



FGG

UNIVERZA V LJUBLJANI

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

MAGISTRSKO DELO

MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE STOPNJE GRADBENIŠTVO

Ljubljana, 2024



FGG

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Kandidat/-ka:

Magistrsko delo št.:

Master thesis No.:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

Ljubljana, _____

POPRAVKI – ERRATA

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

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju magistrske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Žigi Turku. Zahvalil bi se tudi svojim staršem, ki so me skozi vsa leta študija spodbujali k zaključku študija.

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004.42:699.86:728.2(043.3)
Avtor:	Dragoljub Šečerov, dipl. inž. grad.
Mentor:	Prof. dr. Žiga Turk
Naslov:	Vloga digitalne tehnologije pri energetski prenovi večstanovanjskih stavb
Tip dokumenta:	Magistrsko delo
Obseg in oprema:	104 str., 27 pregl., 103 sl., 5 graf., 31 virov
Ključne besede:	BIM, energijska učinkovitost, LiDAR, oglični odtis, Revit, Pures 3, vizualizacije, DesignBuilder, URSA 4.0, gbXML

Izvleček

V magistrskem delu smo obravnavali analizo energijskih bilanc in možnih izboljšav na področju energijske učinkovitosti obstoječe večstanovanjske stavbe v Ljubljani s pomočjo različnih računalniških orodij in pristopov. Cilj magistrskega dela je bila preučitev možnosti uporabe novejših tehnologij, kot sta programska oprema v BIM okolju in LiDAR kamera, pri analizah trajnostne gradnje.

V ta namen smo po eni metodi izračunali energijske kazalnike stavbe in možne izboljšave energijske učinkovitosti stavbe s pomočjo vhodnih podatkov, pridobljenih preko terenskih meritev in s pomočjo laserskega merilnika in računalniških programov, kot sta URSA 4.0 in PURES 3. Po drugi metodi pa smo vhodne podatke pridobili s pomočjo LiDAR posnetkov stavbe in programov v BIM okolju, kot sta Revit EnergyPlus in DesignBuilder. Nato smo rezultate, pridobljene preko dveh različnih metod, primerjali med seboj.

Ugotovili smo, da so dobljeni rezultati primerljivi in da je možno izdelati energetsko izkaznico stavbe preko BIM modela stavbe zmodeliranega s pomočjo posnetkov iz LiDAR kamere.

Z magistrsko nalogo smo dokazali, da so nove tehnologije, ki so usmerjene v energijsko učinkovitost v gradbeništvu, lahko odličen pripomoček strokovnjakom, ki se ukvarjajo z analizami trajnostne gradnje objektov. V prihodnosti bi bilo smotrno raziskati smeri in načine, ki bi omogočili večjo implementacijo zgoraj omenjenih tehnologij v slovenski gradbeni panogi, predvsem na področju integracije BIM tehnologije z obstoječimi programi za izračun energijskih bilanc stavb.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 004.42:699.86:728.2(043.3)
Author: Dragoljub Šečerov, B.Sc.
Supervisor: Prof. Žiga Turk, Ph.D.
Title: The Role of Digital Technology in the Energy Renovation of Multi-Apartment Buildings
Document type: Master thesis
Notes: 104 p., 27 tab., 103 fig., 5 graph., 31 ref.
Keywords: BIM, energy efficiency, LiDAR, carbon footprint, Revit, Pures 3, renderings, Design Builder, URSA 4.0, gbXML

Abstract

In the master thesis we analysed the energy simulations and possible improvements in the energy efficiency of an existing multi-apartment building in Ljubljana using different computational tools and approaches. The aim of the master thesis was to investigate the possibility of using newer technologies, such as software in BIM environment and LiDAR camera, in sustainable building analysis.

For this purpose, one method was used to calculate the building energy performance indicators and possible energy efficiency improvements of the building using input data obtained through field measurements using a laser meter and computer programs such as URSA 4.0 and PURES 3. The other method was to obtain input data using LiDAR images of the building and use of programs in the BIM environment such as Revit EnergyPlus and DesignBuilder. The results obtained by the two different methods were then compared with each other.

We found that the results are comparable and that it is possible to produce an energy performance certificate for a building using a BIM model of the building modelled with LiDAR camera imagery.

The master thesis proved that new technologies focused on energy efficiency in construction industry can be an excellent tool for experts involved in the analysis of sustainable building construction. In the future, it would make sense to explore directions and ways that would allow a greater implementation of the above-mentioned technologies in the Slovenian construction industry, especially in the field of integration of BIM technology with existing programs for the calculation of energy simulations of buildings.

POPRAVKI – ERRATA.....	I
ZAHVALA.....	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
KAZALO SLIK.....	VIII
KAZALO PREGLEDNIC	XII
KAZALO GRAFIKONOV.....	XIII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI / ABBREVIATIONS AND SYMBOLS.....	XIV
1 ENERGIJSKA UČINKOVITOST.....	1
1.1 Uvod.....	1
1.2 Namen in cilji.....	2
2 TEORETIČNE OSNOVE MAGISTRSKE NALOGE	4
2.1 BIM.....	4
2.1.1 Kaj je BIM tehnologija	4
2.1.2 BIM modeli.....	4
2.1.3 Stopnje določenosti elementov BIM modela (<i>angl. Level of development – LOD</i>)	4
2.1.4 Namen in cilji uporabe BIM tehnologij	5
2.2 LiDAR tehnologija	6
2.2.1 Kaj je LiDAR.....	6
2.2.2 LiDAR in energijska učinkovitost	7
2.2.3 LiDAR kamera, integrirana v pametnem telefonu.....	7
2.3 Novi pravilnik o učinkoviti rabi energije PURES 2022	8
2.3.1 Cilji pravilnika	8
2.3.2 Opredelitve z novim pravilnikom	9
2.3.3 Zahteve glede razvrstitve stavb.....	9
2.3.4 Dodatne zahteve.....	10
2.3.5 Tehnična smernica TSG-1-004: 2022	10
2.3.6 Povzetek.....	10
3 POSTOPEK DELA	11
3.1 Izračun energijske bilance stavbe s pomočjo programa URSA 4.0 in PURES 3	11
3.2 Izračun energijske bilance stavbe s pomočjo BIM programske opreme	11
3.2.1 Izračun v programu EnergyPlus Revit.....	11
3.2.2 Izračun s pomočjo programa DesignBuilder	12
4 OBRAVNAVANI OBJEKT	13
4.1 Opis stavbe.....	13
4.2 Toplotni ovoj stavbe.....	14
4.2.1 Opis meritev objekta.....	14
4.3 Konstrukcijski sklopi stavbe	19
4.3.1 Tla v kleti	19

4.3.2	Tla nad neogrevano kletjo	20
4.3.3	Etažna plošča.....	20
4.3.4	Plošča pod neogrevanem podstrešju	21
4.3.5	Kletna stena.....	21
4.3.6	Toplotno izolirana stena.....	22
4.3.7	Parapetni zid debeline $d = 18$ cm	22
4.3.8	Parapetni zid debeline $d = 23$ cm	23
5	POSTOPEK MODELIRANJA STAVBE V BIM OKOLJU	24
5.1	Autodesk REVIT	24
5.2	Modeliranje stavbe v BIM okolju	24
5.2.1	LiDAR posnetek stavbe	24
5.2.2	Postopek snemanja LiDAR posnetkov.....	24
5.2.3	Format posnetka .PTS	25
5.2.4	Izvoz posnetka .PTS v program Autodesk ReCap PRO	26
5.2.5	LiDAR posnetek v programski opremi Revit	26
5.3	BIM model stavbe.....	28
6	RAČUN ENERGIJSKE BILANCE S PROGRAMOM PURES 3	30
6.1	Program PURES 3.....	30
6.2	Opis dela v programu PURES 3.....	30
6.2.1	Začetni vhodni podatki.....	30
6.2.2	Podatki o coni.....	31
6.2.3	Razsvetljava	33
6.2.4	Hlajenje v stavbi.....	35
6.2.5	Ogrevanje v stavbi.....	35
6.2.6	Ogrevanje TSV.....	36
6.2.7	Gradniki toplotnega ovoja stavbe.....	36
6.2.8	Temperaturni korekcijski faktor b.....	38
7	RAČUN ENERGIJSKE BILANCE STAVBE S PROGRAMOM URSA 4.0	40
7.1	Program URSA 4.0.....	40
7.2	Proces izračuna gradbene fizike stavbe.....	40
7.2.1	Klimatski podatki	40
7.3	Vnos lastnosti stavbe v program URSA 4.0	42
8	RAČUN ENERGIJSKE BILANCE STAVBE V BIM OKOLJU	43
8.1	Opis postopka izvajanja izračuna energijske bilance stavbe v programu Revit	43
8.2	EnergyPlus aplikacija v programski opremi Revit	48
8.3	Program za izračun energijske bilance stavbe DesignBuilder	48
8.3.1	Kaj je format gbXML.....	49
8.3.2	Izvajanje izračuna energijske bilance stavbe v programu DesignBuilder.....	49
9	PRIMERJAVA REZULTATOV	52
9.1	Primerjava in analiza rezultatov v programih URSA 4.0, PURES 3, Revit EnergyPlus in DesignBuilder.....	52
9.2	Podrobna primerjava rezultatov v programu PURES 3 in DesignBuilder.....	54
9.3	Primerjava glavnih kazalnikov energetske izkaznice	55
9.4	Ogljični odtis gradbenih materialov v stavbi.....	58

9.4.1	Kaj je ogljični odtis gradbenih materialov in življenjski cikel ogljičnega odtisa stavbe	58
9.4.2	Določitev ogljičnega odtisa gradbenih materialov v stavbi v programu Revit	59
10	PREDLOGI ENERGETSKE PRENOVE STAVBE	62
10.1	Predlogi energetske prenovе, obravnavani s programom PURES 3	62
10.1.1	Odebelitev toplotne izolacije v kleti in podstrešju	62
10.1.2	Odebelitev izolacije zunanjih sten	63
10.1.3	Menjava stavbnega pohištva	65
10.1.4	Mehansko prezračevanje z vračanjem toplote	65
10.2	Sončna elektrarna	67
10.2.2	Evropska direktiva o energiji iz obnovljivih virov (RED II/III/IV): do leta 2030	67
10.2.3	Sveženj »Pripravljeni na 55«	67
10.2.4	Načrt REPowerEU	68
10.2.5	Sončna elektrarna na strehi obravnavanega objekta	69
10.2.6	Primerjava s programom PURES 3	71
10.3	Izvedeni vsi ukrepi	72
10.4	Primerjava energijskih kazalnikov za posamične ukrepe	73
10.5	Ukrepi energetske prenovе v programskem vtičniku Revit INSIGHT	75
10.5.1	Programski vtičnik Revit Insight	75
10.5.2	Ukrep senčenja oken	75
10.5.3	Ukrep odebelitve toplotne izolacije sten	76
10.5.4	Ukrep zamenjave oken	76
10.5.5	Ukrep zamenjave umetne osvetlitve v stavbi	77
10.5.6	Zamenjava ogrevanja z učinkovito toplotno črpalko	77
10.5.7	Analiza posamičnih ukrepov v smeri boljše energijske učinkovitosti	78
11	VIZUALIZACIJE STAVBE	79
11.1	Vizualizacije projekta v BIM okolju	79
11.2	Program Twinmotion	80
11.3	Vizualizacije obstoječega stanja	80
11.4	Vizualizacije obnovljene stavbe	83
12	ZAKLJUČEK	86
VIRI		88

KAZALO SLIK

Slika 1: LOD stopnje določenosti BIM modelov [5].....	5
Slika 2: Management upravljanja stavbe [6]	6
Slika 3: Pametni telefon z LiDAR senzorjem [10]	8
Slika 4: Pogled na obravnavano stavbo	13
Slika 5: Tloris obravnavane stavbe.....	14
Slika 6: Pogled severne fasade stavbe	15
Slika 7: Pogled severne fasade stavbe v AutoCAD risbi.....	15
Slika 8: Pogled južne fasade stavbe.....	16
Slika 9: Pogled južne fasade stavbe v AutoCAD risbi	16
Slika 10: Pogled vzhodne fasade stavbe.....	17
Slika 11: Pogled vzhodne fasade stavbe v AutoCAD risbi	17
Slika 12: Pogled zahodne fasade stavbe	18
Slika 13: Pogled zahodne fasade stavbe v AutoCAD risbi.....	18
Slika 14: Konstrukcijski sklop tal v kletji.....	19
Slika 15: Konstrukcijski sklop etaže nad neogrevano kletjo	20
Slika 16: Konstrukcijski sklop etažne plošče	20
Slika 17: Konstrukcijski sklop etaže pod neogrevanim podstrešjem	21
Slika 18: Konstrukcijski sklop kletne stene.....	21
Slika 19: Konstrukcijski sklop zunanje stene	22
Slika 20: Konstrukcijski sklop parapetnega zidu debeline 18 cm	22
Slika 21: Konstrukcijski sklop parapetnega zidu debeline 23 cm	23
Slika 22: Prikaz LiDAR posnetka stavbe na pametnem telefonu.....	25
Slika 23: Text format .PTS LiDAR posnetka [13]	25
Slika 24: Posnetek stavbe v programski opremi Autodesk ReCap PRO	26
Slika 25: 3D posnetek stavbe v Autodesk Revit.....	26
Slika 26: Modeliranje stavbe v BIM okolju s pomočjo 3D posnetka.....	27
Slika 27: BIM model stavbe v fazi modeliranja	27
Slika 28: LiDAR posnetek terena.....	28
Slika 29: Pogled na BIM model stavbe iz zahodne strani	28
Slika 30: Pogled na BIM model stavbe iz vzhodne strani	29
Slika 31: Vzдолžni prerez BIM modela stavbe.....	29
Slika 32: Prečni prerez BIM modela stavbe	29
Slika 33: Začetni zavihek z osnovnimi podatki v programu PURES 3	30
Slika 34: Zavihek o coni v programu PURES 3	31
Slika 35: Prikaz učinka vetra na infiltracijo in eksfiltracijo v stavbi [14]	32

Slika 36: Zavihek o razsvetljavi v programu PURES 3	33
Slika 37: Faktor dnevne svetlobe [15].....	34
Slika 38: Zavihek o hlajenju stavbe v programu PURES 3	35
Slika 39: Zavihek o ogrevanju stavbe v programu PURES 3	35
Slika 40: Zavihek o ogrevanju tople sanitarne vode v programu PURES 3	36
Slika 41: Zavihek o dimenzijah energetske cone v programu PURES 3	36
Slika 42: Zavihek o opisu toplotnega ovoja stavbe v programu PURES 3	36
Slika 43: Zavihek o opisu netransparentnih gradnikov v programu PURES 3	37
Slika 44: Zavihek o opisu transparentnih gradnikov v programu PURES 3	37
Slika 45: Shema toplotnih izgub v neogrevanem podstrešju [16].....	38
Slika 46: Shema toplotnih izgub v neogrevani kleti [16].....	39
Slika 47: GK koordinate stavbe na spletni strani Atlas okolja.....	40
Slika 48: Zavihek o klimatskih podatkih stavbe v programu URSA 4.0	41
Slika 49: Orodne vrstice za opis stavbe v programu URSA 4.0	42
Slika 50: Zavihek o toplotnih izgubah skozi neogrevane prostore v programu URSA 4.0	42
Slika 51: Zemljevid z meteorološkimi postajami v programu Revit.....	43
Slika 52: Energetski model podrobnega arhitekturnega modela stavbe.....	44
Slika 53: Energetski model, modeliran s pomočjo konceptualnih mas.....	45
Slika 54: Prikaz globine območja oboda pri energetske modelu [15].....	46
Slika 55: Prikaz območja oboda cone v energetske modelu [17].....	46
Slika 56: Zavihka za definiranje osnovnih in naprednih nastavitev energetskega modela	48
Slika 57: Shema komunikacije med različnimi programskimi orodij podatkovnih modelov gbXML [20]	49
Slika 58: Informacijski model obravnavane stavbe v programu DesignBuilder.....	50
Slika 59: Vhodni podatki lokacije stavbe v programu DesignBuilder	50
Slika 60: Tipična etaža stavbe, definirana kot en blok modela v programu DesignBuilder	50
Slika 61: Podstrešje in ostrešje, definirano kot blok modela v programu DesignBuilder.....	51
Slika 62: Izpisi rezultatov energijske bilance v programu EnergyPlus po metodi podrobnega arhitekturnega modela.....	52
Slika 63: Izpisi rezultatov energijske bilance v programu EnergyPlus po metodi konceptualnih mas.	52
Slika 64: Kazalnik potrebne toplote za ogrevanje na obstoječi energetske izkaznici.....	55
Slika 65: Kazalnik potrebne toplote za ogrevanje na energetske izkaznici po rezultatih v programu PURES 3	56
Slika 66: Kazalnik potrebne toplote za ogrevanje na energetske izkaznici po rezultatih v programu DesignBuilder	56
Slika 67: Kazalnik dovedene energije za delovanje TSS v stavbi na obstoječi energetske izkaznici....	56

Slika 68: Kazalnik dovedene energije za delovanje TSS v stavbi na energetski izkaznici po rezultatih v programu PURES 3	56
Slika 69: Kazalnik dovedene energije za delovanje TSS v stavbi na energetski izkaznici po rezultatih v programu DesignBuilder	56
Slika 70: Kazalnika primarne energije in emisij CO ₂ na obstoječi energetski izkaznici.....	57
Slika 71: Kazalnika primarne energije in emisij CO ₂ na energetski izkaznici po rezultatih v programu PURES 3.....	57
Slika 72: Kazalnika primarne energije in emisij CO ₂ na energetski izkaznici po rezultatih v programu Designbuilder	57
Slika 73: Grafični prikaz razlike med vgrajenim ogljičnem odtisom gradbenih materialov in ogljičnem odtisom med obratovanjem stavbe [23].....	58
Slika 74: Življenjski cikel ogljičnega odtisa stavbe [22].....	58
Slika 75: Informacijski model stavbe v programskem vtičniku Tech Preview: Carbon Insights.....	60
Slika 76: Tortni prikaz deleža izpustov CO ₂ glede na material	61
Slika 77: Prikaz odebelitve toplotne izolacije na plošči nad neogrevano kletjo.....	62
Slika 78: Prikaz odebelitve toplotne izolacije na plošči pod neogrevanim podstrešjem	62
Slika 79: Prikaz odebelitve toplotne izolacije zunanje stene stavbe.....	64
Slika 80: Prikaz odebelitve toplotne izolacije parapetnega zidu	64
Slika 81: Prikaz sistema centralnega prezračevanja [18]	66
Slika 82: Prikaz naprave lokalnega prezračevanja [24].....	66
Slika 83: Začetni zavihek z opisom sončne elektrarne v programu Solar Edge.....	69
Slika 84: Prikaz razsmernikov v sončni elektrarni [28].....	70
Slika 85: Grafična shema sončne elektrarne na stavbi [23].....	70
Slika 86: Zavihek o definiranju parametrov sončne elektrarne v programu PURES 3	71
Slika 87: Izpis o letni proizvodnji elektrike sončne elektrarne v programu PURES 3.....	72
Slika 88: Izpis izračunanega razmernika ROVE v programu PURES 3	72
Slika 89: Zavihka o spreminjanju parametrov senčenja oken v programskem vtičniku Insight	75
Slika 90: Zavihka o spreminjanju parametrov sestave zunanjih sten v programskem vtičniku Insight	76
Slika 91: Zavihka o spreminjanju parametrov tipa oken v programskem vtičniku Insight	76
Slika 92: Zavihka o spreminjanju parametrov umetne osvetlitve v programskem vtičniku Insight	77
Slika 93: Zavihka o spreminjanju parametrov HVAC sistema v programskem vtičniku Insight	77
Slika 94: Pogled na stavbo pred prenovi pri vhodu	80
Slika 95: Pogled na stavbo pred obnovo iz zahodne smeri	81
Slika 96: Pogled na stavbo pred obnovo iz južne smeri	81
Slika 97: Pogled na stavbo pred obnovo iz vzhodne smeri	82
Slika 98: Pogled na stavbo pred obnovo iz severne smeri.....	82
Slika 99: Pogled na stavbo po obnovi pri vhodu	83

Slika 100: Pogled na stavbo po obnovi iz zahodne smeri	83
Slika 101: Pogled na stavbo po obnovi iz južne smeri.....	84
Slika 102: Pogled na stavbo po obnovi iz vzhodne smeri	84
Slika 103: Pogled na stavbo po obnovi iz severne smeri	85

KAZALO PREGLEDNIC

Tabela 1: Površine gradnikov na severni fasadi	15
Tabela 2: Površine gradnikov na južni fasadi.....	16
Tabela 3: Površine gradnikov na vzhodni fasadi.....	17
Tabela 4: Površine gradnikov na zahodni fasadi	18
Tabela 5: Opis sestave konstrukcijskega sklopa tal v kleti.....	19
Tabela 6: Opis sestave konstrukcijskega sklopa tal nad neogrevano kletjo	20
Tabela 7: Opis sestave konstrukcijskega sklopa etažne plošče	20
Tabela 8: Opis sestave konstrukcijskega sklopa etaže pod neogrevanim podstrešjem	21
Tabela 9: Opis sestave konstrukcijskega sklopa kletne stene.....	21
Tabela 10: Opis sestave konstrukcijskega sklopa zunanje stene	22
Tabela 11: Opis sestave konstrukcijskega sklopa parapetnega zidu debeline 18 cm	23
Tabela 12: Opis sestave konstrukcijskega sklopa parapetnega zidu debeline 23 cm	23
Tabela 13: Tabela 36 iz tehnične smernice TSG-1-004:2022	32
Tabela 14: Tabela B.7 v standardu SIST EN 15193-1	33
Tabela 15: Tabela B.8 v standardu SIST EN 15193-1	34
Tabela 16: Izpisi rezultatov energijske bilance v programu DesignBuilder.....	52
Tabela 17: Izpis kazalnika potrebne energije za delovanje stavbe v programu DesignBuilder	52
Tabela 18: Primerjava energijskih kazalnikov stavbe pri programih PURES 3, URSA 4.0, Revit EnergyPlus in DesignBuilder	53
Tabela 19: Podrobna primerjava energijskih kazalnikov pri programih PURES 3 in DesignBuilder...	55
Tabela 20: Količine ogljičnega odtisa materialov v zunanjem ovoju stavbe	60
Tabela 21: Toplotna prehodnost konstrukcijskih sklopov: ogrevano stanovanje – podstrešje in ogrevano stanovanje – klet.....	63
Tabela 22: Toplotna prehodnost konstrukcijskih sklopov zunanje stene in parapetnega zidu	63
Tabela 23: Primerjava energetskih kazalnikov pri ukrepu odebelitve toplotne izolacije v kleti in na podstrešju.....	64
Tabela 24: Primerjava energetskih kazalnikov pri ukrepu zamenjave stavbnega pohištva.....	65
Tabela 25: Primerjava energetskih kazalnikov pri ukrepu vgradnje mehanskega prezračevanja z vračanjem odpadne toplote.....	67
Tabela 26: Primerjava energijskih kazalnikov pri ukrepu vgradnje sončne elektrarne	72
Tabela 27: Primerjava energijskih kazalnikov pri vseh izvedenih ukrepih	73

KAZALO GRAFIKONOV

Graf 1: Ocenjena mesečna proizvodnja elektrike sončne elektrarne..... 71

Graf 2: Prikaz porabe primarne energije stavbe v odvisnosti od ukrepa..... 73

Graf 3: Prikaz potrebne toplote stavbe v odvisnosti od ukrepa..... 74

Graf 4: Prikaz izpustov ogljikovega dioksida stavbe v odvisnosti od ukrepa..... 74

Graf 5: Prikaz porabe energije za delovanje stavbe izražene v kWh/m2/leto v programskem vtičniku
Insight..... 78

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI / ABBREVIATIONS AND SYMBOLS

BIM	<i>Building Information Modeling or Building Information Model</i> – Informacijsko modeliranje zgradb ali informacijski model zgradbe
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i> – Ogrevanje, prezračevanje in klimatizacija
PURES 2010	Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (Uradni list RS, št. 52-2856/2010: 7840)
PURES 2022	Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (Uradni list RS, št. 70-22 z dne 20.2022)
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i> – Zaznavanje svetlobe in določevanje razdalj
sNES	Skoraj-nič energijska stavba
TSS	Tehnični stavbni sistemi
TSV	Topla sanitarna voda
PURES 3	Program za izračun energijske učinkovitosti stavb v skladu s PURES 2022
ROVE	Raba obnovljivih virov energije
URE	Učinkovita raba energije

1 ENERGIJSKA UČINKOVITOST

1.1 Uvod

Od industrijske revolucije se je poraba fosilnih goriv konstantno večala. V zadnjih desetletjih je prišlo do spoznanja, da je situacija nevzdržna. Znanstveniki so namreč dokazali, da zaradi prevelikih izpustov toplogrednih plinov močno posegamo v klimatsko ravnovesje planeta. V luči tega dejstva so se v zadnjih tridesetih letih vrstili mednarodni sporazumi o podnebnih spremembah, ki naj bi na globalni ravni omejili te vplive. Najbolj znana med njimi sta Kjotski in Pariški podnebni sporazum.

Razpoložljivost fosilnih goriv je v omejenih količinah. Omejena razpoložljivost v kombinaciji z nestabilnimi političnimi razmerami na Bližnjem vzhodu in sedaj tudi v Ukrajini je privedla do tega, da smo deležni velikih nihanj v cenah in razpoložljivosti. Zaradi tega je pomembno, da se ta odvisnost od dejavnikov, na katere nimamo vpliva, omeji. V tem kontekstu se je treba osredotočiti na obnovljive vire energije, kot so sončna, vodna, geotermalna, vetrna in jedrska energija.

Zgradbe so osrednji del našega vsakdana in v njih preživimo velik del dneva; tako doma kot v službi ali prostem času. Grajeno okolje v vseh svojih oblikah, kot so domovi, poslovne stavbe, šole, bolnišnice ali druge javne stavbe, so največji porabnik energije v Evropski uniji, hkrati pa eden od največjih onesnaževalcev z ogljikovim dioksidom. Stavbe v Evropski uniji so skupaj odgovorne za 40 % naše porabe energije in 36 % emisij toplogrednih plinov [1]. K proizvedenim emisijam štejemo tako gradnjo, uporabo, obnovo in kasneje tudi rušenja.

Ocenjuje se, da je približno 75 % stavbnega fonda v Evropski uniji energetsko neučinkovitega [1]. To pomeni, da gre velik del porabljene energije v nič. Takšne izgube je mogoče zmanjšati z izboljšanjem obstoječih zgradb s pametnimi rešitvami in z uporabo energijsko učinkovitih materialov pri gradnji novih hiš.

Prenova obstoječih stavb bi lahko zmanjšala porabo energije v Evropski uniji za 5–6 % in zmanjšala emisije ogljikovega dioksida za približno 5 %. Kljub temu se vsako leto v povprečju obnovi manj kot 1 % državnega stavbnega fonda [1]. Da bi dosegli naše podnebne in energetske cilje, bi morali trenutne stopnje prenov vsaj podvojiti.

1.2 Namen in cilji

Energetske prenovе se običajno izvaja s pomočjo arhitekturnih podlog, projekta strojnih in elektro inštalacij. Pridobljene informacije iz prej navedene dokumentacije uporabimo za izdelavo 2D risb. Slednje nam služijo za določitev površine ovojev in količine vgrajenega materiala. Kasneje uporabimo te podatke za izračun energijske bilance stavbe s pomočjo programa gradbene fizike.

Namen magistrske naloge je analiza izvedbe energijske bilance stavbe in izdelava predlogov ukrepov za povečanje energijske učinkovitosti obstoječega večstanovanjskega objekta v Ljubljana s pomočjo različnih pristopov in tehnologij.

Ker za stavbo ni razpoložljivih arhitekturnih podlog, bomo stavbo dimenzijsko premerili z laserskim merilnikom in merilnim trakom. Za podatke strojnih in elektro inštalacij ter konstrukcijskih sklopov bomo uporabili obstoječo energetske izkaznico in preverili opremo v strojnici. Za sestavo konstrukcijskih sklopov bomo prav tako uporabili podatke iz energetske izkaznice in informacije, pridobljene pri hišniku obravnavane stavbe. S pomočjo teh podatkov bomo potem zrisali 2D risbe stavbe v AutoCADu.

Za izračun energijske bilance stavbe bomo uporabili dve programske orodji, in sicer URSA 4.0, razvitega s strani proizvajalca izolacijskih materialov, in PURES 3, razvitega na strojni fakulteti. Treba je poudariti, da program Ursa 4.0 računa še po stari metodologiji iz PURES 2010 in pripadajočo tehnično smernico TSG-1-004:2010. Program PURES 3 je trenutno edini v Sloveniji, ki računa v skladu z novim PURES 2022 in pripadajočo tehnično smernico TSG-1-004:2022.

Nato bomo spremenili pristop in se lotili analize stavbe na popolnoma drugačen način. Dimenzije stavbe nameravamo posneti s pomočjo LiDAR posnetkov, pridobljenih preko pametnega telefona. 3D posnetke bomo nato uvozili v program BIM okolja. V našem primeru bomo uporabili program Revit 2024, razvijalca programske opreme Autodesk. S pomočjo teh posnetkov bomo zmodelirali stavbo.

V našem primeru bomo za izračun energijske bilance stavbe uporabili EnergyPlus, ki je vgrajen v programu Revit 2024, in program DesignBuilder. Za izračun energijske bilance stavbe v Revit BIM okolju bomo nato uporabili dve različni metodi, ki sta na razpolago, in sicer metoda »konceptualnih mas« in metoda »podrobnega arhitekturnega modela«. DesignBuilder je samostojen program za izvedbo različnih analiz stavbe, kot so izračun energijske bilance stavbe, analiza umetne in naravne osvetlitve, CFD izračune zračnih tokov v stavbi itn. V tem primeru bomo izvozili informacijski model stavbe iz Revita v program Designbuilder s pomočjo izvoza modela v obliki formata gbXML.

Zastavljeni cilji magistrske naloge so:

- Preučitev možnosti uporabe LiDAR tehnologije za namen 3D skeniranja stavb.
- Preučitev smiselnosti in zrelosti BIM tehnologije na področju učinkovite rabe energije v stavbah in možnosti apliciranja v našem okolju ter primerjava z obstoječimi metodami.
- Izvedba energetske izkaznice s pomočjo rezultatov iz PURES 3 in Designbuilder ter primerjava njihovih glavnih energijskih kazalnikov z veljavno obstoječo energetsko izkaznico.
- Preučitev možnosti določitve ogljičnega odtisa gradbenih materialov stavbe v BIM programskem orodju.
- Analiza ukrepov k izboljšanju energijske učinkovitosti stavbe.
- Preučitev vgradnje sončne elektrarne na strehi stavbe in analiza vpliva na energijsko bilanco stavbe.
- Izvedba vizualizacij stavbe pred obnovo in po obnovi.

2 TEORETIČNE OSNOVE MAGISTRSKE NALOGE

2.1 BIM

2.1.1 Kaj je BIM tehnologija

Kratka BIM ima dva pomena. Lahko jo razumemo kot informacijsko modeliranje zgradb (*angl. Building Information Modeling*) ali kot informacijske modele zgradb (*angl. Building Information Models*). BIM ali modeliranje informacij o stavbah je način dodajanja in ohranjanja informacij v vseh fazah projekta (IDZ, DGD, PZI in PID), upravljanja stavbe in do njene porušitve. Kar stoji za informacijskim modeliranjem zgradbe, je tridimenzionalni model, ki je sestavljen iz informacij vsake posamezne komponente. Podatki so tako natančni in podrobni, da zajamejo vse možne načine, s katerimi je mogoče določiti posamezne elemente [2].

2.1.2 BIM modeli

Model BIM ali informacijski model zgradbe je digitalni zapis informacij o zgradbi [3]. Predstavljen je kot skupek 3D elementov, ki so digitalna različica dejanskih elementov zgradbe. Slednji imajo tudi funkcijo hranilnika informacij, s pomočjo katerih lahko kasneje izdelamo različne analize in vizualizacije.

Podmodel BIM je posamičen del skupnega BIM modela. Je model posamezne stroke, ki je vpletena pri zasnovi skupnega modela. Poznamo podmodel gradbenih konstrukcij, arhitekture, strojnih inštalacij, elektroinštalacij, komunalne infrastrukture in podobno.

Koordinacijski model BIM je sestavljen iz več podmodelov posamičnih strok. Njegov namen je v usklajevanju med različnim strokami, prepoznavanju in preprečevanju neskladij, ki smo jim priča pri vsakem projektiranju.

Zbirni model BIM je skupni model, sestavljen iz več podmodelov. Njegova funkcija je pregled nad celotnim projektom in možno koordinacijo analiz, vodenjem projekta in simulacij. Po izvedbi projekta ga hranimo kot arhiv in za upravljanje ter vzdrževanje zgradbe.

2.1.3 Stopnje določenosti elementov BIM modela (*angl. Level of development – LOD*)

S stopnjami določenosti BIM modelov klasificiramo informacijske zahteve v različnih fazah projekta. Poznamo naslednje stopnje določenosti modela BIM [4]:

- LOD 100; predstavlja generično prezentacijo, podaja osnovne informacije o obstoju elementa. Podane so osnovne informacije, kot so prostornina, orientacija, lokacija, površina... Primerna je za IDZ nivo projekta.
- LOD 200; elementi modela so predstavljeni kot generični sistemi v enostavni grafični obliki, objekti oziroma sklopi so podani z okvirnimi podatki o orientaciji, lokaciji, velikosti in obliki. Stopnja določenosti je na nivoju osnovnega modela arhitekture. Primerna je za DGD nivo projekta.
- LOD 300; klasificirani elementi v modelu so modelirani z natančnimi lokacijami, geometrijami, orientacijami in količinami. Podatki so dovolj natančni, da se lahko geometrijske količine lahko

razbere neposredno z merjenjem. Določena je tudi izhodiščna točka projekta, preko katere je element pravilno lociran.

- LOD 350; klasificirani elementi v modelu so modelirani z natančno določenimi količinami, geometrijami, lokacijami in orientacijami. Modelirani so tudi vezni členi z drugimi sistemi. To pomeni, da model vsebuje tudi spoje in podpore. Nivo določenosti zadošča za koordinacijo med posameznimi strokami. Poleg tega je tudi primeren za dobavitelje in proizvajalce.
- LOD 400; elementi so modelirani do te stopnje, da jih je možno izdelati in vgraditi. Elementi vsebujejo vse informacije, s pomočjo katerih jih je možno potem proizvesti, sestaviti in vgraditi. Za razliko od LOD 350 dobimo pri LOD 400 informacije za vgradnjo. Primerna je za PZI nivo projekta.
- LOD 500; določenost na stopnji LOD 400, le da gre za že izvedene elemente. Tak model se potem lahko uporabi za vzdrževanje in upravljanje. Primerna je za PID nivo projekta.



Slika 1: LOD stopnje določenosti BIM modelov [5]

2.1.4 Namen in cilji uporabe BIM tehnologij

Za zdaj se v Sloveniji BIM uporablja bolj kot ne le v fazi projektiranja. Industrija počasi stremi k temu, da se uporablja skozi celoten življenjski cikel objekta. Izdelava BIM modela se lahko uporabi tudi zgolj pri fazi upravljanja in vzdrževanja objekta.

BIM (*angl. Building information modeling*) predstavlja prelomen način tako projektiranja stavb kot tudi kasnejšega vzdrževanja. V našem primeru je objekt že zgrajen, zato se lahko osredotočimo predvsem na slednjega, tako imenovanega menedžmenta upravljanja stavb (*angl. Facility management*). Cilj življenjskega cikla BIM modela je ustvariti, vzdrževati in tudi uporabiti informacije modela za upravljanje in vzdrževanje objekta skozi celotno življenjsko dobo. V tem primeru je 3D model objekta mišljen kot hranilnik informacij, s katerim razpolagajo upravljalci stavbe.



Slika 2: Management upravljanja stavbe [6]

Področja, kjer BIM orodja lahko delujejo kot dodana vrednost [7]:

- Izboljšanje upravljanja s prostorom. Natančni podatki površin in volumnov lahko izboljšajo preglednost nad uporabo prostora in s tem povezanimi stroški.
- Ključ je v izdelavi programa vzdrževanja stavbe, v katerega so vključeni vsi sistemi delovanja stavbe (strojne in elektro inštalacije). Podatki o takih sistemih lahko pohitrijo nadzor nad vzdrževanjem posameznih delov opreme.
- S pomočjo BIM modela lahko izvršujemo primerjalne analize URE glede stroškov in vplivov na okolje.
- Ker je model v 3D, dobimo dober pogled v stavbo. Vsak gradnik v stavbi ima določeno lastnost oziroma lastnosti sedanjega stanja v stavbi. Ker imamo celoten in pregleden nadzor nad objektom in njegovimi sistemi, lahko naročnikom prenov damo natančne podatke o stavbi. S tem skrajšamo čas in stroške posegov.
- S pomočjo BIM-a lahko podaljšamo življenjsko dobo objekta. Na primer vgradnja dražjih materialov na fasado pomeni večjo investicijo, ampak zaradi daljše življenjske dobe se lahko izkaže kot za cenejšo rešitev.

2.2 LiDAR tehnologija

2.2.1 Kaj je LiDAR

V našem primeru bomo modelirali BIM model s pomočjo LiDAR posnetkov [8]. LiDAR (*angl. light detection and ranging*) ali tudi LADAR (*angl. laser imaging, detection and ranging*) je geodetska metoda za merjenje razdalje do tarče s pomočjo laserskih žarkov. Metoda je široko uporabljena za izdelavo visokokakovostnih zemljevidov tako v geodeziji, geomatiki, arheologiji, geografiji, seizmologiji, gozdarstvu in drugod. V našem primeru se lasersko skenira objekt in s tem oblikuje 3D slika, ki jo preko ustreznih programov potem pretvorimo v BIM model.

2.2.2 LiDAR in energijska učinkovitost

Obstaja vrsta sodobnih tehnologij, ki lahko pomagajo zagotoviti ustrezne podatke, potrebne za poročanje o energijski učinkovitosti nepremičnine. Med njimi imamo poleg BIM toplotne kamere pametnega merjenja tudi LiDAR. Na Nizozemskem nepremičninska podjetja uporabljajo LiDAR kamere za ustvarjanje natančnih tlorisov pred prodajo [9]. Pri njih namreč zakonodaja veleva, da je treba pred prodajo zagotoviti zelo natančne mere tlorisov stanovanj. Kar zadeva poročila o energijski učinkovitosti, LiDAR zagotavlja hiter in natančen način preslikave dimenzij, ki jih nato uporabimo kot povratne informacije za izdelavo poročila. Mobilna tehnologija LiDAR je nevsiljiv način za zajem ustreznih merilnih podatkov in zagotavlja potrebne informacije energetskemu inšpektorju. Včasih se je to počelo s pomočjo laserskih merilnikov ali celo merilnih trakov, kar lahko privede do človeških napak. LiDAR odpravlja subjektivnost analiz podatkov in zmanjša količino potencialnih obiskov lokacije. To poceni izdelavo energetskih pregledov tako za stranke kot za podjetja, ki to izvajajo.

LiDAR lahko zagotovi vpogled v naslednja področja [9]:

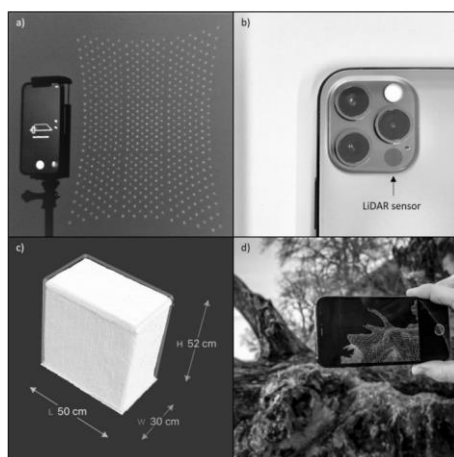
- Analiza ovoja stavbe; natančni tridimenzionalni modeli zunanjih in notranjih vidikov stavbe zagotavljajo informacije o ovojju stavbe. To vključuje stene, stavbno pohištvo, strehe, itn. LiDAR lahko pomaga identificirati izolacijske vrzeli ali poškodbe, ki lahko vplivajo na energijsko učinkovitost stavbe.
- Natančne meritve; kot je bilo že omenjeno, so LiDAR podatki objektivni način za merjenje dimenzij zgradbe.
- Analiza dnevne svetlobe; zajem LiDAR podatkov tako zunanjih kot notranjih delov stavbe daje večji pregled celotnega območja. Stavba, obdana z drevesi, dobiva manj naravne svetlobe, zato je pogostejša potrebna umetna razsvetljava, kar vpliva na energijsko učinkovitost. Analiza teh podatkov nudi podjetjem ali strankam več možnosti za povratne informacije o tem, kako bi lahko izboljšali obstoječo stavbo.

Integracija informacij, pridobljenih z LiDAR kamero z ustrezno programsko opremo za simulacije, vodi do načina napovedovanja in ocenjevanje porabe energije v stavbi.

2.2.3 LiDAR kamera, integrirana v pametnem telefonu

Klasično merjenje terja visoke finančne naložbe, dovršeno logistiko, zapleteno izobraževanje in obsežno obdelavo podatkov. V zadnjih časih se je sicer začelo uporabljati komercialne drone z optičnimi senzorji, ki so nekoliko zmanjšali stroške in kompleksnost takega merjenja. V letu 2020 je podjetje Apple dalo na trg iPad Pro 2020 in iPhone 12 Pro z vgrajenim LiDAR senzorjem. LiDAR je razširjena tehnika za merjenje razdalj s časovnim uravnavanjem povratnega impulza, oddanega iz laserskega oddajnika na laserski sprejemnik. Hiter razvoj digitalnih procesnih tehnik, kot tudi nove generacije tehnologij v daljinskem zaznavanju, je pripeljalo do revolucije na področju digitalnega prostorskega modeliranja.

Na Danskem so znanstveniki z univerze v Københavnu testirali LiDAR kamero, vgrajeno v iPhone 12 Pro, in jo kasneje primerjali s profesionalno tehniko SfM MVS point cloud (Motion Multi-View Stereo) slik [10].



Slika 3: Pametni telefon z LiDAR senzorjem [10]

Namen te študije je preizkusiti in oceniti uporabo in tehnične zmožnosti LIDAR skenerja v pametnem telefonu vključno z oceno natančnosti. Analizirali so posnetek 130 m dolgega obalnega klifa ob baltskem morju, ki je podvržen močni zemeljski eroziji. Celoten klif dolžine 130 m, širine 15 m in višine 10 m se je posnel v 15 minutah. V primeru te študije se je pri pametnem telefonu in tablici uporabilo aplikacijo 3d Scanner app in EveryPoint v načinu ARKit LiDAR Mesh.

Fotogrametrija SFM MVS na profesionalni kameri ima veliko prednost pred fotogrametrijo pametnih telefonov v tem vidiku, da ima možnost analize pod več vidnimi koti. Poleg tega je radij delovanja kamere na pametnem telefonu omejen na 5 m. To se lahko delno izboljša z uporabo teleskopske palice.

Na splošno LiDAR senzor, vgrajen v pametnem telefonu iPhone Pro, predstavlja učinkovito in časovno manj potratno alternativo uveljavljenim metodam topografskega merjenja zemljišč, kot so SFM MVS tehnika snemanja. Natančnost je zaenkrat še neprimerljiva s profesionalno tehniko, vendar pri klifu velikosti 130 m x 15 m x 10 m se je kljub vsemu doseglo natančnost ± 10 cm.

V našem primeru ne obravnavamo terena, temveč stavbo, kar predstavlja drugačne izzive, kot na primer omejitev radija delovanja LiDAR senzorja na pametnem telefonu na 5 m. To pomeni, da ne bomo mogli izvesti posnetka stavbe v višino in ga bo zato potrebno poenostaviti. Pri kontroli dolžin se bo primerjalo meritve iz posnetkov s tistimi, opravljenimi z laserskim merilnikom. Pomembno je, da so dimenzije pridobljene preko LiDAR kamere kar se da natančno in v mejah tolerance sprejemljivega. Prevelika odstopanja v dimenzijah bi potem lahko tudi preveč vplivala na rezultate energijske bilance stavbe.

2.3 Novi pravilnik o učinkoviti rabi energije PURES 2022

2.3.1 Cilji pravilnika

S 5. junijem 2022 je začel veljati novi pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES 2022 in pripadajoča tehnična smernica s področja graditve objektov TSG-1-004:2022 [11]. Pravilnik na novo določa minimalne zahteve glede energijske učinkovitosti stavb in minimalnega zahtevanega deleža rabe obnovljivih virov energije in velja za nove, rekonstruirane, celovito energetske prenovljene stavbe kot tudi vzdrževanje stavb. Podlaga za prenovo pravilnika so nacionalni in mednarodni cilji na področju

zmanjšanja izpustov toplogrednih plinov iz stavb do leta 2030 in kasneje še do leta 2050, ko naj bi bile stavbe skoraj brez izpustov CO₂.

Glavni cilj pravilnika je zmanjšanje porabe primarne energije pri delovanju stavb ob hkratnem znatnem povečanju deleža obnovljivih virov energije. To naj bi se zagotovilo z lastnostmi toplotnega ovoja in tehničnimi stavbnimi sistemi za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, pripravo tople sanitarne vode in razsvetljavo.

2.3.2 Opredelitve z novim pravilnikom

Glavna kazalnika v novem pravilniku sta najvišja dovoljena raba primarne energije na kvadratni meter kondicionirane površine ($E_{\text{Ptot, an}}$) za delovanje tehničnih stavbnih sistemov in pa najmanjša dovoljena raba obnovljivih virov energije (ROVE_{min}). Pravilnik med drugim določa tudi največjo dovoljeno toplotno prehodnost toplotnega ovoja stavbe (U_{dov}), najvišjo dovoljeno rabo energije za ogrevanje stavbe ($Q_{\text{NH, an}}$), minimalne zahteve za naprave tehničnih stavbnih sistemov itd.

Pri opredelitvi energijskih lastnosti stavb pravilnik določa razvrstitev stavb glede na velikost kondicionirane površine stavbe. Deli se na energetske nezahtevne, manj zahtevne in zahtevne stavbe. Podlaga za določanje energijskih lastnosti stavb so novi in prenovljeni EPB standardi (nosilni standard SIST EN ISO 52000-1), ki so skupaj z dodatnimi zahtevami opredeljeni v tehnični smernici TSG-1-004:2022. Pri novem pravilniku ima primarna energija nov pomen, saj je od nje odvisna izbira energentov in naprav za pretvarjanje energij. V kolikor so potrebna odstopanja v energijskih kazalnikih zaradi tehnične in v določenih primerih ekonomske neizvedljivosti, se uvaja korekcijske in kompenzacijske faktorje, s katerimi se lahko korigira posamezne obvezne kazalnike energijske učinkovitosti stavb, in sicer v odvisnosti, ali gre za obstoječe, nove ali rekonstruirane stavbe.

2.3.3 Zahteve glede razvrstitve stavb

V novem pravilniku se uvaja tudi razvrstitev stavb po zahtevnosti. Slednje ločimo na:

- Energetske nezahtevne stavbe ($A_u < 50 \text{ m}^2$); pri nezahtevnih stavbah veljajo le zahteve, ki se nanašajo na minimalne zahteve lastnosti toplotnega ovoja stavbe in minimalne zahtevane energijske učinkovitosti naprav tehničnih stavbnih sistemov
- Energetske manj zahtevne stavbe ($50 \text{ m}^2 \leq A_u \leq 500 \text{ m}^2$); energetske manj zahtevne stavbe morajo izpolnjevati zahteve pravilnika v celoti. Poleg dveh glavnih kazalnikov morajo izpolnjevati tudi delne obvezne kazalnike energijske učinkovitosti stavb. Raba skupne primarne energije ($E'_{\text{Ptot, an}}$) za delovanje tehničnih stavbnih sistemov ne sme presegati 75 kWh/m^2 na leto. Specifična potrebna toplota za ogrevanje stavbe ($Q'_{\text{H, nd, an}}$) ne sme presegati 25 kW/m^2 na leto. Za posamezne vrste stavb so dovoljena odstopanja, kot je opredeljeno v 11. členu pravilnika in tabeli 4 priloge 1 pravilnika. V primeru obstoječe stavbe se kazalnik specifične toplote za ogrevanje stavbe ($Q'_{\text{H, nd, an}}$) lahko poveča za 40 % oziroma največ 35 kW/m^2 na leto, dovoljena raba skupne primarne energije ($E'_{\text{Ptot, an}}$) pa za 20 % oziroma 90 kWh/m^2 na leto. Za stavbo je treba zagotoviti delež obnovljivih virov energije višji kot 50 % glede na porabljeno primarno energijo za delovanje tehničnih stavbnih sistemov. Energijske lastnosti se še naprej kot po prejšnjem pravilniku določa s stacionarno (mesečno) metodo.

- Energetsko zahtevne stavbe ($500 \text{ m}^2 \leq A_u$); pri energetsko zahtevnih stavbah se najvišja dovoljena raba primarne energije ($E'_{\text{Ptot, an}}$) določa z metodo referenčne stavbe, ki pomeni uporabo virtualne stavbe. Pri slednji se upošteva enako arhitekturno zasnovo, enako klasifikacijo stavbe, isto lokacijo, orientacijo, osončenje in senčenje stavbe, kot jo ima obravnavana stavba. Za toplotni ovoj se uporabljajo referenčni gradniki in njihove lastnosti, upoštevajo enaka notranja bremena in pogoji notranjega okolja, referenčni stavbni sistemi ipd. Pod takimi pogoji določena skupna specifična primarna energija za delovanje sistemov referenčne stavbe ($E'_{\text{Ptot, ref, an}}$) pomeni najvišjo dovoljeno rabo primarne energije za obravnavano stavbo. Tudi za zahtevne stavbe velja, da je treba zagotoviti vsaj 50 % delež obnovljivih virov energije glede na porabljeno primarno energijo za delovanje tehničnih stavbnih sistemov. Energijske lastnosti stavb se določijo z nestacionarnim modeliranjem, kar je nova zahteva.

2.3.4 Dodatne zahteve

Za javne stavbe je določena 10-% višja energijska učinkovitost stavb. To pomeni, da najvišja poraba specifične toplote za ogrevanje energetsko manj zahtevnih stavb ($Q'_{\text{H, nd, an}}$) znaša $22,5 \text{ kW/m}^2$ na leto. Najvišja dovoljena specifična primarna energija pa $67,5 \text{ kW/m}^2$ na leto. Zahtevan delež obnovljivih virov energije mora biti višji od 55 %. Tudi za te stavbe velja, da lahko uporabimo korigirane vrednosti, ki jih določa pravilnik.

Pravilnik tudi določa celovito energetsko prenovu stavb. Pred pričetkom del je treba narediti »načrt« za energetsko prenovu, ki bo zagotavljal doseganje zahtev pravilnika. Vrstni red posameznih ukrepov sledi smiselnemu zaporedju tako, da se ukrepi med sabo dopolnjujejo. Najprej se predvidijo ukrepi na toplotnem ovoju stavbe, kot je vgradnja toplotne izolacije in menjava stavbnega pohištva. Šele kasneje sledijo ukrepi, kot so posodobitev tehničnih stavbnih sistemov ali nadomestitev z novimi. Nazadnje pridejo na vrsto sistemi za regulacijo in nadzor.

2.3.5 Tehnična smernica TSG-1-004: 2022

Skupaj s pravilnikom je bila sprejeta tudi nova pripadajoča tehnična smernica. Z njo se določa gradbene ukrepe in rešitve za doseganje energijske učinkovitosti stavb, določene s pravilnikom. Smernica določa tudi metode poenostavitve in robne pogoje, ki jih je treba uporabiti pri določitvi kazalnikov energijske učinkovitosti stavb.

2.3.6 Povzetek

Pri novem pravilniku se bistveno povečuje energijska učinkovitost stavb in zahteva bistveno višji delež obnovljivih virov energije. Na ta način se zagotavlja občutno nižje izpuste toplogrednih plinov iz stavb, kar je tudi zahtevano z nacionalnimi, evropskimi in mednarodnimi dokumenti. Glede na vedno pereč problem cen energentov v zadnjih desetletjih so naložbe v višjo energijsko učinkovitost stavb v času življenjske dobe teh naložb vse bolj upravičene.

3 POSTOPEK DELA

3.1 Izračun energijske bilance stavbe s pomočjo programa URSA 4.0 in PURES 3

Pri izračunu energijske bilance stavbe smo potrebovali sledeče vhodne podatke:

- dimenzije stavbe, ki so bile pridobljene s terenskimi meritvami,
- konstrukcijski sklopi stavbe, ki so bili pridobljeni v energetski izkaznici stavbe in ustnih informacij s strani hišnika,
- podatki o tehničnih stavbnih sistemih, ki so bili pridobljeni prav tako v energetski izkaznici stavbe, in informacije, pridobljene v kotlovnici stavbe.

Pridobljene informacije smo potem obdelali v programu za račun gradbene fizike URSA 4.0 in PURES

3.2 Izračun energijske bilance stavbe s pomočjo BIM programske opreme

3.2.1 Izračun v programu EnergyPlus Revit

Pri izračunu energijske bilance stavbe smo potrebovali sledeče vhodne podatke:

- dimenzije stavbe, ki so bile pridobljene preko LiDAR posnetka,
- modeliran natančen model stavbe z ustreznimi konstrukcijskimi sklopi in s stavbnim pohištvo,
- definirano lokacijo objekta,
- definirane prostore v stavbi; to je potrebno, da potem program na podlagi namembnosti prostora določi čas razsvetljave, ogrevanja, hlajenja, porabe tople sanitarne vode, notranjih dobitkov ...,
- izbran predefiniran HVAC sistem,
- osnovne nastavitve modela in
- napredne nastavitve modela.

Po zgornjem postopku zna biti proces zamuden, še posebej pri večjih in bolj zapletenih stavbah, saj moramo namreč modelirati stavbo z vsemi pripadajočimi gradniki. Revit nam zato omogoča še en način, preko katerega računamo energetsko bilanco stavbe, ki se jo izvede z metodo konceptualnih mas:

- modeliramo volumen stavbe, določimo etažnost objekta in odstotek steklenih površin na fasadah,
- definiramo lokacijo objekta,
- definiramo ovoj s predefiniranimi sklopi in stavbnim pohištvo,
- izberemo predefiniran HVAC sistem,
- osnovne nastavitve modela in
- napredne nastavitve modela.

Pri obeh metodah potem preko vtičnika EnergyPlus v programu Revit izračunam energijsko bilanco stavbe. Kot lahko vidimo pri zgoraj opisanem poteku dela, je modeliranje po metodi konceptualnih mas veliko bolj enostavno. Kasneje bomo videli, kakšna so odstopanja pri rezultatih.

3.2.2 Izračun s pomočjo programa DesignBuilder

Pri izračunu energijske bilance stavbe pridobimo sledeče vhodne podatke, tako da:

- uvozimo BIM model iz Revita,
- definiramo lokacijo objekta,
- preverimo točnost konstrukcijskih sklopov, jih popravimo, v kolikor je to potrebno,
- definiramo prostore v stavbi; to je potrebno, da potem program na podlagi namembnosti prostora določi čas razsvetljave, ogrevanja, hlajenja, porabe tople sanitarne vode, notranjih dobitkov ...,
- izberemo predefiniran HVAC sistem.

Način in postopek podajanja lastnosti gradnikov stavbe in definiranje prostorov, kjer določimo način prezračevanja, čas delovanja umetne osvetlitve in ostalo, deluje podobno kot pri Revitu, s tem da program bolj podrobno obravnava vsak vidik opisa stavbe iz vidika tehničnih stavbnih sistemov.

4 OBRAVNAVANI OBJEKT

4.1 Opis stavbe

Večstanovanjska stavba, letnik gradnje 1977, se nahaja v ulici Steletova 10, Ljubljana, v katastrski občini Štepanja vas 1732, parcelna številka 359.



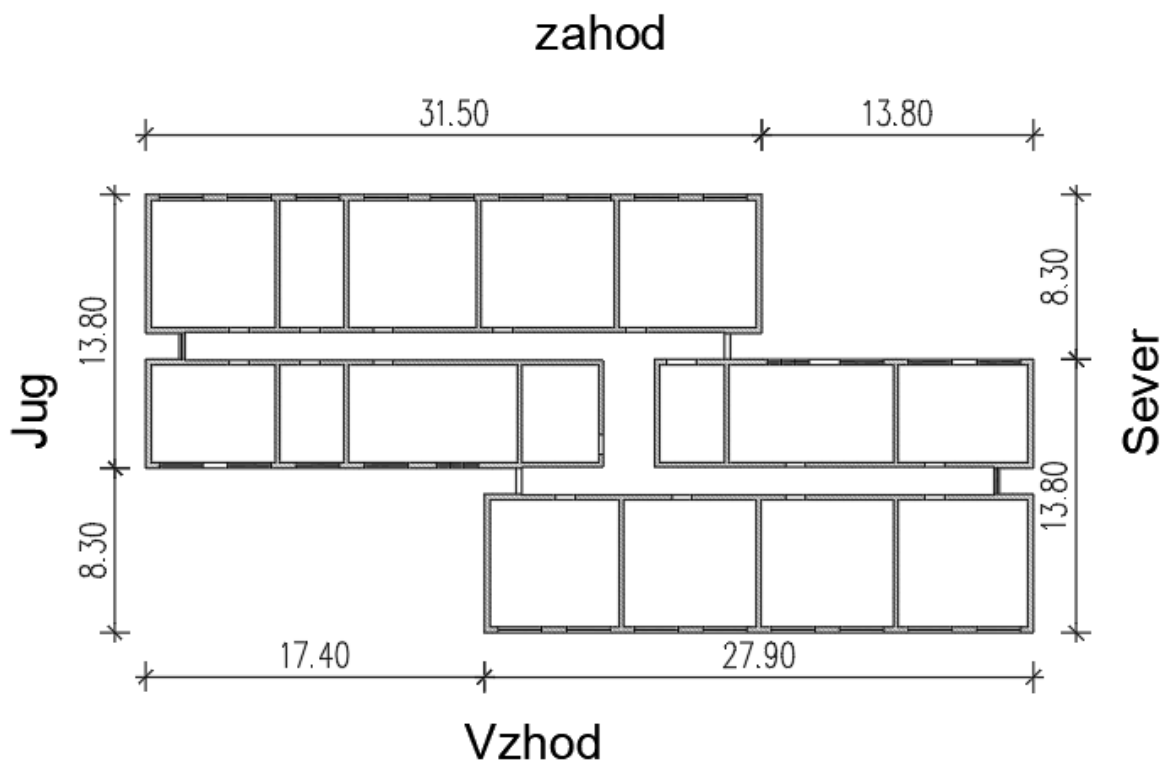
Slika 4: Pogled na obravnavano stavbo

Večstanovanjski blok je dimenzij 22,1 x 44,8 m, višine 16,3 m. Višina posamične etaže je 2,5 m. Klet in podstrežje sta neogrevana, v pritličju in v štirih etažah imamo 97 stanovanjskih enot. Omenjena večstanovanjska stavba ima obstoječo dotrajano fasado, ki še ni bila nikoli prenovljena [12]. Zunanje stene med okni so grajene iz AB slopov in so toplotno izolirane s 5 cm kombi ploščami. Parapetni zidovi so iz sendvič sestave mavčne plošče, plasti zraka, toplotne izolacije in prefabriciranih betonskih elementov. Strop proti podstrešju je iz AB plošče in 5 cm toplotne izolacije. Streha je bila obnovljena leta 2004. Klet je iz AB sten brez toplotne izolacije in talne plošče. Stavbno pohištvo je v večini stanovanj starejše izdelave in zato v izračunih upoštevamo, da je dotrajano. Priprava tople vode za ogrevanje in tople sanitarne vode se zagotavlja z daljinskim ogrevanjem. Grelna telesa po celotni stavbi so radiatorji brez termostatskih ventilov. Hlajenje se zagotavlja preko klimatskih naprav, ki pa niso nameščene v vseh stanovanjih in so različnih modelov in moči.

4.2 Toplotni ovoj stavbe

4.2.1 Opis meritev objekta

Ker ni bilo možnosti pridobiti arhitekturnih podlog, smo izvedli posnetek objekta preko terenskih meritev. Za daljše razdalje in višine smo uporabili laserski merilnik, za debeline sten in manjših oken pa merilni trak. Zaradi precejšnje simetrije stavbe je bil obseg dela majhen in izdelava 2D načrtov stavbe relativno enostavna.



Slika 5: Tloris obravnavane stavbe

4.2.1.1 Severna fasada



Slika 6: Pogled severne fasade stavbe



Slika 7: Pogled severne fasade stavbe v AutoCAD risbi

Tabela 1: Površine gradnikov na severni fasadi

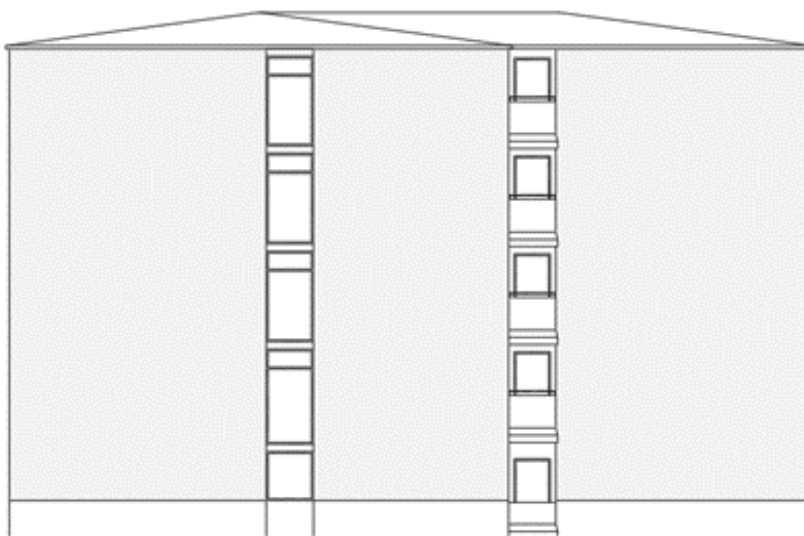
Površine gradnikov na fasadi

AB stena s toplotno izolacijo	375,34 m ²
Stavbno pohištvo (okna)	15,21 m ²
Stavbno pohištvo (vrata)	11,50 m ²

4.2.1.2 Južna fasada



Slika 8: Pogled južne fasade stavbe



Slika 9: Pogled južne fasade stavbe v AutoCAD risbi

Tabela 2: Površine gradnikov na južni fasadi

Površine gradnikov na fasadi

AB stena s toplotno izolacijo	375,34 m ²
Stavbno pohištvo (okna)	15,21 m ²
Stavbno pohištvo (vrata)	11,50 m ²

4.2.1.3 Vzhodna fasada



Slika 10: Pogled vzhodne fasade stavbe



Slika 11: Pogled vzhodne fasade stavbe v AutoCAD risbi

Tabela 3: Površine gradnikov na vzhodni fasadi

Površine gradnikov na fasadi

AB stena s toplotno izolacijo	220,26 m ²
AB stena brez toplotne izolacije	20,06 m ²
Parapetni zid 17 cm	91,08 m ²
Parapetni zid 22 cm	67,32 m ²
Stavbno pohištvo	257,62 m ²

4.2.1.4 Zahodna fasada



Slika 12: Pogled zahodne fasade stavbe



Slika 13: Pogled zahodne fasade stavbe v AutoCAD risbi

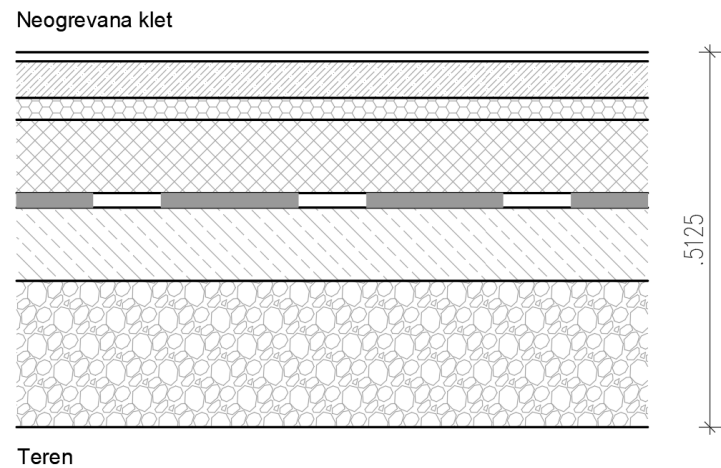
Tabela 4: Površine gradnikov na zahodni fasadi

Površine gradnikov na fasadi

AB stena s toplotno izolacijo	220,26 m ²
AB stena brez toplotne izolacije	20,06 m ²
Parapetni zid 17 cm	91,08 m ²
Parapetni zid 22 cm	67,32 m ²
Stavbno pohoštvo	257,62 m ²

4.3 Konstruktivski sklopi stavbe

4.3.1 Tla v kleti

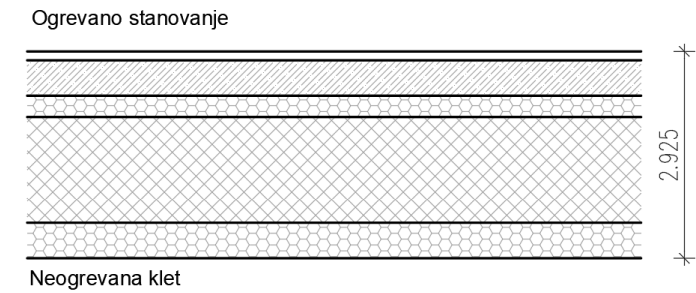


Slika 14: Konstruktivski sklop tal v kleti

Tabela 5: Opis sestave konstruktivskega sklopa tal v kleti

Neogrevana klet	
Keramične ploščice	1,25 cm
Estrih	5 cm
Toplotna izolacija	3 cm
Beton	15 cm
Bitumen	2 cm
Beton	10 cm
Gramoz	20 cm
Teren	

4.3.2 Tla nad neogrevano kletjo

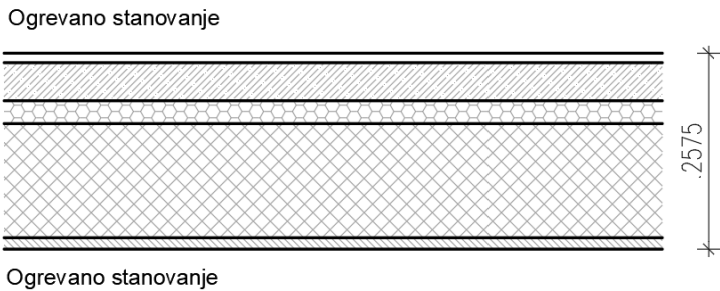


Slika 15: Konstrukcijski sklop etaže nad neogrevano kletjo

Tabela 6: Opis sestave konstrukcijskega sklopa tal nad neogrevano kletjo

Ogrevano stanovanje	
Keramične ploščice	1,25 cm
Estrih	5 cm
Toplotna izolacija	3 cm
Beton	15 cm
Toplotna izolacija	5 cm
Neogrevana klet	

4.3.3 Etažna plošča

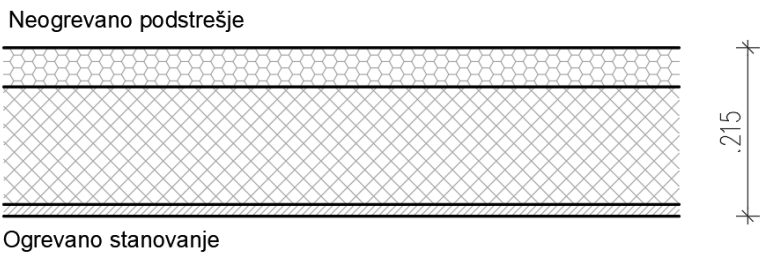


Slika 16: Konstrukcijski sklop etažne plošče

Tabela 7: Opis sestave konstrukcijskega sklopa etažne plošče

Ogrevano stanovanje	
Keramične ploščice	1,25 cm
Estrih	5 cm
Toplotna izolacija	3 cm
Beton	15 cm
Podaljšana apnena malta	1,5 cm
Ogrevano stanovanje	

4.3.4 Plošča pod neogrevanem podstrešju

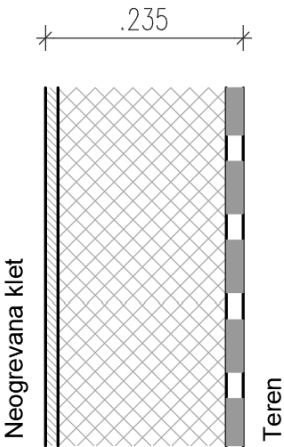


Slika 17: Konstrukcijski sklop etaže pod neogrevanim podstrešjem

Tabela 8: Opis sestave konstrukcijskega sklopa etaže pod neogrevanim podstrešjem

Neogrevano podstrešje	
Toplotna izolacija	5 cm
Beton	15 cm
Podaljšana apnena malta	1,5 cm
Ogrevano stanovanje	

4.3.5 Kletna stena

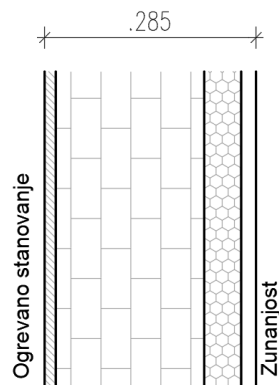


Slika 18: Konstrukcijski sklop kletne stene

Tabela 9: Opis sestave konstrukcijskega sklopa kletne stene

Neogrevana klet	
Podaljšana apnena malta	1,5 cm
Beton	20 cm
Bitumen	2 cm
Teren	

4.3.6 Toplotno izolirana stena

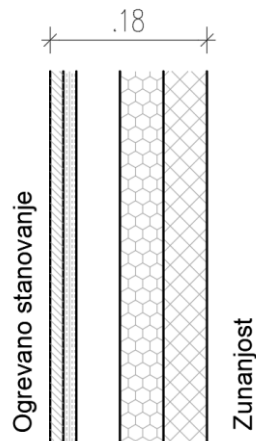


Slika 19: Konstrukcijski sklop zunanje stene

Tabela 10: Opis sestave konstrukcijskega sklopa zunanje stene

Ogrevano stanovanje	
Podaljšana apnena malta	1,5 cm
Opeka	20 cm
Toplotna izolacija	5 cm
Fasadna malta	2 cm
Zunanjost	

4.3.7 Parapetni zid debeline d = 18 cm



Slika 20: Konstrukcijski sklop parapetnega zidu debeline 18 cm

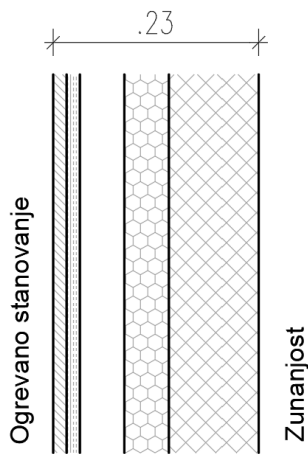
Tabela 11: Opis sestave konstrukcijskega sklopa parapetnega zidu debeline 18 cm

Ogrevano stanovanje

Podaljšana apnena malta	1,5 cm
Apneno-mavčna plošča	1,5 cm
Plast zraka	5 cm
Toplotna izolacija	5 cm
Beton	5 cm

Zunanjost

4.3.8 Parapetni zid debeline d = 23 cm



Slika 21: Konstrukcijski sklop parapetnega zidu debeline 23 cm

Tabela 12: Opis sestave konstrukcijskega sklopa parapetnega zidu debeline 23 cm

Ogrevano stanovanje

Podaljšana apnena malta	1,5 cm
Apneno-mavčna plošča	1,5 cm
Plast zraka	5 cm
Toplotna izolacija	5 cm
Beton	10 cm

Zunanjost

5 POSTOPEK MODELIRANJA STAVBE V BIM OKOLJU

5.1 Autodesk REVIT

Za BIM modeliranje in kasnejšo energijsko analizo bomo uporabili program Autodesk Revit 2023 in 2024. Programska oprema je namenjena arhitektom, krajinskim arhitektom, gradbenim, elektro in strojnim inženirjem in ostalim udeležencem pri projektiranju objektov. Program je namenjeno tako 3D modeliranju kot tudi kasnejšim 4D, 5D in 6D analizam. V programu imamo Insight vtičnik, ki omogoča različne analize energijske učinkovitosti. Slednji deluje kot program v oblaku, kar načeloma omogoča analize, ki se z običajnimi programskimi orodji zaradi zapletenosti računskih operacij ne da izvesti. Mi bomo analizirali vidike, ki so morda zanimivi za naše razmere in jih primerjali z običajnimi analizami energijske bilance objekta.

5.2 Modeliranje stavbe v BIM okolju

5.2.1 LiDAR posnetek stavbe

5.2.2 Postopek snemanja LiDAR posnetkov

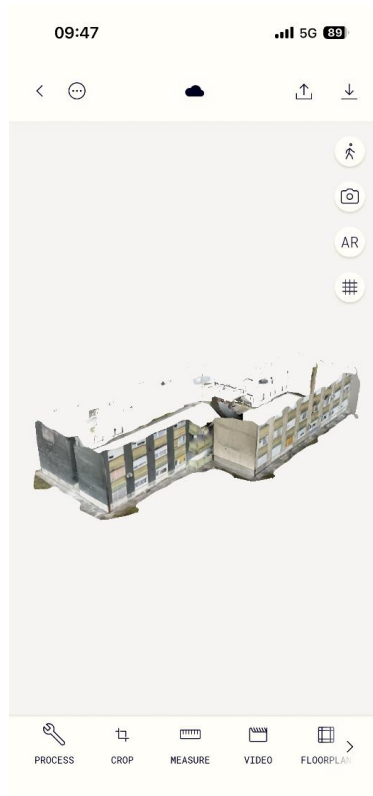
LiDAR posnetke smo izvedli preko mobilne aplikacije POLYCAM. To je plačljiva aplikacija, ki je namenjena 3D skeniranju objektov. Glavna prednost tega programa je, da lahko s pomočjo pametnega telefona brez zunanje dodatne opreme dobimo 360 stopinj kamero. Aplikacija uporablja napredne algoritme računalniškega vida za hitro in enostavno ustvarjanje visokokakovostnih skeniranj. Posnete slike lahko izvozimo v 3D dokumente v različnih formatih. Posnetek smo izvedli v več poizkusih in s pomočjo pametnega telefona iPhone 14 PRO, nameščenega na teleskopski palici.

Prednosti uporabe LiDAR kamere:

- enostavna uporaba,
- hitre meritve,
- toleranca napake meritve dolžin 1–2 cm,
- 3D posnetek lahko premerimo tudi naknadno, kar pomeni, da v kolikor pozabimo premeriti določene dimenzije na lokaciji, lahko to izvedeno kasneje na aplikaciji.

Slabosti uporabe LiDAR kamere:

- omejen domet kamere na 5 m,
- prehitro snemanje stavbe onemogoča pravilno procesiranje slike in imamo zato lahko nedoločljive segmente slike,
- prepočasno snemanje stavbe povzroča distorzije slike, kar pomeni, da dimenzije niso pravilno določene. V enem od poizkusov so se pojavile razlike v dolžini stranice stavbe v razponu 1 m,
- zaradi možnih napak v meritvah je potrebno redno preverjanje dimenzij stavbnih elementov s pomočjo drugih pripomočkov, kot sta laserski merilnik ali merilni trak.



Slika 22: Prikaz LiDAR posnetka stavbe na pametnem telefonu

5.2.3 Format posnetka .PTS

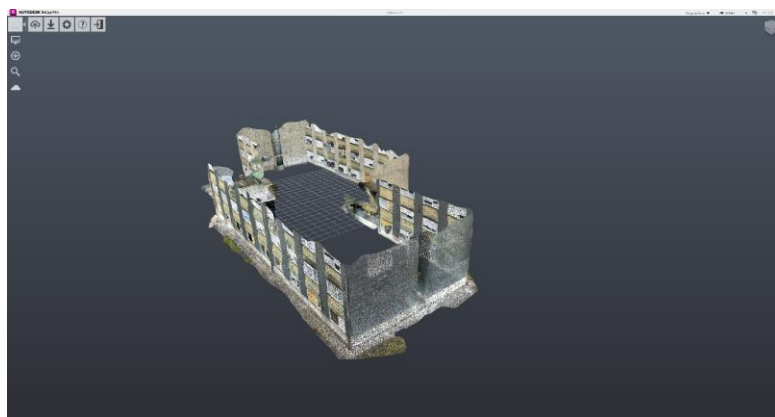
Format posnetka .PTS v angleščini pomeni »*Laser scan plain data format*« [13]. To bi v slovenščini pomenilo »*format podatkov laserskega skeniranja*«. V osnovi je to enostavna tekst-datoteka, ki se jo uporablja za hrambo podatkov LiDAR skenerjev. Prva vrstica daje informacijo o številu točk, ki jim sledimo. Vsaka naslednja vrstica ima 7 vrednosti. Prve tri so koordinate (x, y, z) obravnavane točke, četrta vrednost predstavlja intenziteto, zadnje tri pa barvno paleto (R,G,B). Vrednost intenzitete je ocena deleža vpadnega sevanja, ki ga odbija površina obravnavane točke. Razpon vrednosti za barvno paleto (R, G, B) in intenziteto znašata od 0 do 255. V primeru intenzitete 0 pomeni zelo majhen odboj sevanja, medtem ko 255 pomeni zelo močan odboj.

```
253730194
-0.41025 -2.0806 8.00981 55 52 44 65
-0.63016 -1.84527 6.59447 228 228 230 225
-0.4766 -2.14446 7.91288 60 56 54 68
-0.52017 -1.51698 7.91458 60 58 50 71
-0.626 -2.46051 7.35187 152 140 160 161
-0.62371 -1.53502 7.46876 168 163 175 175
-0.62829 -2.27286 6.34905 208 204 213 212
-0.62614 -2.48739 7.36484 151 144 155 159
: : :
: : :
: : :
```

Slika 23: Text format .PTS LiDAR posnetka [13]

5.2.4 Izvoz posnetka .PTS v program Autodesk ReCap PRO

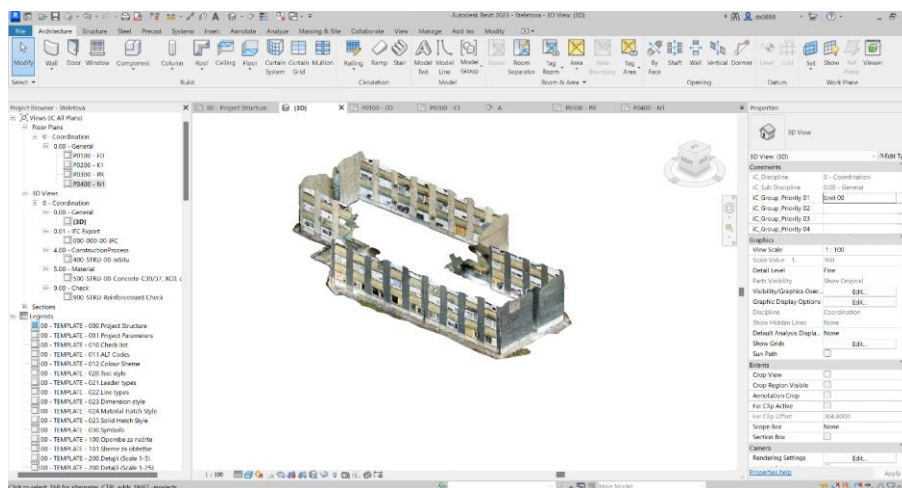
V našem primeru nam aplikacija daje možnost izvoza posnetka v .pts format. Slednjega rabimo, da lahko uvozimo datoteko v Autodesk program ReCap PRO. Program ima funkcijo veznega člana realnega sveta v obliki 3D digitaliziranih posnetkov in BIM tehnologije. V našem primeru premerimo dimenzije, da ocenimo merodajnost posnetka in potem ga izvozimo v formatu .rcp. Format .rcp v angleščini pomeni Point Cloud Projects. Ta datoteka vsebuje oblak točk objekta, s katerim si bomo pomagali za modeliranje BIM modela stavbe.



Slika 24: Posnetek stavbe v programski opremi Autodesk ReCap PRO

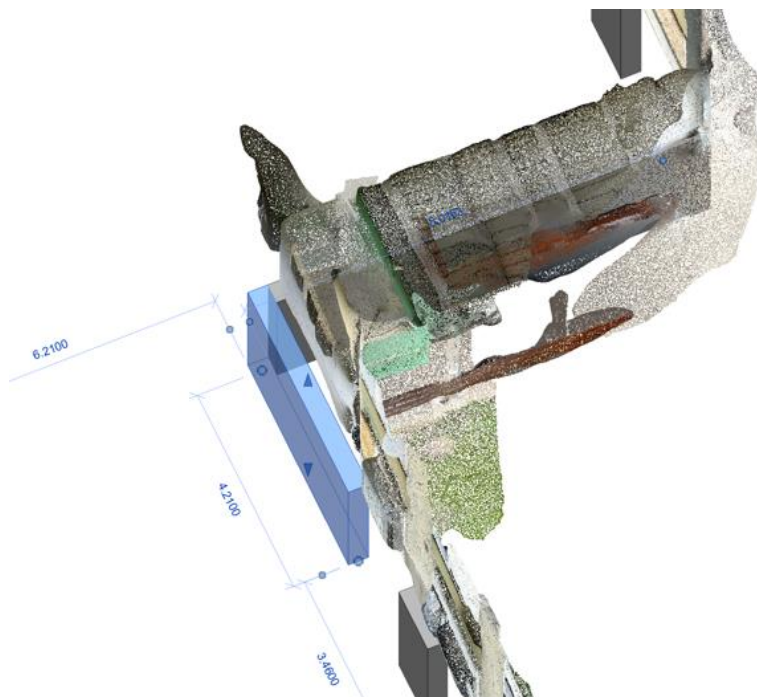
5.2.5 LiDAR posnetek v programski opremi Revit

Z izvoženo datoteko dobimo obris stavbe v obliki oblaka točk. Ne vsebujejo lastnosti in niso hranilniki kakršnihkoli podatkov, ki bi bili uporabni za modeliranje BIM modela. Zato oblak točk uporabimo kot »skelet« oziroma obris, na katerem modeliramo objekt.



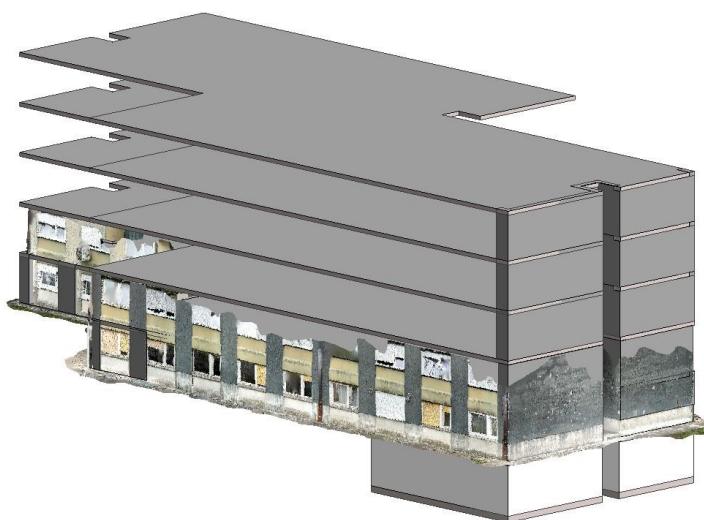
Slika 25: 3D posnetek stavbe v Autodesk Revit

3D posnetek objekta je že uvožen v pravilnem merilu. Kar nam preostane, je modeliranje elementov konstrukcije, kot so stene in plošče. Sestavo sten in plošč določimo s pomočjo podatkov iz obstoječe energetske izkaznice in s pogovorom s hišnikom stavbe.



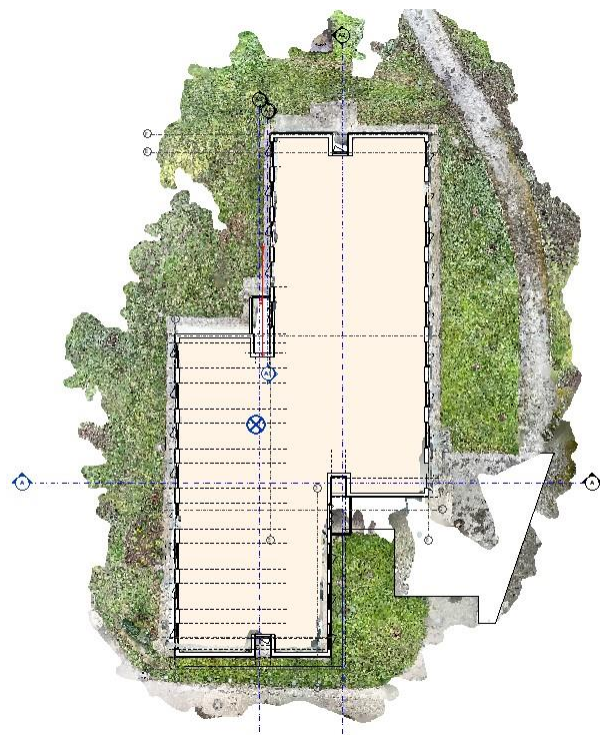
Slika 26: Modeliranje stavbe v BIM okolju s pomočjo 3D posnetka

Stavba ima nekoliko specifično fasado, ker je kombinacija opečnih sten in montažnih elementov pod in nad okni. Da smo prišli do pravih oblik, smo uporabili ukaz sweep in modeliranje posebnih oblik (*angl. Generic models*).



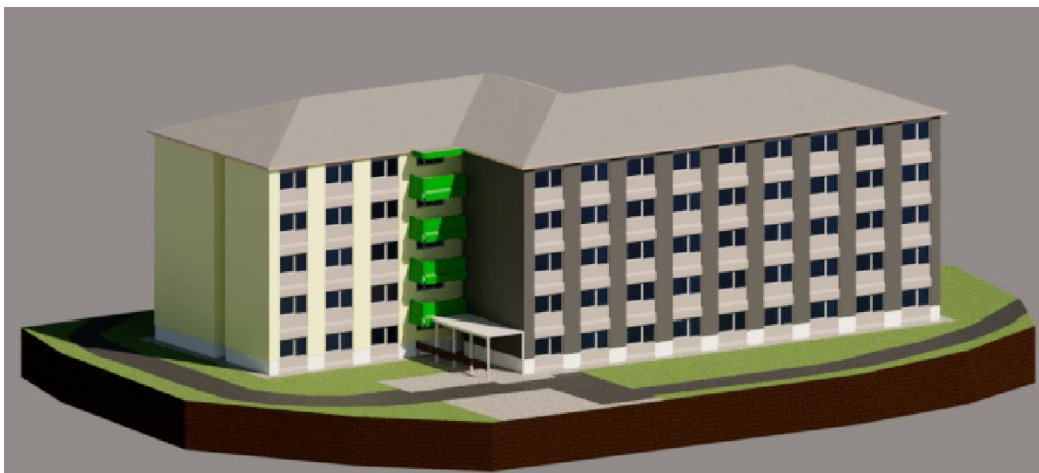
Slika 27: BIM model stavbe v fazi modeliranja

Kasneje, ko je model objekta zmodeliran, vstavimo še oblak točk, ki predstavlja teren okolice stavbe. S pomočjo funkcije toposolid oblikujemo raven teren. Nato dodamo točke, ki jim spremenimo višine, in s tem potem simuliramo obliko terena. Seveda tega modela ne moremo primerjati z natančnostjo geodetskega posnetka, vendar kljub vsemu za naš primer dobimo dovolj natančen model terena.



Slika 28: LiDAR posnetek terena

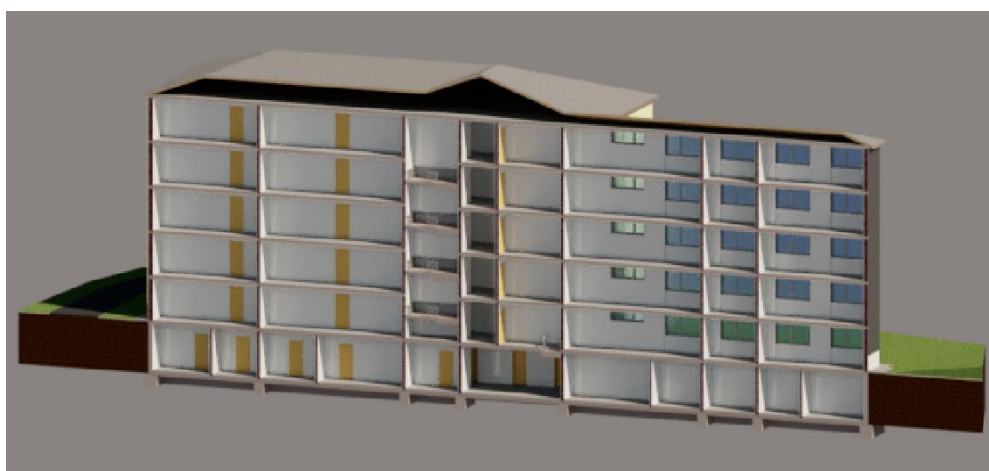
5.3 BIM model stavbe



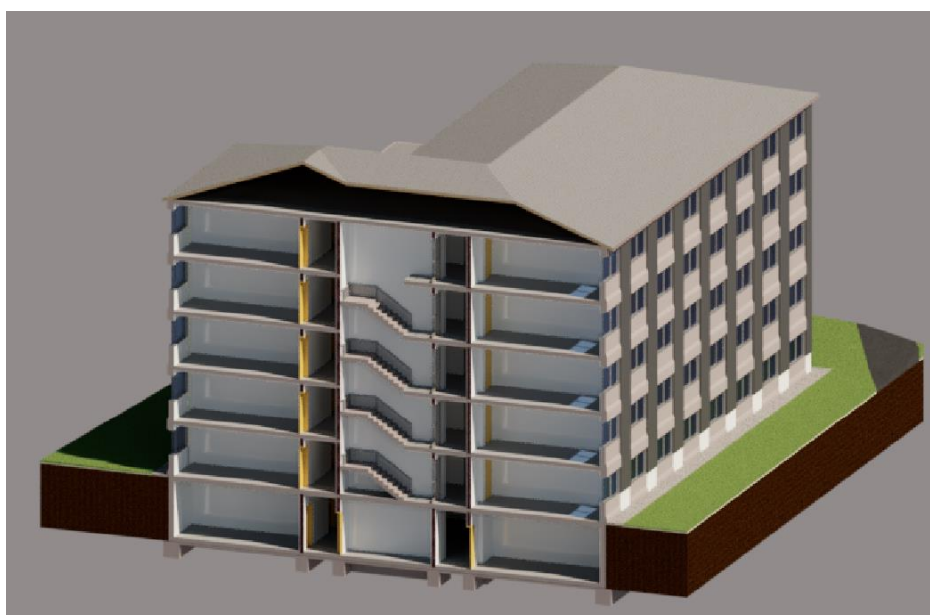
Slika 29: Pogled na BIM model stavbe iz zahodne strani



Slika 30: Pogled na BIM model stavbe iz vzhodne strani



Slika 31: Vzdolžni prerez BIM modela stavbe



Slika 32: Prečni prerez BIM modela stavbe

6 RAČUN ENERGIJSKE BILANCE S PROGRAMOM PURES 3

6.1 Program PURES 3

PURES 3 je edini program v Sloveniji, ki upošteva novi pravilnik o učinkoviti rabi energije (PURES 2022). Trenutno je tudi edini uradno veljaven program v Sloveniji na področju gradbene fizike. Razvili so ga na strojni fakulteti v Ljubljani. Služi kot orodje tako za izračun energijske bilance za izdelavo energetske izkaznice kot tudi za elaborat gradbene fizike pri uradni dokumentaciji za projektiranje.

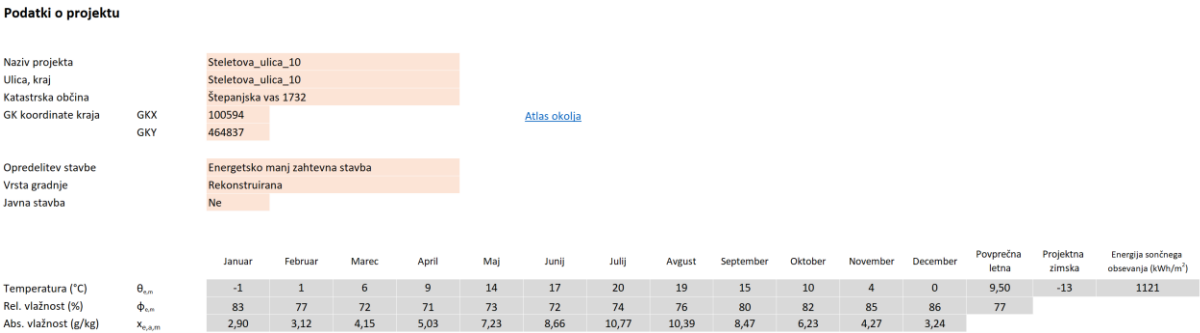
V pravilniku ločimo stavbe na:

- energetsko nezahtevne stavbe ($A_u < 50 \text{ m}^2$),
- energetsko manj zahtevne stavbe ($50 \text{ m}^2 \leq A_u \leq 500 \text{ m}^2$),
- energetsko zahtevne stavbe ($500 \text{ m}^2 \leq A_u$).

V našem primeru gre za energetsko manj zahtevno stavbo, saj se za slednje šteje tudi večstanovanjske stavbe z večjo ali enako površino (500 m^2), v kolikor imajo posamezni deli stavbe samostojne in neodvisne TSS (Tehnični stavbni sistemi).

6.2 Opis dela v programu PURES 3

6.2.1 Začetni vhodni podatki



Slika 33: Začetni zavihek z osnovnimi podatki v programu PURES 3

Odpremo nov projekt, kjer vstavimo naslov, katastrsko občino in koordinate ARSO. Po opredelitvah začetnih podatkov dodamo cono. Cona oziroma kondicionirana cona je del stavbe, v kateri so s tehničnimi stavbnimi sistemi zagotovljeni parametri notranjega okolja vsaj razreda kakovosti IEQII, ki so opredeljeni z upoštevanjem načina in pogojev uporabe cone.

6.2.2 Podatki o coni

V našem primeru imamo samo eno cono. Pri coni opredelimo geometrijske lastnosti (površina, bruto in neto volumen) in namembnost. Namembnost je pomembna, saj z njo določimo pogoje notranjega okolja in načina delovanja stavbe.

Notranja operativna temperatura	θ_{op}	°C	20	26	Tedenska uporaba stavbe	t_i	d/teden	7
Notranji viri	q_i	W/m ²	5,1	5,1	Dnevna uporaba stavbe	t_d	h/dan	24
					Letno št. dni koriščenja	d_s	d/an	365
					Faktor sočasne uporabe stavbe	f_o	-	1,00
Prezračevanje			Naravno - z odpiranjem oken					
			Pozimi Poleti					
Št. izmenjav zraka	n	h ⁻¹	0,5	0,5				
Št. izmenjav pri 50 Pa	n_{50}	h ⁻¹	10,0					
Način gradnje			Srednje težke konstrukcije					
Toplotna kapaciteta toplotne cone	$C_{m,eff}$	J/K	598.834.500,0					

Slika 34: Zavihek o coni v programu PURES 3

6.2.2.1 Namembnost stavbe

Namembnost je pomembna, saj z njo določimo pogoje notranjega okolja in načina delovanja stavbe. V kolikor se vrednosti teh pogojev razlikujejo od tistih iz projektne dokumentacije in bi slednje vplivale na nižjo potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje, potem upoštevamo vrednosti iz projektne dokumentacije.

6.2.2.2 Prezračevanje in filtracija zraka

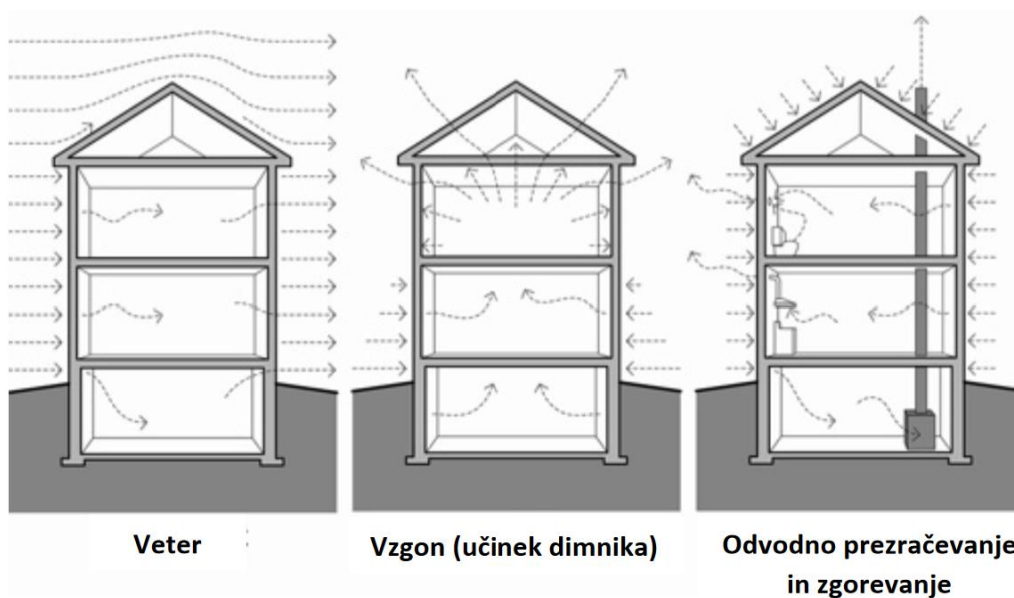
V laični javnosti sta ta dva elementa energijske učinkovitosti precej zapostavljena oziroma nerazumljena [14]. Pogosto slišimo s strani splošne javnosti, da morajo stene »dihati«. Stene ne »dihajo« in niti ne smejo »dihati«. Zmotno je namreč razmišljati, da prehod zraka in vlage čez steno deluje blagodejno na počutje in bioklimatske razmere v prostoru. V resnici je ravno nasprotno. Je škodljiv pojav. V zakonodaji je namreč zapovedano, kakšna mora biti sestava stene, da ne pride do poškodb ali drugih škodljivih vplivov zaradi difuzijskega prehoda vodne pare. Za ustrezno izmenjavo zraka in za odvajanje vlage iz prostorov je potrebno zračenje s pomočjo odpiranja oken ali s prezračevalnimi napravami.

Precejšen delež potrebne energije za ogrevanje in hlajenje stavb povzroča izmenjava zraka. Zato je treba to upoštevati in prezračevati pazljivo. Ločimo naravno in mehansko prezračevanje. Naravno prezračevanje je tok zraka skozi odprta okna, vrata in drugo stavbno pohištvo v stavbnem ovoju odprtin kot posledica naravno in/ali umetno ustvarjenih tlačnih razlik. Mehansko (ali prisilno) prezračevanje predstavlja nameren tok zraka v in iz stavbe z uporabo ventilatorjev preko namenskih odprtin za vstop in izstop.

Infiltracija je pretok zunanjega zraka v zgradbo skozi razpoke in druge nenamerne odprtine ter ob normalni uporabi zunanjih vrat za vstopanje in izstopanje. Eksfiltracija pa predstavlja ravno nasprotno, iztekanje zraka iz stavbe skozi podobne vrste odprtin. Tako kot naravno prezračevanje, tudi infiltracijo in eksfiltracijo poganja naravno in ali umetno ustvarjene tlačne razlike.

Iz tega lahko sklepamo, da v stavbah nastopata hkrati prezračevanje in infiltracija. Iz tega izhaja vprašanje kako izvesti izračun prezračevalnih izgub stavbe. Infiltracijo/eksfiltracijo poganja tlačna

razlika na ovoju stavbe. To povzroča veter in razlika gostote zraka kot posledica temperaturnih razlik med notranjim in zunanjim zrakom (vzgon oziroma učinek dimnika). Tu so še tehnični sistemi s premikanjem zraka, kot na primer kurilne naprave, netesni kanalski sistemi in mehanski prezračevalni sistemi, ki s svojim delovanjem povzročajo tlačne razlike na ovoju. Tlačna razlika na ovoju stavbe, zapisana z enačbo in predstavljena na sliki 37:



Slika 35: Prikaz učinka vetra na infiltracijo in eksfiltracijo v stavbi [14]

V tehnični smernici TSG-1-004 imamo vrednosti n_{50} , ki predstavljajo število izmenjav zraka pri tlačni razliki 50 Pa. Vrednosti, ki se jih upošteva, so prikazani v spodnji tabeli:

Tabela 13: Tabela 36 iz tehnične smernice TSG-1-004:2022

Kategorija stavbe glede na tesnost	$n_{50} (h^{-1})$
I – zelo tesne stavbe ^{A)} brez ^{B)} z mehanskim prezračevanjem	3 ^{A)} , 1,5 ^{B)}
II – tesne stavbe ⁴	4
III – stavbe, ki ne spadajo v I, II ali IV kategorijo	6
IV – netesne stavbe ⁵	10

Pri prezračevanju upoštevamo kot naravno prezračevanje z odpiranjem oken. V tem primeru se prevzame število menjav zraka na uro vrednost 0,5.

6.2.2.3 Toplotna kapaciteta stavbe

Toplotna kapaciteta stavbe je toplota, potrebna, da stavbo segrejemo za en kelvin. Sama toplotna kapaciteta stavbe je odvisna od tipa gradnje.

Tip gradnje opredelimo na:

- zelo lahke konstrukcije (konstrukcije brez masivnih slojev, na primer konstrukcije z mavčnimi ploščami,
- lahke konstrukcije (konstrukcije z od 5–10 cm debelim slojem votle opeke ali penjenega betona),
- srednje težke konstrukcije (konstrukcije z 10–20 cm debelim slojem votle opeke ali penjenega betona; 7 cm debelim slojem polne opeke),
- težke konstrukcije (konstrukcije z 7–12 cm debelim slojem polne opeke ali betona z ometom),
- zelo težke konstrukcije (konstrukcije z več kot 12 cm polne opeke ali betona), brez izolacije proti coni.

6.2.3 Razsvetljava

Razsvetljava					
Specifična električna moč vgrajenih svetilk	P _L	W/m ²		5,00	
Faktor zmanjšanja projektirane osvetlitve	F _{CA}	-		0,80	
Letno št.ur razsvetljave - podnevi	t _D	h/an		1820	
- ponoči	t _N	h/an		1680	
E. za polnjenje baterij varnostnih sijalk	E _{pe}	kWh/m ² an		0,0	
E. za reg.delovanja varnostnih sijalk	E _{pc}	kWh/m ² an		0,0	
Način vklopa in izklopa svetilk				Ročni vklop	
Faktor uporabe stavbe	F _o			0,7	
Faktor dnevne svetlobe	F _{DST}	%		2,6	
Položaj transparentnih gradnikov				J fasade brez senčil	
Faktor naravne osvetlitve	F _D			0,74	
Sistem razsvetljave				LED/fluorescentne brez zatemnjevanja	
Faktor zmanjšanja svetlobnega toka	F _c			1,00	
Dovedena energija za razsvetljavo	E _{L,del,an}	kWh/an		38313,2	

Slika 36: Zavihek o razsvetljavi v programu PURES 3

Opredelimo moč vgrajenih svetilk. Program potem avtomatično glede na namembnost stavbe opredeli časovne okvire uporabe svetil.

6.2.3.1 Faktor uporabe stavbe F_o

Način regulacije vklopa in izklopa svetilk ovrednotimo s faktorjem prisotnosti uporabnikov F_o. F_o je opredeljen v tabeli:

Tabela 14: Tabela B.7 v standardu SIST EN 15193-1

			Način vklopa in izklopa svetilk		
		F _o faktor uporabe stavbe	ročni vklop	avtomatsko zatemnjevanje	ročni vklop, samodejni izklop
F _A	0,3	stanovanjske stavbe	0,7	0,55	0,5
F _A	0,5	pisarne, izobraževalne stavbe	0,9	0,85	0,7
F _A	0	ostale stavbe	1	za vse načine krmiljenja	

6.2.3.2 Faktor zmanjšanja toplotnega toka

Oddan svetlobni tok svetilk se s časom spreminja. Odvisen je namreč od trajanja delovanja, vzdrževanja oziroma čiščenja optičnih elementov svetilk. S faktorjem F_c ovrednotimo zmanjšanje oddanega svetlobnega toka.

Tabela 15:Tabela B.8 v standardu SIST EN 15193-1

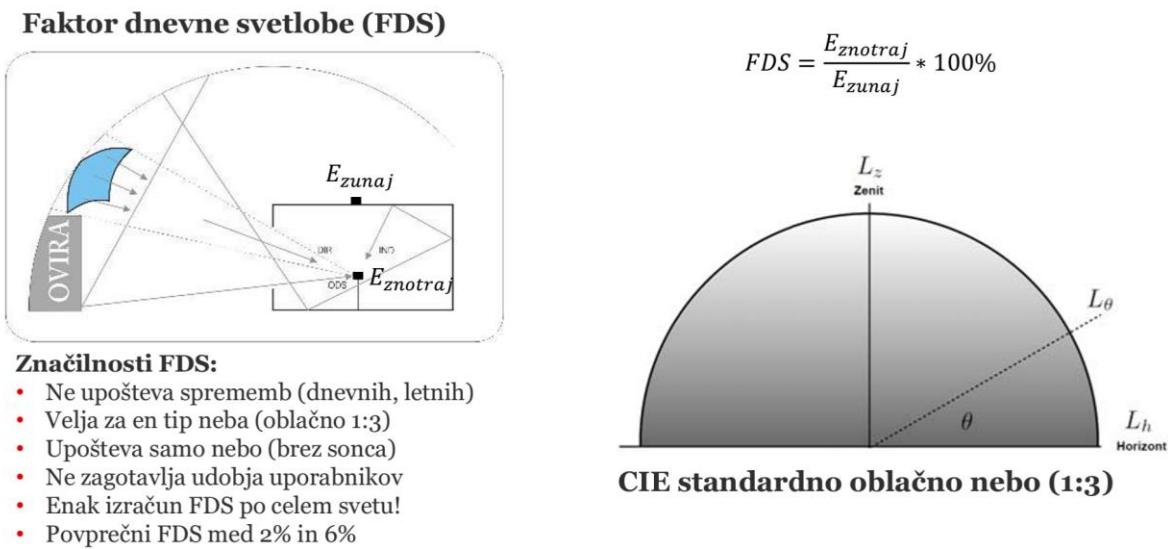
F_c faktor zmanjšanja svetlobnega toka	brez zatemnjevanja	z zatemnjevanjem
fluorescentne sijalke	1	0,9
LED	1	0,85

6.2.3.3 Faktor naravne svetlobe F_D

Vpliv naravne osvetlitve se ovrednoti s faktorjem naravne osvetlitve F_D z upoštevanjem faktorja dnevne svetlobe F_{DS_T} .

6.2.3.4 Faktor dnevne svetlobe F_{DS_T}

Vrednost nam predstavlja vpliv naravne osvetlitve na rabo energije TSS razsvetljave.



Slika 37: Faktor dnevne svetlobe [15]

Kot je razvidno iz zgornje slike, je faktor dnevne svetlobe razmerje med osvetljenostjo točke na dani ravnini v stavbi in osvetljenostjo zunanje nesenčene in nezastrite vodoravne ploskve z naravno svetlobo, določeno s standardizirano metodo izračuna. Vpliv naravne osvetlitve na energijsko učinkovitost se odraža v zmanjšani dovedeni električni energiji za razsvetljavo in posledično primarno energijo za delovanje stavbe. Faktor F_{DS_T} se določi skladno s standardom SIST EN 17037 z namenskimi orodji. Pri statičnem modeliranju se lahko uporabijo empirični izrazi ali grafične metode.

6.2.4 Hlajenje v stavbi

TSS Hlajenje		
Toplotne cone		C1
Vrsta hladilnega sistema		Hladilna naprava z uparjanjem
Vrsta hladilne naprave		Split
Regulacija delovanja kompresorja		ON/OFF vklop
Odvod toplote		Kondenzator zunaj

Slika 38: Zavihek o hlajenju stavbe v programu PURES 3

Podamo tip TSS hlajenja za stavbo. Hlajenje se vrši z inverterskimi klimatskimi napravami, ki omogočajo regulacijo na notranjo temperaturo. Imamo različne modele klimatskih naprav, ki niso prisotne v vseh bivalnih enotah stavbe.

6.2.5 Ogrevanje v stavbi

TSS Gretje		
Toplotne cone		C1
Vrsta sistema		Toplovodni ogrevalni sistem
Energent		Daljinsko ogrevanje
Generator toplote		Toplotna podpostaja
Generator in hranilnik sta		V neogrevanem prostoru
Nazivna moč generatorja	$P_{n,gen}$ kW	231,4
Končni prenosniki toplote		
Vrsta ogreval		Radiatorji
Vrsta ogrevalnega sistema		Visokotemperaturni 70/55
Namestitev ogreval		Ob zunanjem zidu
Hidravlično uravnoteženje razvoda		Statično uravnoteženje končnih prenosnikov
Regulacija temperature prostora		Centralna regulacija temperature
Energetska cona je mehansko prezračevana		Ne
Električna moč regulatorjev	$P_{n,aux}$ W	22,0
Število regulatorjev	n	1
Navlaževanje zraka		S toploto

Slika 39: Zavihek o ogrevanju stavbe v programu PURES 3

Stanovanja se ogreva na daljinsko ogrevanje Ljubljanske toplotarne. V stavbi je locirana toplotna podpostaja moči 231,4 kW. Stavba se ogreva preko radiatorjev ob zunanjem zidu.

6.2.6 Ogrevanje TSV

TSS za TSV			
Toplotne cone			C1
Vrsta sistema			Neposredno ogrevan hranilnik TSV
Energent			Daljinsko ogrevanje
Generator toplote			Toplotna podpostaja
Generator in hranilnik sta			V ogrevani coni
Nazivna moč generatorja	$P_{n,gen}$	kW	221,0

Slika 40: Zavihek o ogrevanju tople sanitarne vode v programu PURES 3

Topla sanitarna voda se prav tako ogreva preko daljinskega ogrevanja. Nazivna moč generatorja znaša 221 kW. Prostornina hranilnika tople vode znaša 1500 l .

Dimenzije energetske cone			
Število etaž	n_{zn}	5	-
Višina etaže	h_{zn}	2,50	m
Dolžina cone	L_{zn}	44,8	m
Širina cone	B_{zn}	13,8	m
		θ_{op}	20,0 °C

Slika 41: Zavihek o dimenzijah energetske cone v programu PURES 3

Podamo dimenzije energetske cone. Program nam potem poda dimenzije razvodov. Razvodi so toplotno izolirani in hidravlično uravnoreženi. Potekajo po notranjih stenah objekta.

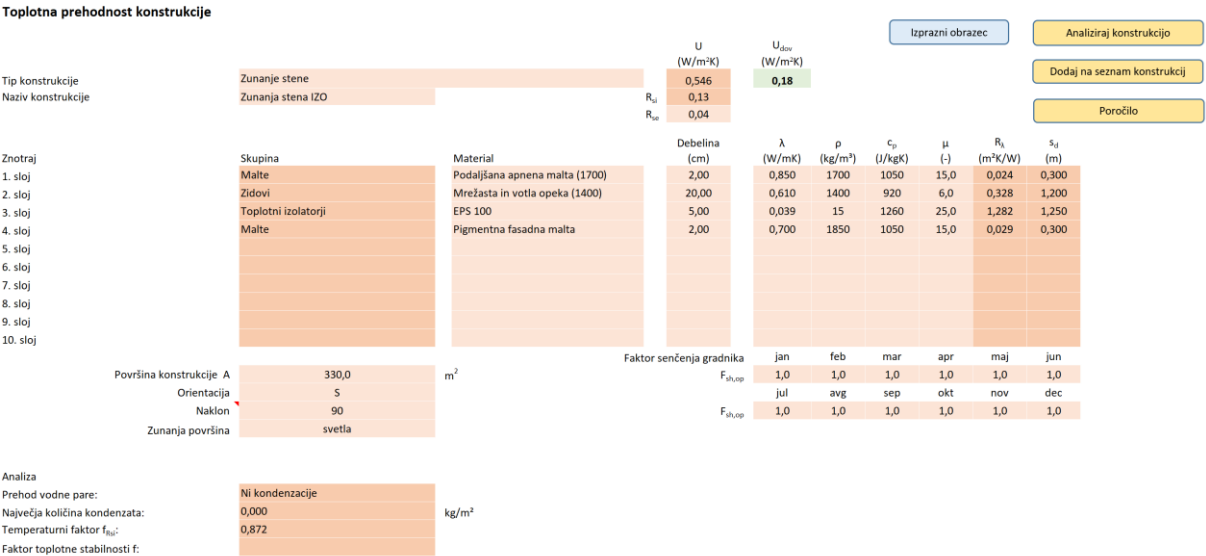
6.2.7 Gradniki toplotnega ovoja stavbe

V zavihku konstrukcije na ovoju stavbe opišemo vse elemente ovoja stavbe. Imamo netransparentne in transparentne gradnike stavbe.

Konstrukcije na ovoju stavbe			Toplotna cona: Stanovanja						
Toplotna prehodnost toplotnih mostov	$\Delta\Psi_{tb}$	W/m²K	0,06						
Zaporedna št. konstrukcije			1	2	3	4	5	6	7
Vrsta konstrukcije			Netransparentna	Netransparentna	Netransparentna	Netransparentna	Netransparentna	Netransparentna	Netransparentna
Naziv			Zunanja stena IZC	Zunanja stena IZC	Zunanja stena IZC	Zunanja stena IZO	Zunanja stena	Zunanja stena	Zunanja stena
Orientacija			S	J	Z	V	J	S	Z
Naklon		°	90	90	90	90	90	90	90
Toplotna prehodnost	U	W/m²K	0,546	0,546	0,546	0,546	1,818	1,818	1,818
Površina	A	m²	330,0	330,0	220,3	220,3	45,4	45,4	20,1
Faktor	b		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Toplotna prehodnost zasteklitve	U_g	W/m²K							
Toplotna prehodnost okvirja	U_f	W/m²K							
Energijska prehodnost zasteklitve	g_{tot}	-							
Delež netransparentnega dela gradnika	$F_{fr,w}$	-							
Prehodnost s. sevanja zasteklitve s senčili	$g_{tot,sh}$	-							
Presevnost naravne svetlobe zasteklitve	τ_{vis}	-							
	U-A-b	W/K	180,1	180,1	120,2	120,2	82,6	82,6	36,5
Ekvivalentna debelina talne konstrukcije	d_t	m							

Slika 42: Zavihek o opisu toplotnega ovoja stavbe v programu PURES 3

6.2.7.1 Netransparentne konstrukcije



Slika 43: Zavihek o opisu netransparentnih gradnikov v programu PURES 3

V zavihku opišemo tip konstrukcije, sestavo, površino, orientacijo in naklon. Program nam izračuna toplotno prehodnost (W/m^2K) in največjo dovoljeno toplotno prehodnost skladno s pravilnikom o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2022).

6.2.7.2 Transparentne konstrukcije

Toplotna prehodnost stavbnega pohištva in senčenje transparentnih gradnikov

Vrsta gradnika		Okna, balkonska vrata, zastekljene fasa	
Naziv gradnika (okno, vrata)		Staro okno	
Naklon gradnika		°	
Usmerjenost		V	
Površina	A	m^2	256,70
Toplotna prehodnost zasteklitve	U_g	W/m^2K	3,00
Toplotna prehodnost okvirja	U_f	W/m^2K	2,00
Delež okvirja	$F_{fr,w}$	-	0,20
Linearna toplotna prehodnost distančnika	Ψ_d	W/mK	
Dolžina toplotnega mostu	l	m	
Toplotna prehodnost gradnika	U	W/m^2K	2,800
Energijska prehodnost zasteklitve	g_{tot}	-	0,55
Faktor senčenja zunanjih in notranjih senčil	F_{sh}	-	0,25
Prehodnost s. sevanja zasteklitve s senčili	$g_{tot,sh}$	-	0,138
Presevnost naravne svetlobe zasteklitve	τ_{vis}	-	

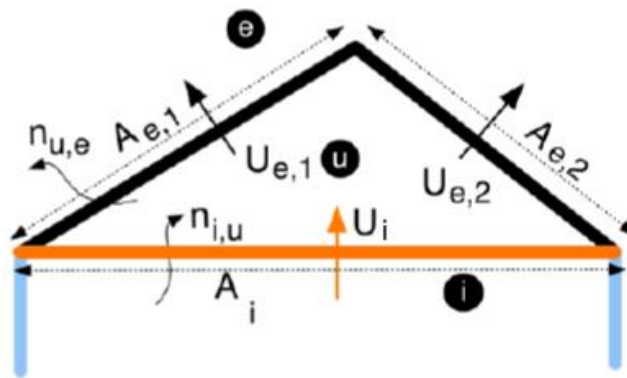
U_{dov} 1,0

Slika 44: Zavihek o opisu transparentnih gradnikov v programu PURES 3

Pri novih oknih so podatki specificirani na tehničnem listu. Ker imamo stara okna, ki so različno ohranjena, je treba določene podatke predpostaviti.

6.2.8 Temperaturni korekcijski faktor b

V danem primeru imamo ogrevano cono stanovanj. Klet in podstrešje sta neogrevana, kar predstavlja dodatni toplotni odpor. To upoštevamo s faktorjem b, ki je manjši od 1.



Slika 45: Shema toplotnih izgub v neogrevanem podstrešju [16]

$$b = \frac{H_{tr,ue} + H_{ve,ue}}{H_{iu} + H_{tr,ue} + H_{ve,ue}}$$

$$H_{iu} = A_i \cdot U_i = 725,9 \, \text{m}^2 \cdot 0,662 \, \text{W/m}^2 \text{K} = 482,6 \, \text{W/K}$$

$$b = \frac{3633,6 + 1293,5}{442,3 + 3633,6 + 1293,5} = 0,92$$

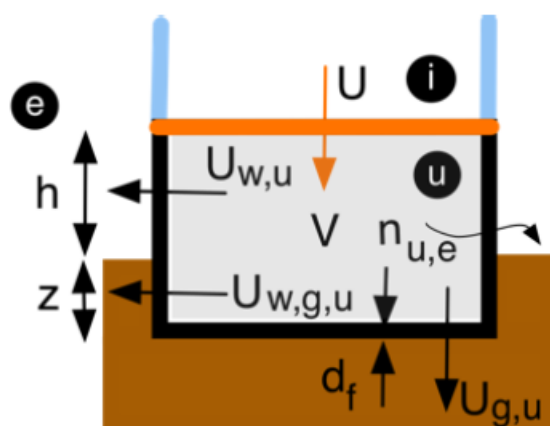
Kjer velja

$H_{tr,ue}$... Specifične transmisijske izgube ogrevane cone

$H_{ve,ue}$... Specifične ventilacijske izgube ogrevane cone

A_i ... Površina, na katero meji energetska cona

U_i ... Toplotna prehodnost gradnika, ki meji na neogrevano cono



Slika 46: Shema toplotnih izgub v neogrevani kleti [16]

$$b = \frac{H_{tr,ue} + H_{ve,ue}}{H_{iu} + H_{tr,ue} + H_{ve,ue}}$$

$$H_{iu} = A_i \cdot U_i = 725,9 \, m^2 \cdot 0,41 \, W/m^2 K = 297,6 \, W/K$$

$$b = \frac{3633,6 + 1293,5}{297,6 + 3633,6 + 1293,5} = 0,94$$

7 RAČUN ENERGIJSKE BILANCE STAVBE S PROGRAMOM URSA 4.0

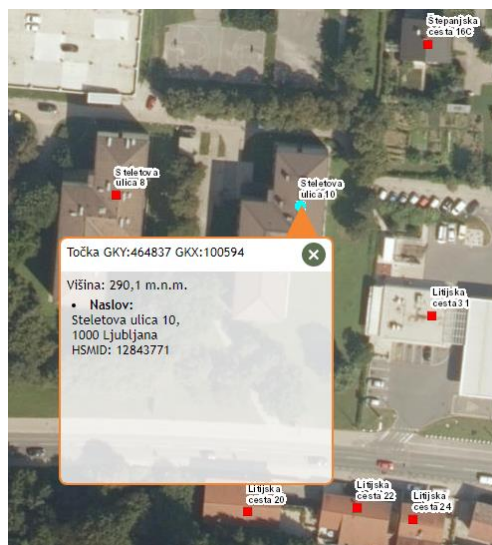
7.1 Program URSA 4.0

Program je bil razvit za potrebe proizvajalca izolacijskih materialov podjetja URSA Slovenija, d. o. o., in je zelo razširjen med projektanti. Do nedavnega se je z njim lahko računalo gradbeno fiziko za energetske izkaznice, saj je upošteval PURES 2010. Ker pa ni več usklajen po novi tehnični smernici TSG-1-004:2022 in PURES 2022, se ga ne da več uporabljati za izračun elaborata gradbene fizike in za izdelavo energetske izkaznice. Za namen primerjave rezultatov energijske bilance, narejene s pomočjo programa PURES 3 in pripadajoče nove zakonodaje, smo izvedli izračun energijske bilance stavbe tudi s programom URSA 4.0.

7.2 Proces izračuna gradbene fizike stavbe

7.2.1 Klimatski podatki

Za določitev podnebnih podatkov rabimo GK koordinate. Slednje dobimo na spletni strani Agencije za okolje, Atlas okolja. Preko podatka parcele in katastrske občine pridobimo koordinate, ki jih naknadno vnesemo v program URSA 4.0.



Slika 47: GK koordinate stavbe na spletni strani Atlas okolja

Tem koordinatam pripadajo klimatski podatki, ki jih v ustreznem zavihku vpišemo v programskem orodju.

Izbira katastrske občine

Šifra KO: 1728 Naziv KO: LJUBLJANAMESTO Številka parcele: 359 X (N): 100.593 Y (E): 464.838

LJUBLJANAMESTO (šif. K.O.: 1728)
LJUBNICA (šif. K.O.: 1097)
LJUBNO (šif. K.O.: 923)
LJUBNO (šif. K.O.: 2160)
LJUBSTAVA (šif. K.O.: 449)
LJUTOMER (šif. K.O.: 259)
LOBNICA (šif. K.O.: 673)
LOČE (šif. K.O.: 1119)
LOČE (šif. K.O.: 1295)
LOČICA (šif. K.O.: 1014)
LOČIČ (šif. K.O.: 350)
LOČKI VRH (šif. K.O.: 349)
LOG (šif. K.O.: 1391)
LOG (šif. K.O.: 1996)
LOG (šif. K.O.: 2693)

Začetek kurilne sezone (dan): 270 27.09
Konec kurilne sezone (dan): 135 15.05
Temperaturni primanjkljaj (K-dan): 3.300
Projektna temperatura (°C): -13
Povprečna letna temperatura (°C): 9.5
Letna energija sončnega obsevanja (kWh/m²): 1.121

Povprečna mesečna temperatura (°C)

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AVG	SEP	OCT	NOV	DEC
-1	1	6	9	14	17	20	19	15	10	4	0

Povprečna mesečna vlažnost (%)

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AVG	SEP	OCT	NOV	DEC
83,0	77,0	72,0	71,0	73,0	72,0	74,0	76,0	80,0	82,0	85,0	86,0

Globalno sončno obsevanje po mesecih - naклон ploskve 0° (Wh/m²)

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AVG	SEP	OCT	NOV	DEC
281	540	898	1427	1693	1948	1928	1606	1080	599	336	230

Število dni v mesecu, upoštevanih pri dobilih sončnega sevanja

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AVG	SEP	OCT	NOV	DEC
31	28	31	30	0	0	0	0	0	16	30	31

V redu Preklic

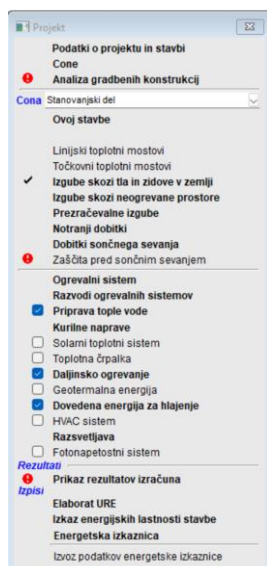
Slika 48: Zavihek o klimatskih podatkih stavbe v programu URSA 4.0

Trajanje kurilne sezone je odvisno od zunanje temperature zraka. Začetek kurilne sezone se šteje takrat, ko je v drugi polovici leta temperatura zunanjega zraka ob 21. uri 3 dni zaporedoma 12 °C ali manj. Za konec kurilne sezone se šteje takrat, ko je v prvi polovici leta temperatura zunanjega zraka ob 21. uri 3 dni zaporedoma 12 °C ali več. Za Ljubljano je začetek kurilne sezone določen za 270. zaporedni dan leta oziroma 27.9., konec kurilne sezone pa je definiran s 135. dnem leta oziroma 15.5.

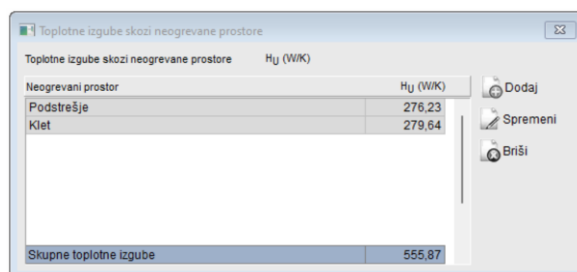
Temperaturni primanjkljaj je definiran kot vsota vseh razlik med notranjo temperaturo (20 °C) in povprečno dnevno zunanjo temperaturo zraka v kurilni sezoni. Vrednosti so izražene v k dan. Za Ljubljansko regijo temperaturni primanjkljaj znaša 3300 k dni. Projektna temperatura je definirana kot dolgoletno povprečje najnižje temperature in je temperatura, na kateri načrtujemo velikost ogrevalnega sistema.

7.3 Vnos lastnosti stavbe v program URSA 4.0

Najprej podamo cono, kjer so določene dimenzije same cone in temperaturni gabariti. V našem primeru upoštevamo tako kot pri programu PURES 3, da projektna temperatura ogrevanja znaša 20 stopinj, hlajenja pa 26 stopinj. Čas delovanja stavbe je 24 ur in 7 dni na teden. Kasneje dodamo še notranje dobitke in prezračevalne izgube. Linijske in točkovne toplotne mostove smo zanemarili. Konstrukcijski sklopi ovoja stavbe in pripadajoče površine so podane na enak način kot pri programu PURES 3.



Slika 49: Orodne vrstice za opis stavbe v programu URSA 4.0



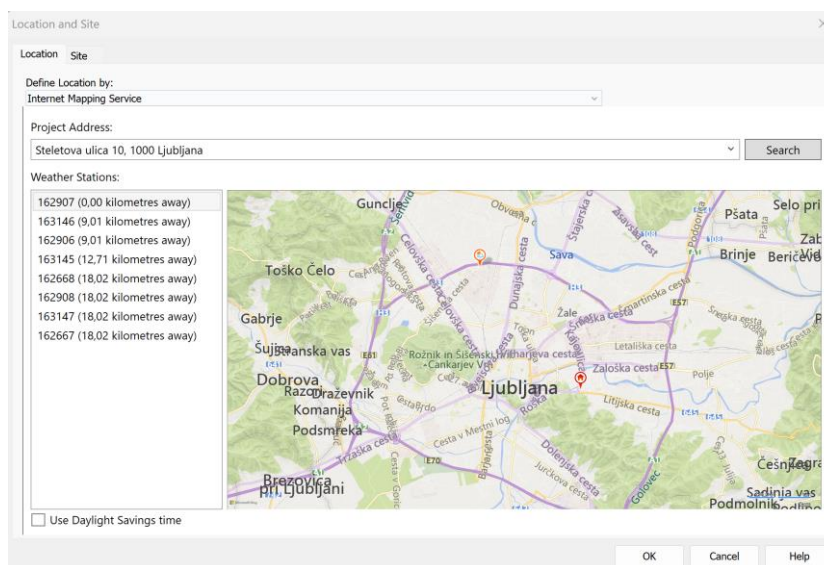
Slika 50: Zavihek o toplotnih izgubah skozi neogrevane prostore v programu URSA 4.0

Za izgube skozi neogrevane prostore imamo poseben zavihek, kjer podamo kontaktne površine, na katerih se vršijo izgube, toplotno prehodnost med cono in neogrevanim prostorom ter volumen slednjega. Pri podajanju podatkov o TSS smo se skušali čim bolj približati podatkom iz PURES 3. Program nam omogoča, da dobimo osnutek energetske izkaznice že kot končni produkt izračunov elaborata.

8 RAČUN ENERGIJSKE BILANCE STAVBE V BIM OKOLJU

8.1 Opis postopka izvajanja izračuna energijske bilance stavbe v programu Revit

Preden zaženemo simulacije, moramo v nastavitvah še določiti točno lokacijo stavbe in pravilno pozicijo glede na sever. Pri lokaciji objekta lahko specifikiramo ali globalne koordinate ali podamo naslov, na katerem se objekt nahaja. Ob tem moramo še definirati, katero meteorološko postajo naj Revit upošteva. V večini primerov vzamemo najbližjo, vendar v kolikor se ta meteorološka postaja iz klimatskega vidika močno razlikuje (npr. občutno višja nadmorska višina), potem izberemo drugo.



Slika 51: Zemljevid z meteorološkimi postajami v programu Revit

8.1.1.1 Energetski model stavbe

Ko je model končan, moramo ustvariti energetski model stavbe. S pomočjo slednjega potem lahko izvedemo simulacije energijske bilance. Pri Revitu imamo tri načine izvedbe energijskih simulacij [17]:

- Metoda konceptualnih mas; ta metoda je najbolj enostavna in je mišljena kot primerna pri začetnih fazah projektiranja oziroma na samem začetku zasnove objekta. Je pa uporabna tudi v primerih, ko smo časovno omejeni in rabimo hitro oceno energijske učinkovitosti.
- Metoda podrobnega arhitekturnega modela; ta metoda zahteva nekaj vmesnih korakov, da pridemo do čim bolj merodajnih rezultatov. Je nekoliko bolj zamudna, vendar bolj natančna.
- Mešana metoda (kombinacija arhitekturnega modela in volumnov); metoda je uporabna pri projektiranju stavbe. Od najzgodnejših faz načrtovanja do razvoja dizajna, kjer se sprejemajo odločitve o oblikovanju oken, zaves, senčil in prostorov. Skozi ta proces si nenehno prizadevamo za boljšo energetsko učinkovitost.

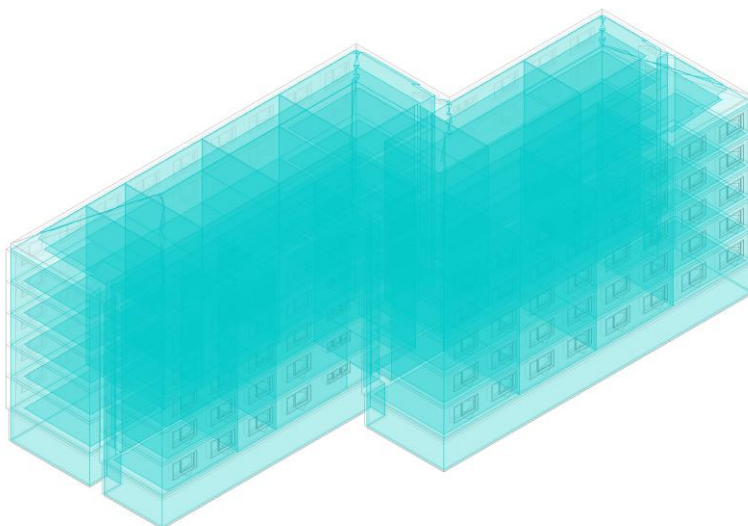
V našem primeru uporabimo metodo podrobnega arhitekturnega modela in metodo konceptualnih mas.

8.1.1.2 Uporaba metode podrobnega arhitekturnega modela

V kolikor želimo uporabiti to metodo, moramo imeti natančno definiran model stavbe. To pomeni, da morajo biti določeni konstrukcijski sklopi, kot na primer natančno definirana fasada, tla, ostrešje in stavbno pohištvo. Preden zaženemo simulacije, moramo definirati namembnost in uporabo stavbe. To določimo tako, da definiramo prostore in njihovo namembnost.

Pri prostorih definiramo:

- namembnost (bivalni prostor, hodnik, neogrevana shramba ...),
- ogrevanje, hlajenje, prezračevanje ali odsotnost le teh,
- čas uporabe prostorov (npr. 24-urna zasedenost, 12-urna zasedenost ...).
- površine in volumni prostorov.

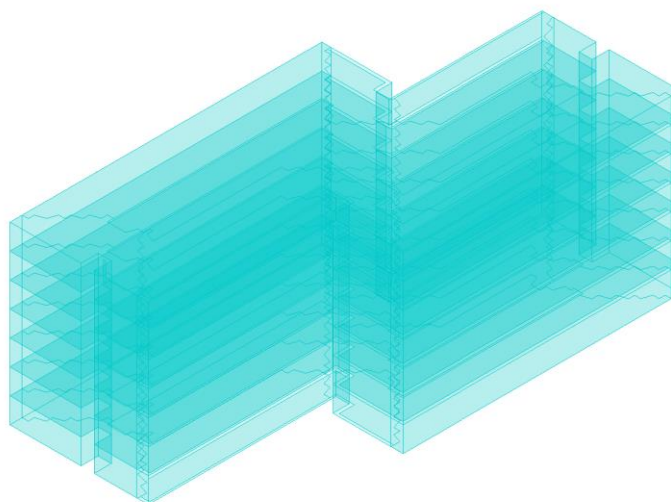


Slika 52: Energetski model podrobnega arhitekturnega modela stavbe

8.1.1.3 Uporaba metode konceptualnih mas

Prednost te metode je v tem, da je veliko hitrejša kot metoda podrobnega arhitekturnega modela. Moramo definirati:

- volumen stavbe preko modeliranja konceptualne mase stavbe,
- odstotek zastekljenosti fasad,
- namembnost stavbe (poslovna stavba, večstanovanjska stavba),
- ogrevanje, hlajenje, prezračevanje ali odsotnost le teh,
- čas uporabe prostorov.

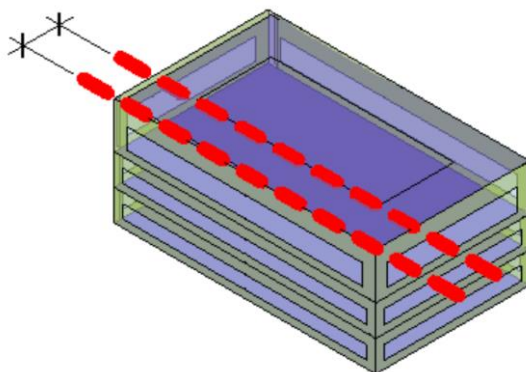


Slika 53: Energetski model, modeliran s pomočjo konceptualnih mas

8.1.1.4 Osnovne nastavitve modela

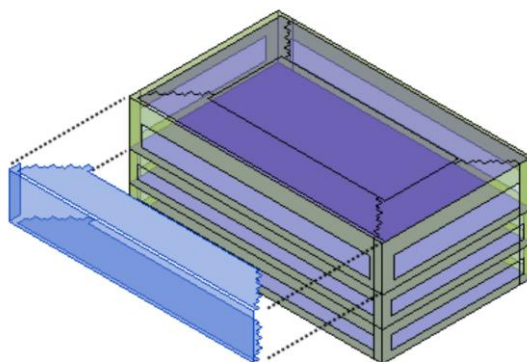
Ko imamo enkrat energetski model stavbe zastavljen, so potem nastavitve modela enake ne glede na metodo računa. Pri energetskem modelu imamo več nastavitvev. Osnovni so sledeči [17]:

- način računanja energijske bilance (mešana metoda, metoda volumnov ...),
- nivo terena, preko katerega potem program zna določiti toplotno prehodnost v terenu,
- faza projekta; vsi konstrukcijski elementi in ali konceptualne mase so predpisani v določeni gradbeni fazi. Konstrukcijski elementi in konceptualne mase, ki pripadajo kasnejši gradbeni fazi, so izpuščeni iz analiz energijske bilance,
- natančnost analitične prostorske in površinske ločljivosti; parameter analitične prostorske ločljivosti in parameter površinske ločljivosti zagotavljata pomembne informacije, ki jih uporablja algoritem, ki generira analitični energetski model,
- globina območja oboda; določimo razdaljo, ki jo želimo izmeriti navznoter od zunanjih sten, da se določi območje oboda. To določimo zato, ker ima jedro stavbe drugačne ogrevalne in hladilne obremenitve kakor obod. Slednji je neposredno izpostavljen zunanjim vremenskim vplivom ali dnevni svetlobi skozi okna. Običajna globina znaša 4–5 m.



Slika 54: Prikaz globine območja oboda pri energetske modelu [15]

- obseg območnih con; ta možnost razdeli obseg stavbe (jedro je izvzeto). Območne cone omogočajo natančnejše ocene porabe energije. Na primer, v poznih popoldnevih se lahko zahodna fasada sooči s pridobivanjem sončne toplote, vzhodna pa ne.



Slika 55: Prikaz območja oboda cone v energetske modelu [17]

- prag povprečne višine praznine/volumna prostora; uporabi se za izogibanje neželenim toplotnim obremenitvam in lastnostim v analitičnih prostorih, kot so spuščeni stropi, majhni prostori, kot so omare ali majhne shrambe. V primeru, ko je povprečna višina analitičnega prostora nižja od definirane praga, bo prostor samodejno dodeljen nekondicionirani coni,
- prag horizontalne praznine/območja zasledovanja; ima podobno funkcijo kot prag povprečne navpične višine praznin/volumnov. Vrednost se uporablja kot preprečevanje neželenih toplotnih obremenitev in lastnosti v analitičnih prostorih.

8.1.1.5 Napredne nastavitve modela

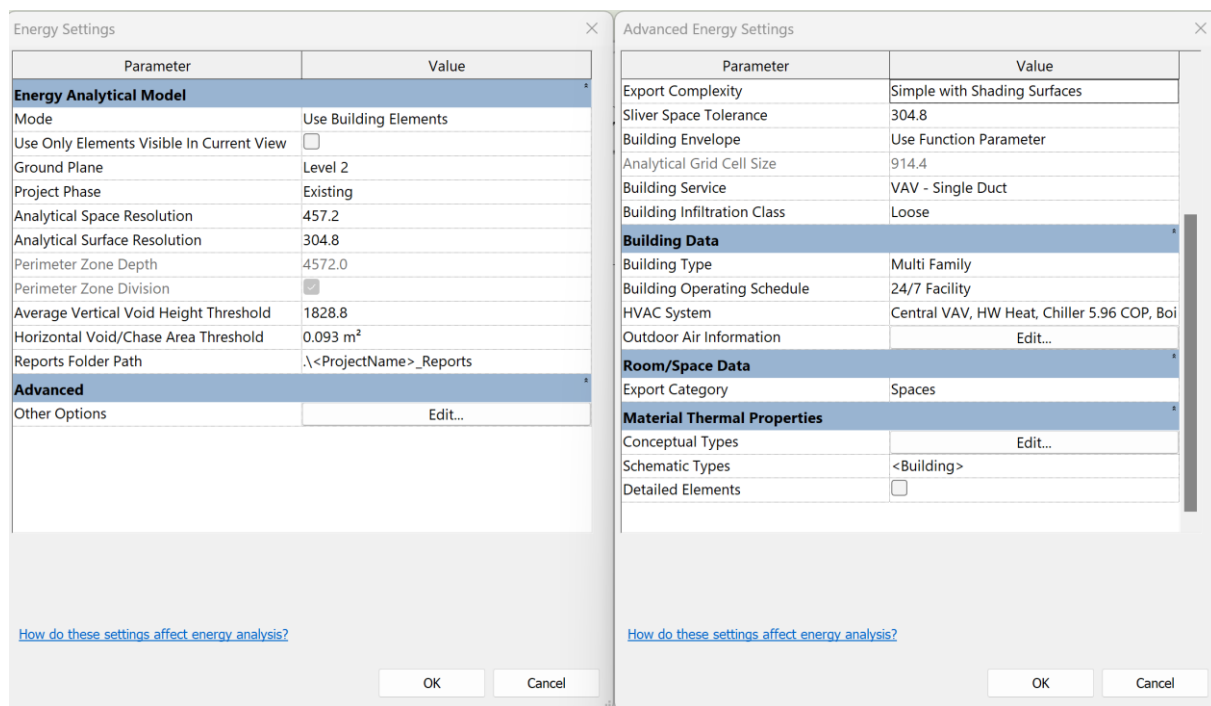
Energetski model lahko še dodatno definiramo s sledečimi možnostmi [18]:

- Kompleksnost izvoza; podaja raven podrobnosti za odprtine in ali se izvozijo informacije o površini senčenja. Senčne površine so površine, ki ne mejijo na noben prostor in vključujejo površine, ki ustvarjajo sončno oviro. Poenostavljena kompleksnost se uporablja za analizo obremenitev pri ogrevanju in hlajenju. Imamo na izbiro:
 - enostavno; zaves in sisteme zaves izvažamo kot enojno odprtino (brez posameznih panelov). Ta način je bolj primeren za energetske analize,

- enostavno s površinami za senčenje; enako kot enostavni izvoz, le da so podane še površine senčenja,
 - kompleksno; zaves in sistemi zaves se izvažajo kot več odprtih, panel za panelom,
 - kompleksno s površinami za senčenje; enako kot kompleksno, vendar z izvoženimi informacijami površin za senčenje (strešni previs, prostostoječa stena),
 - kompleksno z upoštevanimi okvirji stavbnega pohištva in površinami za senčenje. Enako kot kompleksni izvoz, le da so podane še površinah senčenja,
 - toleranca velikosti odprtih; specifikacija toleranc za površine, ki so upoštevane kot odprtine.
- Določitev metode za določevanje ovoja stavbe:
 - uporaba parametrične funkcije (privzeto); ta metoda uporablja parameter tipa funkcije sten in etaž za določitev elementov stavbe, ki se štejejo za del ovoja stavbe;
 - metoda prepoznavne zunanjih elementov; ta metoda uporablja kombinacijo algoritmov za prepoznavo konstrukcijskih elementov, ki so izpostavljeni zunanji strani stavbe.
 - Toplotne lastnosti materialov; Revit ponuja 3 možnosti določitve toplotne lastnosti materialov pri konstrukcijskih elementov:
 - konceptualni način (privzeto); privzete toplotne lastnosti, ki se uporabljajo za različne vrste površin v modelu Revit;
 - shematski način; pri naslednjih iteracijah energetskih analiz objekta lahko izberemo kategorije elementov, za katere želimo uporabiti shematske tipe. Za vse kategorije elementov, ki niso preglase s shematskim tipom, se še naprej uporablja privzete konceptualne tipe;
 - podrobni način; se doda toplotne lastnosti vseh materialov, vgrajenih v toplotni ovoj stavbe. S tem načinom se skuša priti do čim bolj realnih rezultatov energijske bilance stavbe.
 - Določitev sistema ogrevanja, hlajenja in ventilacije v stavbi.
 - Nivo tesnjenja stavbe; imamo na izbiro ohlapno, srednje in tesno tesnjene stene. V kolikor želimo izključiti iz izračuna obremenitev, potem lahko tudi izklopimo možnost filtracije zraka.
 - Informacije o zunanjem zraku.
 - Urnik obratovanja stavbe; določimo urnik obratovanja stavbe. Razpored lahko pomembno vpliva na rezultate energijske bilance stavbe.
 - Podatki sobe/prostora; ni potrebno dodajati sob/prostorov v model. V kolikor pa arhitekturni model vsebuje sobe znotraj analitičnih prostorov energetskega modela, jih lahko definiramo. Za vsako sobo lahko definiramo zasedenost, osvetlitev, čas obratovanja, ogrevanje in hlajenje ali odsotnost le teh ipd. Kasneje lahko v izvozu izračunov energijske bilance stavbe dobimo podatke za posamično sobo.

8.2 EnergyPlus aplikacija v programski opremi Revit

V programskem orodju Revit imamo vtičnik, s katerim lahko potem računamo energijsko bilanco stavbe. Ko uredimo vse nastavitve modela, zaženemo izračun.



Slika 56: Zavihka za definiranje osnovnih in naprednih nastavitev energetskega modela

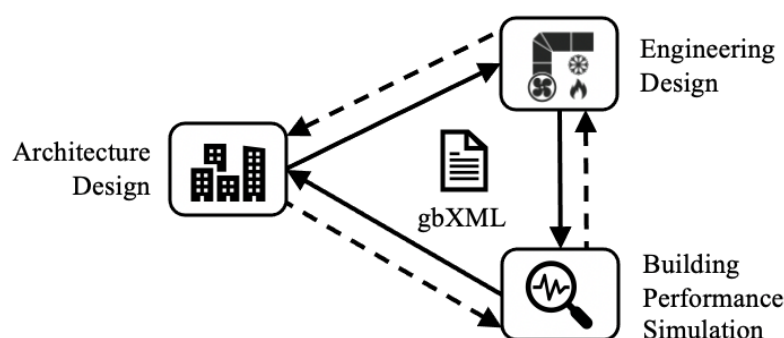
Energyplus je odprtokodna programska oprema, s katero lahko poganjamo izračune energijske bilance stavb. Namenjena je arhitektom in inženirjem, da jih usmerja pri projektiranju stavbe k čim bolj energetsko učinkovitim rešitvam. Sam program je osredotočen za simulacije z HVAC sistemi. HVAC sistem v angleščini pomeni Heating, Ventilation and Air Conditioning. V slovenščini to pomeni ogrevanje, prezračevanje in ohlajevanje. Tak sistem lahko imamo tako v enodružinski hiši, kot v večstanovanjskih stavbah ali v poslovnih stavbah. Cilji takega sistema so vzdrževanje željene temperature, dovajanje svežega zraka v stavbo, kroženje zraka in učinkovitost in ekonomičnost sistema. Z natančno podanim HVAC sistemom projektanti lahko določijo optimalne pogoje za udobno bivanje in izračunajo porabo energije ter njen strošek. To je mišljeno v smeri, da se takoj v začetnem procesu projektiranja zastavi zasnovo objekta tako, da lahko dosežemo kar se da največjo možno energijsko učinkovitost končnega objekta. V našem primeru gre za obstoječi, starejši objekt in zato tega ne moremo izkoristiti. Lahko pa zaženemo analizo energijske bilance, da preverimo, kakšne rezultate nam da Revit in potem primerjamo z ostalimi programi.

8.3 Program za izračun energijske bilance stavbe DesignBuilder

DesignBuilder je angleški program, namenjen za integrirano analizo delovanja stavbe, vključno s porabo energije, udobja, HVAC, dnevno osvetlitvijo, stroški, LEED/BREEAM analize, itn. Program, prav tako kot Revit, uporablja EnergyPlus odprtokodno programsko opremo za izračun energijske bilance stavbe. V programu imamo možnost uvoziti datoteke formata gbXML. Slednjo lahko ustvarimo v programu Revit.

8.3.1 Kaj je format gbXML

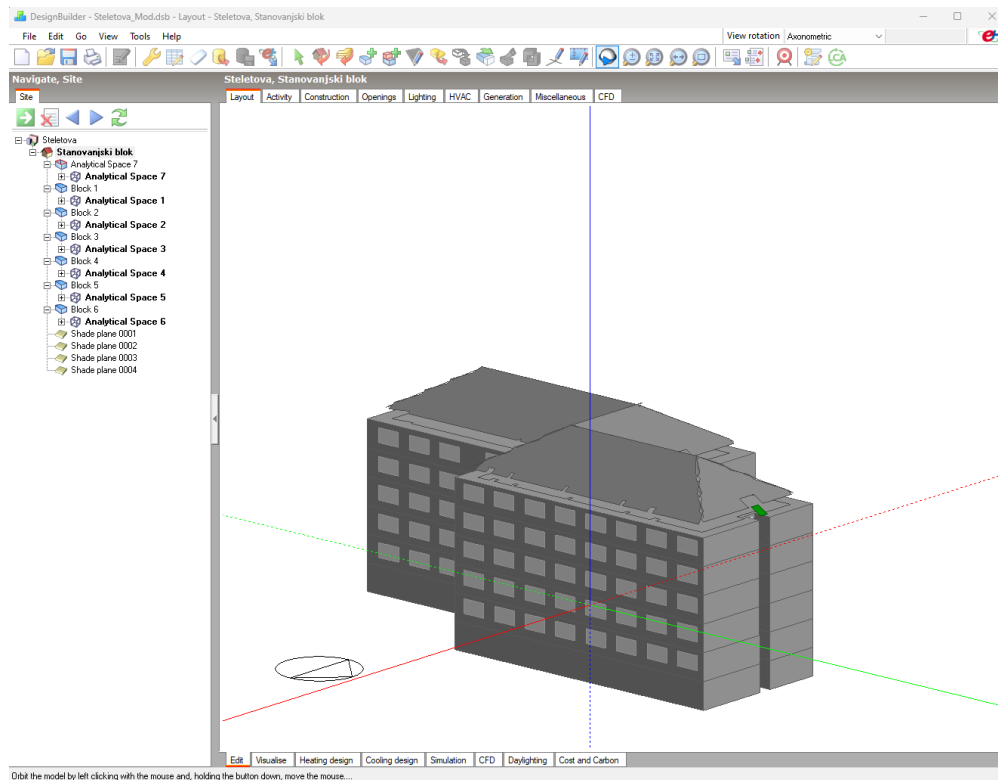
Termin gbXML je kratica izraza Green Building eXtensible Markup Language [19]. To je računalnikom prijazna vrsta jezika, ki omogoča komunikacijo med različnimi programskimi orodji brez človeške interakcije. Format je bil razvit, da se olajša prenos informacij o stavbah, shranjenih v informacijskih modelih stavb, med različnimi programskimi orodji za načrtovanje stavb in inženirske analize. Format gbXML je vrsta datoteke, ki ima več kot 500 vrst elementov in atributov, ki omogočijo, da se opiše vse vidike stavbe. Tip datoteke je bil razvit leta 1999 s strani ameriškega podjetja Green Building Studio in je bil v zadnjih dveh desetletjih večkrat prenovljen in izboljššan. Danes je to splošno sprejet format v industriji in s strani vodilnih ponudnikov informacijskega modeliranja stavb (BIM) vključno z Autodesk, Trimble, Graphisoft in Bentley.



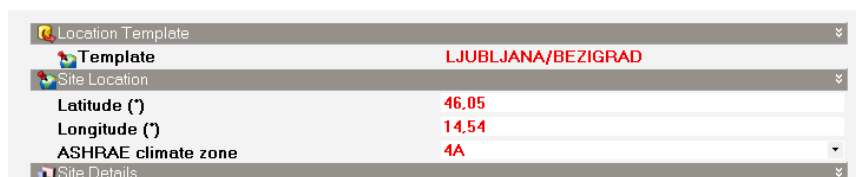
Slika 57: Shema komunikacije med različnimi programskimi orodji podatkovnih modelov gbXML [20]

8.3.2 Izvajanje izračuna energijske bilance stavbe v programu DesignBuilder

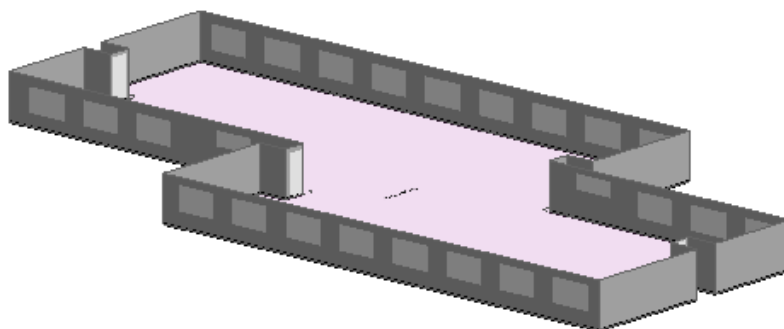
Model stavbe v Revitu izvozimo v gbXML formatu. Datoteko nato uvozimo v DesignBuilder. Nastavimo lokacijo stavbe s pomočjo koordinat in definiramo klimatsko cono, določeno za ljubljansko regijo po računski metodologiji ASHRAE. Model je v programu strukturiran v tako imenovanih blokih, ki so ločeni po etažah. V blokih lahko spreminjamo lastnosti gradnikov stavbe, kot na primer lastnosti zasteklitve stavbnega pohištva ali spreminjamo lastnosti oziroma strukturo fasadnih pasov. Nato opišemo HVAC sistem namembnosti prostorov in z njim povezano zasedenost, jakost umetne osvetlitve v prostorih, itn. Nato zaženemo simulacijo energijske bilance stavbe.



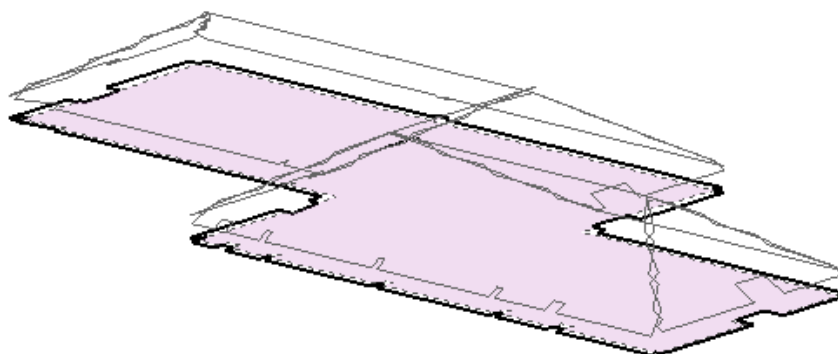
Slika 58: Informacijski model obravnavane stavbe v programu DesignBuilder



Slika 59: Vhodni podatki lokacije stavbe v programu DesignBuilder



Slika 60: Tipična etaža stavbe, definirana kot en blok modela v programu DesignBuilder



Slika 61: Podstrešje in ostrešje, definirano kot blok modela v programu DesignBuilder

9 PRIMERJAVA REZULTATOV

9.1 Primerjava in analiza rezultatov v programih URSA 4.0, PURES 3, Revit EnergyPlus in DesignBuilder

Tabela 16: Izpisi rezultatov energijske balance v programu DesignBuilder

	Electricity [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]
Heating	0.00	0.00	229423.59
Cooling	0.00	5110.73	0.00
Interior Lighting	37708.21	0.00	0.00
Exterior Lighting	435.75	0.00	0.00
Interior Equipment	104881.20	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	63276.16

Tabela 17: Izpis kazalnika potrebne energije za delovanje stavbe v programu DesignBuilder

	Total Energy [kWh]
Total Site Energy	440835.65

End Use	Consumption (kWh)
Heating	191,736
Cooling	106,911
Interior Lighting	86,878
Exterior Lighting	0
Interior Equipment	97,025

Slika 62: Izpisi rezultatov energijske balance v programu EnergyPlus po metodi podrobnega arhitekturnega modela

End Use	Consumption (kWh)
Heating	193,644
Cooling	126,506
Interior Lighting	102,694
Exterior Lighting	0
Interior Equipment	146,708

Slika 63: Izpisi rezultatov energijske balance v programu EnergyPlus po metodi konceptualnih mas

Obravnavana programa dajeta niz podatkov. V našem primeru Revit EnergyPlus podaja precej poenostavljeno energijsko bilanco stavbe, zato se bomo osredotočili zgolj na nekatere kazalnike in jih potem primerjali z ostalimi programskimi orodji.

Primerjali bomo sledeče kazalnike:

- $E_{del,an}$... Dovedena energija za delovanje TSS (kWh/an)
- $Q_{H,nd,an}$... Potrebna toplota za ogrevanje stavbe (kWh/an)
- $M_{CO_2,an}$ Izpusti CO₂ (kg)

Tabela 18: Primerjava energijskih kazalnikov stavbe pri programih PURES 3, URSA 4.0, Revit EnergyPlus in DesignBuilder

		URSA 4.0	PURES 3	DesignBuilder	Revit EnergyPlus (1)	Revit EnergyPlus (2)
Dovedena energija za delovanje TSS (kWh/an)	$E_{del,an}$	458.888	537.820 (479.304)	440.836	482.550	569.552
Potrebna toplota za ogrevanje stavbe (kWh/an)	$Q_{H,nd,an}$	222.058	270.907	229.424	191.736	193.644
Izpusti ogljikovega dioksida (kg/an)	$M_{CO_2,an}$	161.248	190.740	178.126	198.069	234.564

V zgornji tabeli imamo prikazane rezultate vseh obravnavanih programskih orodij. Revit EnergyPlus (1) predstavlja izračune, pridobljene po metodi podrobnega arhitekturnega modela, medtem ko Revit EnergyPlus (2) predstavlja izračune, pridobljene po metodi konceptualnih mas. Dovedena energija za delovanje tehničnih stavbnih sistemov (TSS) predstavlja skupno količino dovedene energije za delovanje naprav, ki so namenjene delovanju stavbe. Poznamo tehnične stavbne sisteme za ogrevanje, hlajenje, ogrevanje tople sanitarne vode, prezračevanje, umetno osvetlitev, razvlaževanje zraka, itn. V primeru PURES 3 poznamo termin utežena in neutežena dovedena energija za delovanje TSS. Razlika je v tem, da se pri določitvi vrednosti utežene oziroma neutežene dovedene energije za delovanje TSS razlikujejo energijski faktorji pretvorbe energentov.

Kot vidimo, se rezultati med seboj razlikujejo. Razlogov za to je več. Do razlik med rezultati iz programov PURES 3 in URSA 4.0 prihaja, ker so se spremenile tehnične smernice. Pri primerjavi med staro tehnično smernico TSG-1-004:2010 in novo tehnično smernico TSG-1-004:2022 ugotovimo sledeče spremembe [21]:

- TSG-1-004:2022 temelji na evropskih standardih EN ISO 52000,
- uvaja koncept skoraj nič energijske stavbe (sNES),
- uvaja nove kazalnike za ocenjevanje energijske učinkovitosti,
- uvaja minimalne zahteve za energijsko učinkovitost stavb,
- uvaja nove metodologije za izračun potrebne energije za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje in razsvetljavo ter potrebne električne energije za delovanje tehničnih sistemov,
- uvaja novo metodologijo za izračun primarne energije in emisij CO₂ za celotno stavbo,
- upošteva termično maso objektov pri izračunu rabe energije za ogrevanje in hlajenje stavb.

Programa Revit EnergyPlus in DesignBuilder računata energijsko bilanco stavbe po metodologiji ASHRAE 90.1. V osnovi tehnična smernica TSG-1-004:2022 v marsičem povzame ASHRAE standard, kot na primer upoštevanje termične mase objektov pri izračunu rabe energije za ogrevanje in hlajenje stavbe. V našem primeru se je za stanovanjski blok upoštevalo, da gre za energetsko manj zahtevno stavbo. To pomeni, da se skladno s pravilnikom, ki ureja učinkovito rabo energije v stavbah, energijski kazalniki določijo s stacionarnim modeliranjem. Zato je bila za izračun kazalnikov rabe energije uporabljena mesečna metoda. Treba je vedeti, da programa, kot sta DesignBuilder in Revit EnergyPlus sicer upoštevata točno lego stavbe, vendar ni nujno, da so podatki o faktorjih pretvorbe, korekcijski faktorji in kompenzacijski faktorji prilagojeni za državo, kjer se stavba nahaja. Pri programu DesignBuilder, v kolikor ni bilo razpoložljivih podatkov za Slovenijo, je privzel splošne vrednosti.

9.2 Podrobna primerjava rezultatov v programu PURES 3 in DesignBuilder

Ker je pri programu Revit EnergyPlus prikaz rezultatov precej omejen in zato ne pretirano uporaben, smo se osredotočili na rezultate, ki jih dobimo v programu PURES 3 in DesignBuilder. Kot vidimo, kljub temu, da so bili kazalniki izračunani na podlagi različnih metodologij (PURES 3 na podlagi tehnične smernice TSG-1-004:2022, DesignBuilder na podlagi ASHRAE 90.1), z različno pridobljenimi podatki stavbe (PURES 3 s klasičnim merjenjem z merilnim trakom, DesignBuilder preko LIDAR posnetkov) in z različnimi računalniškimi orodji (PURES 3 je program, razvit v Excel okolju, DesignBuilder je samostojno razvit program s svojim računskim gonilnikom), dobimo podobne rezultate. Po oceni prof. dr. Medveda, ki je razvil program PURES 3, odstopanja v rezultatih med dvema različnima metodama, naj ne bi bila večja od 20 %.

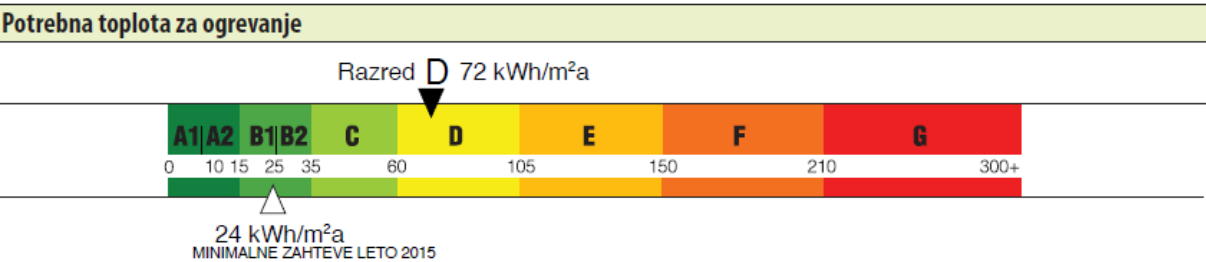
Tabela 19: Podrobna primerjava energijskih kazalnikov pri programih PURES 3 in DesignBuilder

		PURES 3	DesignBuilder	Odstopanje
Dovedena energija za delovanje TSS (kWh/a)	$E_{del,an}$	537.820 (479.304)	440.836	18 % (8 %)
Potrebna toplota za ogrevanje stavbe (kWh/an)	$Q_{H,nd,an}$	270.907	229.424	15 %
Potrebna toplota za hlajenje stavbe (kWh/an)	$Q_{C,nd,an}$	4.867	5.111	5 %
Potrebna toplota za pripravo TSV (kWh/an)	$Q_{W,nd,an}$	70.466	63.276	10 %
Dovedena energija za razsvetljavo	$E_{L,del,an}$	38.313	38.144	1 %
Primarna energija (kWh/an)	$E_{P,tot,an}$	617.072	715.725	14 %
Izpusti ogljikovega dioksida (kg/an)	$M_{CO2,an}$	190.740	178.248	7 %

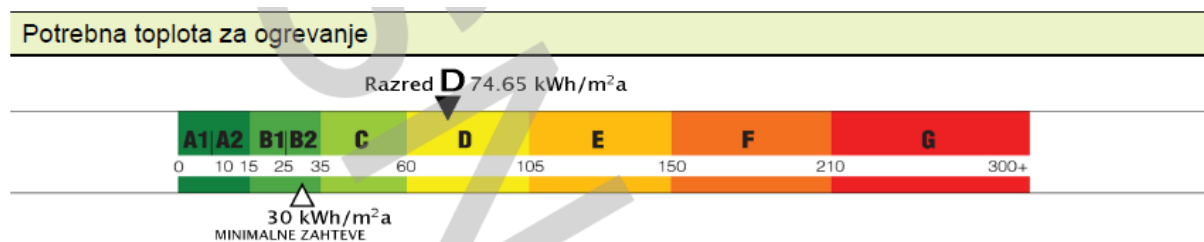
9.3 Primerjava glavnih kazalnikov energetske izkaznice

Energetska izkaznica je dokument, namenjen najemojemalcu ali kupcu nepremičnine. V njem so navedeni energijski kazalniki energijske učinkovitosti stavbe. Za obravnavano stavbo že obstaja izdelana in veljavna energetska izkaznica, izdelana leta 2015. Mi bomo glavne energijske kazalnike primerjali s tistimi, izdelani s PURES 3 in DesignBuilder. Energetsko izkaznico naredimo tako, da pri programu PURES 3 izvozimo podatke rezultatov v datoteki formata XML. Slednjo potem uvozimo v spletno aplikacijo, namenjeno izdelavi in izdaji energetskih izkaznic. V primeru izdelave energetske izkaznice na osnovi rezultatov iz programa DesignBuilder spremenimo rezultate v datoteki iz programa PURES 3 in jo nato uvozimo v spletno aplikacijo.

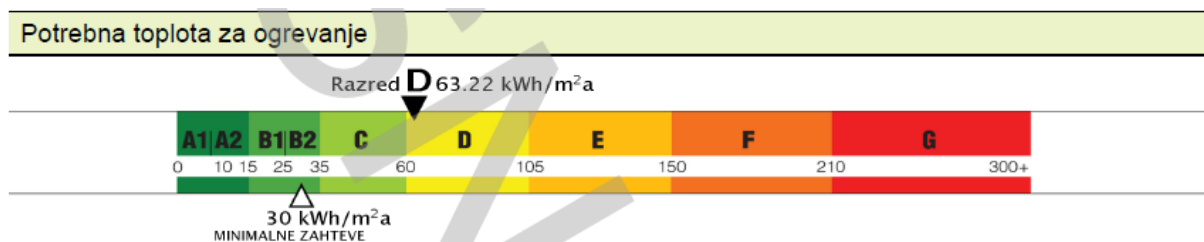
Kazalnik potrebne toplote za ogrevanje nam poda količino toplote, potrebne za ogrevanje stavbe na kvadratni meter ogrevane oziroma kondicionirane površine. Z njim dobimo informacijo o stanju toplotnega ovoja stavbe in pavšalno oceno, koliko je stavba energijsko učinkovita. Je najpomembnejši kazalnik v energetski izkaznici.



Slika 64: Kazalnik potrebne toplote za ogrevanje na obstoječi energetski izkaznici

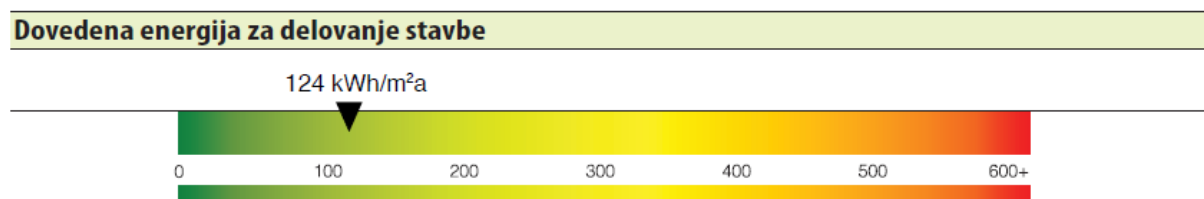


Slika 65: Kazalnik potrebne toplote za ogrevanje na energetske izkaznici po rezultatih v programu PURES 3

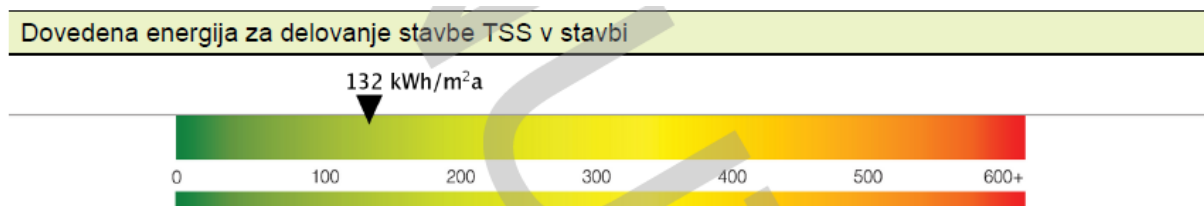


Slika 66: Kazalnik potrebne toplote za ogrevanje na energetske izkaznici po rezultatih v programu DesignBuilder

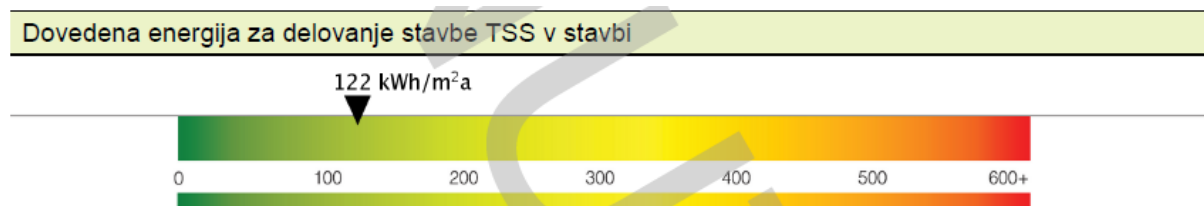
Kazalnik dovedene energije za delovanje tehničnih stavbnih sistemov (TSS) predstavlja količino dovedene energije na kvadratni meter kondicionirane površine. To je energija, ki je potrebna za to, da se omogoči optimalne bivalne pogoje v stavbi.



Slika 67: Kazalnik dovedene energije za delovanje TSS v stavbi na obstoječi energetske izkaznici

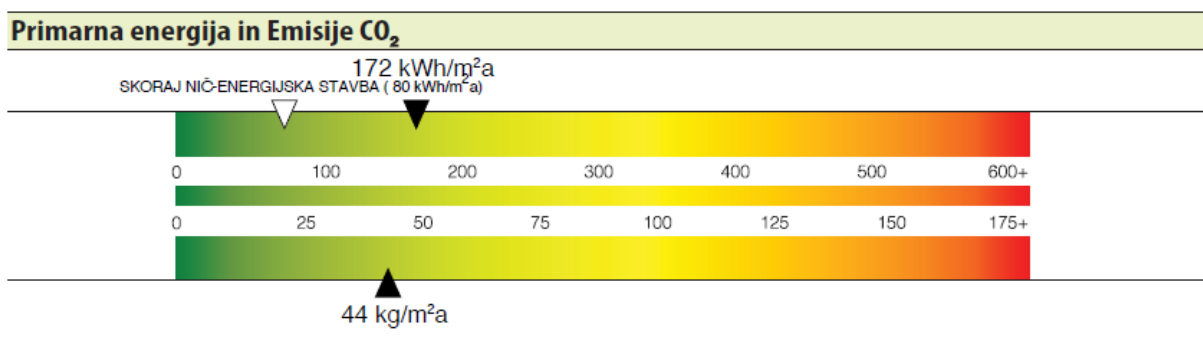


Slika 68: Kazalnik dovedene energije za delovanje TSS v stavbi na energetske izkaznici po rezultatih v programu PURES 3

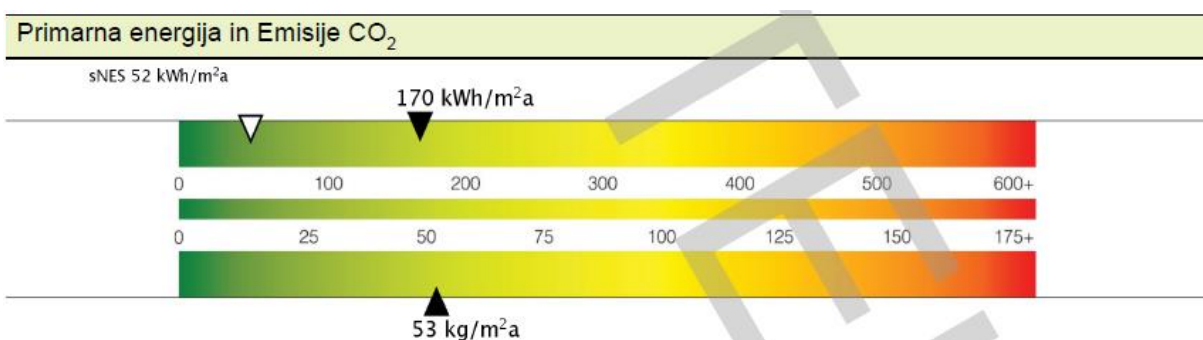


Slika 69: Kazalnik dovedene energije za delovanje TSS v stavbi na energetske izkaznici po rezultatih v programu DesignBuilder

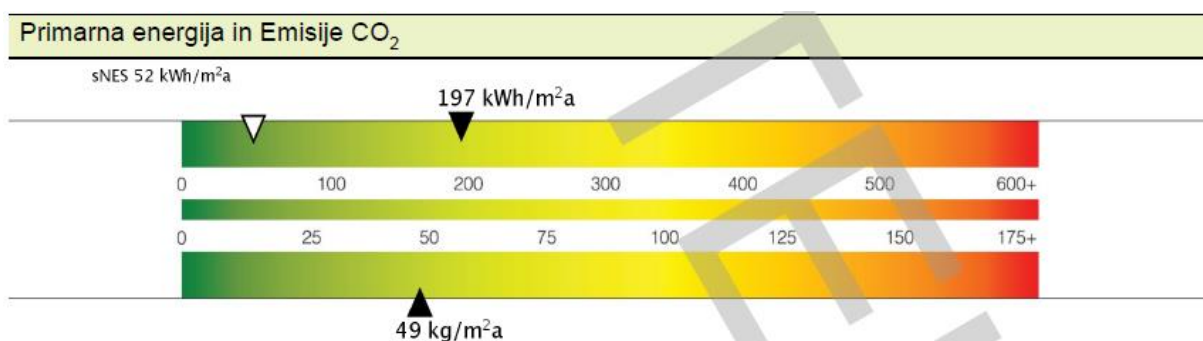
Primarna energija je energija, ki jo najdemo v naravi in ni bila podvržena nobenemu procesu pretvorbe, ki ga je ustvaril človek. Lahko je neobnovljiva ali obnovljiva energija. Kazalnik primarne energije nam pove, koliko neprocesirane energije porabi stavba na kvadratni meter. Kot vidimo pri spodnjih rezultatih po PURES 2010, skoraj nič-energijska stavba ima mejo 80 kWh/m^2 , medtem ko je po PURES 2022 ta vrednost znižana na 52 kWh/m^2 . Stavba v trenutnem stanju preseže vrednost za skoraj 4-kratnik dovoljene meje. Kazalnik emisij CO_2 nam pove, koliko kg emisij CO_2 na kvadratni meter na leto odda stavba s svojim obratovanjem.



Slika 70: Kazalnika primarne energije in emisij CO_2 na obstoječi energetski izkaznici



Slika 71: Kazalnika primarne energije in emisij CO_2 na energetski izkaznici po rezultatih v programu PURES 3



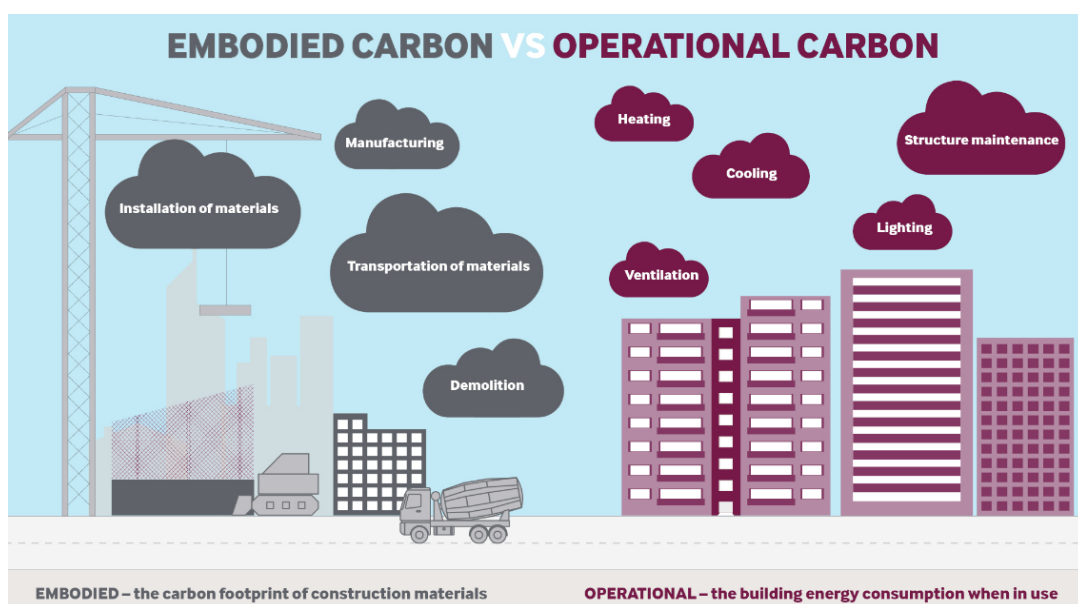
Slika 72: Kazalnika primarne energije in emisij CO_2 na energetski izkaznici po rezultatih v programu Designbuilder

Kot je razvidno iz zgornjih slik, lahko opazimo, da so si vrednosti energijskih kazalnikov med seboj podobne. Ne glede na način in uporabljeno programsko opremo za izvedbo energetske izkaznice je v vseh treh primerih stavba klasificirana v energijskem razredu D. Prav tako ostali kazalniki kažejo podobne vrednosti. S primerno programsko opremo je možno tudi preko BIM modela priti do merodajnih vrednosti za energetsko izkaznico.

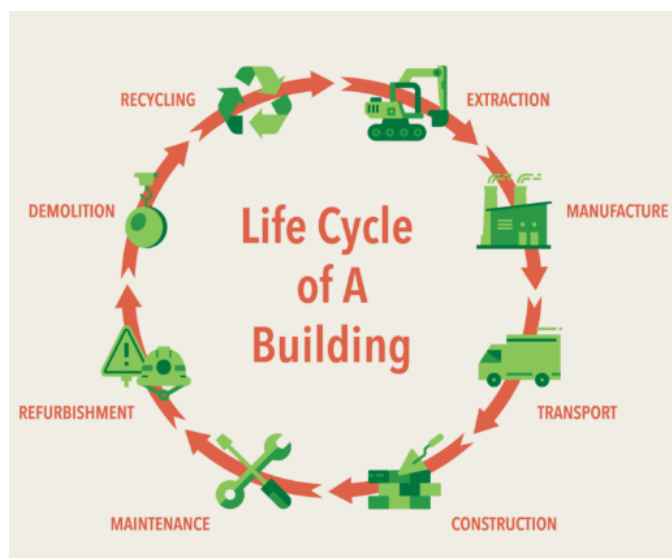
9.4 Ogljični odtis gradbenih materialov v stavbi

9.4.1 Kaj je ogljični odtis gradbenih materialov in življenjski cikel ogljičnega odtisa stavbe

Ogljični odtis gradbenih materialov (*angl. embodied carbon*) je količina ogljikovega dioksida, izraženega v kg, ki se ga izpusti med gradnjo stavbe [22]. Pridobivanje surovin, proizvodnja materialov, prevoz, namestitvev in odlaganje starih zalog povzročijo emisije ogljikovega dioksida. V osnovi je to ogljikov dioksid, vgrajen v strukturo zgradbe. Pojma ne smemo zamešati z izpusti, ki jih stavba proizvode med njeno rabo (*angl. operational carbon*).



Slika 73: Grafični prikaz razlike med vgrajenim ogljičnim odtisom gradbenih materialov in ogljičnim odtisom med obratovanjem stavbe [23]



Slika 74: Življenjski cikel ogljičnega odtisa stavbe [22]

Kot je razvidno iz zgornje slike, ogljični odtis gradbenih materialov predstavlja levji delež življenjskega cikla novo zgrajene stavbe. V prihodnosti, ko bo vedno več obnovljenih stavb in se bo gradilo izključno skoraj-niž energijske stavbe (sNES), bo ogljični odtis vgrajenih materialov igral vedno večjo vlogo pri zmanjševanju emisij toplogrednih plinov. Ocenjuje se, da bo leta 2035 vgrajeni ogljični odtis predstavljal že 50 % emisij grajenega okolja, obratovalne emisije stavb pa bodo vedno nižje. Svetovna urbana populacija naj bi se do leta 2060 povečala za 2,75 milijarde ljudi in za to bodo potrebne nove nastanitve [23]. To pomeni dodatnih 100 gigaton vgrajenega ogljičnega odtisa materialov v novih zgradbah. To pomeni, da v kolikor ne bomo ukrepali, evropski cilj 2050 neto-niž cilj, ne bo dosežen. Dosežemo ga lahko tako, da [23]:

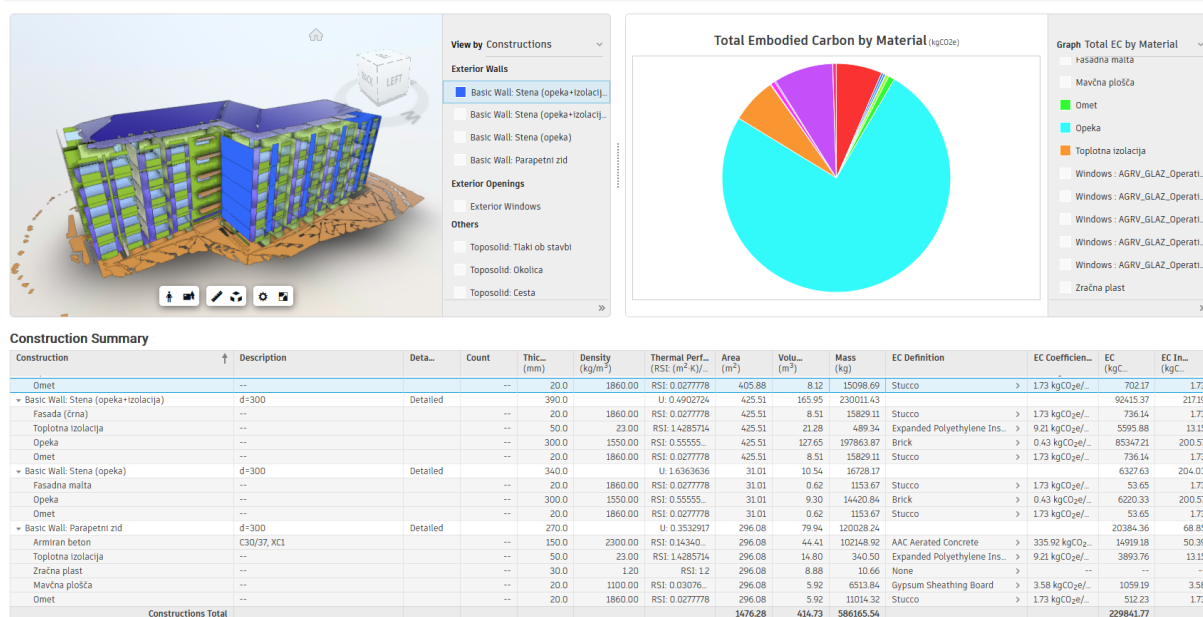
- se osredotočimo na prenove stavb. Ker je zgradba že zgrajena, pomeni toliko manjša količina vgrajenih emisij zaradi proizvodnje in vgradnje materialov v nosilno konstrukcijo,
- vgradnja nizko ogljičnega betona. S sodelovanjem gradbenih inženirjev bi se vgradilo beton z uporabo pepela, žgane gline ali morda betona z nižjo trdnostjo, kjer bi bilo to mogoče,
- uporaba materialov z nižjo ogljično intenziteto, kot na primer uporaba lesa namesto jekla za nosilno konstrukcijo,
- ponovna uporaba gradbenih materialov starih porušениh stavb,
- manjša uporaba materialov za zaključna dela. Uporaba vidnega betona ali opeke.

9.4.2 Določitev ogljičnega odtisa gradbenih materialov v stavbi v programu Revit

V programu Revit se je z verzijo 2023.1 omogočilo inštalacijo vtičnika Tech Preview: Carbon Insights. Slednji računa količino vgrajenega ogljikovega dioksida v materialih stavbe. Zaenkrat je to omogočeno le za zunanje stene in okna. Programsko orodje zaenkrat tudi ne omogoča izvoza rezultatov. Sama aplikacija je s strani Revita očitno še v fazi razvoja.

Proces dela deluje tako, da BIM model izvozimo kot energetski model v aplikacijo v oblaku, kjer potem programsko orodje razčleni elemente stavbe in sešteva mase materialov. V nekaterih primerih količino izpustov določi sam na podlagi predefiniranih EC koeficientov (*angl. embodied carbon coefficient*), v nasprotnem primeru se jih poda naknadno ročno na podlagi seznama iz programskega orodja.

Pri EC koeficientih je treba vedeti, da se za isti material lahko vrednosti močno razlikujejo glede na to, kje in kdaj je bil proizveden. Težava je namreč, da je zelo težko določiti, koliko vgrajenega ogljikovega dioksida je imel na primer beton pred 50 leti. Poleg tega se na primer na Švedskem beton proizvede izključno z obnovljivo energijo, medtem ko se pri nas preko fosilnih goriv, kot na primer ELKO. Zato so prikazani izračuni ogljičnega odtisa obravnavane stavbe zgolj informativne narave in služijo kot demonstrator tehnologije, ki jo je zmožen prikazati program. Ker je obravnavana stavba stara, ocenjujemo, da je življenjska doba stavbe končana in s tem se je tudi ogljično amortizirala.

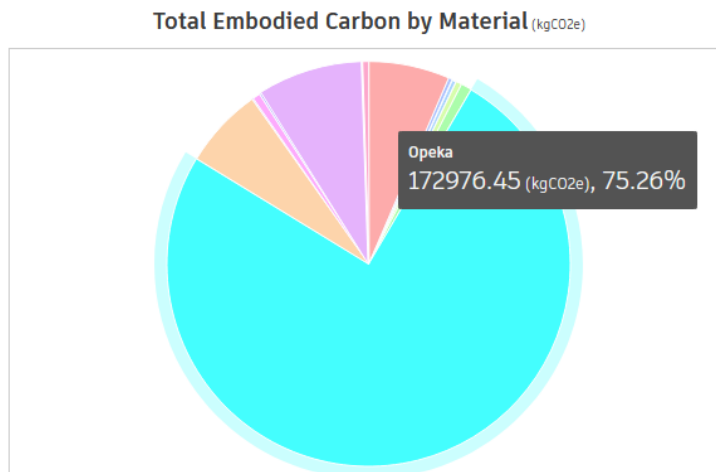


Slika 75: Informacijski model stavbe v programskem vtičniku Tech Preview: Carbon Insights

Tabela 20: Količine ogljičnega odtisa materialov v zunanjem ovoju stavbe

Gradniki zunanjega ovoja stavbe	Površina (m²)	Volumen (m³)	Masa (kg)	EC (kgCO ₂)	EC intenziteta (kgCO ₂ /m²)
Izolirana stena (temna)	425,51	165,95	230.011,43	88150,91	217,19
Izolirana stena (svetla)	405,88	158,29	219.397,69	92415,37	217,19
Stena	31,01	10,54	16.728,84	6.327,63	204,03
Parapetni zid	296,08	79,94	120028,24	20.384,36	68,85
Stavbno pohištvo	317,8	/	/	22.563,50	71,00
			Σ=	229.841,77	

V zgornji tabeli so povzeti elementi zunanjega ovoja stavbe. Kot je razvidno, nam program poda površino, volumen, maso, izpuste in intenziteto izpustov posameznega gradnika zunanjega ovoja. EC intenziteta je vrednost izpustov CO₂ na m². Višji, kot je ta kazalnik, bolj je sam element stavbe obremenjujoč iz vidika izpustov. Kot vidimo, skupni seštevek znaša skoraj 230 ton izpustov. Za primerjavo pri PURES 3 znašajo letni izpusti obratovanja stavbe približno 190 ton. Kot vidimo, četudi gre samo za del stavbe, je pri starejših stavbah količina vgrajenega CO₂ zanemarljiva v primerjavi z letnimi izpusti obratovanja. Pri energetsko prenovljenih stavbah ali pa pri novih skoraj-nič energijskih stavbah pa bo ta kazalnik veliko pomembnejši, saj so izpusti obratovanja takih stavb izredno nizki.



Slika 76: Tortni prikaz deleža izpustov CO₂ glede na material

Zgornji tortni graf nam pokaže delež izpustov glede na material. Kot je razvidno iz grafa, daleč najbolj ogljično intenziven material v zunanjem ovoju stavbe, je opeka. To potrjuje mnenje strokovnjakov, da so nosilni elementi stavbe iz vidika emisij CO₂, najbolj intenzivni. Zato je dobrodošlo, da se pri morebitni graditvi nove stavbe uporabi oziroma reciklira čim več materiala iz starih, porušenih stavb. Seveda, če je to z vidika mehanske odpornosti stavbe sprejemljivo.

Ponovimo, da rezultati temeljijo na generičnih EC koeficientih, privzetih iz ameriškega gradbenega sektorja in zato jih je treba jemati zgolj kot informativne narave.

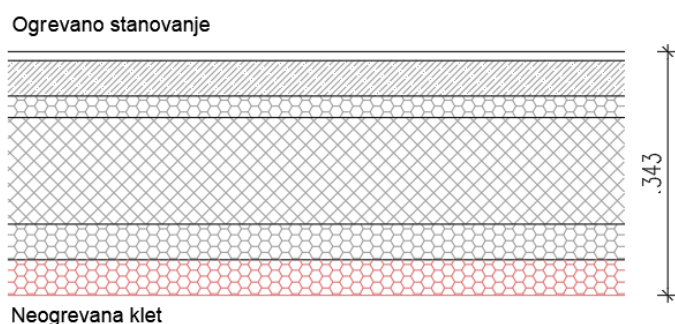
10 PREDLOGI ENERGETSKE PRENOVE STAVBE

10.1 Predlogi energetske prenov, obravnavani s programom PURES 3

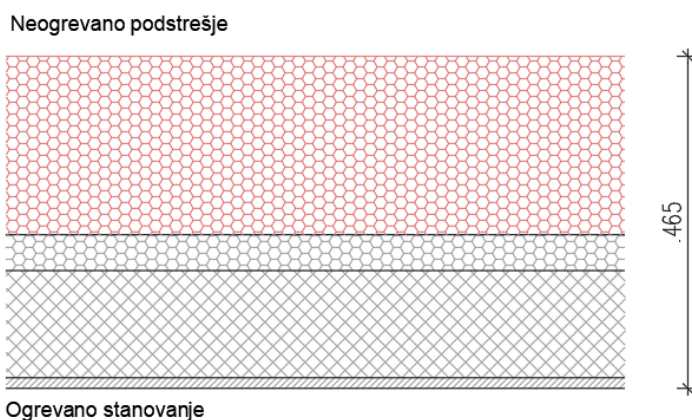
Da je energetske obnovljena stavba skladna s PURES 2022 in pripadajočo tehnično smernico, moramo izvesti serijo ukrepov. Vendar je izvedba vseh ukrepov hkrati za stanovalce pogosto predraga in zato se pogosto izvede parcialne oziroma postopne ukrepe. Mi bomo analizirali več posamičnih ukrepov in ovrednotili njihov učinek. Na koncu bo še izvedena analiza z vsemi ukrepi hkrati.

10.1.1 Odebelitev toplotne izolacije v kleti in podstrešju

Najlažji in najcenejši ukrep je odebelitev toplotne izolacije za neogrevane prostore v stavbi. Tako plošča nad kletjo kot plošča, ki meji na neogrevano podstrešje, sta toplotno izolirani s 5 cm toplotne izolacije. Po trenutno veljavnih standardih je debelina izolacije nezadostna. Pri plošči nad kletjo dodamo 5 cm toplotne izolacije, pri plošči, ki meji na neogrevano podstrešje, dodamo še 25 cm toplotne izolacije. Kot opazimo, je razlika v debelini izolacije v obeh primerih občutna. To pa zato, ker gre topel zrak v višino in zato imamo večje toplotne izgube na meji med ogrevanim stanovanjem in neogrevanim podstrešjem. V kolikor želimo energetske prenoviti objekt z omejenimi financami, je to običajno prvi ukrep, ki ga izvedemo. Z majhnimi sredstvi občutno izboljšamo vrednost transmisijskih izgub stavbe.



Slika 77: Prikaz odebelitve toplotne izolacije na plošči nad neogrevano kletjo



Slika 78: Prikaz odebelitve toplotne izolacije na plošči pod neogrevanim podstrešjem

Tabela 21: Toplotna prehodnost konstrukcijskih sklopov: ogrevano stanovanje – podstrešje in ogrevano stanovanje – klet

Toplotna prehodnost U	Konstrukcijski sklop ogrevano stanovanje – podstrešje	Konstrukcijski sklop ogrevano stanovanje – klet
Obstoječe stanje	$U = 0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$
Stanje po obnovi	$U = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$
PURES 2022	$U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabela 20: Primerjava energetskih kazalnikov pri ukrepu odebelitve toplotne izolacije v kleti in podstrešju

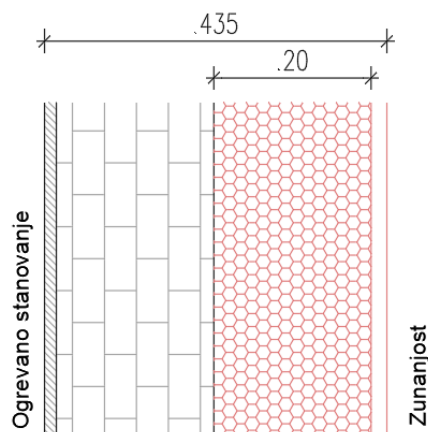
			Obstoječe stanje	Stanje po ukrepu
Specifični koeficient transmisijских toplotnih izgub	H'_{tr}	$\text{W/m}^2\text{K}$	1,019	0,894
Skupna primarna energija	$E_{Ptot,an}$	kWh/an	617.072	563.379
Dovedena energija za delovanje TSS	$E_{del,an}$	kWh/an	537.820	492.309
Potrebna toplota za ogrevanje stavbe	$Q_{H,nd,an}$	kWh	270.907	230.797
Specifična potrebna toplota za ogrevanje	$Q'_{H,nd,an}$	$\text{kWh/m}^2\text{a'}$	74,6	63,6
Izpusti ogljikovega dioksida	$M_{CO2,an}$	kg/an	190.740	172.730

10.1.2 Odebelitev izolacije zunanjih sten

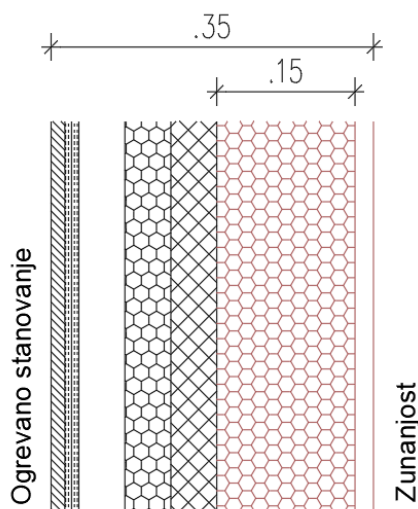
Drugi ukrep v zaporedju je odebelitev toplotne izolacije sten objekta. Stene so toplotno izolirane s 5 cm toplotne izolacije. Praviloma se dodajanje toplotne izolacije na že izolirani stavbi ekonomsko ne splača. Treba pa je vedeti, da je objekt star 45 let in fasada še ni bila obnovljena. V sklopu obnove fasade se lahko doda toplotno izolacijo, da bo v skladu s pravilnikom PURES 2022.

Tabela 22: Toplotna prehodnost konstrukcijskih sklopov zunanje stene in parapetnega zidu

Toplotna prehodnost U	Konstrukcijski sklop opečna stena z izolacijo	Konstrukcijski sklop parapetni zid z izolacijo
Obstoječe stanje	$U = 0,548 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,538 \text{ W/m}^2\text{K}$
Stanje po obnovi	$U = 0,176 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,175 \text{ W/m}^2\text{K}$
PURES 2022	$U = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$



Slika 79: Prikaz odebelitve toplotne izolacije zunanje stene stavbe



Slika 80: Prikaz odebelitve toplotne izolacije parapetnega zidu

Tabela 23: Primerjava energetskih kazalnikov pri ukrepu odebelitve toplotne izolacije v kleti in na podstrešju

			Obstoječe stanje	Stanje po ukrepu
Specifični koeficient transmisijskih toplotnih izgub	H'_{tr}	W/m ² K	1,019	0,808
Skupna primarna energija	$E_{Ptot,an}$	kWh/an	617.072	513.384
Dovedena energija za delovanje TSS	$E_{del,an}$	kWh/an	537.820	449.926
Potrebna toplota za ogrevanje stavbe	$Q_{H,nd,an}$	kWh/an	270.907	192.568
Specifična potrebna toplota za ogrevanje	$Q'_{H,nd,an}$	kWh/m ² an	74,6	53,1
Izpusti ogljikovega dioksida	$M_{CO2,an}$	kg/an	190.740	155.967

10.1.3 Menjava stavbnega pohištva

Stavbno pohištvo na objektu je dotrajano in zato potrebno menjave. Vračilne dobe zamenjave stavbnega pohištva se gibajo nekje med 25 in 30 let. Zato se tega ukrepa pogosto poslužujemo zgolj takrat, ko se prenovi celoten ovoj stavbe. Težavo predstavlja dejstvo, da toplotno prehodnost tega gradnika stavbe lahko le ocenimo. Kot prvo nimamo specifikacij za stavbno pohištvo izpred 30 in več let in drugič s časom se toplotna prehodnost slabša. Poleg tega so nekateri stanovalci okna s časom zamenjali, drugi pa imajo še prvotna. Zato ocenimo, da toplotna prehodnost oken stanovanjskih enot znaša $3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Pri oknih hodnikov, ki so zgolj stekla na kovinskih okvirjih pa $5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabela 24:Primerjava energetskih kazalnikov pri ukrepu zamenjave stavbnega pohištva

			Obstoječe stanje	Stanje po ukrepu
Specifični koeficient transmisijskih toplotnih izgub	H'_{tr}	$\text{W/m}^2\text{K}$	1,019	0,64
Skupna primarna energija	$E_{Ptot,an}$	kWh/an	617.072	462.696
Dovedena energija za delovanje TSS	$E_{del,an}$	kWh/an	537.820	406.959
Potrebna toplota za ogrevanje stavbe	$Q_{H,nd,an}$	kWh/an	270.907	155.233
Specifična potrebna toplota za ogrevanje	$Q'_{H,nd,an}$	$\text{kWh/m}^2\text{an}$	74,6	42,8
Izpusti ogljikovega dioksida	$M_{CO2,an}$	kg/an	190.740	138.969

10.1.4 Mehansko prezračevanje z vračanjem toplote

Nove in prenovljene stavbe postajajo vedno bolj zrakotesne. Zato je treba zagotoviti ustrezen dovod svežega zraka v prostore. Za doseganje ustrezne kakovosti zraka moramo v povprečju pri stalnem prezračevanju na stanovalca dovajati cca $30 \text{ m}^3/\text{h}$ svežega zraka, hkrati pa odvajati cca $40 \text{ m}^3/\text{h}$ na osebo iz kuhinje ali kopalnice, torej na mestih, kjer se generira veliko vlage. To pomeni, da zamenjamo celoten zrak v prostorih v roku 2,5 do 3 ur. V osnovi je vseeno, na kakšen način prezračujemo prostore. Naravno prezračevanje terja pogosto kratkotrajno odpiranje oken, kar zna bit v mrzlih dnevih moteče. Poleg tega je treba to izvajati redno, kar pogosto ne počenjamo. Glavni dejavnik, da je tak način prezračevanja neučinkovit, je strošek, ki ga povzroči prezračevanje, saj z izmenjavo zraka z okolico izmenjujemo tudi toploto. Zaradi tega moramo potem preko ogrevalnega sistema dodajati toploto, ki jo izgubimo s prezračevanjem. Iz tega razloga so potem prostori pogosto premalo prezračevani. Stranski učinek premalo prezračevanih prostorov je poleg slabega zraka tudi izdatnejša površinska kondenzacija na izpostavljenih mestih toplotnega ovoja ali v hujših primerih lahko tudi plesen.

Poznamo dva tipa prezračevanj[24]:

- Sistem centralnega prezračevanja; vsebuje napravo za prezračevanje in kanalske povezave. Osrednji del naprave je učinkovit rekuperator, ki iz odpadnega zraka prenaša toploto na sveži zrak ter ga s tem predgreva skoraj do siceršnje temperature zraka v prostorih. Od naprave tipično pričakujemo vsaj 80-% vračanje toplote ter porabo električne energije za pogon manj kot 0,40 Wh/m³h transportiranega zraka.



Slika 81: Prikaz sistema centralnega prezračevanja [18]

- Učinkovito lokalno prezračevanje; sprejemljiva rešitev za stanovanjske enote ali hiše, kjer centralnega prezračevanja ni mogoče izvesti. Lokalne naprave za prezračevanje se vgrajujejo na zunanjo steno v izbrane stanovanjske prostore.



Slika 82: Prikaz naprave lokalnega prezračevanja [24]

Tabela 25: Primerjava energetskih kazalnikov pri ukrepu vgradnje mehanskega prezračevanja z vračanjem odpadne toplote

			Obstoječe stanje	Stanje po ukrepu
Specifični koeficient transmisijskih toplotnih izgub	H'_{tr}	W/m ² K	1,019	1,000
Skupna primarna energija	$E_{Ptot,an}$	kWh/an	617.072	467.666
Dovedena energija za delovanje TSS	$E_{del,an}$	kWh/an	537.820	435.180
Potrebna toplota za ogrevanje stavbe	$Q_{H,nd,an}$	kWh/an	270.907	156.186
Specifična potrebna toplota za ogrevanje	$Q'_{H,nd,an}$	kWh/m ² an	74,6	43,0
Izpusti ogljikovega dioksida	$M_{CO_2,an}$	kg/an	190.740	140.565

10.2 Sončna elektrarna

10.2.2 Evropska direktiva o energiji iz obnovljivih virov (RED II/III/IV): do leta 2030

Komisija je julija 2021 v okviru svežnja »pripravljeni na 55« predlagala spremembo direktive o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov (RED II) [25], da bi cilje glede energije iz obnovljivih virov uskladila z novimi podnebnimi cilji. Predlagala je, naj se zavezujoči cilj glede obnovljivih virov v mešanici energetskih virov EU za leto 2030 poveča na 40 %.

Po ruski agresiji proti Ukrajini je komisija maja leta 2022 predlagala prvo spremembo direktive (RED III), da bi pospešili prehod na čisto energijo zaradi postopne odprave odvisnosti od ruskih fosilnih goriv. Predlagala je namestitev toplotnih črpalk, povečanje fotovoltaičnih zmogljivosti in s tem da bi se delež obnovljivih virov energije povečal na 45 %.

Novembra 2022 je komisija predlagala še drugo spremembo (RED IV) uredbe Sveta za pospešitev uvajanja energije iz obnovljivih virov energije. V skladu s predlogom se šteje, da imajo obrati za proizvodnjo energije iz obnovljivih virov energije prevladujoč javni interes, kar bi omogočilo hitrejšo izdajo dovoljenj in posebna odstopanja do okoljske zakonodaje.

10.2.3 Sveženj »Pripravljeni na 55«

Sveženj »Pripravljeni na 55« [26] sestavlja sklop medsebojnih povezanih predlogov, v katerih je skupni cilj zagotoviti pravičen, konkurenčen in zelen prehod do leta 2030 in po njem. Kjer je mogoče, se zvišujejo cilji obstoječe zakonodaje, kjer je potrebno pa so predstavljeni novi predlogi. Na splošno se s tem svežnjem krepi osem obstoječih aktov, v katerih je predstavljenih 5 novih pobud iz vrste področij politike in gospodarskih sektorjev: podnebje, energija in goriva, stavbe, raba zemljišč in gozdarstvo.

Zakonodajni predlogi so podprti z analizo ocene učinka, v kateri je upoštevana medsebojna povezanost celotnega svežnja. Analiza je pokazala, da bi prevelik poudarek na okrepljenih regulativnih politikah po nepotrebnem povzročil visoke gospodarske obremenitve, samo oblikovanje cen ogljika pa ne bi odpravilo sedanjih tržnih pomanjkljivosti in netržnih ovir. Izbrana kombinacija politik je zato skrbno določeno ravnovesje med cenami, cilji, standardi in podpornimi ukrepi.

10.2.4 Načrt REPowerEU

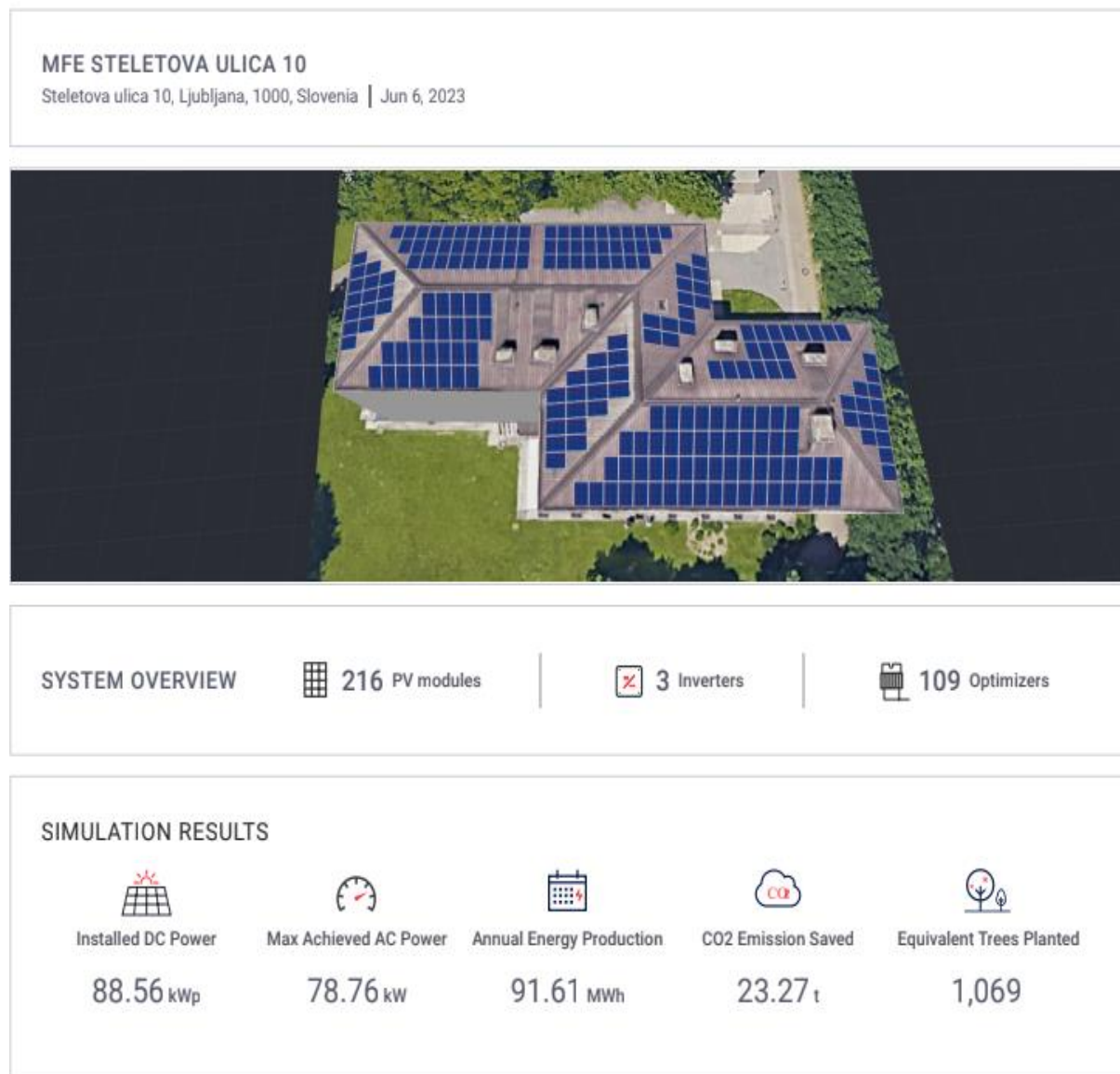
Po ruski invaziji je bil 18. maja 2022 spremenjen energetski zakonodajni sveženj vključno z revidirano direktivo o energetski učinkovitosti. Načrt REPowerEU [27] uvaja spremembe, da bi se zavezujoči ciljni delež energije z obnovljivih virov v mešanici energijskih virov EU do leta 2030 zviša na 45 % in da bi se z novimi ambicijami načrta uskladili vsi podcilji, ki so med drugim:

- postopna uvedba obveznega nameščanja sončnih panelov na novih stavbah,
- da se do leta 2030 doseže 10 milijonov ton domače proizvodnje in uvoza obnovljivega vodika,
- podvojitev sedanje stopnje uporabe toplotnih črpalk v posameznih stavbah,
- cilj glede goriv iz obnovljivih virov nebiološkega izvora (75 % za industrijo in 5 % za promet),
- povečanje proizvodnje biometana na 35 milijard kubičnih metrov do leta 2030.

V sklopu sončne energije je bila preko tega načrta uvedena strategija za podvojitev sončne fotovoltaične zmogljivosti na 320 GW do leta 2025 in namestitev 600 GW zmogljivosti do leta 2030. Načrt predvideva postopno uvajanje pravne obveznosti za namestitev sončnih panelov na novih javnih, poslovnih in stanovanjskih stavbah ter strategijo za enkrat večjo uporabo toplotnih črpalk v sistemih daljinskega in skupnega ogrevanja. V skladu z načrtom morajo države članice določiti namenska območja za energijo iz obnovljivih virov in sprejeti načrte v zvezi z njim, vključno s skrajšanimi in poenostavljenimi postopki izdaje dovoljenj.

10.2.5 Sončna elektrarna na strehi obravnavanega objekta

S pomočjo programa Solar Edge smo prišli do možne postavitve sončne elektrarne na strehi stavbe.



Slika 83: Začetni zavihek z opisom sončne elektrarne v programu Solar Edge

Zgornji izpis nam poda sledeče informacije – sončna elektrarna bi imela:

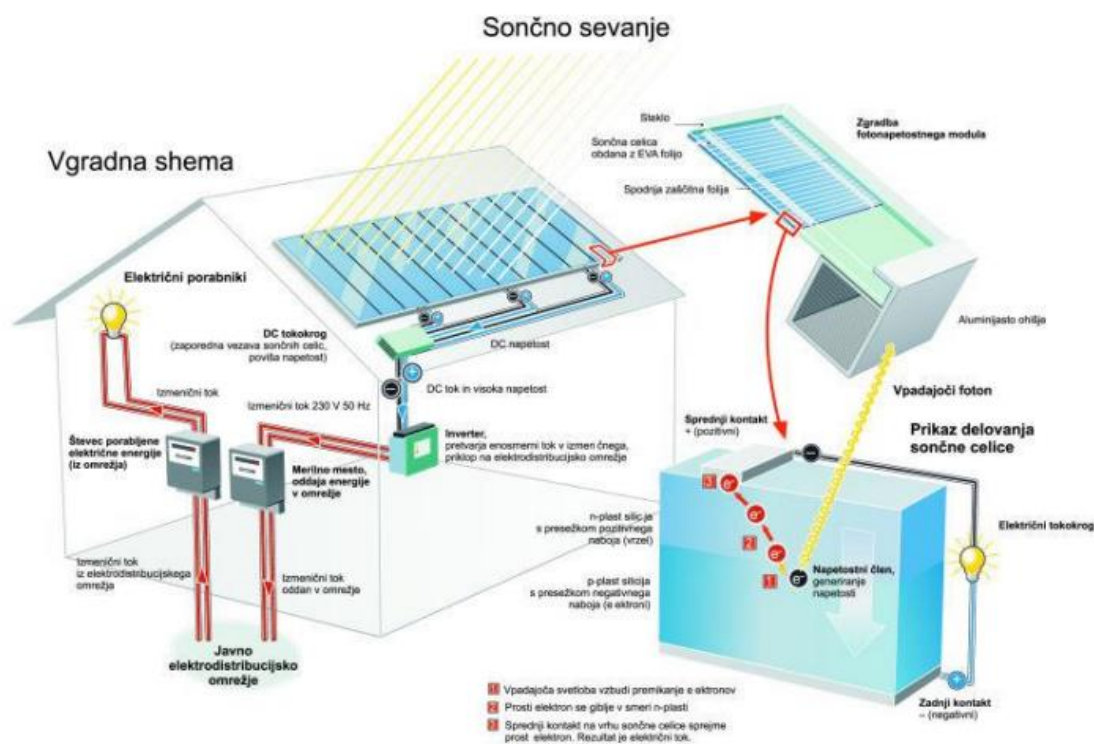
- 216 modulov (dimenzije 1,1 mx1,7 m),
- 3 razsmernike in
- 109 optimizatorjev.



Slika 84: Prikaz razsmernikov v sončni elektrarni [28]

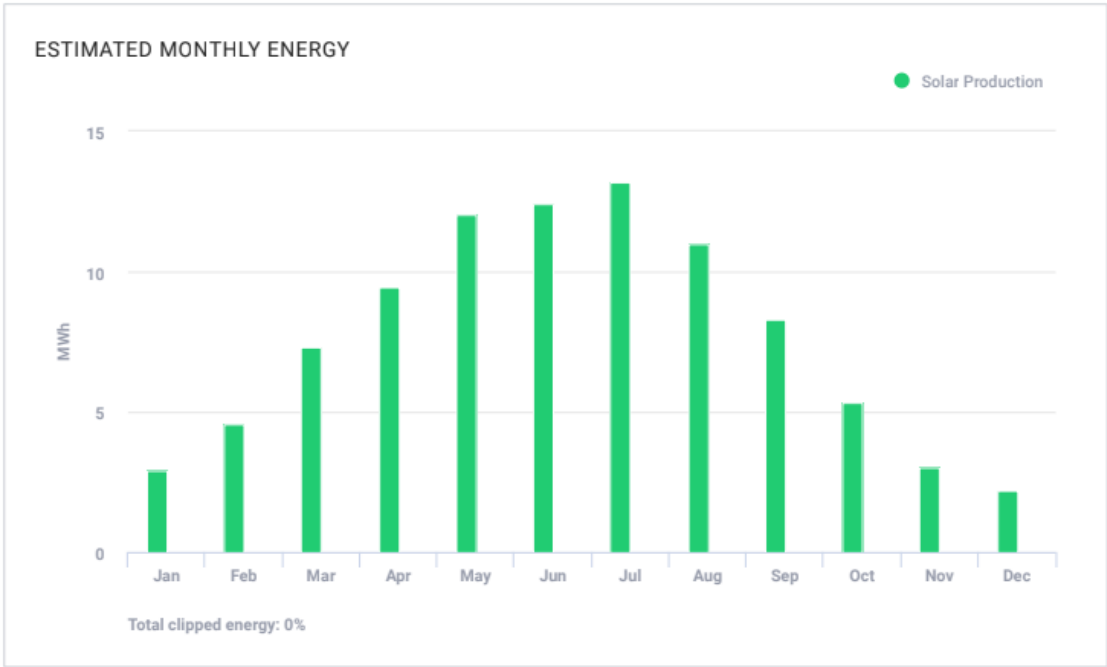
Razsmernik (ali inverter) [29] spreminja enosmerni električni tok, ki ga proizvajajo solarni paneli, v izmenični električni tok, ki ga lahko uporabimo ali oddamo v omrežje. Pomembna je izbira pravega razsmernika, saj ta poveča učinkovitost in končni izkoristek sončne elektrarne.

Optimizator moči [29] je naprava, ki jo priključimo na solarni panel in s tem optimiziramo izhodno moč in povečamo učinkovitost panela. Optimizatorji imajo funkcijo, da v realnem času spremljajo največjo moč vsakega solarnega panela in uravnavajo napetost, preden jo posredujejo razsmerniku. Imajo zelo pomembno vlogo pri objektih z razgibano streho in delno ali večjo osenčenostjo.



Slika 85: Grafična shema sončne elektrarne na stavbi [23]

Simulacije nam pokažejo, da teoretična moč sončne elektrarne znaša 88,56 kWp. Največja dosežena moč direktnega toka upoštevajoč izgube, senčenja in osočenosti znaša 78.76 kW. Letna proizvodnja elektrike znaša 91,61 MWh. S tako elektrarno zmanjšamo emisije CO2 za 23.27 t, kar je ekvivalentno 1069 posajenih dreves.



Graf 1: Ocenjena mesečna proizvodnja elektrike sončne elektrarne

Kot je razvidno na zgornjem grafu, do največje proizvodnje elektrike pride v poletnih mesecih, s konico julija s cca 13 MWh.

10.2.6 Primerjava s programom PURES 3

			sistem 1	sistem 2
Površina PV modulov	A _{PV}	m ²	202,0	202,0
Orientacija			V	Z
Naklon		°	15	15
Vgradnja PV modulov			Zmerno prezračevani	
Vrsta sončnih celic			Polikristalne silicijeve	
Koeficient vršne moči	K _{pk}	kW/m ²	0,18	
Nazivna moč fotonapetostnega sistema	P _{pk}	kW	72,713	
Senčenje PV modulov			Ne	
PV sistem je povezan z omrežjem			Da	
Baterija je kapacitete > 0,1 kWh/m ² A _{use}			Ne	
PV je namenjen segrevanju TSV z uporovnim grelnikom in hranilnikom s kapaciteto > 75% dnevne rabe toplote			Ne	

Slika 86: Zavihek o definiranju parametrov sončne elektrarne v programu PURES 3

V programu podamo podatke površine modulov, orientacijo, tip sončnih celic, nazivno moč fotonapetostnega sistema.

Proizvedena električna energija $E_{PV,pr,an}$	61828
Proizvedena električna energija porabljena na stavbi $E_{PV,used,an}$	29684

Slika 87: Izpis o letni proizvodnji elektrike sončne elektrarne v programu PURES 3

Proizvedena električna energija po programskem orodju Pures 3 znaša 91512 kWh, kar je 91.5 MWh. Program Solar Edge nam izračuna 91.6 MWh proizvedene električne energije.

	Vrednost (%)
Razmernik obnovljivih virov energije ROVE	28
Minimalni zahtevani razmernik $ROVE_{min}$	50
Ustreza minimalni zahtevi	Ne ustreza

Slika 88: Izpis izračunanega razmernika ROVE v programu PURES 3

Z vgradnjo sončne elektrarne se razmernik obnovljivih virov energije ROVE poviša iz 16 % na 28 %. To še vedno ne ustreza minimalni zahtevi po PURES 2022. V kolikor bi hoteli doseči zahtevo, bi morali vgraditi toplotno črpalko za ogrevanje in segrevanje TSV.

Tabela 26: Primerjava energijskih kazalnikov pri ukrepu vgradnje sončne elektrarne

			Obstoječe stanje	Stanje po ukrepu
Specifični koeficient transmisijskih toplotnih izgub	H'_{tr}	W/m ² K	1,019	1,019
Skupna primarna energija	$E_{Ptot,an}$	kWh/an	617.072	604.376
Dovedena energija za delovanje TSS	$E_{del,an}$	kWh/an	537.820	537.820
Potrebna toplota za ogrevanje stavbe	$Q_{H,nd,an}$	kWh/an	270.907	270.907
Specifična potrebna toplota za ogrevanje	$Q'_{H,nd,an}$	kWh/m ² an	74,6	74,6
Izpusti ogljikovega dioksida	$M_{CO2,an}$	kg/an	190.740	178.219

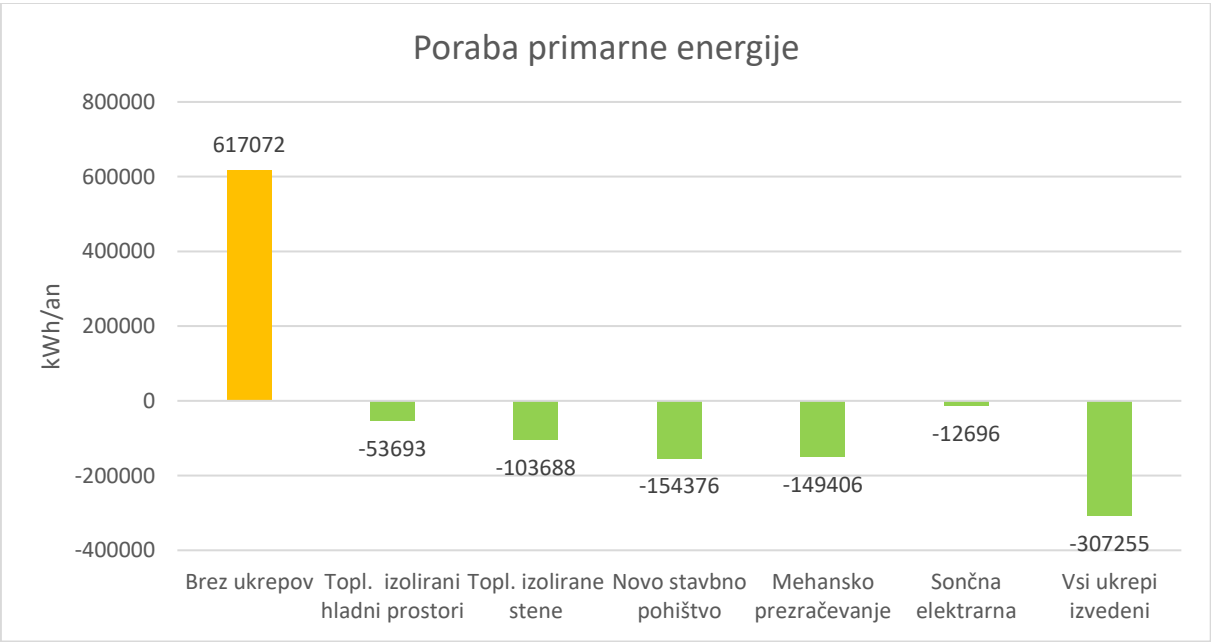
10.3 Izvedeni vsi ukrepi

V primeru izvedbe celovite prenove stavbe, pridemo do občutno nižjih kazalnikov energijske bilance stavbe. Pri letni potrebi po toploti za ogrevanje se zniža celo za 90 %. Specifični koeficient transmisijskih toplotnih izgub znaša 0,377 W/m²K, kar je manj od dovoljene vrednosti 0,409 W/m²K. V tem primeru znaša razmernik obnovljivih virov energije 27 %. To je občutno nižje od 50 %, ki naj bi bil minimalni zahtevani razmernik skladno po PURES 2022.

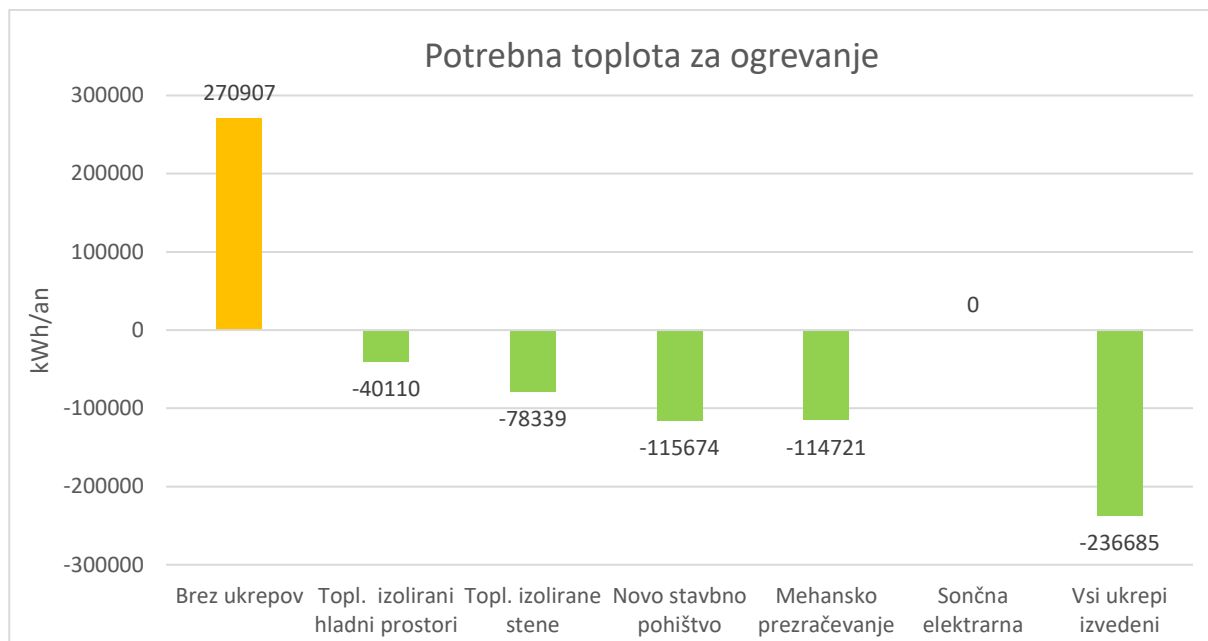
Tabela 27: Primerjava energijskih kazalnikov pri vseh izvedenih ukrepih

			Obstoječe stanje	Stanje po ukrepu
Specifični koeficient transmisijskih toplotnih izgub	H'_{tr}	W/m ² K	1,019	0,377
Skupna primarna energija	$E_{Ptot,an}$	kWh/an	617.072	309.817
Dovedena energija za delovanje TSS	$E_{del,an}$	kWh/an	537.820	287.935
Potrebna toplota za ogrevanje stavbe	$Q_{H,nd,an}$	kWh/an	270.907	34.222
Specifična potrebna toplota za ogrevanje	$Q'_{H,nd,an}$	kWh/m ² an	74,6	9,6
Izpusti ogljikovega dioksida	$M_{CO2,an}$	kg/an	190.740	79.398

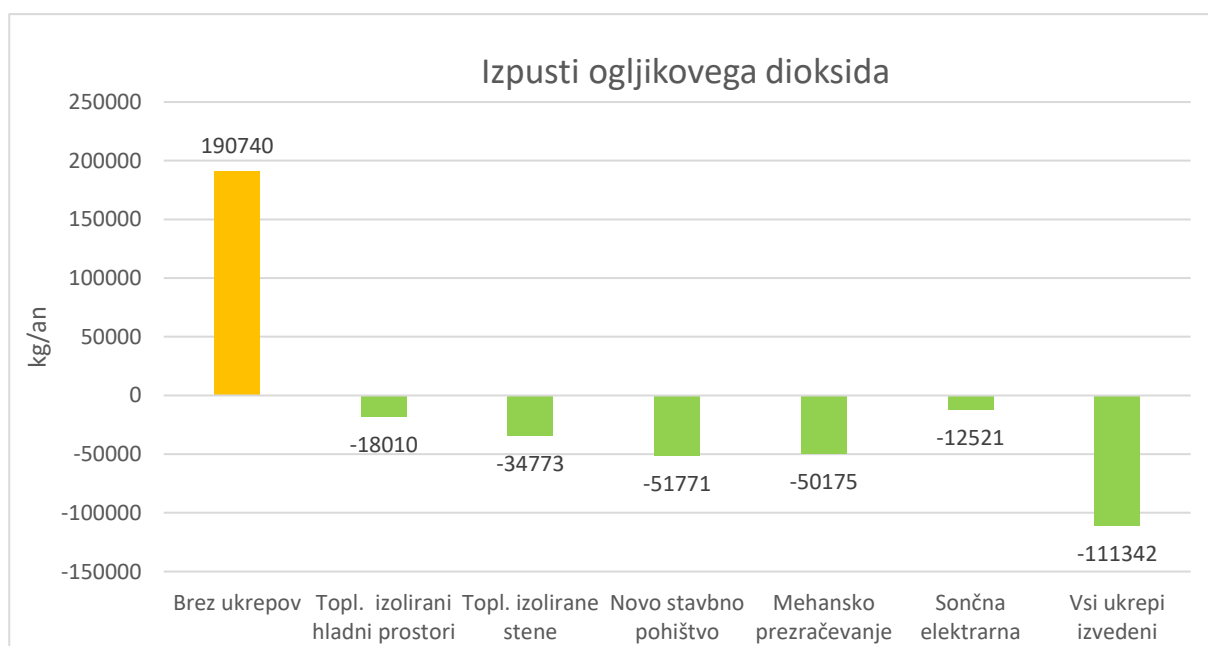
10.4 Primerjava energijskih kazalnikov za posamične ukrepe



Graf 2: Prikaz porabe primarne energije stavbe v odvisnosti od ukrepa



Graf 3: Prikaz potrebne toplote stavbe v odvisnosti od ukrepa



Graf 4: Prikaz izpustov ogljikovega dioksida stavbe v odvisnosti od ukrepa

Kot je razvidno po številkah v grafih, je vgradnja prezračevanja z rekuperacijo toplega zraka in zamenjava stavbnega pohištva najbolj učinkovita rešitev za povečanje energijske učinkovitosti stavbe. Pri obeh ukrepih se poraba primarne energije zniža za 25 %, letna potrebna toplota za ogrevanja za 55 %, emisije ogljikovega dioksida pa za 25 %. V kolikor izvedemo vse ukrepe, daleč največji padec beležimo pri kazalniku potrebne toplote za ogrevanje. Ta kazalnik običajno uporabnika stavbe najbolj zanima, saj je indikator manjše porabe energentov in s tem povezanimi stroški delovanja stavbe.

10.5 Ukrepi energetske prenov v programskem vtičniku Revit INSIGHT

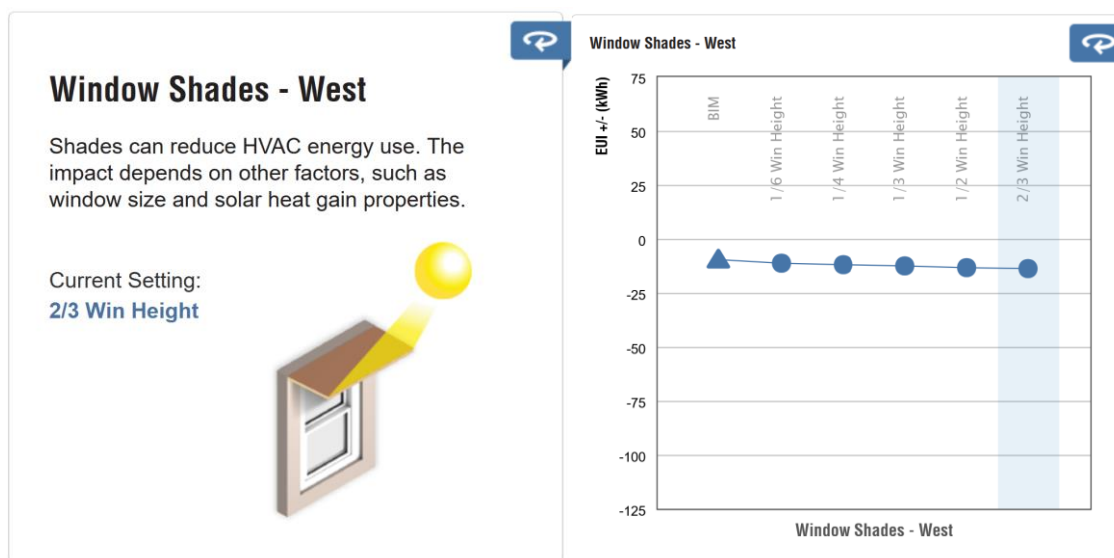
V programih, kot sta URSA 4.0 in PURES 3, izračune energijske bilance delamo tako, da spreminjamo vhodne podatke in potem analiziramo spremenjene energijske kazalnike. V primeru Revita imamo poseben vtičnik v oblaku, s katerim na enostaven način spreminjamo parametre in potem programsko orodje samo analizira spremembe o energijski učinkovitosti stavbe.

10.5.1 Programski vtičnik Revit Insight

Vtičnik Revit Insight je aplikacija v oblaku, ki dodatno nudi sledeče analize [30]:

- Energijska učinkovitost; nudi intuitiven vpogled v energetske optimizacije in z njo povezano učinkovitost.
- Ob spreminjanju parametrov stavbe dobimo ključne rezultate v realnem času in s tem pomoč pri sprejemanju odločitev pri zasnovi objekta.
- Dinamične simulacije energijske bilance z uporabo DOE 2.2 in EnergyPlus.
- Analiza dnevne svetlobe; simuliranje naravne svetlobe in z njo povezana pomoč pri zasnovi objekta za čim bolj optimalen izkoristek sončne svetlobe.

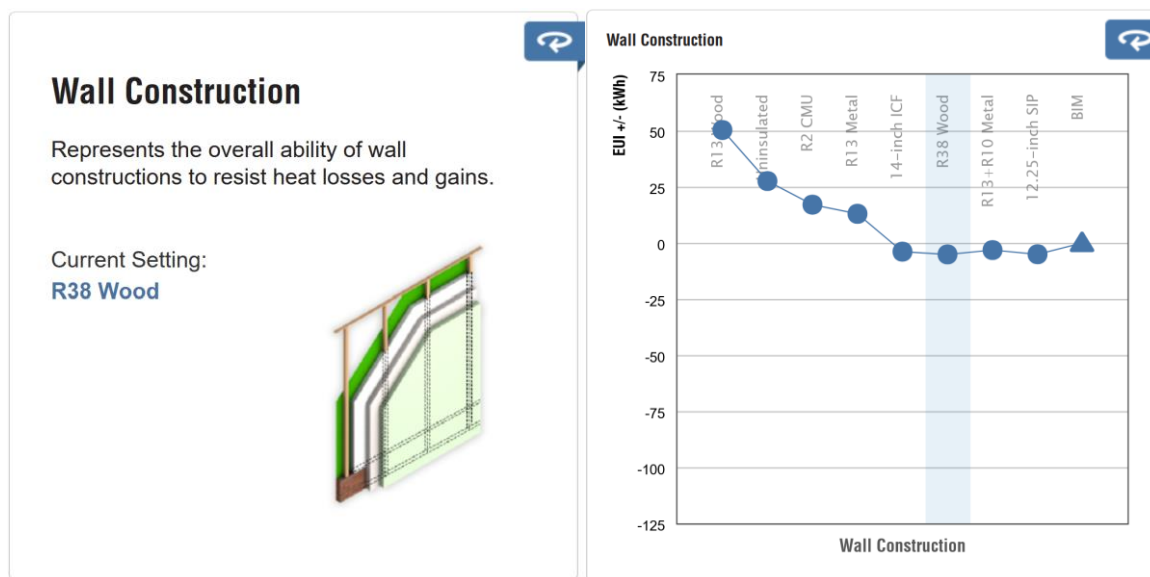
10.5.2 Ukrepi senčenja oken



Slika 89: Zavihka o spreminjanju parametrov senčenja oken v programskem vtičniku Insight

Prvi ukrep, ki ga analiziramo, je vgradnja senčnikov. S tem naj bi se v poletnih mesecih zmanjšala potreba po hladu. Tu je prikazan le zavihek za zahodno stran, vendar je mišljen tako za zahodno kot tudi vzhodno stran. Trikotnik pri desnem zavihku kaže obstoječe stanje. Krogci predstavljajo možnosti, ki so na razpolago glede dimenzij senčnikov. Mi izberemo senčnike, ki prekrivajo 2/3 višine okna.

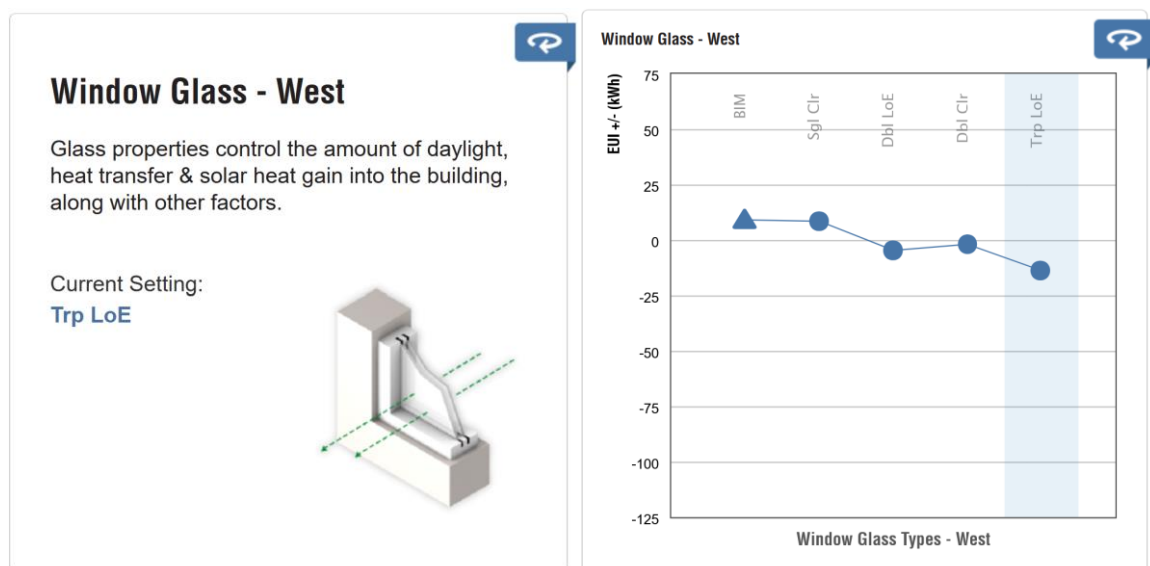
10.5.3 Ukrep odebelitve toplotne izolacije sten



Slika 90: Zavihka o spreminjanju parametrov sestave zunanjih sten v programskem vtičniku Insight

Tu imamo možnosti odebelitve toplotne izolacije sten. Na razpolago imamo predefinirane stene v skladu po ameriških standardih. Izbran konstrukcijski sklop »R38 Wood« naj bi imel toplotno prevodnost 0,15 W/m²K. Kot vidimo, so razlike v zmanjšanju porabe za potrebe po toploti majhne. To je razumljivo, ker je za steno, ki že ima toplotno izolacijo, četudi majhne debeline, če dodamo izolacijo, učinek marginalen.

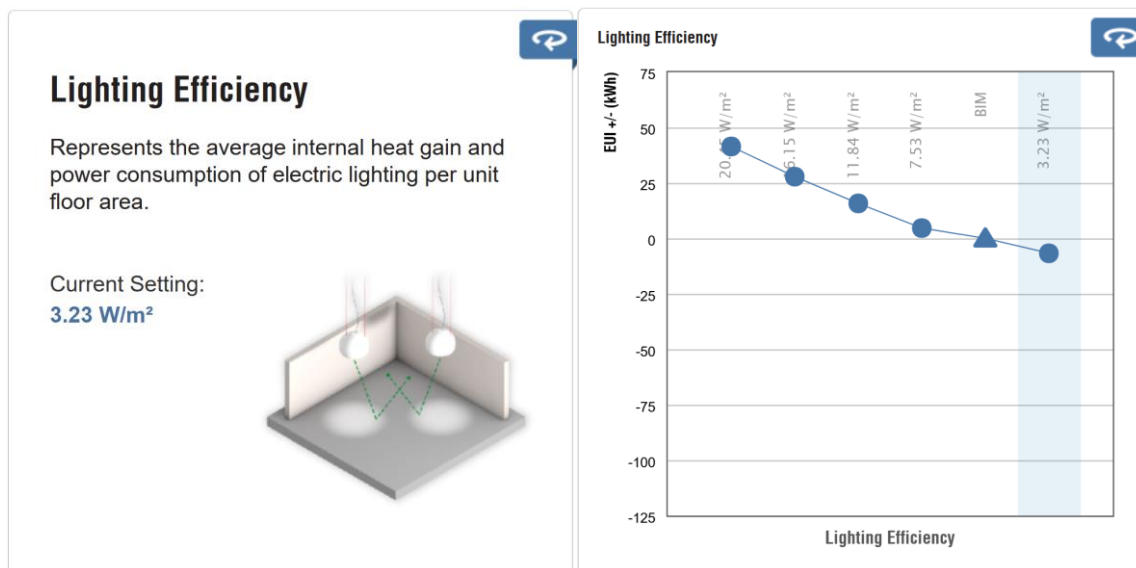
10.5.4 Ukrep zamenjave oken



Slika 91: Zavihka o spreminjanju parametrov tipa oken v programskem vtičniku Insight

Okna so definirana kot običajna dvoslojna in jih zamenjamo z novimi 3 slojnimi. Na objektu so okna različne starosti in kvalitete. Zato je težko definirati oziroma simulirati realno stanje.

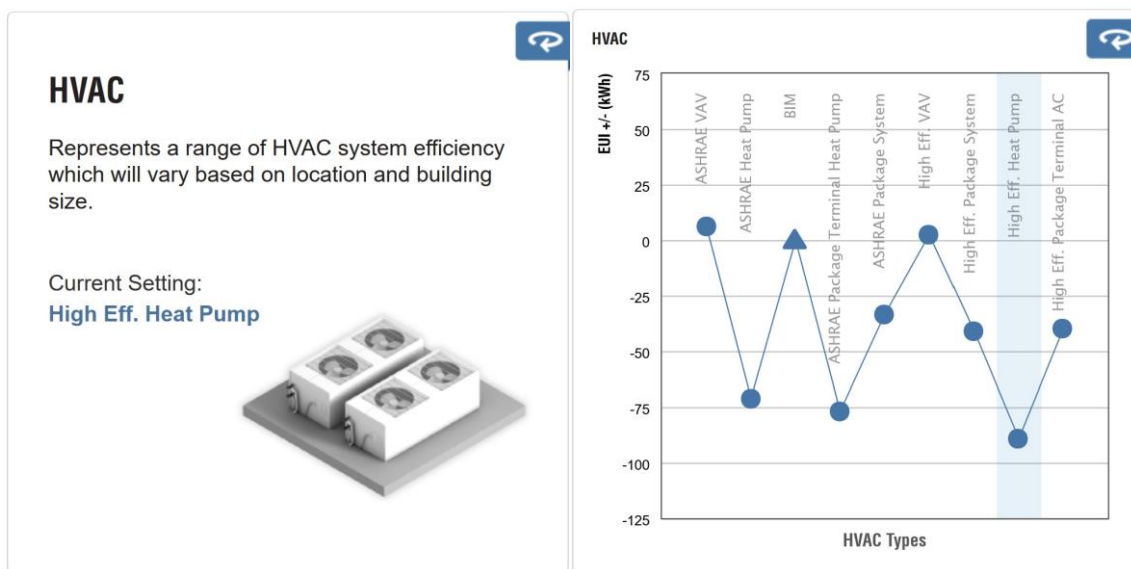
10.5.5 Ukrep zamenjave umetne osvetlitve v stavbi



Slika 92: Zavihka o spreminjanju parametrov umetne osvetlitve v programskem vtičniku Insight

Umetna osvetlitev je nastavljena na 5 W/m². Vrednost znižamo na 3.23 W/m².

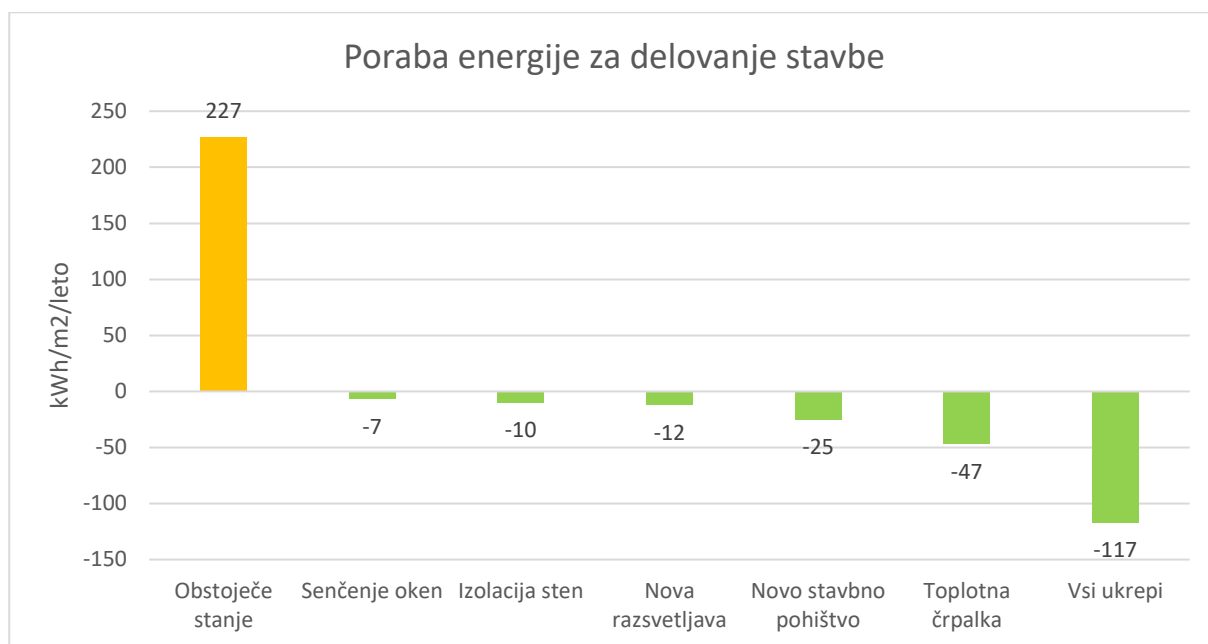
10.5.6 Zamenjava ogrevanja z učinkovito toplotno črpalko



Slika 93: Zavihka o spreminjanju parametrov HVAC sistema v programskem vtičniku Insight

V obstoječem objektu imamo daljinsko ogrevanje, zato ta možen ukrep ni posebej realen. Vendar v kolikor bi želeli doseči delež obnovljivih virov energije nad 50 %, potem bi bila vgradnja toplotne črpalke nujen ukrep.

10.5.7 Analiza posamičnih ukrepov v smeri boljše energijske učinkovitosti



Graf 5: Prikaz porabe energije za delovanje stavbe izražene v kWh/m²/leto v programskem vtičniku Insight

V grafu so prikazani različni ukrepi, vsak posamezen in zadnji stolpec naj bi predstavljal skupek vseh ukrepov. Vrednost porabe energije na kvadratni meter na leto pri obstoječem stanju znaša 227 kWh. Pri senčenju oken znaša vrednost 220 kWh/m²/leto, pri izolaciji sten 217 kWh/m²/leto, zamenjava umetne osvetlitve 215 kWh/m²/leto, zamenjava oken 202 kWh/m²/leto, učinkovita toplotna črpalka pa 180 kWh/m²/leto. Če upoštevamo vse ukrepe, se zniža na 110 kWh/m²/leto. Kot vidimo, je kljub vsem ukrepom, vrednost porabe še vedno visoka glede na vrednosti, ki jih dobimo pri programskem orodju kot PURES 3. Ta vrednost prikazuje porabo energije za celotno delovanje stavbe, torej ogrevanje, hlajenje, osvetlitev ...

Program je mišljen kot orodje za povečanje energijske učinkovitosti obstoječih stavb in novogradenj. S programom namreč lahko v začetni faze zasnove stavbe analiziramo vse vidike, ki povečujejo energetsko učinkovitost. Kot na primer optimalna rotacija stavbe glede na azimut, če seveda OPPN to dovoljuje. Možno je določiti optimalno razmerje med steno in steklenimi površinami in morebitna senčila. Hkrati lahko spreminjamo lastnosti stavbnega pohištva in fasadnih pasov zunanjih sten ter z njim povezano spremembo energijske učinkovitosti stavbe. V kolikor se obravnava obstoječo stavbo, je mogoče analizirati naravno osvetljenost prostorov in s tem optimizirati postavitev umetne osvetlitve v prostorih. Glavna težava tega programa je ta, da je optimiziran za severnoameriški trg in zato ima v našem okolju omejeno uporabnost.

11 VIZUALIZACIJE STAVBE

11.1 Vizualizacije projekta v BIM okolju

Vloga programske opreme v gradbeništvu je danes tako pomembna, kot sta bila v preteklosti svinčnik in papir [31]. Z vsemi možnostmi programske opreme, skupaj s pritiskom, da se naredi več z manj pri vse bolj zapletenih projektih, sili podjetja k skrbni izbiri orodij in delovnih tokov. To je nujno, če hočejo ostati donosna in konkurenčna. V kolikor se tega ne stori, se zmanjšuje konkurenčnost podjetja zaradi pomanjkanja kvalifikacij, povezanih z informacijskim modeliranjem stavb (BIM) in programsko opremo na splošno.

Zaenkrat je gradbena industrija še vedno v prehodu iz CAD v BIM tehnologijo. Ko bodo podjetja in s časom vsa gradbena panoga v celoti prešli na BIM tehnologijo, bomo lahko bogat nabor podatkov izkoristili za dodatne storitve, kot so na primer vizualizacije stavbe. Z BIM se izboljša koordinacija in avtomatizacija delovnega procesa. Ko arhitekti in inženirji delajo skupaj v 3D okolju, je več možnosti za uporabo orodij za preverjanja neskladij v modelu oziroma stavbi ter orodij za vizualizacije.

Čeprav so BIM platforme v 3D, to niso tisto, kar večina ljudi opisuje kot vizualizacije. Namesto tega so orodja za avtorstvo oblikovanja in izbiranja kritičnih informacij, potrebnih za gradnjo stavbe. Po drugi strani pa gre pri 3D vizualizacijah za komunikacijo in še posebej za sporočanje dizajnov na način, ki jih naredi oprijemljive v vizualnem, poglobljenem in izkustvenem smislu, preden zgradba obstaja v fizičnem smislu.

Da bi rešili vprašanja udobja ljudi in zdravja ter tehnološke in okoljske izzive, stavbe postajajo vedno bolj zapletene. Poleg arhitektov, gradbenikov, elektro in strojnih inženirjev lahko projekti vključujejo številne strokovnjake, kot so:

- strokovnjaki za notranje oblikovanje,
- strokovnjaki za akustiko,
- krajinski arhitekti,
- prometni inženirji,
- inženirji vodarstva.

Vizualizacija kombinirane različice (imenovana tudi kot zvezna različica) vseh teh modelov lahko znatno poveča raven koordinacije in splošnega razumevanja oblikovalske ekipe končne rešitve. Poleg običajnih vizualizacij imamo še možnost vizualizacij v realnem času in vizualizacije navidezne resničnosti.

Vizualizacije v realnem času in uporabe navidezne resničnosti za izražanje načrta dajeta naročniku moč, kot še nikoli doslej. Navidezna resničnost stranki omogoča raziskovanja delov zasnove, ki so zanj pomembni, ali področja, ki jih ne razumejo popolnoma.

V splošnem je BIM vizualizacija najučinkovitejši način za zagotovitev nemotenega poteka gradbenega projekta. Pomaga nam vizualizirati celoten proces in ga učinkoviteje upravljati, hkrati pa zmanjšati stroške. Omogoča naročniku vpogled v projekt in jasn prikaz končnega produkta projekta. S tem se izognemo morebitnim težavam tako z naročniki kot z izvajalci v fazi gradnje oziroma obnove.

11.2 Program Twinmotion

Autodesk z verzijo Revit 2023 naprej omogoča inštalacijo vtičnika za program Twinmotion. Program, namenjen arhitektom, gradbenikom, oblikovalcem in krajinskim arhitektom, omogoča enostavno izdelavo slik, animacij in ostalih predstavitev. Osnovan je na »*angl. unreal engine*« pogonu in omogoča generiranja foto realističnih slik različnih elementov, kot na primer stavbe, fiktivne pokrajine, čevljev, avtomobilov; realistične animacije digitalno generiranih oseb; itd. Glavna prednost pred konkurenco je ta, da je program zelo intuitiven in enostaven za uporabo. Ne zahteva obširnega znanja in izkušenj na področju upodobitve in modeliranja digitalnih animacij.

11.3 Vizualizacije obstoječega stanja



Slika 94: Pogled na stavbo pred prenovo pri vhodu



Slika 95: Pogled na stavbo pred obnovo iz zahodne smeri



Slika 96: Pogled na stavbo pred obnovo iz južne smeri



Slika 97: Pogled na stavbo pred obnovo iz vzhodne smeri



Slika 98: Pogled na stavbo pred obnovo iz severne smeri

11.4 Vizualizacije obnovljene stavbe



Slika 99: Pogled na stavbo po obnovi pri vhodu



Slika 100: Pogled na stavbo po obnovi iz zahodne smeri



Slika 101: Pogled na stavbo po obnovi iz južne smeri



Slika 102: Pogled na stavbo po obnovi iz vzhodne smeri



Slika 103: Pogled na stavbo po obnovi iz severne smeri

12 ZAKLJUČEK

Živimo v času, ko je energijska učinkovitost v gradbeništvu vedno pomembnejša. Hkrati se je v zadnjih letih močno razširila uporaba računalniških programov, ki temeljijo na BIM tehnologiji. V magistrski nalogi smo analizirali možnost uporabe BIM orodij na področju energijske učinkovitosti v gradbeništvu in jo primerjali z drugimi računalniškimi orodij.

Ker ni bilo razpoložljivih arhitekturnih podlog, smo dimenzije stavbe in njenih stavbnih elementov posneli z LiDAR kamero. Izkazalo se je, da kljub temu, da so bili LiDAR posnetki izvedeni preko običajnega pametnega telefona, so bili rezultati dobri. Natančnost meritev je bila v primerjavi z laserskim merilnikom ocenjena na odstopanje manj kot 1 cm na razdalji 2 m. Vendar je treba poudariti, da to ni profesionalna kamera in so zato tudi določene omejitve. Doseg kamere znaša 5 m, zato smo bili prisiljeni poenostaviti postopek modeliranja BIM modela. Vendar se kaže potencial tehnologije na tem področju in bo skupaj z BIM vsekakor vedno bolj prisotna na področju projektiranja.

S pomočjo informacijskega modela stavbe se je potem izvedlo izračun energijske bilance stavbe. Najprej smo izračunali v programskem orodju Revit EnergyPlus. Program nam poda rezultate, ki so po naši oceni lahko le informativne narave, zato smo se odločili, da bomo izvedli še analizo v programskem orodju DesignBuilder. Informacijski model stavbe smo uvozili v program preko formata gbXML. Oba obravnavana programa se ravna po metodologiji ASHRAE 90.1.

Dobljene rezultate smo nato primerjali z uveljavljenimi programi, ki so na razpolago v Sloveniji. V času, izdelave magistrske naloge se je v Sloveniji spremenila zakonodaja na področju učinkovite rabe energije v stavbah, zato smo izkoristili priložnost in izvedli simulacije energijske bilance do tedaj zelo razširjenega programa za račun gradbene fizike, URSA 4.0 in jo primerjali z energijsko bilanco, izvedeno z novim programom, razvitim na strojni fakulteti, PURES 3. PURES 3 je trenutno edini program v Sloveniji, ki pri izračunu energijske bilance stavbe upošteva PURES 2022 in pripadajočo tehnično smernico TSG-1-004:2022.

Primerjava rezultatov med različnimi programi je pokazala, da račun energijske bilance stavbe v Revitu lahko jemljemo le kot smernico oziroma oceno za nadaljnje delo v smeri večje energijske učinkovitosti, nikakor pa ni to orodje, s katerimi bi lahko izvedli resne analize. Za to potrebujemo namenske programe, kot je na primer DesignBuilder. Vendar je treba poudariti, da to ni edini program in da se na tržišču pojavljajo tudi že programi v oblaku, ki nudijo enake storitve. V našem primeru smo se odločili za Designbuilder, ker smo imeli najmanj problemov z uvozom BIM modela stavbe v program. Pri nekaterih programskih orodjih lahko pride do težav, kot na primer ta, da ima uvožen model popačeno geometrijo tlorisov ali del fasad nima stavbnega pohištva.

Kot se je izkazalo, račun energijske bilance preko BIM modela poda primerljive rezultate s tistimi, dobljenimi v programu PURES 3. Rezultate lahko uporabimo tudi za izdajo energetske izkaznice. Prednost izvajanja tovrstnih analiz na način, da izkoristimo LiDAR kamero za posnetek stavbe in kasneje informacijski model stavbe, je ta, da nam olajša postopek merjenja stavbe in podajanje vhodnih podatkov gradnikov stavbe v program. V kolikor je edini namen BIM modela, da se izvede energijsko analizo stavbe, potem lahko BIM model poenostavimo do te mere, da je celoten proces dela lahko zelo

hiter. Glavna pomanjkljivost je verjetno ta, da zaenkrat noben tuj program ni prilagojen za slovensko zakonodajo na področju učinkovite rabe energije. To pomeni, da so pogosto koeficienti, faktorji pretvorbe in kazalniki privzeti kot splošni in zato ne nujno primerni.

Nato smo analizirali možne ukrepe za izboljšanje energijske učinkovitosti in jih primerjali med seboj. Skladno z novim pravilnikom na področju učinkovite rabe energije smo analizirali tudi možno postavitev sončne elektrarne. V današnjem času, ko se skuša čim bolj omejiti izpuste toplogrednih plinov, smo analizirali vpliv na energijsko bilanco stavbe in na pripadajoče emisije CO₂. Izkazalo se je, da kljub postavljeni sončni elektrarni, še vedno ne zadostimo pogoju 50-% deleža obnovljivih virov energije. V kolikor bi želeli zadostiti temu pogoju, bi morali vgraditi toplotno črpalko. Daljinsko ogrevanje namreč proizvaja toploto s pomočjo fosilnih goriv. Toplarna Ljubljana se sicer sedaj posodablja in se bo za energent zamenjalo premog z zemeljskim plinom.

Velja omeniti, da imamo v programu Revit še dva vtičnika, s katerima je možno delati analize trajnostne gradnje. Prvi se imenuje Tech Preview: Carbon Insights. Slednji računa vgrajen CO₂ v gradbenih materialih zgradbe. Program je še v fazi razvoja, zato ima zaenkrat še omejeno uporabnost. Je pa namenjen predvsem novogradnjam, kjer imajo izpusti CO₂ vgrajenih gradbenih materialov veliko težo, saj so izpusti za obdobje obratovanja stavbe v tem primeru zanemarljivi. Drugi obravnavan vtičnik se imenuje Insight. S programom lahko v začetni fazi projektiranja novega objekta ali za obstoječega uporabimo za preliminarne ocene energijske učinkovitosti.

Na koncu smo preko programa Twinmotion izvedli vizualizacije stavbe pred in po prenovi. Pri tem programu nas je presenetila enostavnost in možnost hitrega priučenja. Včasih so bile vizualizacije domena predvsem kadra, ki se je s tem ukvarjal profesionalno. Sedaj je računalniška tehnologija napredovala do te mere, da je možno izvesti vizualizacije na spodobnem nivoju tudi brez predhodnega znanja.

Zaključimo lahko s tem, da na področju gradbeništva in energetike prihajajo nove tehnologije, ki bodo spremenile metode dela in koncept projektiranja, s pomočjo katerih se bomo spopadali z izzivi sedanjega časa in prihodnosti. LiDAR in BIM tehnologija sta že dovolj zreli za širšo uporabo na področju energijske učinkovitosti stavb, vendar pogrešamo večjo implementacijo teh tehnologij v slovenskem okolju. Predvsem na področju programske opreme, kjer smo tehnološko ostali pri excel programih, medtem ko v severni Ameriki in severni Evropi že obstajajo programi, ki vse to že omogočajo.

VIRI

- [1] In focus: Energy efficiency in buildings. 2020.
https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_en
(Pridobljeno 7. 4. 2023.)
- [2] What is BIM? 2023
<https://bimtech.eu/bim/>
(Pridobljeno 24. 8. 2023.)
- [3] Starc, A. 2020, Vodenje in uporaba tehnologij BIM na primeru energetskega objekta, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 3 str.
- [4] Starc, A. 2020, Vodenje in uporaba tehnologij BIM na primeru energetskega objekta, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 8 str.
- [5] Level of development (LOD). 2023.
<https://www.hitechcaddservices.com/bim/support/level-of-development-lod/>
(Pridobljeno 15. 4. 2023.)
- [6] BIM for facility management. 2023.
<https://www.advenser.com/bim-facility-management/>
(Pridobljeno 15. 4. 2023.)
- [7] Why use BIM for Facility Management? 2022.
<https://www.linkedin.com/pulse/why-use-bim-facility-management-bim-pact-designs-pvt-ltd/>
(Pridobljeno 23. 4. 2023.)
- [8] What is LiDAR? 2023.
<https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>
(Pridobljeno 3. 5. 2023.)
- [9] LiDAR: A game changer for energy efficiency rating calculations. 2023
<https://www.linkedin.com/pulse/lidar-game-changer-energy-efficiency-rating-david-moss>
(Pridobljeno 25. 8. 2023.)
- [10] Gregor Luetzenburg, Aart Kroon, Anders A. Bjork. 2021. Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an application in Geosciences
- [11] Glasilo inženirske zbornice Slovenije, letnik 25, št. 102/julij 2022: 6 str.
- [12] Energetska izkaznica stavbe št. 2015-162-166-22283. Izdana 7.6.2015.
- [13] Pts – Laser scan plain data format. 2014
<http://paulbourke.net/dataformats/pts/>
(Pridobljeno 16. 4. 2023.)

- [14] Mitja Lenassi, predsednik MSS, Osnovno o filtraciji zraka
- [15] Doc. dr. Matej B. Kobav. Nov standard ob dnevi svetlobi – Revolucija ali evolucija za načrtovanje: str. 6
- [16] Prof. dr. Sašo Medved, izr. Prof. dr. Ciril Rakar, asist. Mag. Suzana Domjan, asist. Tej Žižak, 2023. Navodila za delo – dokazovanje energijske učinkovitosti stavb za področje gradbene fizike
- [17] Autodesk Revit 2024 energy settings. 2023.
<https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/ENU/?guid=GUID-36B2F66A-E423-4D9C-B266-3ABA57573F4A>
(Pridobljeno 3. 6. 2023.)
- [18] Autodesk Revit 2024 advanced energy settings. 2023.
<https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/ENU/?guid=GUID-24528ACB-E82C-410F-BEB7-24BDBA6D0769>
(Pridobljeno 3. 6. 2023.)
- [19] gbXML. 2023.
<https://www.gbxml.org/>
(Pridobljeno 15. 9. 2023.)
- [20] Shema bgXML. 2023.
https://en.wikipedia.org/wiki/Green_Building_XML
(Pridobljeno 16. 9. 2023.)
- [21] Predstavitev tehnične smernice TSG-1-004:2022. 2023.
<https://www.pasivnagradnja.com/predstavitev-tehnicne-smernice-tsg-1-0042022/>
(Pridobljeno 29. 7. 2023.)
- [22] What is embodied carbon. 2023.
<https://www.igbc.ie/what-is-embodied-carbon/>
(Pridobljeno 20. 9. 2023.)
- [23] What is embodied carbon. 2023.
<https://www.rpsgroup.com/services/environment/sustainability-and-climate-resilience/what-is-embodied-carbon/>
(Pridobljeno 21. 9. 2023.)
- [24] Sodobni sistemi za prezračevanje stavb. 2013.
<https://energetskaizkaznica.si/nasveti/sodobni-sistemi-za-mehansko-prezracevanje-stavb/>
(Pridobljeno 15. 6. 2023.)

- [25] Evropska direktiva o energiji iz obnovljivih virov (RED II/III/IV). 2021.
<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/sl/sheet/70/energija-iz-obnovljivih-virov>
(Pridobljeno 27. 6. 2023.)
- [26] Sveženj »Pripravljeni na 55«. 2021.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX:52021DC0550>
(Pridobljeno 27. 6. 2023.)
- [27] Načrt REPowerEU. 2022.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX:52022DC0230>
(Pridobljeno 27. 6. 2023.)
- [28] Razsmernik in optimizator moči sončne elektrarne. 2023
<https://www.rtvsllo.si/oglasno-sporocilo/dobra-soncna-elektrarna-je-odvisna-predvsem-od-kakovostnih-komponent/673322>
(Pridobljeno 3. 7. 2023.)
- [29] Kaj je sončna elektrarna? 2023.
<http://www.pioter.eu/soncne-elektrarne/kaj-je-soncna-elektrarna/>
- [30] What is Autodesk Insight? 2023
<https://www.autodesk.com/products/insight/overview#what-is-insight>
(Pridobljeno 16. 6. 2023.)
- [31] Why real-time vizualization is essential for BIM and arhitectural design. 2022.
<https://blog.enscape3d.com/real-time-visualization-bim>
(Pridobljeno 29. 8. 2023.)