višine dovedene energije med modeli gibljejo znotraj 0,8 kWh/m². Iz Preglednice 46 vidimo, da se je skupna dovedena energija zmanjšala za 12,4–14,0 % in se sedaj giblje med 44,8 in 45,6 kWh/m². Tako smo zmanjšali deficit energije za kar 46,89–52,5 % na sedanjih 6,6–7,4 kWh/m². Q_{nh} predstavlja 15,3–17,1 % delež celotne dovedene energije, Q_{nc} pa le 8,1–8,6 %. Q_{nh} najbolj upade pri kombinaciji ukrepov B, torej stavbi z nizko maso in troslojno zasteklitvijo in sicer za 45,0 % (6,8 kWh/m²), sledi ji kombinacija ukrepov D s primerljivo višino upada Q_{nh} za 43,2 % (7,1 kWh/m²). Ti dve kombinaciji ukrepov tudi najbolj učinkovito znižata skupno dovedeno energijo in sicer B za 14,0 % (44,8 kWh/m²) in D za 13,6 % (45,0 kWh/m²). Najslabše rezultate da kombinacija ukrepov C, sledi ji A, kar pa ne velja za Q_{nc}, saj se pri C zniža za 33,0 % (3,7 kWh/m²) in pri A za 31,9 % (3,8 kWh/m²), vendar zaradi izjemno majhnega deleža komponente dovedene energije za hlajenje ne naredita razlike pri končnih rezultatih. Zaključimo, da za leto 2050 troslojna zasteklitev ni primerna, saj v primerjavi z dvoslojno povzroči narast dovedene energije za hlajenje. Skupna dovedena energija pri lahki stavbi je nižja, ker pa je dovedena energija za hlajenje višja, bi kot najprimernejšo izbrali kombinacijo ukrepov C.

6.4 Večanje zmogljivosti fotovoltaike

Po končanih analizah energijske bilance stavbe zaključimo, da z uvedbo kombinacije ukrepov nismo uspeli znižati dovedene energije do stopnje, da bi izničili deficit energije. Tako bo za zagotovitev samooskrbe z energijo primernejša namestitev sončne elektrarne moči 5 kWp, kar je korak v pravo smer

na poti do ničenergijske hiše. V Preglednici 48 so zbrani podatki o skupni dovedeni energiji končnih izbir kombinacij ukrepov za posamezno obdobje in zmogljivosti generiranja Q_e 4 in 5 kWp sončne elektrarne. Vidimo, da kljub višanju stopnje proizvedene energije skozi leta zaradi rasti količine solarnih dobitkov prvotno izbrana sončna elektrarna ne zadosti nivoju dovedene energije v stavbi, zato povečamo moč elektrarne na 5 kWp. Taka elektrarna že v letu 2010 proizvaja višek energije, ki jo lahko prodamo v omrežje, tako da dosežemo samozadostnost stavbe v smislu potrebe po energiji.

Preglednica 47: Razlaga oznak za Preglednico 48.

Obarvanost polja	Razlaga
	Deficit energije [kWh/m ²].
	Presežek energije [kWh/m ²].

Preglednica 48: Višanje zmogljivosti PV.

	Q_e [kWh/m ²]	PV			
		4 kWp		5 kWp	
		Generirana Q_e [kWh/m ²]	Deficit energije [kWh/m ²]	Generirana Q_e [kWh/m ²]	Deficit energije [kWh/m ²]
2010 (model B)	45,4	36,8	-8,5	46,0	0,6
2020 (model C)	45,4	37,9	-7,5	47,3	1,9
2050 (model C)	45,6	38,2	-7,4	47,7	2,2

7 PRIMERJAVA REZULTATOV V LETIH 2010, 2020, 2050

7.1 Izhodiščni model

Sledi primerjava rezultatov simulacij energijske bilance izhodiščnega modela za leta 2010, 2020 in 2050. Spremljali smo višino dovedene energije za ogrevanje, hlajenje in skupno, za primerjavo smo navedli tudi deficit energije pri delovanju fotovoltaike z zmogljivostjo 5 kWp. Rezultati primerjave teh vrednosti z vrednostmi izhodiščnega modela so prikazani kot razlika [%], najdemo pa jih v Preglednici 50. Preglednica 49 vsebuje razlago oznak za Preglednico 50. Vrednosti Q_e za simulirane načrtovalske ukrepe v nadaljevanju vrednotenja rezultatov zapišemo znotraj oklepajev.

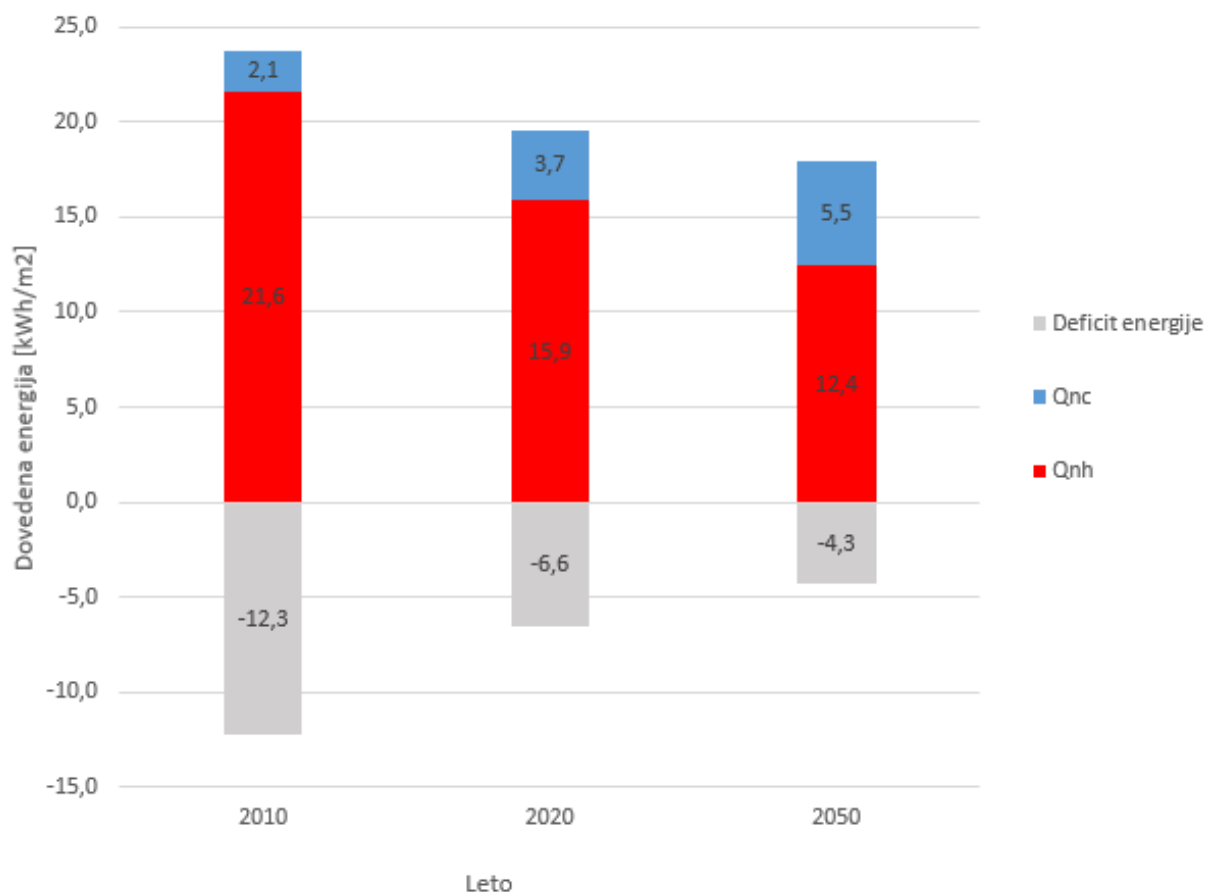
Preglednica 49: Razlaga oznak za Preglednico 50.

Obarvanost polja	Razlaga
	Porast Q_e [%] v odvisnosti glede na rezultate izhodiščnega modela v letu 2010.
	Znižanje Q_e [%] v odvisnosti glede na rezultate izhodiščnega modela v letu 2010.

Preglednica 50: Primerjava letne Q_e izhodiščnega modela.

Izhodiščni model	2010		2020		2050	
Letna Q_{nh}/Q_{nc} [kWh/m ²]	21,6	2,1	15,9	3,7	12,4	5,5
Delež spremembe glede na leto 2010 [%]	/		-26,3	71,2	-42,5	157,5
Letna $Q_{nh}+Q_{nc}$ [kWh/m ²]	23,8		19,6		17,9	
Delež spremembe glede na leto 2010 [%]	/		-17,5		-24,5	
Letna Q_e [kWh/m ²]	58,3		53,9		52,0	
Delež spremembe glede na leto 2010 [%]	/		-7,5		-10,7	
Deficit energije [kWh/m ²]	12,3		6,6		4,3	
Delež spremembe glede na leto 2010 [%]	/		-46,4		-65,1	

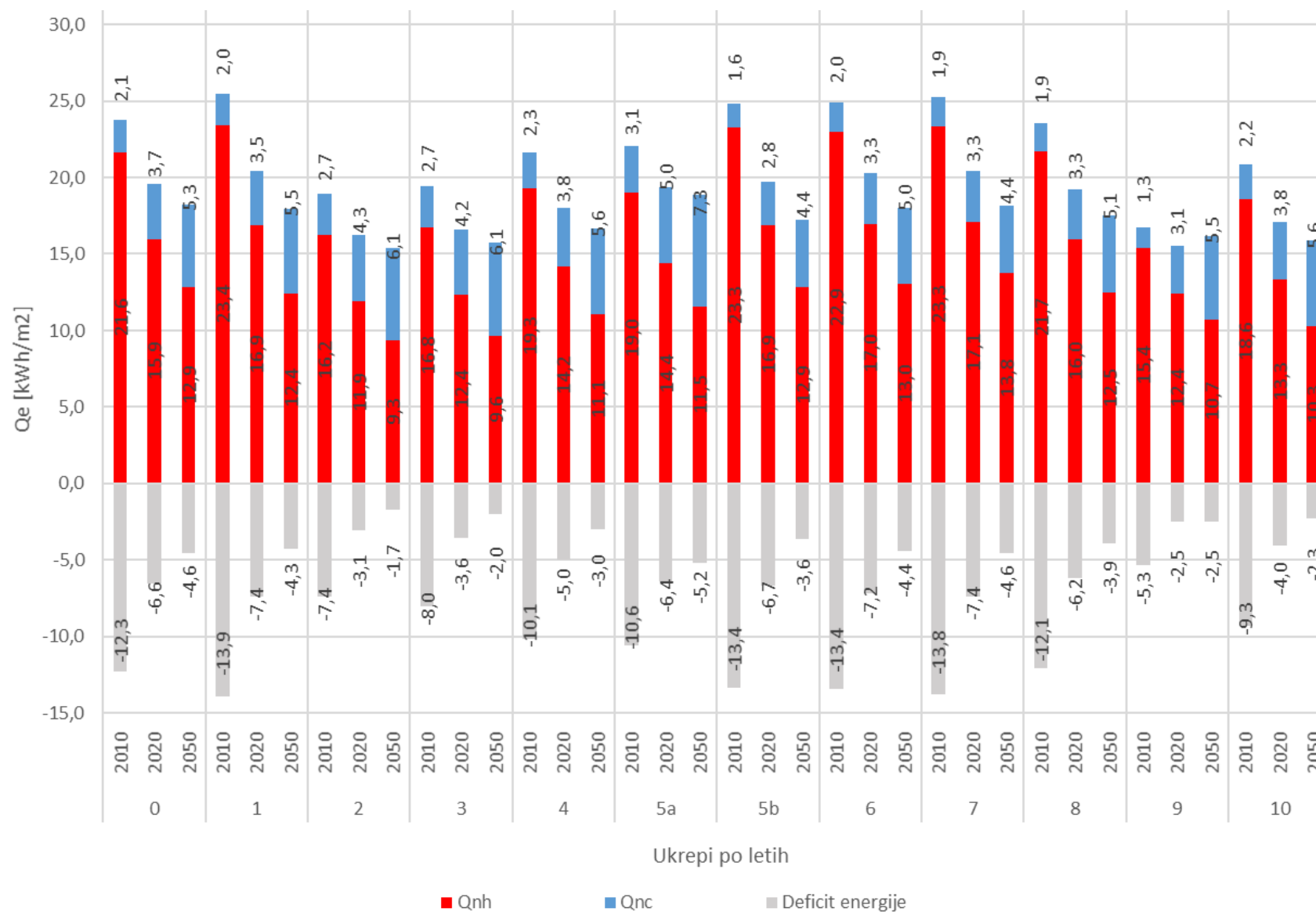
Iz Preglednice 50 vidimo sledeče. Skupna dovedena energija izhodiščne stavbe se od leta 2010 (58,3 kWh/m²) do leta 2020 zniža za 7,5 % (53,9 kWh/m²), do leta 2050 pa za 10,7 % (52,0 kWh/m²). To je posledica zmanjšanja Q_{nh} , ki v primerjavi z letom 2010 zaradi dviga temperature zunanjega zraka in povišane stopnje sončnega sevanja v sezoni ogrevanja za prihodnja obdobja predstavlja povišan delež celotne dovedene energije. V letu 2010 je Q_{nh} predstavljal 37,1 % (21,6 kWh/m²) celotne dovedene energije, do leta 2020 je padel na 29,6 % (15,9 kWh/m²) in do leta 2050 na 23,9 % (12,4 kWh/m²). Medtem je Q_{nc} iz 3,7 % deleža (2,1 kWh/m²) celotne dovedene energije leta 2010 narasel na 3,6 % (3,7 kWh/m²) v letu 2020 in nato na 10,6 % (5,5 kWh/m²) v letu 2050. Tudi dvig Q_{nc} je posledica dviga temperature zunanjega zraka in povišane stopnje sončnega sevanja prihodnjih obdobjih, vendar v sezoni hlajenja. Grafikon 25 prikazuje primerjavo količin, na katere smo se osredotočali skozi nalogo. Opazujemo razmerje Q_{nh} , Q_{nc} in deficita energije izhodiščnega modela za 2010, 2020 in 2050. Delež Q_{nc} občutno naraste, medtem ko delež Q_{nh} pade. Deficit energije se zaradi nižje količine dovedene energije in povišane proizvodnje energije v primerjavi s prejšnjim obdobjem do leta 2020 zniža za 25,3 % (6,6 kWh/m²), do leta 2050 pa za 35,58 % (4,3 kWh/m²).



Grafikon 25: Q_{nh} , Q_{nc} in deficit energije izhodiščnega modela za 2010, 2020, 2050.

7.2 Ukrepi

Sledi primerjava rezultatov simulacij energijske bilance ukrepov za leta 2010, 2020 in 2050. Spremljali smo bilanco dovedene energije za ogrevanje, hlajenje in skupno, za primerjavo smo v Grafikonu 26 navedli tudi deficit energije pri delovanju fotovoltaike z višjo zmogljivostjo (5 kWp). Skupna dovedena energija stavbe se skozi obdobja glede na izhodišče manjša pri vseh ukrepih, tudi pri tistih, ki jih nismo ocenili za energijsko učinkovite. Slednje velja, ker obravnavamo lokacijo s pretežno kurilno sezono, zato velik delež dovedene energije predstavlja energija za ogrevanje. Ta podatek ne prinese realne slike problema, ki je naraščanje potrebe po hlajenju v stavbah kot posledica podnebnih sprememb. V nadaljevanju so rezultati simulacij po posameznem ukrepu za vsa obravnavana obdobja ovrednoteni glede na učinkovitost v razmerju do izhodiščnega modela.



Grafikon 26: Q_{nh} , Q_{nc} in deficit energije stavbnega modela pri uporabi različnih ukrepov vključno z izhodiščnim modelom za 2010, 2020, 2050.

Ukrep 9, energijsko najučinkovitejši med ukrepi v letih 2010 oziroma 2020, predstavlja prehod na toplotno črpalko voda–voda. Uvedba ukrepa prinese 7,6 % oz. 11,9 % znižanje Q_e glede na izhodiščni model, leta 2050 pa ta se zniža za 3,4 %. Deficit energije v letu 2010 znaša 5,3 kWh/m², v letu 2020 pa 2,5 kWh/m². V letu 2050 je v primerjavi z 2020 sicer potreba po hlajenju že tako visoka, da povzroči dvig skupne Q_e . Za najučinkovitejša v letu 2050 se tako izkažeta ukrepa 2 in 3, ukrepa znižanja toplotne prehodnosti netransparentnih površin stavbnega ovoja, ki sta bila že v predhodnih obdobjih na vrhu lestvice najučinkovitejših, skupno Q_e pa znižata za 4,3 do 8,3 %. Nizke vrednosti toplotnih prehodnosti sten, strehe in tal izboljšajo sposobnost zadrževanja toplote oziroma hladu znotraj stavbe, prav tako znižajo vpliv npr. povišane zunanje temperature zraka ali sončnega sevanja na pregrevanje notranjosti stavbe. Deficit energije v letu 2050 za ta ukrep znaša 1,7 kWh/m². Naslednji med najučinkovitejšimi ukrepi v vseh treh obdobjih je ukrep 10, ki predstavlja uvedbo izklapljanja urnikov delovanja ogrevanja in hlajenja, s čimer optimiziramo rabo energije do take mere, da toplotno udobje v prostorih ostaja nespremenjeno. Skupna Q_e se zniža za 3,9–5,0 %. Deficit energije za ta ukrep skozi vsa obdobja znaša 9,3, 4,0 in 2,3 kWh/m².

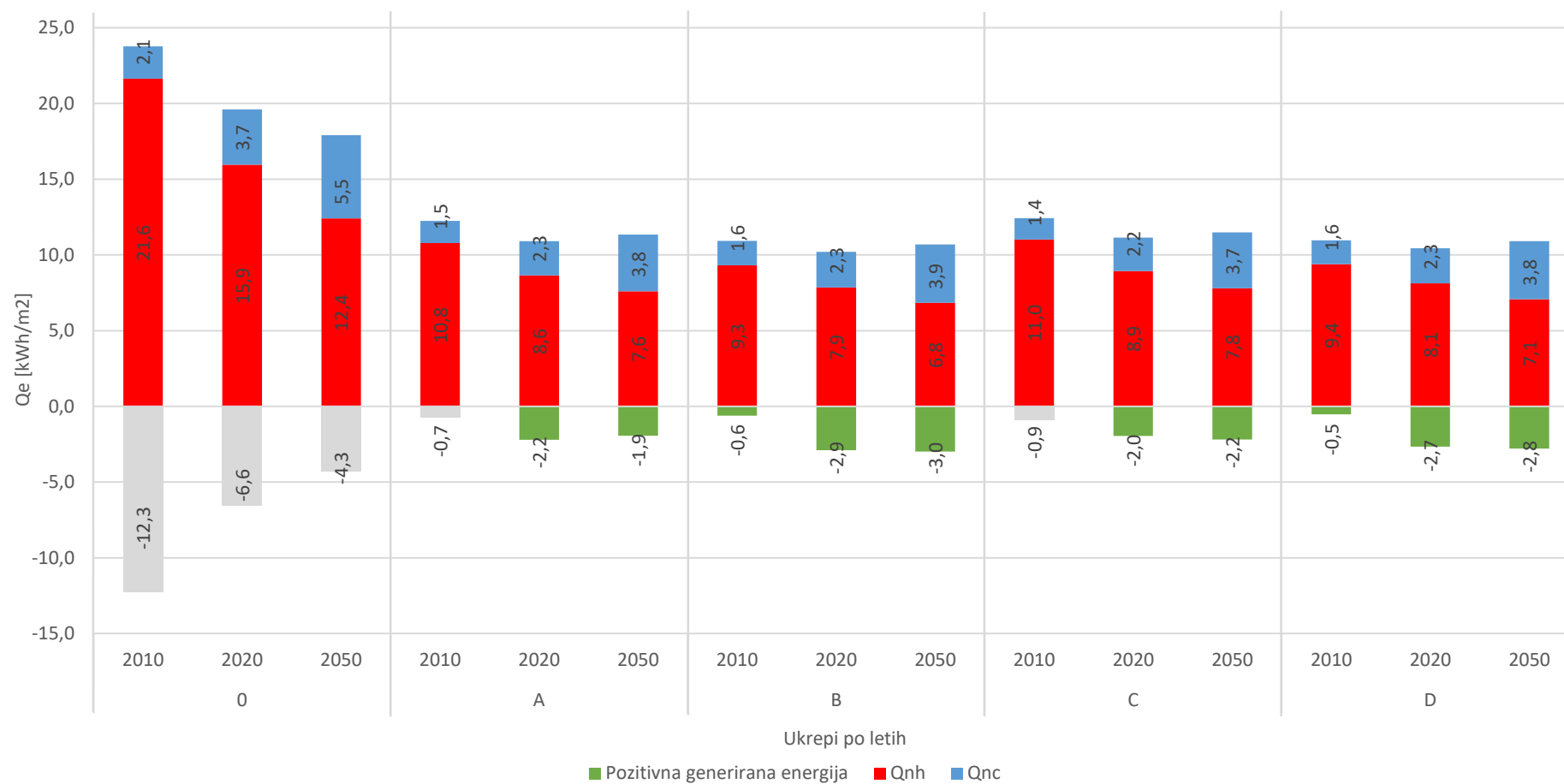
Obratno velja v primeru ukrepa 5a, ukrepu višanja odstotka zastekljenih površin fasade. Za vsa tri obdobja lahko zaključimo, da je energijsko neučinkovit, saj se ob njegovi uvedbi dovedena energija za hlajenje zviša za 33,0–43,8 %. Ukrep 4, nižanje toplotne prehodnosti zasteklitve spada med ukrepe izboljšanja ovoja stavbe, vendar se za nobeno izmed obravnavanih obdobj ne izkaže za tako energijsko učinkovitega (znižanje Q_e za približno 3 %) kot izboljšanje toplotne prehodnosti netransparentnih površin. Zaradi izboljšane toplotne prehodnosti imamo sicer v sezoni ogrevanja manj transmisijskih izgub skozi okna v zunanost, se pa v sezoni hlajenja zviša Q_{nc} . Glede na to, da je cena troslojne zasteklitve približno 30 % višja od dvoslojne, omenjen ukrep ni smiseln [51]. Ukrep 1, sprememba orientacije stavbe na S–J v letu 2010 pomeni 2,9 % zvišanje dovedene energije glede na izhodiščno stavbo, kar je posledica rasti dovedene energije za ogrevanje, saj stavba v zimskem času prejme manj solarnih dobitkov. Leta 2020 se Q_e glede na rezultate simulacije izhodiščne stavbe poviša za 1,6 %, leta 2050 pa le še za 0,5 %. Sklepamo lahko, da zaradi prihodnjega višanja temperature zunanjega zraka in gostote sončnega sevanja pomembnost orientacije stavbe SV–JZ izgublja na pomenu, predvsem zaradi možnosti pregrevanja zaradi solarnih dobitkov v poletnem času.

Na koncu predstavimo še rezultate simulacij energijske bilance ukrepov, za katere smo zaključili, da s časom pridobivajo na pomembnosti. Učinkovitost ukrepov, ki omejujejo vstop sončnemu sevanju v notranjost stavbe, skozi obdobja raste. Ker se bo potreba po hlajenju s časom višala, želimo poletne solarne dobitke kar se da znižati. V to skupino spadajo ukrepi 5b, nižanje odstotka zastekljenih površin fasade, ukrep 6, večanje intenzivnosti senčenja med majem in septembrom in ukrep 7, večanje globine nadstreška na 0,9 m. Našteti ukrepi v letu 2010 povzročijo približno 2 % višanje Q_e , saj so solarni dobitki za pasivno ogrevanje še dobrodošli in ker v poletnih mesecih ne pride do pregrevanja prostorov zaradi sončnega sevanja. Deficiti energije za te ukrepe se glede na rezultate izhodiščnega modela v letu 2010 zvišajo. V letu 2020 lahko že govorimo o energijski učinkovitosti ukrepov 5b in 6 (24,0 in 10,4 % znižanje Q_{nc}), od leta 2050 pa to velja za vse tri omenjene ukrepe 5b, 6 in 7 (9,6 %, 8,8 %, 20,2 % znižanje Q_{nc}). Skozi čas pridobiva na pomembnosti tudi ukrep 8, ukrep višanja pogostosti naravnega prezračevanja na 7–krat tedensko. Tega izvajamo predvsem v sezoni hlajenja in sicer v nočnem času,

kadar želimo ohlajen zunanji zrak spustiti v notranjost stavbe. Ukrep prinese od 8,0 do 12,3 % znižanje Q_{nc} in je seveda učinkovitejši, če naenkrat odpremo več oken, saj s tem zvišamo stopnjo izmenjave zraka.

7.3 Kombinacije ukrepov

Sledi primerjava rezultatov simulacij energijske bilance kombinacij ukrepov za leta 2010, 2020 in 2050. Spremljali smo višino dovedene energije za ogrevanje, hlajenje in skupno. Za primerjavo smo v Grafikonu 27 navedli tudi deficit energije pri delovanju fotovoltaike z višjo zmogljivostjo (5 kWp). Skupna dovedena energija stavbe se od leta 2010 do 2020 manjša pri vseh kombinacijah ukrepov, zatem sledi porast dovedene energije do leta 2050 predvsem na račun povišane energije za hlajenje. V nadaljevanju so ovrednoteni rezultati simulacij energijske bilance kombinacije štirih ukrepov za vsa tri obravnavana obdobja.



Grafikon 27: Q_{nh} , Q_{nc} in deficit energije kombinacije ukrepov vključno z izhodiščnim modelom za 2010, 2020, 2050

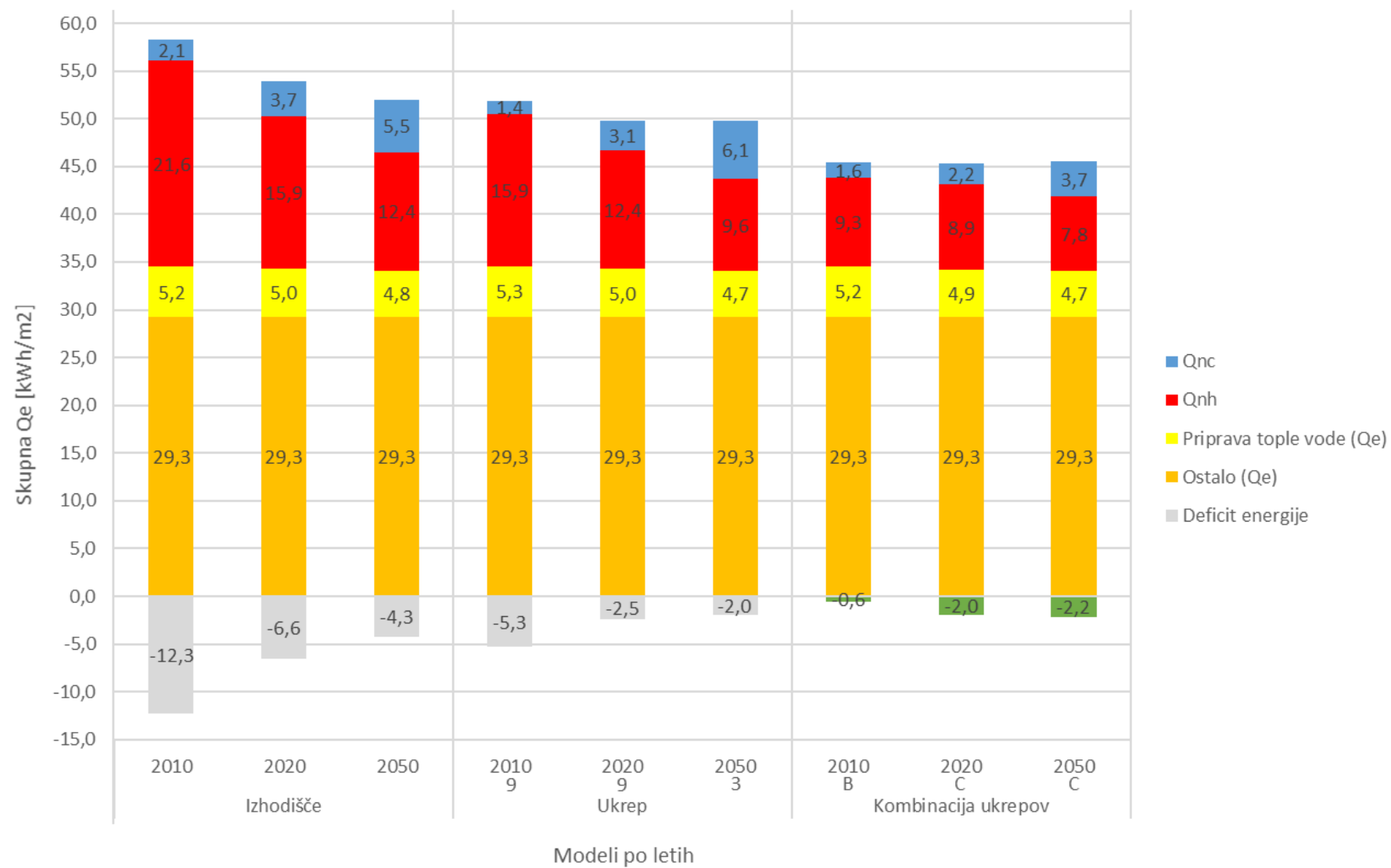
Iz Grafikona 27 vidimo, da smo s kombinacijami ukrepov dosegli energijsko neodvisno stavbo, saj s fotovoltaiiko generiramo presežek energije. Višina generirane energije se giblje med 0,5 in 3,0 kWh/m². V primerjavi z izhodiščem smo tako deficit energije 12,3 kWh/m² iz leta 2010, 6,6 kWh/m² iz leta 2020 in 4,3 kWh/m² iz leta 2050 izničili. V letu 2010 znaša Q_{nh} med 9,3–11,0 kWh/m², leta 2020 med 7,9–8,9 kWh/m² in leta 2050 med 6,8–7,8 kWh/m². Q_{nc} v letu 2010 znaša med 1,4–1,6 kWh/m², v letu 2020 med 2,2–2,3 kWh/m² in leta 2050 med 3,7–3,9 kWh/m².

Skupna Q_e se od leta 2010 do 2020 pri vseh kombinacijah ukrepov zmanjša za 1,8–3,4 %, kar je posledica 13,4–19,8 % znižanja Q_{nh} . Q_{nc} naraste za 45,4–56,2 %, vendar predstavlja majhen delež skupne Q_e , zaradi česar nima občutnega vpliva na spremembo Q_e . Ta predstavlja dobre 3,0 % skupne Q_e , medtem ko predstavlja Q_{nh} dobrih 20 % skupne Q_e . Skupna Q_e nato do leta 2050 naraste za 0,4–0,7 %, kar je posledica 65,0–68,0 % rasti Q_{nc} , medtem ko Q_{nh} pade za 12,2–13,1 %. Sedaj Q_{nh} predstavlja okrog 16 % skupne Q_e , Q_{nc} pa dobrih 8 % skupne Q_e . Do leta 2020 bodo podnebne spremembe na dovedeno energijo v stavbi vplivale v taki meri, da se bo le-ta znižala predvsem na račun manjše potrebe po ogrevanju, kar je posledica višanja temperature zunanega zraka in gostote sončnega sevanja na horizontalno površino. Do leta 2050 rast temperature zunanega zraka in gostote sončnega sevanja povzroči dvig dovedene energije za rabo stavbe na račun višje stopnje dovedene energije za hlajenje.

V primerjavi kombinacij ukrepov s trojno (B in D) in dvojno (A in C) zasteklitvijo vidimo, da ima stavba s trojno zasteklitvijo v vseh obdobjih sicer večji presežek energije, vendar več dovedene energije za hlajenje, kar je posledica manjše stopnje transmisijskih izgub skozi troslojno zasteklitev. Prav tako, če primerjamo leseno stavbo (A in B) z armiranobetonsko (C in D), vidimo, da so presežki dovedene energije primerljivi, vendar je v stavbi z nizko maso dovedene več energije za hlajenje. Skozi lahko konstrukcijo namreč toplotni tok steče prej kot skozi masivno armiranobetonsko, zato se notranjost stavbe hitro segreje, kar povzroča pregrevanje v poletnih mesecih.

7.4 Določitev učinkovitosti ukrepov

Sledi primerjava rezultatov energijskih simulacij izhodiščnega modela, energijsko najučinkovitejšega ukrepa ter kombinacije ukrepov za posamično obdobje. Modele primerjamo tako medsebojno, kot tudi po obdobjih. Prikazati želimo razmerje med komponentami Q_e in razlike v višini skupne Q_e ter deficita energije. Kot najbolj učinkovit za leti 2010 in 2020 je bil določen ukrep 9, za leto 2050 pa ukrep 3. Energijsko najučinkovitejša kombinacija ukrepov v letu 2010 je B, v letih 2020 in 2050 pa C. Vrednosti Q_e za simulirane načrtovalske ukrepe v nadaljevanju vrednotenja rezultatov zapišemo znotraj oklepajev.



Grafikon 28: Primerjava komponent Qe izbranih modelov za 2010, 2020, 2050

Skozi čas je opazno, da količina skupne dovedene energije pada pri vseh modelih, kar je posledica projiciranih podnebnih sprememb za izbrano lokacijo. Deficit energije izhodiščnega modela se do leta 2020 zniža za 46 % (z 12,3 na 6,6 kWh/m²) in do leta 2050 za 65 % (na 4,3 kWh/m²). Podobno je pri izbranih ukrepih za posamično obdobje, saj se deficit energije do leta 2020 zniža za 53 % (s 5,3 na 2,5 kWh/m²) in do leta 2050 za 62 % (na 2,0 kWh/m²). Simulacije modelov s kombinacijami ukrepov v vseh obdobjih pokažejo, da je stavba samozadostna, saj proizvede od 0,6 do 2,2 kWh/m². V smislu rabe energije za delovanje stavbe na našem območju prevladuje kurilna sezona, zato višanje temperatur zunanjšega zraka in gostote sončnega sevanja povzroči upad dovedene energije za ogrevanje. Q_{nh} izhodiščnega modela se do leta 2020 zniža za 26 % (z 21,6 na 15,9 kWh/m²) in do leta 2050 za 43 % (na 12,4 kWh/m²). Podobno je pri izbranem ukrepu, saj se Q_{nh} do leta 2020 zniža za 22 % (z 12,4 na 9,6 kWh/m²) in do leta 2050 za 40 % (na 9,3 kWh/m²). Pri kombinaciji ukrepov so razlike med obdobji manjše. Do leta 2020 se Q_{nh} namreč zniža za 4 % (z 9,3 na 8,9 kWh/m²) in do leta 2050 za 16 % (na 7,8 kWh/m²). Segrevanje ozračja povzroči dvig poletnih maksimumov, zaradi česar se skozi čas viša tudi dovedena energija za hlajenje. Q_{nc} izhodiščnega modela do leta 2020 naraste za 71 % (z 2,1 na 3,7 kWh/m²) in do leta 2050 za 158 % (na 5,5 kWh/m²). Podobno je pri končni kombinaciji ukrepov, saj Q_{nc} do leta 2020 oziroma 2050 naraste za 74 % (na 2,2 kWh/m²) oziroma za 131 % (na 3,7 kWh/m²). Vidno je, da z ukrepi preprečevanja pregrevanja stavbe zaradi sončnega sevanja in višanja temperatur zunanjšega zraka znižamo dovedeno energijo za hlajenje. Ker interakcije stavbe z okolico ni možno izničiti, Q_{nh} kljub uvedbi ukrepov skozi čas narašča. Ta pojav lahko ublažimo z ukrepom visoke mase stavbe, saj tako ustvarimo časovni zamik prehoda toplote skozi konstrukcijske sklope in toploto, ki se čez dan shrani v masi stavbe, z nočnim hlajenjem oddamo v okolico.

Skupno dovedeno energijo za delovanje stavbe predstavljajo Q_{nh} , Q_{nc} , energija za pripravo tople vode in ostali viri, iz Grafikona 28 pa vidimo, da večino celotnega deleža predstavljajo ostali viri, kot je bilo predstavljeno že v Preglednici 33. Ta komponenta dovedene energije ima torej velik potencial znižanja, predvsem zaradi napredovanja tehnologije v proizvodnji varčnejših naprav, tako v smislu rabe energije, kot tudi v smislu zmanjšanja oddajanja odpadne toplote, ki nastane pri delovanju naprav, v prostore stavbe. Tak učinek je zaželen predvsem v poletnih mesecih, saj bi se posledično znižala dovedena energija za hlajenje. Razmerje deležev vseh komponent Q_e pri izhodiščni stavbi v letu 2010 je naslednje: 37 % predstavlja Q_{nh} (21,6 kWh/m²), 4 % Q_{nc} (2,1 kWh/m²), 9 % energija za pripravo tople vode (5,2 kWh/m²) in 50 % ostali viri (29,3 kWh/m²). Do leta 2050 se Q_{nh} zniža na 24 % (12,4 kWh/m²), Q_{nc} pa naraste na 11 % (5,5 kWh/m²). Razmerje deležev teh komponent za leto 2010 pri kombinaciji ukrepov znaša 21 % Q_{nh} (9,3 kWh/m²), 4 % Q_{nc} (1,6 kWh/m²), 12 % energija za pripravo tople vode (5,2 kWh/m²) in 64 % ostali viri (29,3 kWh/m²). Do leta 2050 se Q_{nh} zniža na 17 % (7,8 kWh/m²), Q_{nc} pa naraste na 8 % (3,7 kWh/m²). Iz tega lahko sklepamo, da bo količina dovedene energije za ogrevanje energijsko učinkovite stavbe manj odvisna od podnebnih sprememb kot v primeru stavbe z nižjo energijsko učinkovitostjo. Opazno je tudi, da je skozi obdobja, kljub nižjim absolutnim vrednostim, rast dovedene energije za hlajenje energijsko učinkovite stavbe primerljiva z rastjo pri izhodiščnem modelu, zato poudarjamo pomembnost ukrepov za preprečevanje pregrevanja stavb.

8 ZAKLJUČEK

Iz analize energijske učinkovitosti načrtovalskih ukrepov za leta 2010, 2020 in 2050, kjer smo spremljali količino dovedene energije za delovanje stavbe s poudarkom na dovedeni energiji za ogrevanje in hlajenje, lahko zaključimo sledeče. Energijsko najučinkovitejši za leti 2010 in 2020 je ukrep, ki predstavlja prehod na toplotno črpalko voda–voda. Uvedba ukrepa prinese 11,9 % in 7,6 % znižanje Q_e glede na izhodiščni model, leta 2050 pa se zniža za 3,4 %. Deficit energije pri omenjenem ukrepu znaša 5,3 kWh/m² v letu 2010 in 2,5 kWh/m² v letu 2020. Po učinkovitosti sledita ukrepa znižanja toplotne prehodnosti netransparentnih površin stavbnega ovoja, ki sta nato v letu 2050 najučinkovitejša. Uvedba katerega izmed teh ukrepov prinese v letu 2050 znižanje skupne Q_e za od 4,3 do 4,9 %. Nizke toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov sten, strehe in tal izboljšajo sposobnost zadrževanja segretega ali ohlajenega zraka znotraj stavbe, prav tako znižajo vpliv npr. povišane zunanje temperature na pregrevanje notranjosti stavbe. Deficit energije v letu 2050 za ta ukrep znaša 1,7 kWh/m². S tem je delno potrjena druga hipoteza, ki trdi, da je izboljšanje toplotne prehodnosti transparentnega in netransparentnega ovoja stavbe energijsko najučinkovitejši ukrep nižanja Q_{nh} in Q_{nc} stavbe. Prvi del hipoteze smo ovrgli, saj izboljšanje toplotne prehodnosti zasteklitve povzroči dvig dovedene Q_{nc} . Drugi del hipoteze, kot že omenjeno, potrjujemo, saj je ukrep nižanja toplotne prehodnosti netransparentnih površin definitivno najučinkovitejši med posegi na konstrukciji stavbe. Naslednji po učinkovitosti med ukrepi v vseh treh obdobjih je ukrep uvedbe izklapljanja urnikov delovanja ogrevanja in hlajenja, s čimer optimiziramo rabo energije do take mere, da toplotno udobje v prostorih ostaja nespremenjeno. Skupna Q_e se zniža za 3,9–5,0 %. Deficit energije za ta ukrep skozi vsa obdobja znaša 9,3, 4,0 in 2,3 kWh/m².

Skozi čas dobivajo na pomembnosti ukrepi preprečevanja pregrevanja stavb zaradi sončnega sevanja, kar potrjuje prvo hipotezo, zastavljeno na začetku naloge. Pri izbiri ukrepov za doseganje toplotnega udobja v prihodnosti se strinjamo z raziskavo, ki poudarja pomembnost senčenja zasteklitev in zmanjšanja površine zasteklitev [35]. Omenjeni ukrepi sicer še v letu 2010 povzročijo približno 2 % višanje Q_e glede na izhodiščni model, medtem ko lahko že v letu 2020 govorimo o energijski učinkovitosti ukrepov manjšanja WWR in višanja stopnje senčenja (24,0 in 10,4 % znižanje Q_{nc}), od leta 2050 pa tudi ukrep večanja globine nadstreška na 0,9 m velja za primerne (20,2 % znižanje Q_{nc}). Skozi čas pridobiva na pomembnosti tudi ukrep višanja pogostosti naravnega prezračevanja na 7–krat tedensko, predvsem v kombinaciji z visoko maso stavbe. Naravno prezračevanje izvajamo v sezoni hlajenja in sicer v nočnem času, kadar želimo segret notranji zrak zamenjati z zunanjim, ohlajenim. To potrjuje tretjo hipotezo z začetka naloge, ki trdi, da bo stavba z visoko maso zaradi zmožnosti časovnega zamika prehoda toplote skozi konstrukcijo v prihodnosti rabila manj energije za delovanje kot stavba z nizko maso. Ukrep prinese 8,0 do 12,3 % znižanje Q_{nc} in je seveda učinkovitejši, če odpremo več oken, saj s tem zvišamo stopnjo izmenjave zraka.

Glavni cilj naloge je bila izboljšava zasnove stavbe z namenom zmanjšanja dovedene energije za obratovanje enodružinske hiše na območju Ljubljane v treh obravnavanih obdobjih. Iz analiz kombinacij ukrepov, s katerimi smo načrtovali ZNE stavbo zaključimo, da je dovedena energija za ogrevanje energijsko učinkovite stavbe manj odvisna od podnebnih sprememb kot dovedena energija za ogrevanje energijsko manj učinkovite stavbe, rast dovedene energije za hlajenje energijsko učinkovite

stavbe pa je primerljiva z izhodiščnim modelom, vendar z nižjimi absolutnimi vrednostmi, zaradi česar poudarjamo pomembnost ukrepov za preprečevanje pregrevanja stavb. Zavedati se je potrebno tudi smiselnosti in kompatibilnosti izbranih ukrepov. Potrebno je poudariti, da zaključki, do katerih smo prišli v nalogi, temeljijo na projekcijah podnebnih sprememb za prihodnost. Za ta namen je bil izbran scenarij A2 projekcije potenciala globalnega segrevanja organizacije IPCC, ki je opredeljen kot scenarij s srednje–visokimi izpusti (razpon 1352–1938 GtC) med štiridesetimi scenariji projekcij letnih svetovnih izpustov kumulativnega CO₂ v tretjem celovitem poročilu ocen klimatološke znanosti [26]. V primeru izbire katerega izmed drugih scenarijev bi se primerno razlikovali tudi rezultati naloge.

Za konec se lahko strinjamo še s študijama količine dovedene energije stanovanjskih stavb, ki zaključujeta, da ima energijska prenova stavbe večji vpliv na rabo energije kot podnebne spremembe [32, 33]. Pri taki trditvi je potrebno poudariti, da ta učinek z nižanjem vrednosti toplotne prehodnosti pada, tako da od določene točke naprej izboljšanje toplotne prehodnosti stavbnega ovoja ni smiselno [34].

VIRI

- [1] Ameriško inženirsko združenje ASHRAE. 2018.
<https://www.ashrae.org/> (Pridobljeno 10. 01. 2018.)
- [2] BEopt, National Renewable Energy Laboratory. 2017.
<https://beopt.nrel.gov/downloadBEopt2> (Pridobljeno 10. 11. 2017.)
- [3] Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in sveta z dne 19.5.2010 o energetske učinkovitosti stavb, Uradni list Evropske unije.
- [4] Mednarodni vremenski podatki za energijske izračune (IWEC) ameriškega inženirskega združenja ASHRAE. 2018.
<https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/ashrae-international-weather-files-for-energy-calculations-2-0-iwec2> (Pridobljeno 10. 01. 2018.)
- [5] National Renewable Energy Laboratory. 2010.
<https://www.nrel.gov/docs/fy10osti/47246.pdf> (Pridobljeno 10. 01. 2018.)
- [6] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES 2010. Uradni list RS, št. 52/2010.
- [7] Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije: 16-18.
- [8] Ramesh, T., Prakash, R., Shukla, K. K. 2010. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. Energy and Buildings 42, 10: 1592-1600.
- [9] Chao, M. 2013. Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects. Energy and Buildings 66: 165-176.
- [10] Magyar, S. 2017. Učinkovita raba energije v Sloveniji – Statistični pogled. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG.
- [11] Državni svet Republike Slovenije, 2010. Gozd in les – Razvojna priložnost Slovenije. Zbornik referatov in razprav, št. 5.
- [12] Energetski cilji EU. 2018.
https://europa.eu/european-union/topics/energy_sl (Pridobljeno 29. 06. 2018.)
- [13] Energetski načrt za leto 2050. 2011.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/ALL/?uri=CELEX:52011DC0885>
(Pridobljeno 29. 06. 2018.)

- [14] Deu, Ž. 2015. Poti trajnostnega sonaravnega razvoja v arhitekturi in gradbeništvu. *Gradbenik* 19, 6: 46–51.
- [15] Podnebje Evrope. 2018.
https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_of_Europe (Pridobljeno 29. 06. 2018.)
- [16] 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.
- [17] Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. 2006. World Map of the Köppen–Geiger climate classification updated. *Meteorol Z* 15 (2006): 259–263.
- [18] Podnebni tipi po Köppen–Geiger na območju Slovenije. 2018.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Slovenia_K%C3%B6ppen.svg (Pridobljeno 29. 06. 2018.)
- [19] Ogrin, D. 1996. Podnebni tipi v Sloveniji. *Geografski vestnik* 68: 39–59.
- [20] Podnebni tipi na območju Slovenije. 2018.
http://www.gis.si/egw/GOS_T12_P04/img/Podnebje_mali.png (Pridobljeno 22. 02. 2018.)
- [21] Povprečne temperature zunanjega zraka v Ljubljani. 2018.
<http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/ljubljana.html> (Pridobljeno 23. 02. 2018.)
- [22] Geografska umestitev Ljubljane. 2018.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Ljubljana> (Pridobljeno 23. 02. 2018.)
- [23] Kajfež–Bogataj, L. 2008. Kaj nam prinašajo podnebne spremembe? Ljubljana, Pedagoški inštitut: 12–52 str.
- [24] Anomalija globalnega povprečja temperature površja Zemlje. 2014.
https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf
(Pridobljeno 05. 07. 2018.)
- [25] Medvladni forum za podnebne spremembe. 2000.
https://sl.wikipedia.org/wiki/Medvladni_forum_za_podnebne_spremembe (Pridobljeno 05. 07. 2018.)
- [26] IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change 2017.
https://ipcc.ch/pdf/special-reports/sp_m/sres-en.pdf (Pridobljeno 10. 11. 2017.)
- [27] Song, X., Ye, C. 2017. Climate change adaptation pathways for residential buildings in southern China. *Energy Procedia* 105; 3062–3067.

- [28] Clarke, L., Eom, J., Hodson Marten, E., Horowitz, R., Kyle, P., Link, R., Mignone, B. K., Mundra, A., Zhou, Y. 2018. Effects of long-term climate change on global building energy expenditures. Eneeco. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.01.003>
- [29] Eskeland, G. S., Mideksa, T. K. 2009. Climate Change Adaptation and Residential Electricity Demand in Europe. CICERO working paper 2009:01.
- [30] Eurostat, Directorate-General of the European Commission. 2018.
<http://ec.europa.eu/eurostat> (Pridobljen 08. 03. 2018.)
- [31] Gupta, R., Gregg, M. 2017. Assessing energy use and overheating risk in net zero energy dwelling in UK. Energy and Buildings, 158: 897–905.
- [32] Andric, I., Pina, A., Ferrao, P., Fournier, J., Lacarriere, B., Le Corre, O. 2017. The impact of climate change on building heat demand in different climate types. Energy and Buildings. doi:10.1016/j.enbuild.2017.05.047.
- [33] Nik, V. M., Mata, E., Kalagasidis, A. S., Scartezzini, J. L. 2016. Effective and robust energy retrofitting measures for future climatic conditions – Reduced heating demand of Swedish households. Energy and Buildings, 121: 176–187.
- [34] Audenaert, A., De Boeck, L., Roelants, K. 2010. Economic analysis of the profitability of energy-saving architectural measures for the achievement of the EPB-standard. Energy 35: 2965–2971.
- [35] Pajek, L., Košir, M. 2017. Implications of present and upcoming changes in bioclimatic potential for energy performance of residential buildings. Building and environment. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.10.040.
- [36] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Uradni list RS, št. 42/2002 , 105/2002, 14.čl.
- [37] EnergyPlus Weather Data, WMO. 2017.
<https://energyplus.net/weather> (Pridobljeno 10. 11. 2017.)
- [38] CCWorldWeatherGen tool. University of Southampton, Energy and Climate Change Division. 2017.
<http://www.energy.soton.ac.uk/ccworldweathergen/> (Pridobljeno 10. 11. 2017.)
- [39] Climate Consultant 6.0., UCLA. 2017.
<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>
(Pridobljeno 10. 11. 2017.)

- [40] Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj, Uradni list RS, št. 125/2003, 110/2005, 12.čl.
- [41] Jentsch, M. F., James, P. A. B, Bourikas, L., Bahaj, A. S. 2013. Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. *Renewable Energy*; 55:514–24. doi:10.1016/j.renene.2012.12.049
- [42] Belcher, S. E., Hacker, J. N., Powell, D. S. 2005. Constructing design weather data for future climates. *Building Services Engineering Research and Technology* 26, 1: 49–61.
- [43] Bergant, K., Kajfež-Bogataj, L. 2004. Nekatere metode za pripravo regionalnih scenarijev podnebnih sprememb. *Acta agriculturae slovenica* 83, 2: 273–287.
- [44] Giorgi, F., Mearns, L. O. 2002. Calculations of average, uncertainty range, and reliability of regional climate changes from AOGCM simulations via “reliability ensemble averaging” (REA) method. *Journal of Climate* 15:1141–1158.
- [45] ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. 2013. Standard 55–Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- [46] Šijanec Zavrl, M. Ali razumemo energijske kazalnike stavbe? 2018.
https://www.e-prirocniki.si/Energijski_kazalniki_stavbe.doc (Pridobljeno 06. 07. 2018.)
- [47] Spremembe podnebja v Sloveniji do sredine 21. stoletja. Agencija RS za okolje. 2018.
http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/PSS/scenariji/letak_RCP45_2070.pdf
(Pridobljeno 05. 07. 2018)
- [48] ARSO. Arhiv meteoroloških podatkov po Sloveniji. 2018.
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (Pridobljeno 27. 02. 2018.)
- [49] Trendi podnebnih spremenljivk in kazalcev. Agencija RS za okolje. 2014.
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/trends/> (Pridobljeno 05. 07. 2018.)
- [50] Povprečna velikost stanovanja in gospodinjstva. Statistični urad RS. 2018.
<http://www.stat.si/statweb> (Pridobljeno 10. 01. 2018.)
- [51] Okna M Sora. 2018.
http://www.m-sora.si/si/files/default/katalogi/2016_M_SORA_okna_1.pdf (Pridobljeno 12. 03. 2018.)
- [52] Grelno število toplotne črpalke. 2018.
<https://kronoterm.com/zakaj-toplotna-crpalka-kronoterm/> (Pridobljeno 10. 01. 2018.)

[53] Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije, Uradni list RS, št. 97/2015, 3.čl.

[54] SIST EN ISO 13790: 2008. Energijske lastnosti stavb – Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov.

[55] Poročanje Republike Slovenije Evropski komisiji o določitvi stroškovno optimalni ravni za minimalne zahteve glede učinkovitosti stavb in elementov stavb, 2012. Gradbeni inštitut ZRMK. Priloga B.1, Priloga B.3.

[56] Specifična toplota snovi. 2018.

https://sl.wikipedia.org/wiki/Specifi%C4%8Dna_toplota (Pridobljeno 12. 03. 2018.)

[57] Pratt, R., Conner, C., Richman, E., Ritland, K., Sandusky, W., Taylor, M. 1989. Description of Electric Energy Use in Single-Family Residences in the Pacific Northwest – End-Use Load and Consumer Assessment Program, Richland, WA: Pacific Northwest National Laboratory, DOE/BP-13795-21.