

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Lovšin, J., 2016. Pretvorba modela BIM v energijski model stavbe (BEM). Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Cerovšek, T.): 82 str.

Datum arhiviranja: 06-02-2017

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Lovšin, J., 2016. Pretvorba modela BIM v energijski model stavbe (BEM). Master Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Cerovšek, T.): 82 pp.

Archiving Date: 06-02-2017

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE STOPNJE
STAVBARSTVO**

Kandidat:

JURE LOVŠIN

**PRETVORBA MODELA BIM V ENERGIJSKI MODEL
STAVBE (BEM)**

Magistrsko delo št.: 9/II.ST

**TRANSFORMATION OF BIM MODEL TO BUILDING
ENERGY MODEL (BEM)**

Graduation – Master Thesis No.: 9/II.ST

Mentor:

doc. dr. Tomo Cerovšek

Ljubljana, 24. 10. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

IZJAVE

Spodaj podpisani študent Jure Lovšin, vpisna številka 26420038, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Pretvorba modela BIM v energijski model stavbe (BEM)

IZJAVLJAM

1. Obkrožite eno od variant a) ali b)

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: _____

Datum: _____

Podpis študenta/-ke:

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK: 699.86:004(043.3)
Avtor: Jure Lovšin
Mentor: doc. dr. Tomo Cerovšek
Naslov: Pretvorba modela BIM v energijski model stavbe (BEM)
Tip dokumenta: magistrsko delo – B.
Obseg in oprema: 82 str., 31 pregl., 52 sl., 7 graf., 1 pril.
Ključne besede: BIM, BEM, energijsko modeliranje stavb, ArchiCAD, Ecodesigner STAR, energija, simulacija

Izvleček

V Sloveniji se energijske analize stavb pretežno izvajajo s pomočjo orodij, ki niso povezljiva s programi za modeliranje stavb. To pomeni, da je treba za isto stavbo izdelati različne modele.

Ponavljajoče se vnašanje istih podatkov v različno programsko opremo pomeni daljši čas, potreben za izvedbo, večje stroške, in večjo verjetnost za napake že pri vhodnih podatkih. Informacijsko modeliranje stavb (BIM) uspešno izpodriva načrtovanje v dvodimenzionalnih risarskih programih in hkrati omogoča povezljivost različnih simulacijskih orodij.

Za energijske analize smo v magistrski nalogi zbrali program ArchiCAD z dodatkom Ecodesigner STAR, ki omogoča neposredno pretvorbo informacijskega modela v energijski model stavbe znotraj istega programa. V Sloveniji razvita programska oprema za energijske analize za izračun uporablja kvazi-stacionarno metodo. Program ArchiCAD za izračun uporablja bolj natančno urno metodo, vendar izvaja izračune v skladu s standardi, ki niso veljavni v Sloveniji.

Na preprostih primerih smo preučili delovanje in uporabo programa, pri čemer smo podali nekaj smernic za modeliranje. Raziskali smo tudi možnosti uporabe geometrijskih in ne-geometrijskih podatkov, ki jih generira program ArchiCAD za izvajanje energijskih simulacij v programskih orodjih, ki upoštevajo predpise, veljavne v Sloveniji.

Pretvorbo informacijskega modela stavbe v energijski model smo prikazali na primeru stanovanjskega bloka, na katerem smo po korakih aplicirali ukrepe za izboljšanje energijske učinkovitosti. Prepoznali smo prednosti in opozorili na pomanjkljivosti programa. Ugotovili smo, da je program primeren predvsem za izvajanje hitrih energijskih simulacij v času načrtovanja in za pomoč pri odločanju o smiselnosti ukrepov za izboljšanje energijske učinkovitosti.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAPHIC–DOKUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 699.86:004(043.3)
Author: Jure Lovšin
Supervisor: assist. prof. Tomo Cerovšek, Ph. D.
Title: Transformation of BIM model to Building Energy Model (BEM)
Document type: M. Sc. Thesis - B
Scope and tools: 82 p., 31 tab., 52 fig., 7 graph., 1 ann.
Keyword: BIM, BEM, building energy modelling, ArchiCAD, Ecodesigner STAR, energy, simulation

Abstract

Building energy analyses in Slovenia are usually performed by tools that do not offer interoperability with building information modelling and other modelling software. This means that several geometrical models need to be re-created for the same building.

A repetitive input of geometrical and non-geometrical data into different software packages is a time consuming, costly, and error prone process. Building information modelling (BIM) is replacing traditional two-dimensional drafting and BIM offers interoperability with different simulation tools.

In this thesis we explore the energy analysis through the use of ArchiCAD with its plugin Ecodesigner STAR. This program offers seamless transformation from building information model to building energy model within the same software. Building energy analysis software, developed in Slovenia uses a quasi-stationary calculation method. ArchiCAD uses a more precise hourly method, but does not consider standards valid in Slovenia.

We used simplified cases to test the software and to develop modelling guidelines. We also studied the possibility of using geometric and non-geometric data generated by ArchiCAD in third party software, that considers calculation methods valid in Slovenia.

The transformation from building information model to building energy model is shown in the case of a block of flats. Step-by-step measures were taken to achieve better energy efficiency of the building. During the process strengths and weaknesses of the software were identified. We concluded that the software is most suitable for quick energy analyses in the design stage and as a decision support tool about reasonability of measures taken to improve building energy efficiency.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Tomu Cerovšku za nasvete in usmeritve pri pisanju magistrske naloge.

Zahvaljujem se doc. dr. Mitji Koširju za pomoč in odgovore na vsa moja vprašanja.

Zahvaljujem se podjetju Pilon AEC, da so mi omogočili uporabo programske opreme.

Največja zahvala gre Tonetu, Gregorju in Sari, ki so me podpirali in mi vedno stali ob strani.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

Stran za popravke, errata.....	I
Izjave.....	III
Bibliografsko–dokumentacijska stran z izvlečkom.....	V
Bibliographic–dokumentalistic information and abstract	VII
Zahvala.....	IX
Kazalo vsebine	XI
Kazalo slik.....	XIII
Kazalo preglednic.....	XV
Kazalo grafikonov	XVII
Okrajšave.....	XIX
Razlaga pojmov.....	XXI
1 UVOD	1
1.1 Opis problema in cilji naloge.....	2
1.2 Metoda dela in struktura naloge.....	3
1.3 Pregled literature in programske opreme.....	3
1.4 Terminologija s področja energijskega modeliranja	6
2 MODELIRANJE IN SIMULACIJA	10
2.1 Informacijsko modeliranje stavb (BIM).....	11
2.2 Energijsko modeliranje stavb (BEM)	12
2.3 Metode energijskega modeliranja stavb (stacionarna, kvazi-stacionarna in dinamična).....	13
2.4 Stopnja podrobnosti.....	14
2.5 Tradicionalni in napredni postopek izdelave energijskega modela stavbe.....	17
2.5.1 Primerjava podatkovnega modela programov KI Energija 2014 in ArchiCAD Ecodesigner STAR.....	19
2.5.2 Pridobivanje relevantnih informacij iz modela stavbe.....	22
3 ANALIZA PROGRAMA GRAPHISOFT ARCHICAD	23
3.1 Energy Evaluation in EcoDesigner STAR.....	23
3.1.1 Termalni bloki.....	24
3.1.2 Konstrukcije.....	24
3.1.3 Toplotni mostovi	25
3.1.4 Odprtine	30
3.1.5 Klimatski podatki	34
3.1.6 Okoljski podatki.....	37
3.1.7 Urniki obratovanja.....	39
3.1.8 Tehnični sistemi.....	40
3.1.9 Faktorji pretvorbe	40
3.1.10 Cene energentov	40
3.2 Osnovne smernice za modeliranje BIM namenjeno pretvorbi v BEM	42
3.3 Pretvorba enostavnega BIM v energijski model stavbe in primerjava rezultatov s programom KI Energija.....	43
3.4 Način upoštevanja notranjih virov in energije za pripravo tople vode v programu ArchiCAD	48
3.5 Izvoz podatkov v programe tretjih strank	51
3.5.1 Pregled možnosti izvoza podatkov.....	51
3.5.2 Izvoz podatkov v obliki gbXML	53
4 PRETVORBA INFORMACIJSKEGA MODELA STANOVANJSKEGA BLOKA V ENERGIJSKI MODEL (BEM)	57
4.1 Cone in termalni bloki	57
4.2 Konstrukcije.....	60

4.3	Toplotni mostovi.....	62
4.4	Odprtine	64
4.5	Klimatski podatki	64
4.6	Okoljski podatki	67
4.7	Urniki obratovanja.....	67
4.8	Tehnični sistemi.....	68
4.9	Energijska simulacija in primerjalna analiza	69
4.10	Ugotovitve in primerjava stroškov ogrevanja z realnim stanjem.....	74
5	RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI.....	76
	VIRI.....	78
	Priloga A: Načrti stanovanjskega bloka	A1

KAZALO SLIK

Slika 1: Tradicionalno in napredno energijsko modeliranje stavb	3
Slika 2: Najpogosteje uporabljene sheme certificiranja v Evropski uniji in Sloveniji	7
Slika 3: Energijski razredi [43]	8
Slika 4: Energijska bilanca stavbe (vir slike: [44])	9
Slika 5: Odnos med sistemom in modeliranjem ter simulacijo (vir slike: [46]).....	10
Slika 6: Vrste modelov (vir slike: [46])	10
Slika 7: Odnos med analizo, modelom in simulacijo	11
Slika 8: Načini razumevanja energijskega modela stavbe pri različnih metodah oz. programski opremi	12
Slika 9: Grafična ponazoritev stopenj podrobnosti (vir slike: [54]).....	16
Slika 10: Primerjava tradicionalnega in naprednega pristopa k energijskemu modeliranju stavb	17
Slika 11: Shematski prikaz deljenja stavbe na kondicionirane in nekondicionirane cone pri izdelavi BEM	18
Slika 12: Definiranje konstrukcijskih sklopov	19
Slika 13: Podatkovni model programa ArchiCAD EcoDesigner STAR.....	20
Slika 14: Podatkovni model programa KI Energija 2014	21
Slika 15: Okno za definiranje toplotnih con.....	24
Slika 16: Zavihek konstrukcije.....	25
Slika 17: Tipi toplotnih mostov (konstrukcijski, geometrijski in kombinirani)	25
Slika 18: Rezultat simulacije toplotnega mostu	26
Slika 19: Obravnavani konstrukciji.....	27
Slika 20: Parametri za izračun psi-vrednosti [44]	27
Slika 21: Rezultati iz programov ArchiCAD in THERM	29
Slika 22: Zavihek odprtine	30
Slika 23: Analiza osončenosti	31
Slika 24: Prikaz dinamičnega senčenja z listavci	31
Slika 25: Tipi senčil	32
Slika 26: Klimatski podatki.....	35
Slika 27: Okno za vnos okoljskih podatkov	37
Slika 28: Zaščita pred vetrom.....	38
Slika 29: Nastavitve horizontalnega senčenja	39
Slika 30: Urniki obratovanja	39
Slika 31: Cene energentov.....	41
Slika 32: Primer detajliranja (levi primer zadostuje)	42
Slika 33: Različne možnosti upoštevanja geometrije po standardu SIST EN ISO 13789 [67]. (Vir slike: [68]).....	43
Slika 34: Dimenzije enostavnega modela stavbe	44
Slika 35: Princip vnosa razdelanih notranjih virov v ArchiCAD.....	49
Slika 36: Primer korekcije količine tople vode za 6 uporabnikov, kjer upoštevamo porabo tople vode 50 litrov na osebo na dan	50
Slika 37: Možnosti izvoza	51
Slika 38: Model za preverjanje pravilnosti identifikacije konstrukcijskih sklopov	53
Slika 39: Različna definicija severa v programu ArchiCAD in shemi gbXML	55
Slika 40: Model obravnavane stavbe	57
Slika 41: Način modeliranja adiabatnih sten.....	58
Slika 42: Nepokrita področja.....	58

Slika 43: Upoštevanje neogrevanih prostorov v simulaciji (levo – samo ogrevani, sredina – ogrevani in klet, desno – ogrevani in vsi neogrevani)	59
Slika 44: Razdelitev con (prostorov) v termalne bloke	59
Slika 45: Prikaz elementov modela v dodatku Energy Evaluation.....	60
Slika 46: Identifikacija toplotnih mostov	62
Slika 47: Prikaz postopka prilagoditve urnih klimatskih podatkov glede na zeleno mesečno povprečje	65
Slika 48: Zaščitenost pred vetrom in horizontalno senčenje stavbe	67
Slika 49: Urnik obratovanja za bivalni toplotni blok.....	68
Slika 50: Izbira tehničnih sistemov in pripadajočih termalnih blokov	69
Slika 51: Rešitev toplotnega mostu za konzolni balkon.....	71
Slika 52: Novi parametri prezračevanja	73

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Priložnosti pristopa BEM na osnovi BIM glede na tip projekta	5
Preglednica 2: Stopnje podrobnosti (LOD).....	15
Preglednica 4: Primerjava pridobivanja relevantnih informacij iz modela BIM za izdelavo BEM.....	22
Preglednica 5: Glavne razlike med Energy Evaluation in EcoDesigner STAR.....	23
Preglednica 6: Primerjava rezultatov pridobljenih po različnih metodah	28
Preglednica 7: Solarni dobitki po mesecih za različne variante senčenja z drevesom	32
Preglednica 8: Solarni dobitki po mesecih glede na izbrano senčilo	33
Preglednica 9: Koefficienti senčenja po mesecih glede na izbrano senčilo	33
Preglednica 10: Preizkus "pameti" senčil.....	34
Preglednica 11: Primerjava klimatskih podatkov iz EPW datoteke in spletne strani ARSO za lokacijo Letališča Jožeta Pučnika.....	36
Preglednica 12: Vpliv nadmorske višine na toplotne izgube	37
Preglednica 13: Faktorji pretvorbe glede na energent.....	40
Preglednica 14: Primer cen energentov.....	41
Preglednica 15: Lastnosti stavbnega ovoja	44
Preglednica 16: Primerjava izračuna U-faktorja stene	45
Preglednica 17: Primerjava izračuna U-faktorja okna	46
Preglednica 18: Toplotne izgube in dobitki za mesec januar	47
Preglednica 19: Primerjava izračuna med programi ArchiCAD in KI Energija 2014	47
Preglednica 20: Možnost izvoza podatkov z izbranimi tipi izvoza	52
Preglednica 21: Poimenovanje znotraj programa ArchiCAD in v shemi gbXML.....	54
Preglednica 22: Lastnosti netransparentnega dela stavbnega ovoja obstoječe stavbe.....	61
Preglednica 23: Seznam toplotnih mostov na obstoječi stavbi	63
Preglednica 24: Lastnosti obstoječega stavbnega pohištva	64
Preglednica 25: Klimatski podatki za Ribnico (mesečna povprečja).....	65
Preglednica 26: Značilnosti lokacije	67
Preglednica 27: Izboljšane lastnosti stavbnega pohištva.....	70
Preglednica 28: Toplotni mostovi na stavbi z izboljšanimi detajli.....	71
Preglednica 29: Dobitki in izgube za optimizirano varianto	74
Preglednica 30: Učinkovitost ukrepov za povečanje energijske učinkovitosti stavbe	74
Preglednica 31: Primerjava stroškov ogrevanja	75

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Solarni dobitki za različne variante senčenja z drevesom	32
Grafikon 2: Grafični prikaz primerjave izračuna med programi ArchiCAD in KI Energija 2014.....	48
Grafikon 3: Primerjava zunanje temperature	65
Grafikon 4: Primerjava relativne vlažnosti	66
Grafikon 5: Primerjava sončnega sevanja.....	66
Grafikon 6: Vpliv senčil na solarne dobitke.....	72
Grafikon 7: Vpliv intenzivnosti prezračevanja na notranjo temperaturo zraka za izbrano stanovanje .	73

»Ta stran je namenoma prazna.«

OKRAJŠAVE

2D	-	Dvodimenzionalen
3D	-	Tridimenzionalen
ACH	-	Urna izmenjava zraka (angl. <i>Air Change per Hour</i>)
AEC	-	Arhitektura, inženirstvo in konstrukcije (angl. <i>Architecture, Engineering and Construction</i>)
ANSI	-	Ameriški inštitut za standardizacijo (angl. <i>American National Standards Institute</i>)
ARSO	-	Agencija Republike Slovenije za Okolje
ASHRAE	-	Ameriško združenje inženirjev za ogrevanje, hlajenje in klimatizacijo (angl. <i>American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>)
BEM	-	Energijski model stavbe (angl. <i>Building Energy Model</i>)
BIM	-	Informacijski model stavbe – IMS (angl. <i>Building Information Model</i>)
BREEAM	-	Building Research Establishment Environmental Assessment Meshod
CAD	-	Računalniško podprto načrtovanje (angl. <i>Computer Aided Design</i>)
DBT	-	Temperatura suhega termometra (angl. <i>Dry Bulb Temperature</i>)
DGNB	-	Nemški svet za trajnostne stavbe (nem. <i>Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen</i>)
DIN	-	Nemški inštitut za standardizacijo (nem. <i>Deutsches Institut für Normung</i>)
DOE	-	Ministrstvo za energijo (angl. <i>Department of Energy</i>)
EN	-	Evropski standard (angl. <i>European Norm</i>)
EPW	-	Format zapisa podnebnih podatkov za program EnergyPlus (angl. <i>EnergyPlus Weather</i>)
EU	-	Evropska unija
gbXML	-	Green Building Extensible Markup Language
GSA	-	Uprava za splošne storitve (angl. <i>General Services Administration</i>)
GSR	-	Globalno sončno sevanje (angl. <i>Global Solar Radiation</i>)
HQE	-	Standard za visoko kvaliteto okolja (fr. <i>Haute Qualité Environnementale</i>)
IFC	-	Temeljni industrijski razred (angl. <i>Industry Foundation Class</i>)
iSBEM	-	Poenostavljeni Energijski model stavbe (angl. <i>Simplified Building Energy Model</i>)
ISO	-	Mednarodna organizacija za standardizacijo (angl. <i>International Organization for Standardization</i>)
IWEC	-	Mednarodni vremnski podatki za energetske izračune (angl. <i>Internation Weather for Energy Calculations – IWEC</i>)
KS	-	Konstrukcijski sklop
LCC	-	Stroški celotnega življenjskega cikla (angl. <i>Life-cycle cost</i>)
LEED	-	Usmeritve za energetske in okoljsko načrtovanje (angl. <i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>)
NIST	-	Nacionalni inštitut za standarde in tehnologijo (angl. <i>National Institute of Standards and Technology</i>)
OHKP	-	Ogrevanje, hlajenje, klimatizacija in prezračevanje (angl. <i>Heating Ventilation and Air Conditioning – HVAC</i>)
OVE	-	Obnovljivi viri energije
PDF	-	Prenosljivi zapis dokumenta (angl. <i>Portable Document Format</i>)
PHPP	-	Paket za načrtovanje pasivnih hiš (nem. <i>Passivhaus-Projektierungspaket</i>)
PURES	-	Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah
RH	-	Relativna vlažnost (angl. <i>Relative Humidity</i>)
SIST	-	Slovenski inštitut za standardizacijo
TSG	-	Tehnična smernica za graditev
UNI	-	Italijanski zavod za standardizacijo (it. <i>Ente Nazionale Italiano di Unificazione</i>)
WBT	-	Temperatura vlažnega termometra (angl. <i>Wet Bulb Temperature</i>)
XSLX	-	Zapis datoteke programa Microsoft Office Excel
ZDA	-	Združene države Amerike

»Ta stran je namenoma prazna.«

RAZLAGA POJMOV

Adiabatno: Sprememba stanja brez dovoda ali odvoda toplote ali hladu.

Analiza: je ugotavljanje sestavnih delov česa in razčlenjevanje. Analiza je tudi temeljit pregled, presoja oz. ocena.

Cona: V programu ArchiCAD cona (angl. *Zone*) predstavlja volumen prostora. V energijski simulaciji je cona osnova za izračun in ji pripišemo pogoje uporabe in parametre notranjega okolja.

Element modela: je del informacijskega modela stavbe, ki predstavlja nosilni ali nenosilni del stavbe, sestav ali sistem v okviru stavbe ali lokacije gradbenega projekta.

Faktor celotnega sončnega sevanja (g): je lastnost zasteklitve, ki definira odstotek prehoda celotnega sončnega sevanja skozi zasteklitev v primerjavi z na zunanji strani prejetim sevanjem.

Geometrijske informacije: so podatki o geometriji elementa modela (oblika, dimenzije, lokacija, orientacija).

Model: je ponazoritev načrtovanega ali obstoječega sistema ali procesa.

Ne-geometrijske informacije: so lahko geometrijsko odvisne (lastnosti materialov elementov modela) ali geometrijsko neodvisne (podnebje, lokacija, urniki uporabe).

Simulacija: posnemanje delovanja resničnega sistema ali procesa v izbranem časovnem obdobju.

Termalni blok: V vtičniku Energy Evaluation je termalni blok (angl. *Thermal Block*) skupek več con, ki imajo enake parametre notranjega okolja.

Toplotna prehodnost: Celotna toplotna prehodnost, ki upošteva prehod toplote skozi element ovoja stavbe in vključuje prevajanje, konvekcijo in sevanje.

Toplotna prevodnost: Snovna lastnost materiala, določena pri srednji delovni temperaturi in vlažnosti materiala.

Toplotni most: mesto povečanega prehoda toplote v konstrukciji ali napravi zaradi spremembe materiala, debeline ali geometrije konstrukcije.

Transmisivnost zasteklitve (LT): je lastnost zasteklitve, ki definira odstotek prehoda vidnega sončnega sevanja skozi zasteklitev v primerjavi z na zunanji strani prejetim vidnim sevanjem.

Urniki uporabe: je način uporabe prostora ali stavbe, ki ga lahko definiramo na nivoju ure, dneva, tedna, meseca ali leta. Od urnikov uporabe so odvisne potrebe po ogrevanju in hlajenju ter notranji dobitki zaradi uporabnikov in opreme.

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

Računalniško podprto načrtovanje oz. CAD (angl. *Computer Aided Design*) je zaradi mnogih prednosti skoraj povsem izpodrinilo načrtovanje na papirju. V zadnjih letih pa je večina vodilnih arhitekturnih, inženirskih in izvajalskih podjetij (angl. *Architecture, Engineering and Construction - AEC*) že opustila CAD in ga nadomestila z naprednejšo tehnologijo informacijskega modeliranja stavb oz. BIM (angl. *Building Information Modelling*) [1].

Vlada Združenega kraljestva je leta 2011 pričela z aktivnostmi, ki so pripeljale do obvezne uporabe BIM v procesu graditve objektov s ciljem zmanjšanja stroškov gradnje pri javnih naročilih in vpeljave napredne digitalne rešitve tudi v sektor gradnje [2]. Poleg Združenega kraljestva se zanimanje kaže tudi v drugih evropskih državah, predvsem na Finskem, Danskem, Švedskem, Nizozemskem, v Franciji in Nemčiji. Spodbuda k uporabi ali celo predpisovanju uporabe BIM prihaja tudi z ravni Evropske unije (EU). EU je februarja 2014 objavila direktivo o javnem naročanju [3], ki se v 4. odstavku 22. člena po nekaterih razlagah neposredno sklicuje na uporabo BIM pri javnih naročilih: »Države članice lahko zahtevajo, da se za javna naročila gradenj in projektne natečaje uporabljajo točno določena elektronska orodja, na primer elektronska modelna orodja ali podobna orodja.«. Države članice so morale najpozneje do 18. aprila 2016 uveljaviti zakone in predpise, potrebne za uskladitev z omenjeno direktivo. Zakon o javnem naročanju [4], ki je začel veljati 1. aprila 2016, se neposredno ne sklicuje na uporabo BIM orodij, zato ta še vedno niso obvezna.

V zadnjih treh desetletjih so proizvajalci programske opreme preplavili trg z mnogimi programskimi orodji BIM, teh naj bi bilo preko 150 [5]. Izbira je torej ogromna in od vsakega posameznika je odvisno, za katero orodje se bo odločil. Odgovora na vprašanje: »Katero orodje BIM naj uporabljam?« ni, saj ima vsako orodje svoje prednosti in slabosti [5]. Na spletni strani ArchDaily [6] poročajo, da je vodilno orodje BIM Revit, medtem ko so Vectorworks Architect in ArchiCAD prepoznali kot vzpenjajočo konkurenco. Glede na ponudbo slovenskih podjetij AEC [7], Arhinova [8] in Pilon AEC [9], ki tržijo orodja BIM, so v Sloveniji najbolj pogosto uporabljeni programi ArchiCAD, Revit, ACAD-BAU in Allplan.

Orodja BIM omogočajo načrtovalcem raziskovanje različnih načrtovalskih pristopov v zgodnjih fazah načrtovanja ter hiter in učinkovit prenos potrebnih informacij v različna simulacijska orodja [10]. Optimizacija načrtovane stavbe lahko poteka na več področjih, med katera sodijo tudi simulacija dnevne svetlobe, naravnega prezračevanja in energijsko modeliranje.

Energijska analiza zahteva dostop do različnih informacij, kot so podatki o elementih stavbe s strani načrtovalca, specifikacije vgrajenih sistemov poda proizvajalec, vremenske podatke pridobimo s strani agencij ter cene energentov, ki jih objavljajo dobavitelji [11].

V zadnjih petdesetih letih je bilo razvitih na stotine programov za energijsko analizo stavb [12]. Od leta 1996 je ameriško Ministrstvo za energijo (angl. *Department of Energy*) na svojih spletnih straneh objavilo seznam 417 [5] orodij, namenjenih energijskim simulacijam stavb [13]. Danes je na novi spletni strani [14] objavljenih 112 orodij za različna področja, povezana z energijskim modeliranjem stavb. Najbolj pogosto uporabljena orodja v industriji in izobraževanju so Ecotect, Energy-10, EnergyPlus, eQuest, IESVE, Green Building Studio in DOE-2 [13]. V Sloveniji so bili za analizo rabe energije v stavbah razviti programi ArchiMAID, KI Energija 2014, URSA Gradbena fizika in TOST. Ti programi se večinoma uporabljajo za izdelavo elaboratov gradbene fizike in izdelavo energetskih izkaznic stavb.

Mnogi projektanti imajo težave z interpretacijo rezultatov, ki jih programi za celostno energijsko analizo stavb vrnejo. Rezultati v obliki preglednic in grafov večinoma ne nudijo razlage, kako in kateri elementi

stavbe vplivajo na energijski izkaz stavbe [13]. Brez te povratne informacije je odpravljanje pomanjkljivosti arhitekturne zasnove oteženo in zahteva veliko vložene časa. Azhar in sod. [15] ugotavljajo, da je največ odločitev glede trajnosti stavbe sprejetih v fazi načrtovanja.

Torej, v idealnem primeru bi energijsko modeliranje potekalo hkrati s samim arhitekturnim načrtovanjem. Realno stanje dobro povzameta Reinhart in Davila [16], ki opisujeta tipičen potek energijskega modeliranja stavbe. Izdelovalec energijskega modela stavbe prejme podatke o geometriji, strukturi in urnikih uporabe za koncept, izdelan projekt ali obstoječo stavbo.

Podatki, ki so na voljo, so odvisni od faze načrtovanja, zato mora izdelovalec modela uganiti določene vhodne podatke. Nato večinoma ročno vnaša podatke v namensko programsko orodje za izračun rabe energije. Pridobivanje podatkov, potrebnih za izvedbo energijske analize iz različnih virov ter vnašanje informacij v programsko orodje, je dolgotrajen proces, ki povečuje stroške in podaljšuje čas izvedbe tovrstnih analiz [11]. Podobno je s programsko opremo, ki je v uporabi v Sloveniji, saj nobeden od programov, ki upoštevajo lokalne pravilnike, ne omogoča uvoza relevantnih informacij iz informacijskega modela stavbe.

1.1 Opis problema in cilji naloge

Izhodiščni problem naloge je slaba povezljivost med programi za izdelavo geometrije stavbe in programi za energijske simulacije. Programi za modeliranje geometrije stavb večinoma niso sposobni neposredne komunikacije z različnimi programi za energijsko modeliranje stavb oz. BEM (angl. *Building Energy Modelling*) in zato zahtevajo dodatno delo uporabnika. Pomanjkanje interoperabilnosti se kaže v:

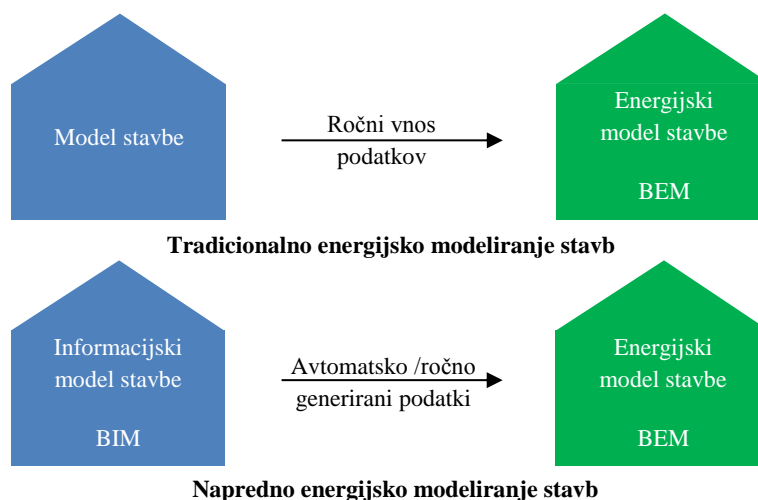
- izgubah denarja in časa zaradi ponavljajočega se vnosa podatkov, napak pri vnosu,
- poenostavitvah, ki se jim ne moremo izogniti, in
- splošni neučinkovitosti takšnih metod.

S podobnim problemom so se srečevale tudi druge industrije (avtomobilska, letalska), ki so v primerjavi z AEC industrijo bolj uspešno integrirale računalniško načrtovanje in proizvodnjo.

V AEC industriji v splošnem uporabljamo več različnih programov, pri čemer vsak nudi drugo funkcionalnost. Tako na primer izdelamo arhitekturni model stavbe v BIM programu, ga statično preverimo v drugem, popis količin izdelamo v tretjem.

Podobno je z izvedbo analiz, kjer preverimo učinkovitost načrtovalskih ukrepov za boljšo energijsko učinkovitost. Pogosto se preverja tudi osončenost, dnevno svetlobo, akustiko, požarno varnost in energijsko učinkovitost. Seveda vsak parameter preverimo v posebnem orodju, ki zahteva ponoven vnos podatkov o stavbi, kljub temu da gre vedno za isto geometrijo stavbe.

Načrtovalsko orodje BIM ArchiCAD z dodatkom Ecodesigner STAR omogoča avtomatično transformacijo iz BIM v BEM. V magistrski nalogi smo zato želeli oceniti primernost uporabe programa ArchiCAD za analizo energijske učinkovitosti stavb. Slika 1 konceptualno primerja tradicionalno in napredno energijsko modeliranje stavb, kot ga omogoča ArchiCAD.



Slika 1: Tradicionalno in napredno energijsko modeliranje stavb

1.2 Metoda dela in struktura naloge

V magistrski nalogi smo najprej preučili literaturo na temo splošnega energijskega modeliranja in energijskega modeliranja na osnovi programov BIM. Med izdelavo naloge smo zgradili terminologijo, potrebno za učinkovito komunikacijo v postopku izdelave energijskega modela znotraj orodij BIM.

Preučili smo postopek izdelave energijskega modela znotraj programa BIM ArchiCAD in dodatka Ecodesigner STAR. Na enostavnem modelu smo preverili, kako različni vhodni podatki in nastavitve simulacije vplivajo na rezultate.

Rezultate dinamične simulacije smo primerjali z rezultati metode kvazi-stacionarnega stanja in metode stacionarnega stanja. V programu ArchiCAD smo zgradili informacijski model stanovanjskega bloka in ga nadgradili v energijski model. Na informacijskem in energijskem modelu smo iterativno aplicirali različne načrtovalske ukrepe in s pomočjo simulacij preverjali, kakšen vpliv imajo na izboljšanje energijske učinkovitosti. Preverili smo tudi možnosti izvoza geometrijskih in ne-geometrijskih podatkov tako izdelanega energijskega modela v programe tretjih strank.

1.3 Pregled literature in programske opreme

Azhar in Brown [17] sta primerjala zmožnosti, prednosti in slabosti treh najbolj popularnih programov za izvajanje energijskih analiz stavb. Med programi Ecotect, Green Building Studio in IES VE sta ugotovila, da se za najboljšega izkaže IES VE.

Crawley in sod. [12] so primerjali dvajset različnih orodij za energijsko modeliranje stavb. Primerjali so jih na nivoju modeliranja, vplivov, stavbnega ovoja, dnevne svetlobe, infiltracije, prezračevanja, zračnega toka preko več nadstropij, sistemov za pridobivanje energije iz obnovljivih virov, električnih sistemov, sistemov ogrevanja, hlajenja, prezračevanja in klimatizacije (OHKP), OHKP opreme, okoljskih emisij, ekonomskih vidikov, dostopnosti klimatskih podatkov, rezultatov, validacije, uporabniškega vmesnika, interoperabilnosti in dostopnosti. Izdelali so preglednice, s pomočjo katerih lahko uporabnik hitro ugotovi, katero orodje najbolj pokriva njegove zahteve.

Reeves, Olbina in Issa [18] so primerjali dvanajst orodij BEM na nivoju interoperabilnosti, uporabnosti, možnih vhodnih podatkov in možnih izhodnih podatkov. Izmed teh so izbrali tri (Ecotect, Green

Building Studio in IES VE), ki so se izkazali za najboljše, in jih ponovno primerjali med seboj, le da so tokrat opazovali še hitrost in natančnost simulacij. Glede na merila se je najbolje izkazal IES VE.

Jarić, Budimir, Pejanović in Svetel [19] so primerjali programska orodja glede na uporabo v BIM okoljih in podali mnenje glede njihove uporabe. Primerjali so devet različnih orodij na nivoju simulacije, časa izračuna, možnosti opisa geometrije, sistemov za rabo obnovljivih virov energije (OVE), električnih sistemov in opreme ter OHKP sistemov. Kot najbolj dovršen se je izkazal TRNSYS, med programi, ki so sposobni komunicirati z orodji BIM (EcoDesigner, Green Building Studio in Ecotect), se je izkazal Ecotect, ki uporabniku ponudi največji nabor simulacij.

Reeves, Olbina in Issa so v drugi študiji [20] preverili tri orodja BEM (Ecotect, Green Building Studio in IES VE). Ugotovili so, da nobeden od treh programov ni zmožen natančne napovedi dejanske rabe energije v obravnavanih stavbah. Za najbolj natančnega med tremi programi se je izkazal Ecotect. Razloge za nizko natančnost pripisujejo nezmožnosti vnosa realnih podatkov glede zasedenosti stavbe ter rabe električne energije za razsvetljavo in opremo.

Ryan in Sanquist [21] ugotavljata, da uporaba analitičnih in idealiziranih pristopov k upoštevanju vpliva uporabnikov na rabo energije v stavbi ni dovolj natančna. Zato predlagata uporabo stohastičnih modelov obnašanja uporabnikov, saj imajo uporabniki pomemben vpliv na rabo energije v stavbi.

O'Donnel in sod. [22] so razvili pol-avtomatiziran proces izdelave BEM iz arhitekturnega modela BIM. Geometrijo so v formatu temeljnega industrijskega razreda (angl. *Industry Foundation Class – IFC*) izvozili iz programa ArchiCAD, jo obdelali v več orodjih ter jo z namenom izvedbe energijske simulacije uvozili v EnergyPlus. Prednosti njihovega procesa so zmanjšanje časa in stroškov z razvojem BEM, hitra presoja različnih načrtovalskih pristopov, izboljšana natančnost BEM in optimizacija stavbe že v fazi načrtovanja.

Jeong, Kim, Clayton, Haberl in Yan [23] so razvili metodo BIM2BEM, ki omogoča povezavo med orodjem BIM in orodjem za energijske simulacije. Geometrijo so obdelali po standardu Model View Definition, kjer so materialom predpisali fizikalne lastnosti. Tako so dosegli bolj gladko povezavo med BIM in BEM z uporabo formata IFC ali gbXML.

Izbira orodja za izvajanje energijskih simulacij je torej odvisna od posameznika in njegovih potreb. Na izbiro orodja BEM vpliva tudi faza življenjskega cikla objekta, ki jo obravnavamo [18]. V fazi koncipiranja zadostujejo enostavni modeli, ki nudijo hitre rezultate. V fazi načrtovanja in gradnje pa so zahtevani bolj podrobni modeli, ki omogočajo bolj poglobljeno analizo.

V magistrskem delu se bomo ukvarjali z BEM modeli, osnovanimi na modelu BIM (angl. *BIM-Based BEM*) in izdelanimi s programom ArchiCAD z dodatkom Ecodesigner STAR. Izdelava BEM na osnovi BIM zahteva relativno dodelan model. Omejitev takega pristopa je lahko tudi, da je do faze, ko je model pripravljen na transformacijo v BEM, sprejetih mnogo načrtovalskih odločitev, ki pomembno vplivajo na celotno rabo energije v stavbi in imajo manj maneverskega prostora pri izboljšavah [24].

Uprava za splošne storitve (angl. *General Services Administration – GSA*) [25] primerja tradicionalno energijsko modeliranje z modeliranjem BEM na osnovi BIM. Pri tradicionalnem pristopu uporabnik izdelava ločen model za simulacijo, pri čemer izvira iz načrtov stavbe. To lahko vodi k napačni interpretaciji načrtov, neskladju, poenostavitvam modela in izgubam časa. Nasprotno BEM na osnovi BIM omogoča avtomatizacijo procesa in izdelavo skladnih in bolj kompleksnih modelov. Ta način omogoča, da je energijski model stavbe bolj učinkovito integriran v načrtovanje, gradnjo in obratovanje stavbe, saj ni potrebe po ponovnem modeliranju za namene energijskih analiz [18]. GSA [25] podaja

tudi nekaj priložnosti, ki jih BEM na osnovi BIM ponuja za izboljšanje energijske učinkovitosti (Preglednica 1).

Preglednica 1: Priložnosti pristopa BEM na osnovi BIM glede na tip projekta

Tip projekta	Izzivi	Cilj	Merilo uspeha
Novogradnje in velike preнове	Dosledna in natančna analiza in napoved učinkovitosti skozi celoten življenjski cikel.	Dosledne in natančne napovedi rabe energije, ki se kažejo v energijsko učinkovitem načrtovanju na podlagi LCC.	LCC in predvidena raba energije v skladu z zadanimi cilji; natančni in dosledni energijski modeli.
Prenove in modernizacije	Dosledni in natančni modeli izvedenega stanja; umerjanje energijskih modelov.	Dosledne in natančne napovedi rabe energije, ki se kažejo v stroškovno najbolj optimalnih rešitvah prenove.	LCC in predvidena raba energije v skladu z zadanimi cilji; natančni in dosledni energijski modeli.
Obratovanje stavb	Nenehno vrednotenje učinkovitosti stavbe z uporabo meritev v realnem času.	Razvoj povratne zanke, ki vrednosti učinkovitost stavbe v realnem času.	Optimizirana energijska učinkovitost v skladu s cilji; natančni in dosledni energijski modeli.

DOE-2 [26] je brezplačni program, s katerim lahko predvidimo urno rabo energije in stroške energije v stavbi. Podlaga za izračun so urni klimatski podatki, podatki o geometriji stavbe, OHKP sistemih in namembnosti oz. urnikih uporabe. Program je ime dobil po Ministrstvu za energijo Združenih držav (angl. *U. S. Department of Energy – DOE*), ki ga je razvilo. Za verzijo programa DOE-2.1E je bilo razvitih preko dvajset komercialnih vmesnikov, ki omogočajo lažjo uporabo programa. DOE-2.1E se že dvajset let uporablja za študije načrtovalskih ukrepov ter razvoj in testiranje energijskih standardov.

EnergyPlus [27] je modularna, strukturirana koda, osnovana na najpopularnejših funkcijah programov BLAST in DOE-2.1E. Vhodni in izhodni podatki so v obliki tekstovnih datotek. Privzeti časovni korak za izračun toplotnih obremenitev znaša 15 minut. Modul, namenjen obravnavi tehničnih sistemov stavbe, izračuna odziv sistemov ogrevanja in hlajenja ter električnih sistemov, kar omogoča natančen izračun notranje temperature. Program je primeren za načrtovanje tehničnih sistemov in izračun bivalnega udobja. Integriran pristop omogoča tudi realistično napovedovanje za vodenje sistemov, izračun adsorpcije in resorpcije vlage v konstrukcijah, načrtovanje sevalnih hladilnih in ogrevalnih sistemov ter izračun toka zraka med termalnimi conami. Simulacijski pogon EnergyPlus je podlaga za mnoge uporabniške vmesnike, kot so DesignBuilder, OpenStudio in Sefaira.

Program IES-VE [28] omogoča načrtovalcem vrednotenje in optimizacijo stavbe in njenih sistemov na nivoju rabe energije in bivalnega udobja. Simulacija je izvedena po časovnih korakih, ki so manjši od ene ure. Program je sestavljen iz različnih modulov, ki poleg energijskih simulacij omogočajo še analize osončenja, dnevne svetlobe, naravnega prezračevanja, razsvetljave, itd. Modul ModelIT omogoča izdelavo, uvoz in spremembe 3D geometrije. IES-VE je možno tudi povezati z BIM programi in programom SketchUp

TRNSYS [29] je program, namenjen simuliranju tranzientnih sistemov. TRNSYS ima modularno strukturo na osnovi komponent. Komponente gredo od preprostih sistemov, kot so črpalke ali ventilatorji, do zahtevnih sistemov, kot so stavbe z več conami. Posamezne komponente se obdeluje preko vmesnik TRNSYS Simulation Studio, vhodne podatke pa se vnaša preko posebnega vmesnika TRNBuild. Simulacijski pogon nato reši sisteme algebraičnih in diferencialnih enačb, ki predstavljajo skupen energijski sistem.

Ecotect [30] je v zgornjih raziskavah pogosto omenjen. Razvoj programa so z letom 2015 ustavili, saj želi proizvajalec Autodesk njegovo funkcionalnost integrirati znotraj orodja BIM Revit. Ecotect je bilo simulacijsko orodje, ki je omogočalo 3D modeliranje in izvedbo termalnih, energijskih in akustičnih simulacij ter analizo osončenosti, razsvetljave in stroškov. Poleg izpisov v obliki grafov in preglednic je omogočal izris rezultatov na površinah stavbe ali znotraj prostorov.

Autodesk Green Building Studio [31] je oblachna storitev, namenjena simulacijam, s katerimi je možno preveriti in optimizirati energijsko učinkovitost stavb. Kot osnovo za izračun uporablja simulacijski pogon DOE-2.2 in prav tako izvaja izračune po urni metodi. V osnovi obstajajo trije pristopi k energijskim simulacijam s pomočjo Green Building Studio. Vsak pristop ima različno razmerje med hitrostjo in natančnostjo simulacije: (1) pristop konceptualnih volumnov omogoča hitre začetne simulacije, (2) modeliranje prostorov oz. con v programu Revit in uvoz preko formata gbXML in (3) modeliranje elementov modela, ki imajo predpisane materialne značilnosti in simulacija znotraj programa Revit. Podobno kot je pogon VIP-Energy osnova za energijske simulacije programa ArchiCAD, je Green Building Studio osnova za simulacije znotraj programa BIM Revit.

VIP-Energy [32] je namenjen preverjanju energijske učinkovitosti stavbe. Izračun je izveden po urni metodi za vse leto. Vhodni podatki zajemajo klimatske podatke, tehnične sisteme in podatke o geometriji ter materialih. Rezultate program vrne v numerični ali grafični obliki. VIP-Energy je osnova za energijske izračune v programu ArchiCAD oz. dodatku Ecodesigner STAR. Natančnejša analiza slednjega je v točki 3.

1.4 Terminologija s področja energijskega modeliranja

Certificiranje stavb pomeni ocenjevanje stavbe po določeni lestvici, kjer se opazuje eden ali več kazalnikov. Za certificiranje se uporabljajo različno kompleksna programska orodja, ki so pogosto hkrati tudi orodja BEM.

Glavni namen je zainteresirani javnosti prikazati kakovost stavbe glede na opazovane kriterije. Pogoste kategorije za določitev razreda kakovosti stavbe so raba energije, kakovost notranjega okolja, ravnanje z vodo in odpadki ter uporabljeni materiali [15]. Certificiranje stavb se ločuje na prostovoljno in obvezno certificiranje. V Evropski uniji so najpogosteje uporabljene sheme prostovoljnega certificiranja BREEAM, DGNB, HQE, LEED, Minergie in PassivHaus [33].

V Sloveniji od leta 2015 obvezno certificiranje predstavlja energetska izkaznica, najpogostejši predstavnik prostovoljnega certificiranja pa je PassivHaus. V nadaljevanju so opisane najpogosteje uporabljene sheme, s poudarkom na energetski izkaznici in PassivHaus.



Slika 2: Najpogosteje uporabljene sheme certificiranja v Evropski uniji in Sloveniji

Metodologijo BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) je objavila organizacija BRE iz Združenega kraljestva leta 1990. BREEAM ocenjuje preskrbo, načrtovanje, gradnjo in delovanje zgradb. V 72 državah sveta je izdanih več kot 500 tisoč certifikatov in registriranih več kot 2 milijona stavb [34].

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) je razvil ameriški svet za trajnostno gradnjo (U. S. Green Building Council) leta 1994. Omogoča neodvisno certificiranje stavb ali sosečin, pri čemer se osredotoča na načrtovanje, gradnjo, delovanje in vzdrževanje. LEED deluje globalno v več kot 150 državah sveta in obsega skupno več kot milijardo kvadratnih metrov grajenega okolja [35].

DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) je nemška neprofitna in nevladna organizacija, namenjena razvoju in promociji trajnostne gradnje. Namesto na posamezne kategorije, se osredotoča na stavbe ali sosečine kot celote. Temelji na več kot 40 različnih kriterijih, med katere sodijo toplotno udobje, načrtovanje in zvočna izolacija. DGNB certificiranje je dejavno v 20 državah sveta, med drugim tudi v Sloveniji, kjer je 30 registriranih strokovnjakov, svetovalcev in nadzornikov [36].

Pasivna hiša (nem. Passivhaus) je standard za prostovoljno certificiranje energijske učinkovitosti stavb. Standard sta v Nemčiji v zgodnjih 1990ih letih zasnovala Bo Adamson in Wolfgang Feist. Standard je od leta 1996 pod okriljem Inštituta za pasivne hiše (nem. Passivhaus-Institut) iz nemškega Darmstadta. Funkcionalna definicija pasivne hiše pravi, da gre za stavbo, v kateri zagotavljamo toplotno ugodje le s pomočjo predhodnega ogrevanja oz. hlajenja svežih zračnih mas. To v praksi pomeni, da za ogrevanje ne potrebujemo klasičnih (aktivnih) ogrevalnih sistemov.

Pasivna hiša v zadnjih letih pridobiva popularnost. Po svetu obstaja več kot 50.000 stavb, zgrajenih po načelih pasivne hiše, pri čemer jih je več kot 5.500 certificiranih s strani Inštituta za pasivne hiše [37]. Pasivna hiša je zelo popularna tudi v Sloveniji, saj gre za precej razširjeno metodo gradnje nizko energijskih stavb. V obliki nepovratnih sredstev ali kreditov gradnjo v pasivnem standardu podpira tudi Eko sklad. V Sloveniji je trenutno zgrajenih več kot 400 pasivnih hiš [38].

Standard pasivne hiše, v primerjavi s PURES, postavlja visoke zahteve za uporabljene komponente [39]:

- toplotna prehodnost (U) vseh gradbenih elementov mora biti nižja od $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- izvedba brez toplotnih mostov ($\psi \leq 0,01 \text{ W/mK}$)
- visoka zrakotesnost, pri čemer je maksimalno dovoljenih 0,6 izmenjave zraka na uro, pri tlačni razliki 50 Pa,

- maksimalna toplotna prehodnost zasteklitve U_w mora biti nižja od $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ pri čim višjem prehodu celotnega sončnega sevanja ($g \geq 0,50$),
- maksimalna toplotna prehodnost okenskih okvirjev U_f mora biti nižja od $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- poraba električne energije za pogon prezračevalne naprave mora biti nižja od $0,4 \text{ Wh/m}^3$ prečrpanega zraka.

Splošni kriteriji za doseganje standarda pasivne hiše so [39]:

- letna potrebna toplota za ogrevanje $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$,
- skupna letna poraba primarne energije $\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$,
- letna poraba električne energije $\leq 18 \text{ kWh/m}^2\text{a}$,
- toplotne izgube $\leq 10 \text{ W/m}^2$,
- zrakotesnost $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$.

Energetska izkaznica je v Sloveniji od leta 2015 obvezna v primeru prodaje ali oddaje stavbe oz. stanovanja v najem, za nove stavbe in za vse javne stavbe s površino, večjo od 250 m^2 [40]. Energijski zakon [41] definira energetska izkaznico stavbe kot javno listino s podatki o energijski učinkovitosti stavbe s priporočili za povečanje energijske učinkovitosti. Edini kriterij za certificiranje je torej raba energije oz. energijski kazalniki:

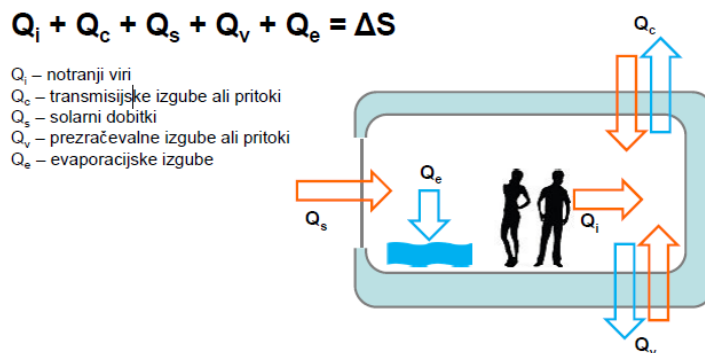
- letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe Q_{NH}/A_k ($\text{kWh/m}^2\text{a}$),
- letna dovedena energija za delovanje stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe Q/A_k ($\text{kWh/m}^2\text{a}$),
- letna primarna energija za delovanje stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe Q_p/A_k ($\text{kWh/m}^2\text{a}$) in
- letne emisije CO_2 zaradi delovanja stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe ($\text{kg/m}^2\text{a}$).

Energetska izkaznica stavbe razvršča po lestvici od razreda A1 do razreda G, glede na enoto kondicionirane površine stavbe (glej sliko 3). Po podatkih Ministrstva za infrastrukturo [42] je bilo do septembra 2015 izdanih 22.173 energetskih izkaznic.



Slika 3: Energijski razredi [43]

V nadaljevanju bomo veliko govorili o energijski bilanci med dobitki in izgubami, zato v tej točki razjasnimo osnovne pojme. Če je energijska bilanca enaka nič, je stavba v energijskem ravnovesju. Če je bilanca večja od nič, se temperatura v stavbi viša, v obratni situaciji pa niža. Govorili bomo o transmisijskih in prezračevalnih izgubah ter notranjih in solarnih dobitkih. Evaporacijske izgube bomo zanemarili.



Slika 4: Energijska bilanca stavbe (vir slike: [44])

Potrebe po energiji za ogrevanje in hlajenje izhajajo iz izgub in dobitkov toplote iz notranjega oz. zunanjega okolja. Poleg transmisije pomemben delež predstavlja tudi izmenjava zunanjega zraka. Ta se v osnovi deli na prezračevanje in infiltracijo. Slednjo se v slovenski programski opremi za izračun gradbene fizike ter posledično pri izdelavi energetskih izkaznic pogosto zanemarija [45].

Transmisijske toplotne izgube so toplotne izgube zaradi prehoda toplote skozi ovoj stavbe. Odvisne so od temperaturne razlike med notranjim in zunanjim prostorom, lastnosti stavbnega ovoja in površine stavbe.

Prezračevalne toplotne izgube so toplotne izgube zaradi izmenjave odtočnega zraka iz prostorov z zunanjim zrakom. Odvisne so od lastnosti zraka, prostornine ogrevanega prostora in temperaturne razlike med zunanjim in notranjim prostorom.

Infiltracija ali uhajanje zraka je nehoteno vdiranje zunanjega zraka v stavbo. Infiltracija večinoma poteka preko razpok v ovoju stavbe ter zaradi odpiranja vrat. Infiltracijo povzročajo veter, razlika v zunanjem in notranjem tlaku in vzgon.

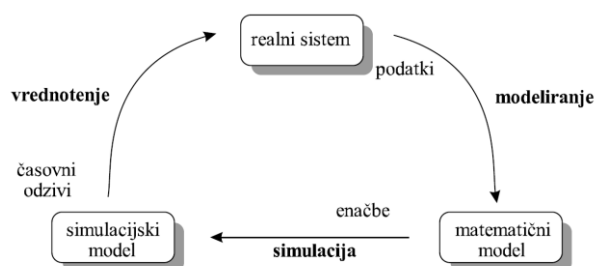
Notranji viri predstavljajo notranje toplotne vire zaradi ljudi, procesov, materialnih tokov in razsvetljave v stavbi.

Solarni dobitki predstavljajo toploto, ki vstopa v prostor zaradi sončnega obsevanja.

2 MODELIRANJE IN SIMULACIJA

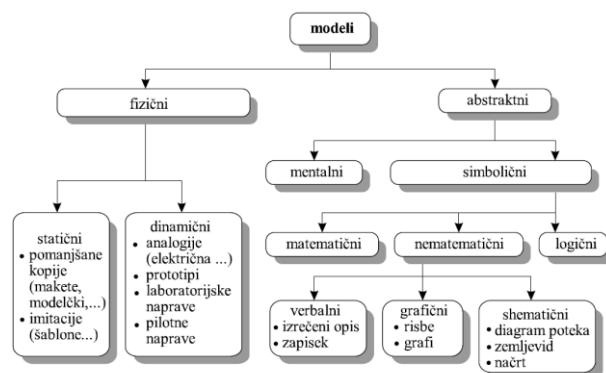
Modeliranje in simulacija sta dva neločljiva postopka, ki vsebujeta kompleksne aktivnosti v zvezi s konstrukcijo modelov in eksperimentiranje z modeli v smislu pridobivanja podatkov o obnašanju modeliranega procesa [46].

S pomočjo modeliranja in simulacije lahko preučujemo tako obstoječe sisteme kot tudi tiste, ki še ne obstajajo. Glavni cilji so torej izboljšanje poznavanja in razumevanja mehanizmov delovanja sistema, napoved obnašanja sistema v različnih situacijah, ocena parametrov procesa, preizkus občutljivosti sistemskih parametrov, optimizacija sistema, odkrivanje napak in omogočanje raziskave primerov, ki bi bili v realnem svetu težko izvedljivi.



Slika 5: Odnos med sistemom in modeliranjem ter simulacijo (vir slike: [46])

V osnovi modele razdelimo na fizične in abstraktne (Slika 6). Medtem ko se v inženirstvu fizični modeli uporabljajo vse manj, pa je področje abstraktnih, predvsem matematičnih modelov, v konstantnem razvoju.



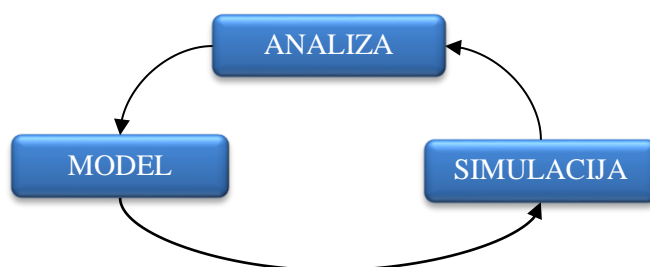
Slika 6: Vrste modelov (vir slike: [46])

Pred razvojem računalniških programov so za vizualizacijo in napovedovanje učinkovitosti načrtovalskih ukrepov v stavbah večinoma uporabljali fizične modele oz. makete (npr. maketa za študijo osvetljenosti) ter različne simbolične modele.

Na začetku, ko je bila računska moč manjša, so bile poenostavitve realnega stanja večje. Z njeno rastjo se matematični modeli vedno bolj približujejo resničnosti, vendar so ti še vedno poenostavljeni, bodisi zaradi računskih časov bodisi zaradi nezmožnosti ali nesmiselnosti predvidevanja vseh relevantnih vhodnih podatkov. Danes, ko so računalniki in algoritmi programskih orodij vse bolj učinkoviti, pa si lahko privoščimo izdelavo bolj naprednih matematičnih modelov, ki pogosto nudijo tudi grafični vmesnik za lažjo predstavo.

Danes večina modeliranja in simulacij poteka s pomočjo računalniških orodij. Zavedati se moramo, da računalnik upravlja človek, ki ima nenadomestljive izkušnje in intuicijo ter sprejema odločitve in presoja rezultate, ki jih simulacija podaja.

Zato ima človek odločilno vlogo pri določanju vrednosti in uporabnosti modela in simulacije v praktične namene. Za izdelavo modela in simulacije je odločilnega pomena analiza sistema ali procesa, ki ga obravnavamo. Brez analize je model obravnavanega sistema ali procesa lahko neustrezen, rezultati simulacije pa brez interpretacije kljub množici podatkov niso uporabni (Slika 7).



Slika 7: Odnos med analizo, modelom in simulacijo

2.1 Informacijsko modeliranje stavb (BIM)

Splošni konsenz, kaj označuje BIM (angl. *Building Information Model*), ne obstaja. Tudi v slovenskem jeziku se večinoma uporablja kratica BIM, ki se prevaja kot informacijsko modeliranje stavb (IMS). BIM lahko definiramo kot model informacij stavbe, ki vsebuje celovite in zadostne informacije za podporo vseh procesov življenjskega cikla stavbe, ki so razumljive računalniškimi programi. Vsebuje informacije o stavbi kot celoti, kot tudi o njenih komponentah ter informacije o lastnostih, kot so funkcija, oblika, material in potek življenjskega cikla stavbe [47].

Enostavno lahko primerjamo klasično risanje v 2D CAD programu in modeliranje v orodju BIM. 2D CAD pomeni nekakšno digitalizirano risalno površino, kjer operiramo s črtami, ki jih oblikujemo v različne elemente in simbole, kot so npr. stene, plošče, stavbno pohištvo, oprema, kote, šrafure itd. V primerjavi s papirjem nam je bistveno olajšano premikanje, kopiranje in brisanje narisanih elementov. Pri BIM pa namesto zlaganja črt modeliramo kar elemente, kot so stene, plošče, okna itd. Vsak od teh elementov vsebuje tudi različne lastnosti, kot so sestava stene, lastnosti materialov, lokacija, orientacija, cena in podobno. Problem pri risbah je velika redundanca informacij, saj se posamezna lastnost opisuje na več risbah hkrati. To lahko hitro privede do nekonsistentnosti informacij, še posebej pri spremembah, saj moramo vsako risbo popravljati ročno. V nasprotju naj bi imel BIM vsako lastnost opisano le enkrat. V idealnem primeru bi torej imeli neredundanten model.

Pametna uporaba BIM se kaže v bolj celovitem procesu načrtovanja in gradnje, kar posledično prinaša bolj kakovostne zgradbe ob nižjih stroških in z bolj natančnimi roki izvedbe. Današnja praksa načrtovanja stavb je še vedno precej razdrobljena in je v veliki meri odvisna od komunikacije po papirju.

Glavne prednosti, ki jih AEC industriji nudi BIM [48]:

1. S pomočjo BIM so vsi podatki o stavbi vsebovani znotraj enega modela in jih lahko delimo ter do njih dostopamo skozi celotni življenjski cikel objekta. Dodatno BIM omogoča zgodnjo presojo različnih pristopov k načrtovanju.

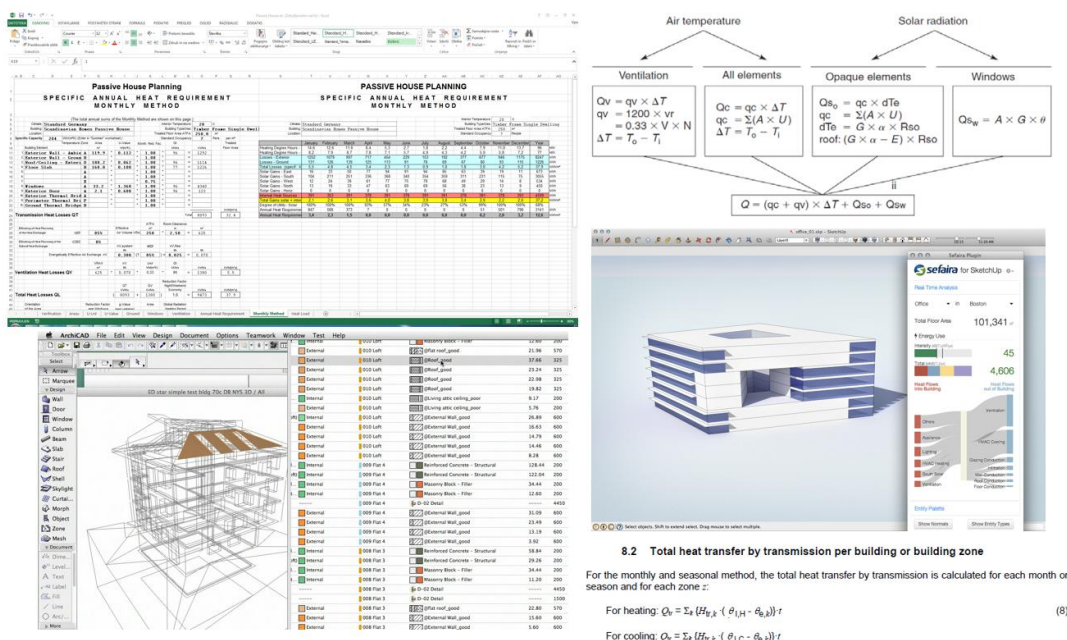
2. BIM omogoča 3D simulacije, ki jih uporabimo za preverjanje kolizij, prikaz okoljskih spremenljivk, popisov materiala itd. BIM tako omogoča večjo natančnost projekta, saj je stavba pred fizično gradnjo zgrajena virtualno.
3. BIM omogoča uporabnikom spremembe komponent na enem mestu, brez potrebe po spreminjanju iste komponente v drugih pogledih, prerezih ali tlorisih. Tako dobimo velike prihranke časa in sredstev.

Kljub mnogim prednostim pa ima BIM tudi nekaj omejitev, ki se jih moramo zavedati [48]:

1. Stroški nakupa, vzdrževanja in nadgradnje programske opreme BIM so višji od programov CAD. Poleg tega ima BIM tudi višje zahteve po strojni opremi, kar predstavlja dodaten strošek. Dodaten strošek predstavlja usposabljanje, ki je za uporabo BIM potrebno, saj gre za drugačen način dela kot s programi CAD.
2. Prehod iz risanja na modeliranje s pomočjo BIM zahteva dobro usposobljenega posameznika.
3. Eden večjih problemov je pomanjkljiva interoperabilnost. Izmenjava podatkov in izdelava dokumentacije pogosto ne poteka brez dodatno vloženega dela. Težave se kažejo tako med povezovanjem različnih orodij kot tudi med različnimi verzijami istega orodja.

2.2 Energijsko modeliranje stavb (BEM)

Energijski model je matematični model rabe energije v stavbi, ki jo opisuje množica enačb. Zaradi abstraktnosti takšnega modela so proizvajalci programske opreme izdelali grafične vmesnike. Namenski programi zato BEM prikazujejo različno. Lahko gre za preprosta okna, v katera vnašamo potrebne podatke in dobimo rezultate v obliki preglednic in grafov. Lahko pa gre za 3D modele, na katerih spremljamo geometrijo in lastnosti materialov ter rezultate dobimo v bolj kompleksnih oblikah. Zavedati se moramo, da estetika in vizualna dodelanost programa ne pomenita nujno tudi boljših algoritmov in natančnejših izračunov.



Slika 8: Načini razumevanja energijskega modela stavbe pri različnih metodah oz. programski opremi

S pomočjo energijskih modelov opazujemo rabo energije v stavbah. Pri ugotavljanju rabe energije v stavbi se moramo posvetiti vsem parametrom, ki na to vplivajo. Modeli BEM uporabljajo klimatske podatke v povezavi z naslednjimi vplivi [49]:

- sistemi za ogrevanje, hlajenje, klimatizacijo in prezračevanje (OHKP),
- dobitki sončnega sevanja,
- število uporabnikov in njihova aktivnost,
- senčila,
- razsvetljava.

Glede na vplive program izračuna letno potrebo po energiji. Na podlagi rezultatov lahko preverjamo različne načrtovalske ukrepe za izboljšanje energijske učinkovitosti in dimenzioniramo učinkovite sisteme OHKP.

Prednosti uporabe BEM pri AEC projektih [48]:

1. Orodje BEM je pomembno, saj povezuje proces načrtovanja in energijske analize. S tem je načrtovalcem omogočen pregled nad pomembnostjo ukrepov, ki vplivajo na rabo energije v stavbi. S pomočjo simulacij lahko predvidimo stroške, potrebne za doseganje določene stopnje učinkovitosti, kar je še posebej pomembno za LEED in podobno certificiranje.
2. Preko študije lokacije, orientacije stavbe in volumnov nam BEM podaja pomembne vhodne podatke že tekom faze načrtovanja. Poleg tega lahko tudi ovrednotimo prihranke v fazi obratovanja.
3. S pomočjo BEM lahko bolje razumemo rabo energije v posameznih delih stavbe. Opazujemo lahko vsak del posebej in ugotavljamo njegovo energijsko učinkovitost.

Poleg omenjenih prednosti se pojavljata tudi dve pomembni omejitvi uporabe BEM [48]:

1. Glavna pomanjkljivost je odsotnost uporabniškega vmesnika v nekaterih orodjih. Za rešitev tega problema proizvajalci razvijajo različne grafične uporabniške vmesnike. Kljub temu so nekateri vmesniki uporabniku precej neprijazni.
2. Drugo pomanjkljivost predstavlja omejen uvoz geometrije iz orodij CAD ali BIM v orodja BEM. V splošnem interoperabilnost med orodji za načrtovanje in orodji za energijske simulacije predstavlja veliko oviro.

2.3 Metode energijskega modeliranja stavb (stacionarna, kvazi-stacionarna in dinamična)

Glede na zahtevnost in zeleno natančnost izračuna rabe energije v stavbi poznamo različne metode modeliranja. Hunn [50] definira modele stacionarnega stanja, kvazi-stacionarne modele in dinamične modele.

Modeli stacionarnega stanja predpostavljajo, da se energija v obravnavanem časovnem obdobju ne shranjuje. Za izračun uporabimo trenutne ali časovno povprečne temperaturne razlike med kondicioniranim prostorom in zunanjim okoljem. Modeli stacionarnega stanja so veljavni le v primeru, ko lahko vse spremenljivke predpostavimo kot konstantne (npr. notranja temperatura). Ti modeli se uporabljajo za ocene sezonske rabe energije v stavbah, pri katerih lahko zanemarimo dinamiko OHKP in ostalih sistemov.

Preko korelacije z merjenimi podatki letne rabe energije lahko določimo koeficiente, s katerimi lahko metodo uporabimo tudi za izračun letne rabe energije. Na primer pri metodi s temperaturnim

primanjkljajem uporabimo koeficiente izgub, ki so bili izračunani preko odvisnosti rabe energije in zunanje temperature.

Metode kvazi-stacionarnega stanja poskušajo upoštevati dinamično ali tranzientno obnašanje stavbe ob predpostavki, da je v izbranem časovnem obdobju v stavbi in njenih sistemih vzdrževana povprečna temperatura. Kvazi-stacionarni modeli zadovoljivo upoštevajo tranzientne učinke, ki so posledica klimatskih danosti, načina uporabe stavbe, tehničnih sistemov in shranjevanja ali oddajanja energije. Pogosto je izračun izveden za vsako uro v letu.

V Sloveniji je predpisana uporaba mesečne računske metode, kjer se raba energije izračuna na podlagi tipičnega dne v mesecu. S teh modelov lahko ocenimo rabo energije v izbranem časovnem obdobju in izračunamo maksimalne obremenitve v posamezni uri.

Medtem ko modeli stacionarnega stanja obravnavajo tehnične sisteme z enim samim količnikom energijske učinkovitosti (angl. *Coefficient of Performance - COP*), dinamični modeli lahko upoštevajo čas delovanja in variacije v kapacitetah sistema. Popolnoma dinamične metode so osnovane na časovnih korakih manjših od ene ure in predstavljajo konstantno časovno variacijo stavbe in njenih sistemov.

Gasparella in Pernigotto [51] sta primerjala dinamično simulacijo in metodo kvazi-stacionarnega stanja. Za izvedbo natančne dinamične simulacije sta uporabila program TRNSYS in rezultate primerjala z izračuni po standardu EN ISO 13790. Ugotovila sta, da metoda kvazi-stacionarnega stanja v splošnem podaja večje transmisijske izgube in posledično pretirane toplotne izgube.

Zangheri s sod. [52] so v okviru projekta ENTRANZE primerjali dinamično simulacijo, izvedeno s programom EnergyPlus, kvazi-stacionarni mesečni model programa INVERT/EE-Lab in enostavno urno metodo po standardu EN ISO 13790. Ugotovili so, da v splošnem vse tri metode izračunajo enake potrebe po energiji za ogrevanje.

Bolj enostavni metodi vrneta pretirano oceno energije, potrebne za hlajenje, še posebej za mediteransko podnebje. Zaključili so, da poenostavljene metode zadoščajo za oceno potrebne energije za ogrevanje in hlajenje, še posebej, če v obzir vzamemo potreben čas za vnos vseh potrebnih podatkov v orodje za dinamično simulacijo. Ravno zaradi zadnje ugotovitve je energijsko modeliranje na osnovi modela BIM smiselno, saj dosežemo večjo natančnost simulacije ob nižjem skupnem času, potrebnem za izdelavo načrtov stavbe in modela za energijske simulacije.

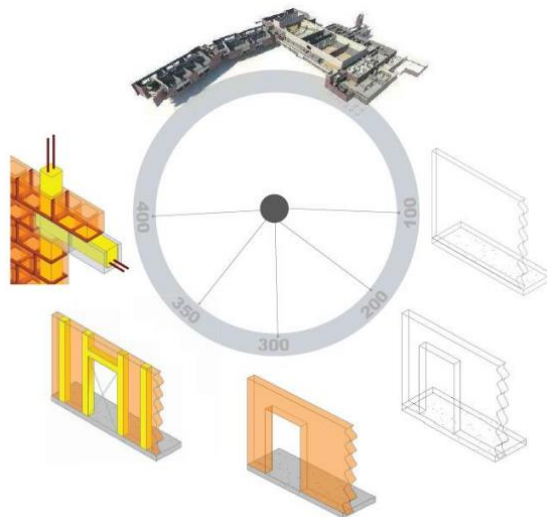
Zavedati se je potrebno, da BEM na osnovi BIM ne dosega natančnosti specialnih programov za izdelavo BEM, vendar na določeni točki v načrtovanju z orodjem BIM dosežemo zadostno stopnjo podrobnosti modela, da je ta primeren za izdelavo natančne simulacije. Stopnja podrobnosti in potrebna stopnja podrobnosti za izdelavo BEM sta opisani v točkah 2.4 in 2.5.

2.4 Stopnja podrobnosti

Stopnja podrobnosti (angl. *Level of Development – LOD*) omogoča udeležencem pri gradnji stavb jasno sporazumevanje glede informacijskih modelov stavb v različnih fazah gradnje in načrtovanja. Uporablja se pet stopenj podrobnosti [53], ki so opisane v preglednici 2.

Preglednica 2: Stopnje podrobnosti (LOD)

Stopnja podrobnosti	Zahteve za vsebino modela	Dovoljena raba	Primer (zunanja stena)
LOD 100	<p>Elementi modela so modelirani kot generalizirani sistemi.</p> <p>Elementi modela imajo okvirno določene količine, dimenzije, oblike, lokacijo in orientacijo.</p> <p>Ne-geometrijske informacije so lahko vezane na elemente in so omejene po vsebini.</p>	<p>Analiza (volumen, površina, orientacija).</p> <p>Določitev stroškov na osnovi trenutne površine volumna ali konceptualnih tehnik.</p> <p>Terminski plan (model lahko vključuje glavne faze izvedbe).</p>	<p>Opis gradiv (razmerje transparentnih in netransparentnih delov) ali model na nivoju volumnov.</p>
LOD 200	<p>Elementi modela so modelirani kot generalizirani sistemi.</p> <p>Elementi modela imajo okvirno določene količine, dimenzije, oblike, lokacijo in orientacijo.</p> <p>Ne-geometrijske informacije so lahko vezane na elemente.</p>	<p>Analiza (shematičen prikaz delovanja konstrukcije in sistemov).</p> <p>Določitev stroškov na osnovi približnih metod doličitev količin elementov in volumnov.</p> <p>Terminski plan (približna določitev tremskega plana).</p>	<p>Generalizirane stene, ločene glede na gradivo.</p> <p>Debelina stene in natančna lokacija nista določeni.</p>
LOD 300	<p>Elementi modela imajo točno določene dimenzije z eksaktno geometrijo.</p> <p>Elementi so točno dimenzionirani v smislu oblike, velikosti, lokacije, količin in orientacije.</p> <p>Ne-geometrijske informacije so lahko vezane na elemente.</p>	<p>Analiza (vse potrebne analize).</p> <p>Določitev stroškov na osnovi točne površine, volumna in količin elementov.</p> <p>Terminski plan (model lahko uporabimo za prikaz urejenega, časovno odvisnega poteka).</p> <p>Številne druge uporabe po potrebi.</p>	<p>Sestav stene je točno določen, skupaj z debelinami posameznih slojev.</p> <p>Specifikacija posameznih materialov je dodana kot ne-grafična informacija.</p> <p>Glavni preboji in odprtine so modelirani na nivoju nominalnih dimenzij.</p>
LOD 400	<p>Točno določeni sestavi in možnost uporabe za proizvodnjo.</p> <p>Elementi modela imajo točno določene količine, dimenzije, oblike, lokacijo in orientacijo.</p> <p>Popolne informacije za proizvodnjo, vgradnjo, vključno z detajli.</p> <p>Ne-geometrijske informacije so lahko vezane na elemente.</p>	<p>Analize (podrobne predstavitve in virtualna gradnja).</p> <p>Določitev stroškov na osnovi trenutne površine, volumna ali konceptualnih tehnik.</p> <p>Terminski plan (tehnologija izvedbe in konkretne tehnike).</p> <p>Druge uporabe.</p>	<p>Točno določen sestav stene, vključno s prekladami in nosilci, z zaključki, armaturo, itd.</p> <p>Vse odprtine so modelirane točno.</p>
LOD 500	<p>Izdelani modelni projekt izvedenih del (PID).</p> <p>Elementi modela so modelirani eksaktno kot so izvedeni.</p> <p>Elementi modela imajo točno določene količine, dimenzije, oblike, lokacijo in orientacijo.</p> <p>Ne-geometrijske informacije so lahko vezane na elemente.</p>	<p>Vzdrževanje, renovacije ...</p>	<p>Stena je modelirana eksaktno, tako kot je izvedena v realnosti.</p>



Slika 9: Grafična ponazoritev stopenj podrobnosti (vir slike: [54])

Stopnjo podrobnosti lahko postavimo tudi v perspektivo energijskih in drugih simulacij, ki vplivajo na rabo energije. V splošnem velja:

- LOD 100 ni primeren za energijske analize. Omogoča okvirno izvedbo študije osončenosti objekta in vetrne analize.
- LOD 200 je primeren predvsem za začetne primerjalne energijske analize. Pomagajo ugotoviti, kako lastnosti stavbnega ovoja, orientacija stavbe in senčenje vplivajo na rabo energije. Programska oprema večinoma omogoča variiranje omenjenih parametrov brez sprememb osnovnega modela BIM.
- LOD 300 je primeren za energijsko simulacijo izbranega dizajna stavbe. Analiza na tem nivoju omogoča potrditev izbranih načrtovalskih ukrepov oz. pokaže možnosti za izboljšanje.
- LOD 400 predstavlja zadnjo fazo pred gradnjo stavbe. Energijska simulacija na nivoju LOD 400 omogoča upoštevanje vseh parametrov, ki vplivajo na rabo energije (npr. toplotnih mostov) in jo lahko uporabimo za izpopolnitev (angl. *fine-tune*) in končno potrditev dizajna pred začetkom gradnje.
- Energijske simulacije na nivoju LOD 500 niso namenjene izboljšanju dizajna, ampak spremljanju dejanske rabe energije in usklajevanju simulacij z realnim stanjem. Takšne simulacije omogočajo bolj natančno napoved rabe energije in pomagajo pri odločitvah glede upravljanja stavbe in morebitnih posegih oz. obnovitvenih delih na konstrukciji ali tehničnih sistemih.

Program ArchiCAD za energijske simulacije zahteva najmanj stopnjo podrobnosti LOD 200, saj v vtičniku Energy Analysis ni možno zagnati simulacije, če model ne vsebuje stavbnega ovoja. Nekoliko bolj fleksibilen je program Revit, ki omogoča izdelavo konceptualnih volumnov za izvedbo energijske simulacije. Kljub temu, takega modela ne moremo razvrstiti v LOD 100, saj moramo volumnom definirati t. i. konceptualne konstrukcijske sklope, razmerje med transparentnim in netransparentnim delom ovoja ter namembnost in lokacijo stavbe.

Za bolj podrobne simulacije s programom ArchiCAD potrebujemo najmanj stopnjo podrobnosti LOD 300. Potrebujemo namreč točno definirane pozicije, orientacijo in dimenzije elementov modela. Za zelo natančno simulacijo z upoštevanjem toplotnih mostov potrebujemo tudi informacije, ki bolj spadajo v LOD 400 (detajli). V praksi lahko takšno simulacijo v programu ArchiCAD izvedemo tudi na nivoju LOD 300, saj je možno detajle natančneje izrisati ročno oz. jih uvoziti kot risbe.

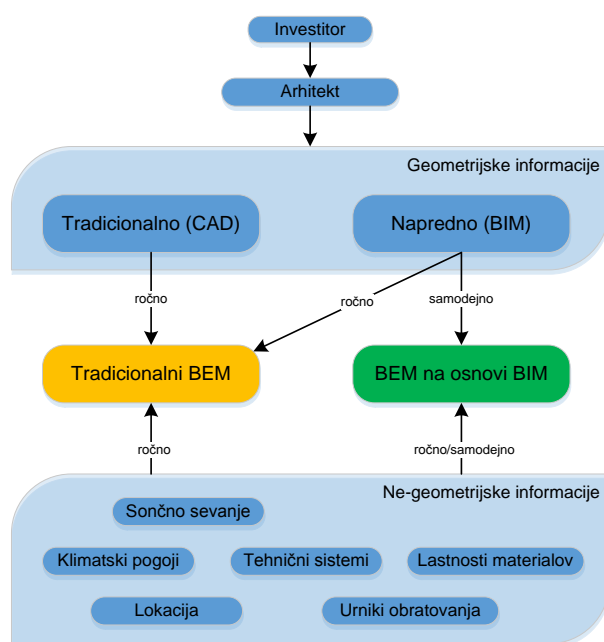
2.5 Tradicionalni in napredni postopek izdelave energijskega modela stavbe

Slika 10 prikazuje razlike med tradicionalnim in naprednim postopkom izdelave energijskega modela stavbe. Klasično se postopek načrtovanja stavb začne pri investitorjih, ki arhitektu podajo projektno nalogo. Arhitekt naredi načrte ali model stavbe, za katero je treba izvesti vrsto analiz. Privzemimo, da danes vsi načrtujejo vsaj z orodji 2D CAD.

Dvodimenzionalni, tridimenzionalni in modeli BIM morajo vsebovati vse potrebne podatke za gradnjo stavbe. V splošnem torej ni razlike med podatki, ki jih lahko pridobimo preko različnih metod načrtovanja. Obstaja pa pomembna razlika v času in vložnem trudu za pridobivanje relevantnih podatkov za izdelavo BEM. Pri načrtovanju v 2D moramo vsak tloris, prerez in pogled fasade izrisati kot posebno, z drugimi prikazi stavbe nepovezано risbo. Pridobivanje geometrijskih podatkov za izdelavo BEM v tem primeru poteka na osnovi merjenja dimenzij, debelin in računa površin konstrukcijskih sklopov ter transparentnih elementov ovoja stavbe. Podobno je pri načrtovanju v 3D, le da je v nekatere programe za izdelavo BEM možno uvoziti izdelano geometrijo.

Energijska analiza se lahko izvaja po tradicionalnem ali naprednem postopku. Tradicionalni postopek praviloma od uporabnika zahteva prepoznavanje relevantnih geometrijskih informacij, ki jih je nato treba ponovno definirati znotraj orodja za izdelavo energijskega modela. Če orodje za izdelavo BEM omogoča uvoz geometrijskih informacij iz orodja BIM (elementi modela), ni nujno, da bo geometrija prepoznana pravilno, lahko pa se tudi izgubijo ne-geometrijske informacije zapisane v elementih modela [22].

Napredni postopek izdelave energijskega modela, ki temelji na orodju BIM (angl. *BIM-Based BEM*), pa omogoča samodejno, neposredno uporabo relevantnih geometrijskih informacij za izdelavo BEM. Elementi modela pogosto vsebujejo podatke o materialnih lastnostih, ki so znotraj BEM samodejno prepoznani. Na tak način je izračun karakteristik toplotnega ovoja stavbe izveden samodejno. Skupna tradicionalnemu in naprednemu postopku energijskega modeliranja stavb je definicija podatkov, ki niso vezani na geometrijo. Sem spadajo lokacija, klimatski pogoji, namembnost in uporaba stavbe ter tehnični sistemi stavbe.



Slika 10: Primerjava tradicionalnega in naprednega pristopa k energijskemu modeliranju stavb

Izdelava tradicionalnega energijskega modela stavbe, na primer s programom KI Energija 2014, poteka po naslednjih točkah:

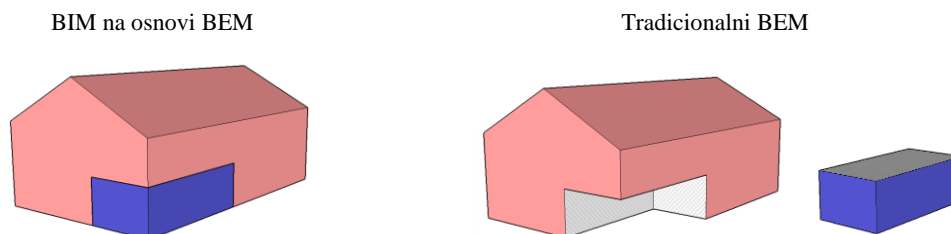
- (1) izdelava geometrije,
- (2) pridobitev relevantnih geometrijskih podatkov iz načrta ali modela,
- (3) definicija lokacije in klimatskih pogojev,
- (4) delitev stavbe v cone in definicija načina uporabe,
- (5) ponovno definiranje geometrije,
- (6) definicija lastnosti transparentnega in netransparentnega ovoja stavbe,
- (7) definicija tehničnih sistemov stavbe in
- (8) izračun.

Napreden postopek izdelave energijskega modela znotraj BIM programskega orodja ArchiCAD z vtičnikom Ecodesigner STAR je sledeč:

- (1) izdelava geometrije,
- (2) razdelitev prostorov stavbe oz. con v različne tipe termalnih blokov (relevantna geometrija je samodejno prepoznana) in definicija načina uporabe,
- (3) definicija lastnosti transparentnega ovoja stavbe,
- (4) definicija lokacije in klimatskih pogojev,
- (5) definicija tehničnih sistemov stavbe in
- (6) izračun.

Pristopa se razlikujeta tudi v načinu definiranja kondicioniranih in nekondicioniranih delov stavbe. Pri tradicionalnem pristopu moramo stavbo ločiti na kondicionirane oz. nekondicionirane cone. To pomeni, da moramo za pravilen izračun vplivanja ene na drugo točno definirati robne pogoje med njima. Na spodnji sliki 11 rdeča barva prikazuje kondicioniran del, modra pa nekondicioniran del stavbe. Če bi bila celotna stavba kondicionirana, bi jo modelirali z eno cono, v kateri bi določili zgoraj naštetе vhodne podatke. Tako moramo stavbo ločiti na dve coni in vsaki posebej določiti lastnosti in površine ovoja, ki pripadajo posamezni coni in določiti njuna stikališča. Večje kot je število različnih con, večja je zahtevnost izdelave pravilnega energijskega modela.

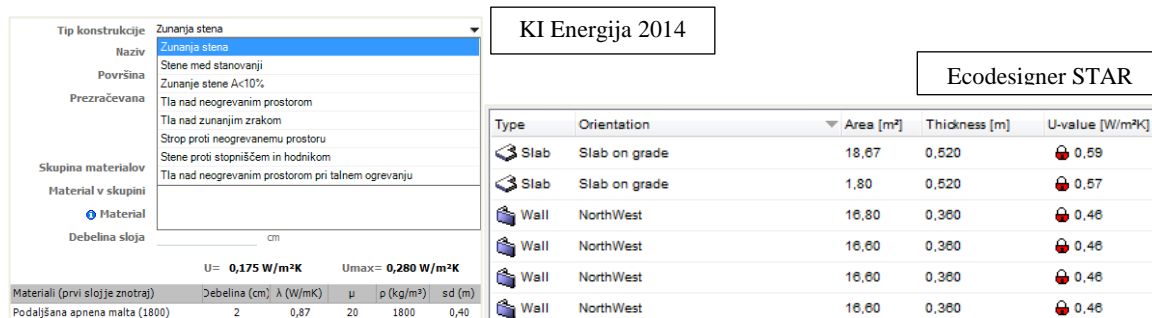
Pri principu BEM na osnovi BIM pa je postopek enak ne glede na to, ali je celotna stavba kondicionirana ali so deli nekondicionirani. V BIM določimo prostorom cone, ki jih potem v postopku izgradnje BEM razporedimo v termalne bloke, ki jim določimo, ali so kondicionirani oz. nekondicionirani. Postopek je torej zelo enostaven in omogoča preprosto primerjanje med različnimi zasnovami stavbi na nivoju kondicioniranja prostorov.



Slika 11: Shematski prikaz deljenja stavbe na kondicionirane in nekondicionirane cone pri izdelavi BEM

Podobno kot pri definiranju con obstajajo razlike tudi pri definiranju konstrukcijskih sklopov (Slika 12) in odprtih. Pri tradicionalnem BEM moramo vsakemu konstrukcijskemu sklopu določiti sestavo,

površino in tip ter za elemente ovoja stavbe tudi orientacijo. Pri BEM na osnovi BIM pa so tej podatki samodejno prepoznani v postopku izdelave BEM, saj jih predhodno definiramo pri izdelavi BIM.



Slika 12: Definiranje konstrukcijskih sklopov

V splošnem je BEM na osnovi BIM hitrejši in učinkovitejši, saj se izognemo podvojenemu definiranju iste geometrije in zmanjšamo možnosti za napake. Pomembno pa je, da se zavedamo razlik med različnimi tipi programov. Kljub temu, da so v osnovi vsi namenjeni doseganju istega cilja, tj. izvedbi energijske simulacije, se v nekaterih točkah razlikujejo.

2.5.1 Primerjava podatkovnega modela programov KI Energija 2014 in ArchiCAD Ecodesigner STAR

Podatkovna modela za tradicionalni in napredni pristop sta prikazana na slikah 13 in 14. Prikazane so glavne razlike v načinu definiranja in zahtevanih vhodnih podatkov za izdelavo energijskega modela stavbe. Sliki prikazujeta, katere podatke mora uporabnik vnesti v program, da lahko izvede energijsko simulacijo. V splošnem ugotovitve veljajo tudi za druge, podobne tipe programov.

Podatkovni model programa ArchiCAD EcoDesigner STAR se deli na dve glavni veji:

- Termalni bloki opisujejo zunanji ovoj in notranje delitve stavbe, način uporabe in zahtevane notranje pogoje ter tehnične sisteme, namenjene doseganju le-teh.
- Okoljski podatki opisujejo makrolokacijo in mikrolokacijo stavbe, skupaj s klimatskimi podatki.

Podatkovni model programa KI Energija 2014 se v osnovi deli na štiri veje:

- Projekt zajema osnovne podatke o stavbi in udeležencih v gradnji ter meteorološke podatke.
- Cone predstavljajo geometrijo kondicioniranega ali nekondicioniranega volumna stavbe, način gradnje, zahtevane pogoje notranjega okolja in načina doseganja le-teh.
- Konstrukcije predstavljajo ves zunanji ovoj in notranje delitve stavbe.
- Sistemi se nanašajo na tehnične sisteme v stavbi, ki so namenjeni doseganju zahtevanih pogojev notranjega okolja.

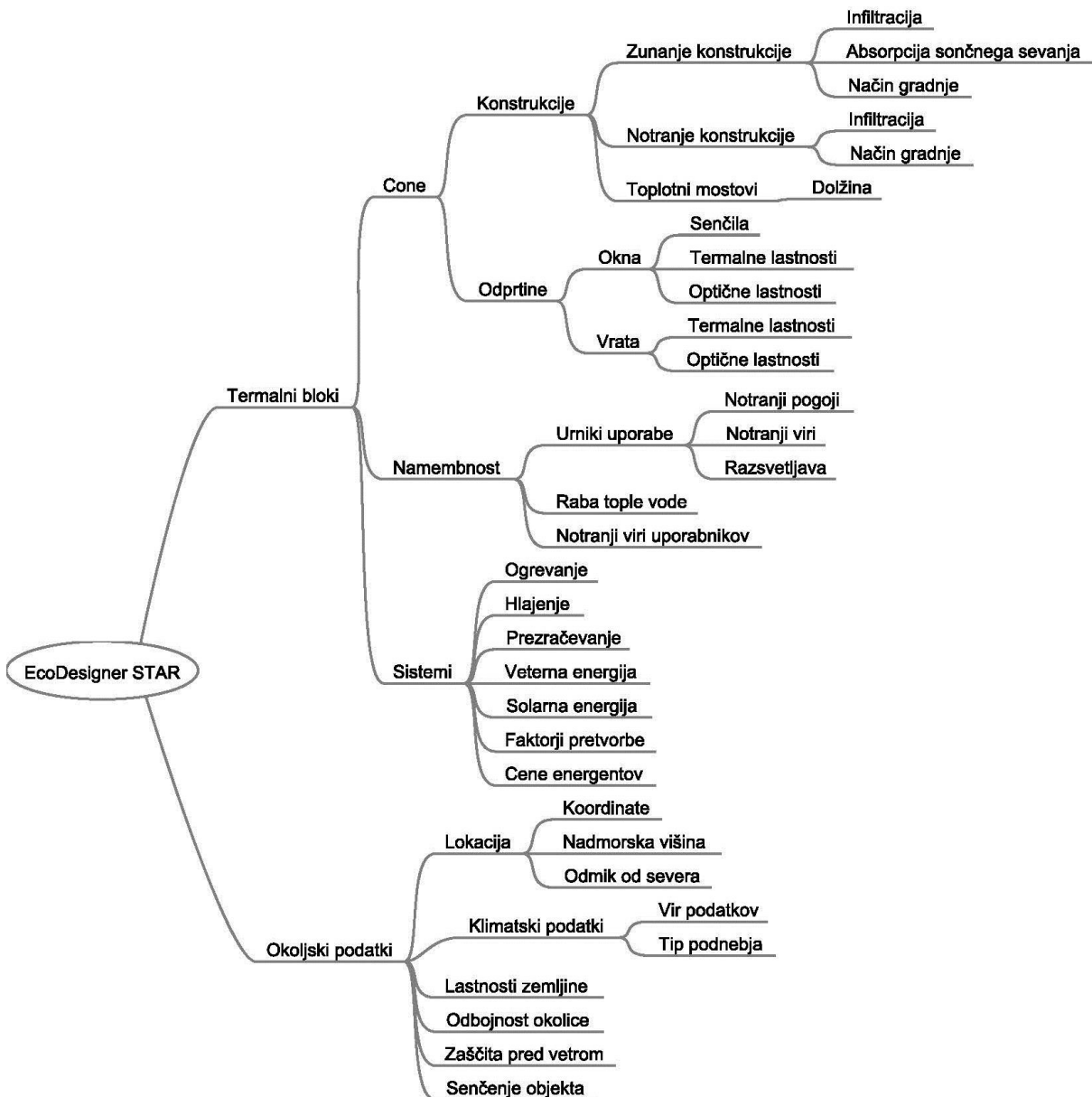
Glavne razlike pri lokaciji stavbe so pri tekstualnih zahtevah in odmiku od severa, saj orientacijo pri KI Energiji določimo za vsak element posebej. Pri klimatskih podatkih ni bistvenih razlik, razen v bazi meteoroloških podatkov.

Način modeliranja con je v osnovi precej različen, vendar so zahtevani podatki podobni. Največje razlike se kažejo v natančnosti definiranja urnikov uporabe stavbe in delovanju tehničnih sistemov. Način gradnje in barva fasade oz. absorptivnost se pri programu ArchiCAD določi pri definiranju ovoja stavbe.

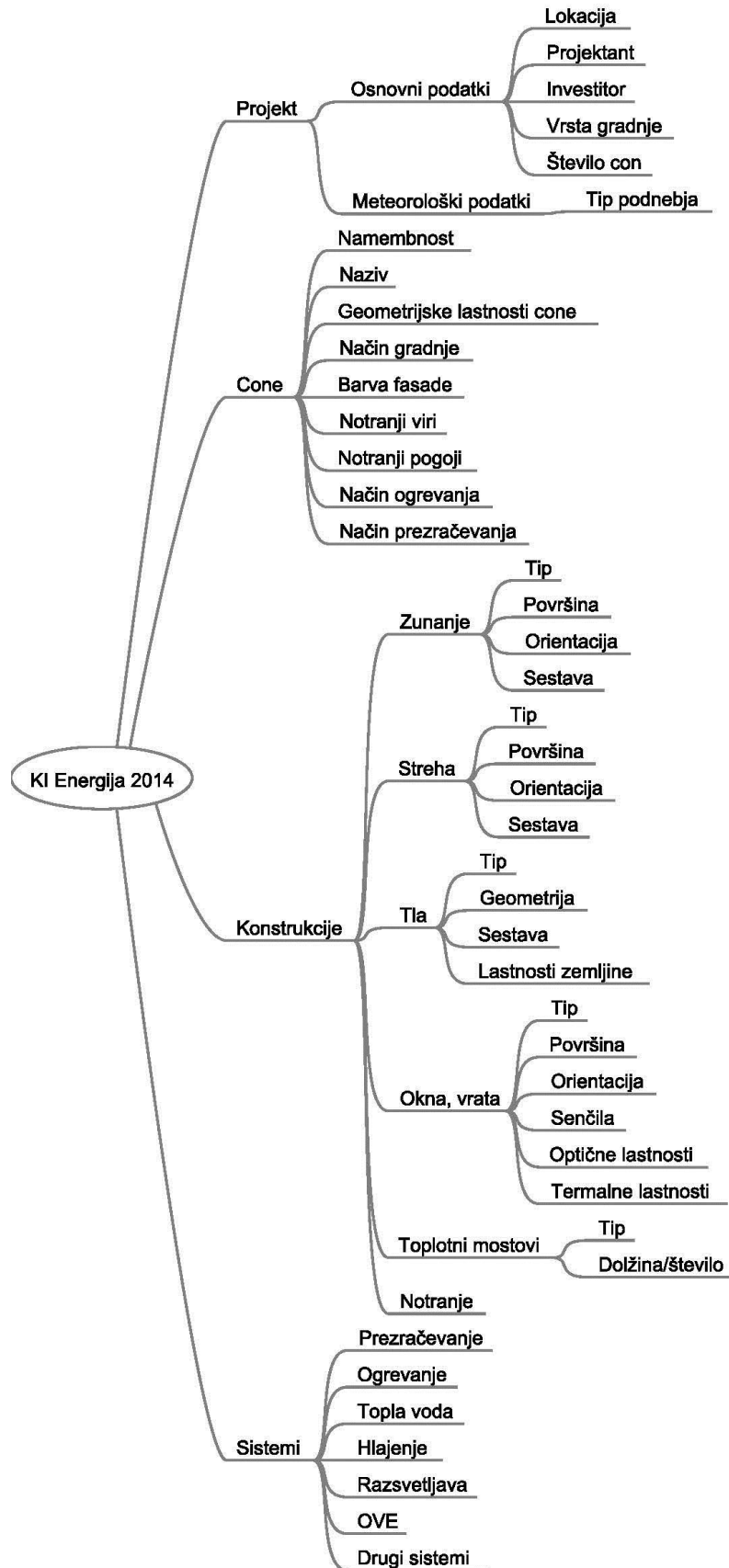
Zahteve pri definiranju stavbnega ovoja so prav tako precej podobne. Edina razlika je v definiranju infiltracije elementa. Nekoliko se razlikujejo tudi možnosti upoštevanja senčenja. V obeh programih so na voljo različni tipi senčil, med katerimi lahko izbiramo. KI Energija na podoben način upošteva tudi senčenje zasteklitve z objekti, medtem ko ArchiCAD omogoča natančno upoštevanje vseh modeliranih objektov.

KI Energija omogoča upoštevanje poenostavljene metode ali vnosa linijske ali točkovne toplotne prehodnosti. Podobno ArchiCAD omogoča poenostavljeno upoštevanje vpliva toplotnih mostov, nudi pa tudi natančen izračun linijske toplotne prehodnosti.

Programa se nekoliko razlikujeta tudi pri definiranju tehničnih sistemov. KI Energija omogoča bolj natančno definiranje, predvsem na nivoju generatorjev, hranilnikov toplote, razvodnega sistema, ogreval in sistema za pripravo tople vode. ArchiCAD omogoča nekoliko manj vhodnih podatkov pri sistemih OHKP, vendar lahko njihovo delovanje zelo natančno opišemo s pomočjo urnikov uporabe stavbe.



Slika 13: Podatkovni model programa ArchiCAD EcoDesigner STAR. Zajeti so le podatki, ki jih mora uporabnik določiti v dodatku Ecodesigner STAR. Ostalo je samodejno prepoznano iz programa ArchiCAD.



Slika 14: Podatkovni model programa KI Energija 2014

2.5.2 Pridobivanje relevantnih informacij iz modela stavbe

Za izdelavo energijskega modela moramo pridobiti relevantne informacije iz (informacijskega) modela stavbe. Omenili smo, da je čas, potreben za vnos informacij, odvisen od načina pridobivanja le-teh. Model BIM, tako kot vsak model stavbe, omogoča povsem ročno pridobivanje podatkov, možna pa je tudi avtomatizacija tega procesa.

Za izdelavo BEM po tradicionalnem postopku smo izbrali možnost pridobivanja podatkov s pomočjo preglednic za popise, ki jih izdelamo v orodju BIM. Na ta način lahko do neke mere avtomatiziramo pridobivanje podatkov, vnašanje pa vseeno poteka ročno.

Napredni pristop opisuje, kateri podatki se v izdelavi modela BEM na osnovi BIM samodejno prenesejo iz informacijskega v energijski model stavbe. Vnašanje in pridobivanje podatkov je večinoma avtomatizirano. Kljub temu moramo nekatere podatke vnesti ročno.

Preglednica 3 prikazuje primerjavo med tradicionalnim in naprednim pristopom pridobivanja potrebnih informacij iz modela BIM za izdelavo energijskega modela stavbe. Ugotovitve so pridobljene na podlagi študije programa ArchiCAD Ecodesigner STAR in v splošnem veljajo tudi za druge, podobne programe.

Preglednica 3: Primerjava pridobivanja relevantnih informacij iz modela BIM za izdelavo BEM

	Tradicionalno	Napredno
Stavba - splošno		
Lokacija stavbe	ročno	samodejno
Klimatski podatki	samodejno	ročno
Uporabna površina	samodejno	samodejno
Neto volumen	samodejno	samodejno
Bruto volumen	ročno	ni zahtevano
Tip cone*	ročno	ročno
Ovoj stavbe		
Tip elementa	samodejno	samodejno
Lokacija elementa**	ročno	samodejno
Orientacija elementa	ročno	samodejno
Naklon elementa	ročno	samodejno
Notranje površine KS	samodejno	samodejno
Zunanje površine KS	ročno	ni zahtevano
Površine odprtin	samodejno	samodejno
Sestava KS	samodejno	samodejno
Lastnosti materialov	samodejno	samodejno
Toplotna prehodnost	ročno	samodejno
Optične lastnosti zasteklitve	ročno	ročno
Senčenje zasteklitve	ročno	ročno
Senčenje objekta	ročno	ročno
Tehnični sistemi	ročno	ročno
*ogrevana ali neogrevana		
**na/nad/pod terenom, zunaj, notri, ipd.		

Natančnejša analiza, kjer primerjamo in ocenjujemo možnosti izvoza podatkov iz programa ArchiCAD Ecodesigner STAR za uporabo v drugih programih za izvajanje energijskih analiz, je izvedena v točki 3.5.

3 ANALIZA PROGRAMA GRAPHISOFT ARCHICAD

ArchiCAD je BIM programsko orodje, ki ga je leta 1982 začelo razvijati madžarsko podjetje Graphisoft. Omogoča obravnavo vseh tipičnih vidikov arhitekturnega načrtovanja stavb, vključno z okolico in notranjostjo. Poleg samega modeliranja ponuja izdelavo projektne dokumentacije, komunikacijo in sodelovanje. Program dosega tudi visok nivo interoperabilnosti [18], zato lahko modele obravnavamo tudi v drugih programskih orodjih s posebnimi funkcionalnostmi. ArchiCAD v osnovi vsebuje dodatek Energy Evaluation, ki omogoča neposredno izvajanje energijskih simulacij znotraj programa. Kot dodatek pa tržijo še Ecodesigner STAR za bolj napredne simulacije. V nadaljevanju so opisane in kritično preverjene možnosti uporabe dodatkov za izdelavo BEM znotraj ArchiCAD-a. Uporabljena je bila verzija programa ArchiCAD 19 z dodatkom Ecodesigner STAR.

3.1 Energy Evaluation in EcoDesigner STAR

Način izvajanja energijskih simulacij znotraj programa ArchiCAD se je v preteklosti nekoliko spreminjal. Na začetku je bila energijska simulacija ponujena preko dodatka Energy Evaluation, vmes je področje pokrival EcoDesigner, ki so ga nato začasno ukinili. Od leta 2014 oz. verzije programa ArchiCAD 17 pa je Energy Evaluation osnovna možnost za izvedbo simulacije, ki jo dopolnjuje plačljivi dodatek EcoDesigner STAR. Glavne razlike v funkcionalnosti orodij prikazuje preglednica 4.

Preglednica 4: Glavne razlike med Energy Evaluation in EcoDesigner STAR

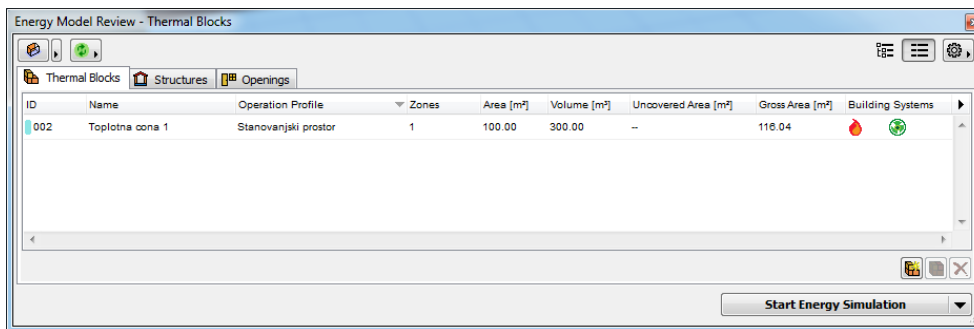
	Energy Evaluation	EcoDesigner STAR
Skladnost s standardi	/	ASHRAE 140-2007, ASHRAE 90.1-2007 (LEED Energy)
Potek dela	Okrnjene možnosti vnosa vhodnih podatkov, omejene možnosti izdelave poročil, tehnologija za izračun ni okrnjena.	Neokrnjene možnosti vnosa vhodnih podatkov, široke možnosti izdelave poročil, tehnologija za izračun ni okrnjena.
izvoz BIM geometrije in materialnih lastnosti	/	gbXML, PHPP, iSBEM, VIP-Energy.
Simulacije toplotnih mostov	/	Na izrisanih detajlih.
Tehnični sistemi stavb	Osnovne nastavitve.	Osnovne in napredne nastavitve.
Upoštevanje obnovljivih virov energije	/	Fotovoltaika in energija vetra.
Vrednotenje učinkovitosti	/	Uvoz/izvoz izhodiščne stavbe (angl. <i>Baseline Building</i>) in avtomatska rotacija modela in izračuni za primerjavo.
PDF izvoz	Poenostavljeno (podatki za celoten projekt).	Natančno (podatki za celoten projekt in za posamezne cone).
XLS izvoz	poenostavljeno (mesečni rezultati in podatki projekta).	Natančno (mesečni, tedenski in urni rezultati, podatki projekta in podatki o conah).
Primerjava rezultatov	/	Primerjava učinkovitosti in stroškov s pomočjo izhodiščne stavbe.

S pomočjo osnovnega programa in dodatkov lahko neposredno iz BIM dobimo BEM model. Da to dosežemo, moramo najprej prostorom v stavbi predpisati cone, ki predstavljajo ogrevani ali neogrevani volumen stavbe in so osnova za izvedbo energijske simulacije. Conam predpišemo lastnosti mejnih ploskev (ovoj stavbe), določimo lokacijo in podnebje ter tehnične sisteme in energente. V programu ArchiCAD torej BEM predstavlja nadgradnjo osnovnega BIM modela s podatki, ki so podrobneje opisani v točkah od 3.1.1 do 3.1.10.

3.1.1 Termalni bloki

Cone (angl. *Zones*), ki predstavljajo posamezen prostor v stavbi, razvrščamo v termalne bloke (angl. *Thermal Block*). Termalni bloki so torej skupek enega ali več prostorov stavbe, ki imajo enake zahteve glede notranjih pogojev. Termalni blok obsega dva tipa podatkov (Slika 15):

- podatke iz osnovnega BIM modela: število con, neto tlorisna površina, neto prostornina, površine brez pripisanih robnih pogojev, bruto površina in
- podatke za BEM model: identifikacijska številka, poimenovanje, obratovalni profil ter sistemi.



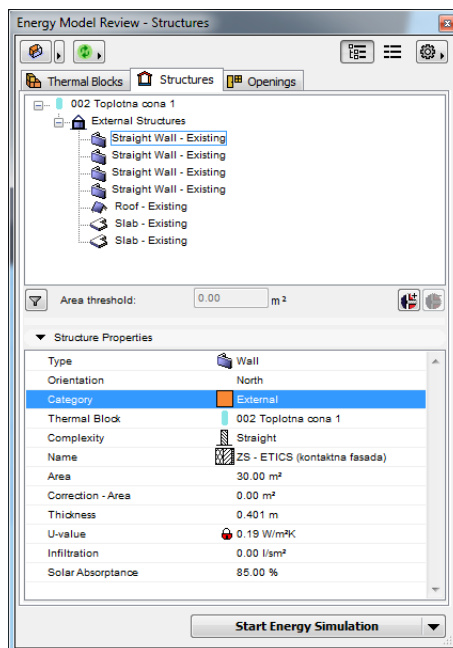
Slika 15: Okno za definiranje toplotnih con

3.1.2 Konstrukcije

Konstrukcije (angl. *Structures*) vsebujejo podatke o mejnih konstrukcijskih elementih prostora. Zajemajo tako notranje kot tudi zunanje konstrukcije in njihove dimenzije ter fizikalne lastnosti, potrebne za izvajanje energijskih simulacij:

- podatke iz osnovnega BIM modela: tip elementa, orientacija, kategorija mejne ploskve, cona, kompleksnost elementa, poimenovanje konstrukcijskega sklopa, notranja površina ter debelina elementa in
- podatke iz BEM modela: U-faktor, infiltracija, absorptivnost za sončno sevanje in korekcija površine.

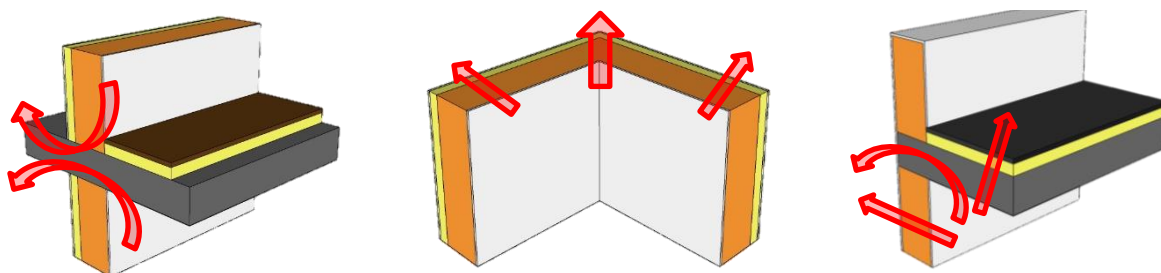
Korekcija površine konstrukcije (angl. *Structure Correction Area*) omogoča vnos površine, ki naj jo program upošteva v izračunu. Korekcija je lahko pozitivna ali negativna, pri čemer negativna ne sme biti takšna, da bi osnovna površina postala manjša od nič. Prednost te možnosti vidimo predvsem v možnosti hitrega preverjanja vpliva posameznih elementov na rezultat simulacije. S pomočjo korekcije površine se izognemo spremembam osnovnega modela. Tako nam je omogočeno, da model spremenimo le, če ugotovimo, da sprememba pomembno vpliva na rezultat.



Slika 16: Zavihek konstrukcije

3.1.3 Toplotni mostovi

Toplotni most (angl. *Thermal Bridge*) je mesto povečanega prehoda toplote v konstrukciji ali napravi zaradi spremembe materiala, debeline ali geometrije konstrukcije [55]. Toplotne mostove lahko glede na vzrok nastanka razdelimo v konstrukcijske, geometrijske in kombinirane (Slika 17). Konstrukcijski toplotni most nastaja na mestih, kjer pride do spremembe lastnosti materiala v ovoju stavbe, to je vsake nehomogenosti v ovoju stavbe. Po navadi so to stiki nosilne konstrukcije, območja nosilne konstrukcije pri endoskeletni konstrukciji ali nosilna konstrukcija fasade. Pomembno dejstvo je, da se lahko s premišljeno zasnovo ovoja konstrukcijskim toplotnim mostovom povsem izognemo. Geometrijski toplotni mostovi se pojavljajo v delih ovoja stavbe, kjer je zunanja površina, preko katere prehaja toplota, večja od notranje površine. Tipični predstavniki so vogali stavb. Geometrijskim toplotnim mostovom se ne moremo izogniti, lahko pa jih omilimo z dovoljšno debelino toplotne izolacije, saj tako zmanjšamo celotni toplotni tok skozi konstrukcijski sklop.

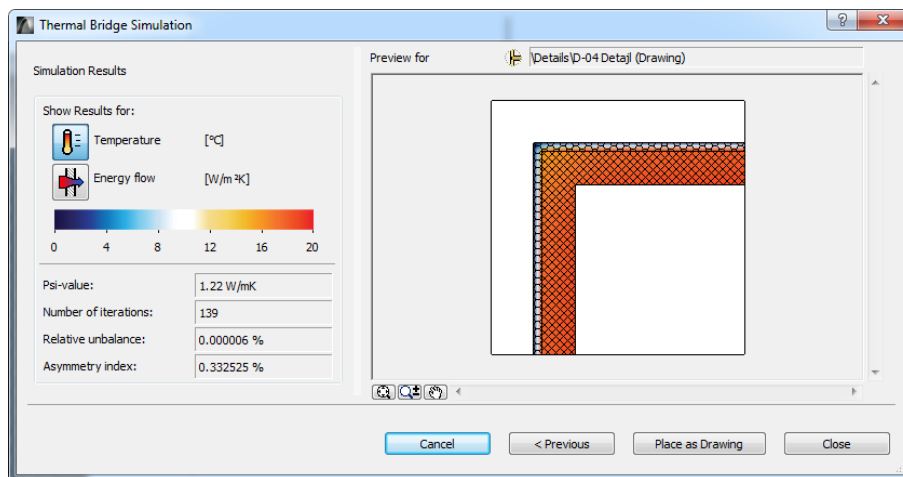


Slika 17: Tipi toplotnih mostov (konstrukcijski, geometrijski in kombinirani)

Program ArchiCAD z dodatkom Ecodesigner STAR omogoča tudi simulacije toplotnih mostov. V tlorisnem ali prečnem prerezu označimo detajl in zaženemo simulacijsko orodje. Znotraj orodja označimo predele zunanjega in notranjega zraka ter morebiten teren. Zunanjemu in notranjemu okolju definiramo temperaturo in toplotno prestopnost mejne (zunanje ali notranje) plasti, za teren pa izberemo tip zemljine. Na voljo so vnaprej definirani tipi zemljine, ki se razlikuje po toplotni prevodnosti, gostoti

in specifični toploti. Tako pri izbiri lastnosti nimamo popolne svobode, saj lahko račune izvedemo le s tipi, ki so na voljo. Pri slojih konstrukcijskega sklopa imamo bolj proste roke, saj lahko vsakemu sloju poljubno definiramo toplotno prevodnost, gostoto in specifično toploto.

Namen simulacij toplotnih mostov je izračun linijske toplotne prehodnosti toplotnega mostu oz. Ψ vrednosti, ki jih lahko upoštevamo v energijski simulaciji tako, da vsakemu toplotnemu mostu pripišemo njegovo dolžino. V rezultatih (Slika 18) lahko opazujemo prikaz spreminjanja temperature ali energijski tok skozi konstrukcijski sklop ter izračun Ψ vrednosti. Prednost orodja je možnost izračuna Ψ vrednosti znotraj enega programa in možnost neposrednega upoštevanja vpliva toplotnih mostov pri energijski simulaciji celotne stavbe. Ker simulacija poteka v sklopu osnovnega programa, se tudi spremembe lastnosti materiala ustrezno posodablja. Glavna slabost je omejena možnost upoštevanja stavbnega pohištva v simulaciji. Simulacijo lahko izvedemo le na elementih, ki imajo predpisano šrafuro, za katero smo določili lastnosti. Sodobne zasteklitve imajo poleg polnitve s plinom tudi nizke emisijske premaze, ki jih ni možno upoštevati. Približek bi sicer lahko dosegli tako, da debelini elementa (okno, vrata) določimo toplotno prevodnost, s katero bi dosegli želeno toplotno prehodnost, vendar je smiselnost takega početja zaradi natančnosti vprašljiva. Kljub temu da lahko opazujemo temperaturo v posameznih točkah konstrukcijskega sklopa, program nima možnosti izpisa maksimalnih in minimalnih temperatur. Gre za preprosto funkcionalnost, ki bi omogočala enostaven izračun faktorja f_{Rsi} , ki opozarja na možnost kondenzacije na notranji površini stene.

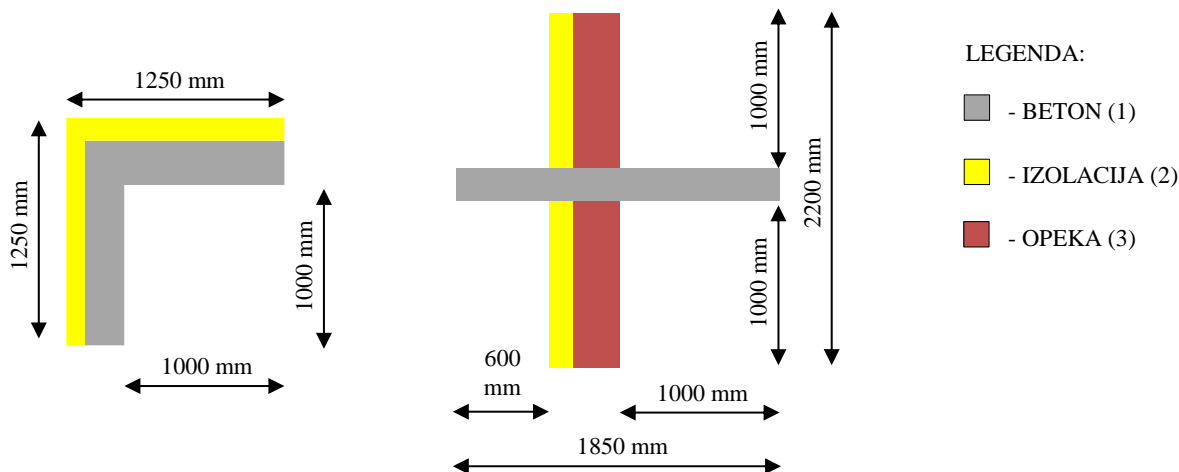


Slika 18: Rezultat simulacije toplotnega mostu

3.1.3.1 Validacija izračuna Ψ vrednosti

Želeli smo preveriti ali je izračun Ψ vrednosti v programu ArchiCAD pravilen, zato smo naredili izračun dvodimenzionalnega toplotnega toka skozi konstrukcijski sklop s pomočjo programa THERM [56]. Izbrali smo dva enostavna primera toplotnih mostov. Gre za konstrukcijski toplotni most preboja fasade z balkonsko konzolo ter geometrijski toplotni most stika zunanjih sten. Konstrukcijske sklope smo poenostavili v primere, kot jih obravnava standard SIST EN ISO 14683:2008 [57]. Standard navaja Ψ vrednosti za različne detajle. Podane vrednosti naj bi bile na varni strani, saj predstavljajo maksimalne učinke toplotnih mostov.

Izbrali smo potrebne vhodne podatke za izvedbo simulacij. Podatki obsegajo materialne lastnosti posameznega sloja ter robne pogoje dveh okolij, ki ju konstrukcija ločuje. Potrebujemo torej toplotno prevodnost (λ_i) in debelino posameznega sloja (d_i), zunanjo in notranjo temperaturo (T_o , T_i) ter toplotno prestopnost mejne plasti (notri α_i , zunaj α_e). Slika 19 prikazuje konstrukciji in vhodne podatke.



$d_1 = 0,20 \text{ m}$	$\lambda_1 = 2,20 \text{ W/mK}$	$T_o = 0^\circ\text{C}$ $T_i = 20^\circ\text{C}$
$d_2 = 0,05 \text{ m}$	$\lambda_2 = 0,03 \text{ W/mK}$	$\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$
$d_3 = 0,20 \text{ m}$	$\lambda_3 = 0,61 \text{ W/mK}$	$\alpha_e = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$

Slika 19: Obravnavani konstrukciji

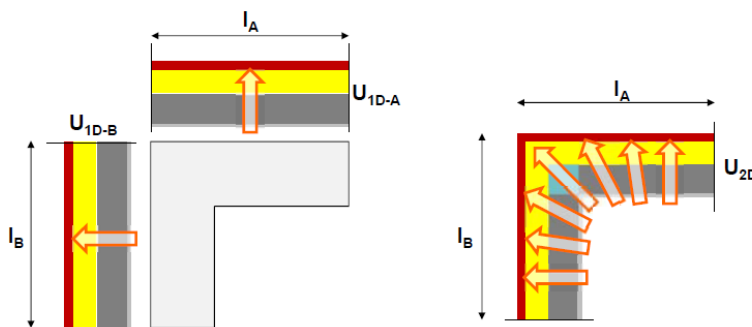
Izračun s pomočjo programa THERM smo izvedli v skladu z enačbami 1 in 2, ki jih podaja standard SIST EN ISO 10211:2008 [58]. Slika 20 prikazuje upoštevanje parametrov v izračunu.

$$\Psi = L^{2D} - \sum_{j=1}^N U_j l_j \quad (1)$$

$$L^{2D} = U_{2D} \cdot (l_A + l_B) \quad (2)$$

Kjer je:

- Ψ - linearna toplotna prehodnost linearnega toplotnega mostu,
- L^{2D} - koeficient toplotne sklopitve delov konstrukcije, določen z 2D izračunom,
- U_j - toplotni prehod enodimenzionalnega dela j , ki ločuje dve okolji,
- l_j - dolžina, po kateri poteka U_j ,
- U_{2D} - dvodimenzionalni toplotni prehod.



Slika 20: Parametri za izračun psi-vrednosti [44]

Preboj konzole balkona skozi fasado (B1 - tip toplotnega mosta po SIST EN ISO 14683 [57]):

$$L^{2D} = U_{2D} \cdot (l_A + l_B) = 0,8883 \frac{W}{m^2K} \cdot 2,20 \text{ m} = 1,9543 \frac{W}{mK}$$

$$\sum_{j=1}^N U_j l_j = U_{1D,A} \cdot l_A + U_{2D,B} \cdot l_B = 0,4631 \frac{W}{m^2K} \cdot 2,20 \text{ m} = 1,0188 \frac{W}{mK}$$

$$\Psi = L^{2D} - \sum_{j=1}^N U_j l_j = 1,9543 \frac{W}{mK} - 1,0188 \frac{W}{mK} = 0,936 \frac{W}{mK}$$

Preboj konzole balkona skozi fasado (C1 - tip toplotnega mosta po SIST EN ISO 14683 [57]):

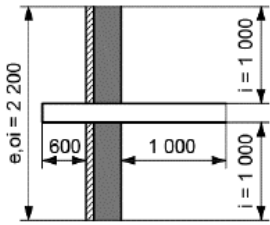
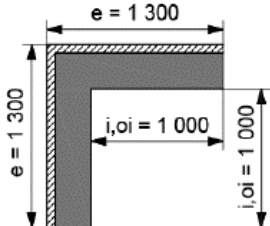
$$L^{2D} = U_{2D} \cdot (l_A + l_B) = 0,4903 \frac{W}{m^2K} \cdot (1,25 \text{ m} + 1,25 \text{ m}) = 1,2258 \frac{W}{mK}$$

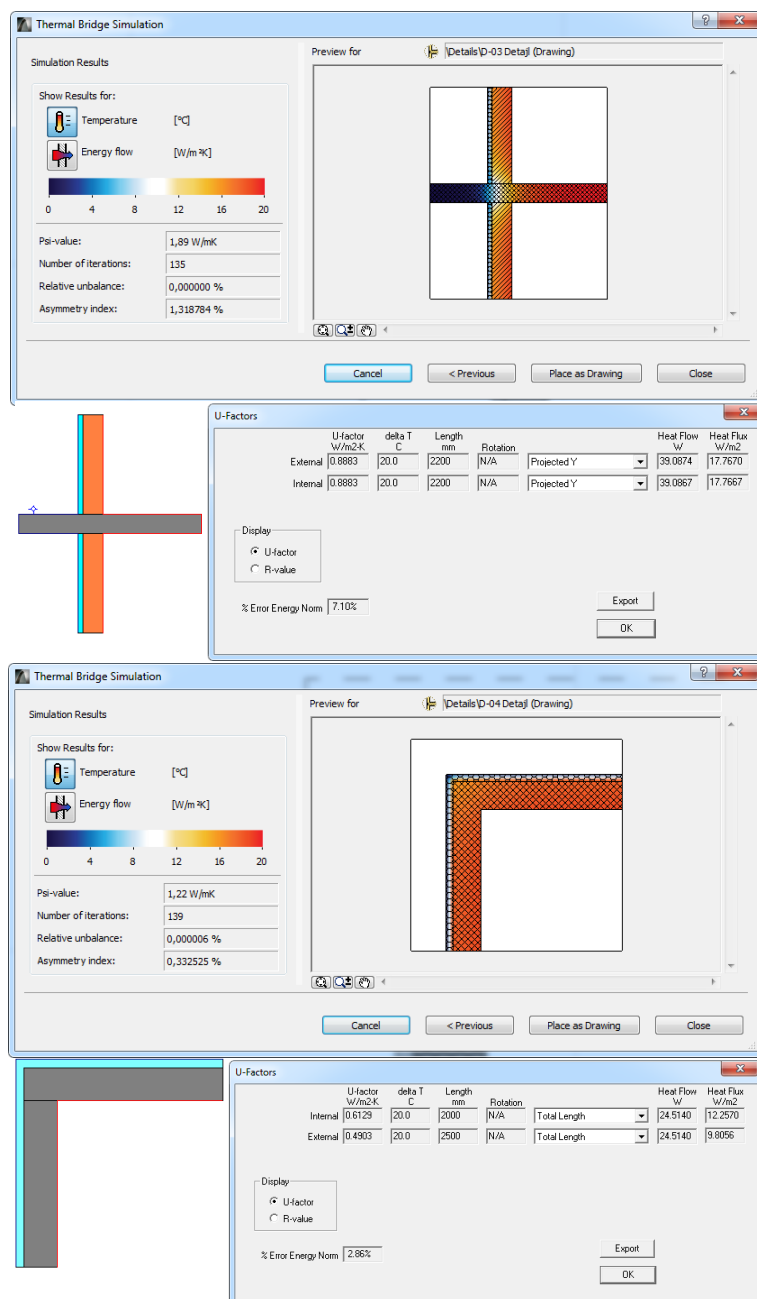
$$\sum_{j=1}^N U_j l_j = U_{1D,A} \cdot l_A + U_{2D,B} \cdot l_B = 0,5201 \frac{W}{m^2K} \cdot 1,25 \text{ m} + 0,5201 \frac{W}{m^2K} \cdot 1,25 \text{ m} = 1,3003 \frac{W}{mK}$$

$$\Psi = L^{2D} - \sum_{j=1}^N U_j l_j = 1,2258 \frac{W}{mK} - 1,3003 \frac{W}{mK} = -0,075 \frac{W}{mK}$$

V preglednici 5 so prikazani rezultati, ki smo jih dobili s programom ArchiCAD preko izračuna ter vrednosti, ki jih podaja standard SIST EN ISO 14683. Slika 21 prikazuje rezultate programa ArchiCAD in vmesne rezultate programa THERM.

Preglednica 5: Primerjava rezultatov pridobljenih po različnih metodah

Oznaka v SIST EN ISO 14683	Grafični prikaz detajla	Ψ [W/mK]		
		SIST EN ISO 14683	Izračun THERM	Izračun ArchiCAD
B1		0,95	0,936	1,89
C1		- 0,05	- 0,075	1,22



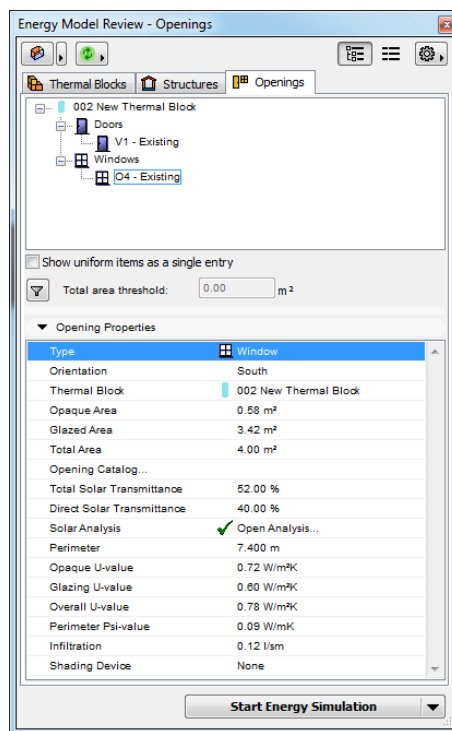
Slika 21: Rezultati iz programov ArchiCAD in THERM

Šteflič [59] je vrednosti, ki jih podaja standard SIST EN ISO 14683, preveril in ugotovil, da nekatere vrednosti niso na varni strani. Med njimi je tudi tip C1, ki smo ga obravnavali. Ugotovil je, da je pri slabše izoliranih stenah ta vrednost nekoliko prenizka. Tudi v svojih izračunih smo ugotovili, da je vrednost nekoliko nižja od tiste, ki jo predpostavlja standard. Ugotovili smo tudi, da Ψ vrednosti, ki jih izračuna ArchiCAD, niso pravilne. Podobno je razmišljal tudi uporabnik spletnega foruma ArchiCAD-Talk [60], ki sklepa, da rezultat predstavlja neko drugo vrednost. Ugibamo lahko, da gre za vrednosti L^{2D} , saj sta si izračunana L^{2D} vrednost in Ψ vrednost, ki jo podaja ArchiCAD, precej podobni. Da bi to z gotovostjo trdili, bi morali izvesti večje število simulacij, kar pa ni predmet te magistrske naloge. V energijski simulaciji znotraj ArchiCAD-a lahko upoštevamo simulirane toplotne mostove tako, da jim pripišemo dolžino. Možnosti vnosa lastnih Ψ vrednosti program ne omogoča. Pravilnejše vrednosti bi do neke mere lahko vseeno dosegli z vpeljavo korekcijskega faktorja dolžine toplotnega mostu, vendar se na tak način prednost programa izgubi.

3.1.4 Odprtine

Odprtine (angl. *Openings*) vsebujejo podatke o odprtinah na meji med zunanjim in notranjim prostorom. Zajemajo njihove dimenzije in fizikalne lastnosti, potrebne za izvajanje energijskih simulacij:

- podatke iz osnovnega BIM modela: tip elementa, orientacija, cona, površina (skupna, transparentni del, netransparentni del), obseg in
- podatke iz BEM modela: g-faktor, LT-vrednost, rezultati analize osončenosti, vidni obseg stekla, U-faktor (skupna, transparentni del, netransparentni del), linijske toplotne izgube na stiku steklo-okvir, infiltracija in tip senčila.

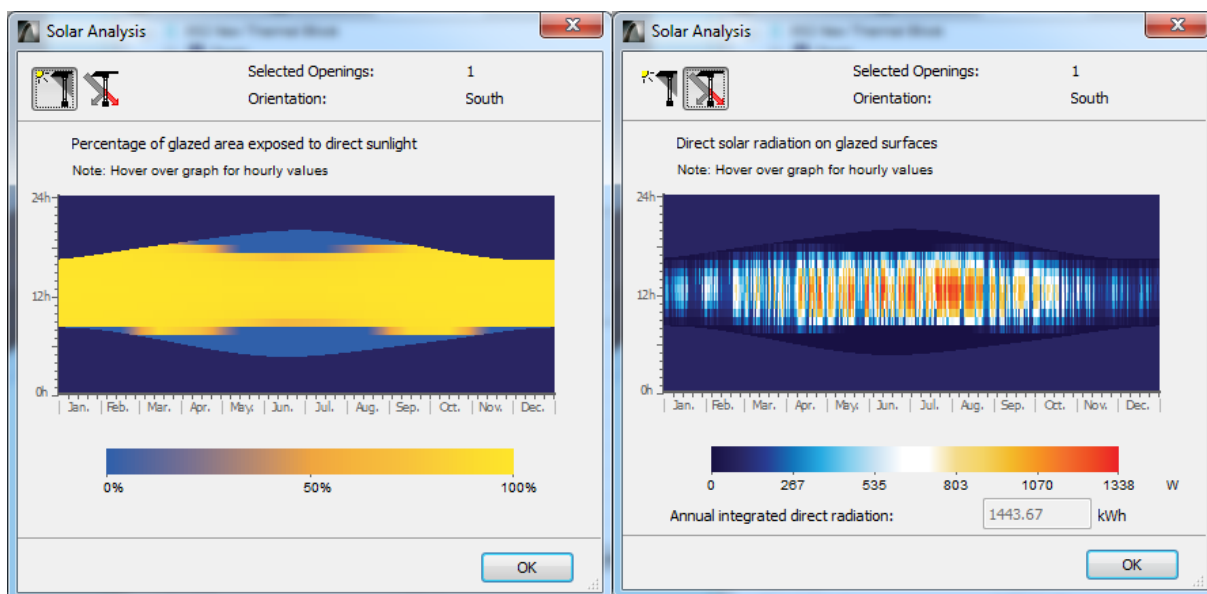


Slika 22: Zavihek odprtine

Korekcija površine odprtine (angl. *Opening Correction Area*) omogoča vnos površine, ki naj jo program upošteva v izračunu. Podobno kot pri korekciji površine konstrukcije, lahko tako hitro in brez dodatnih naporov ugotovimo, kako sprememba posamezne odprtine vpliva na rezultate energijske simulacije.

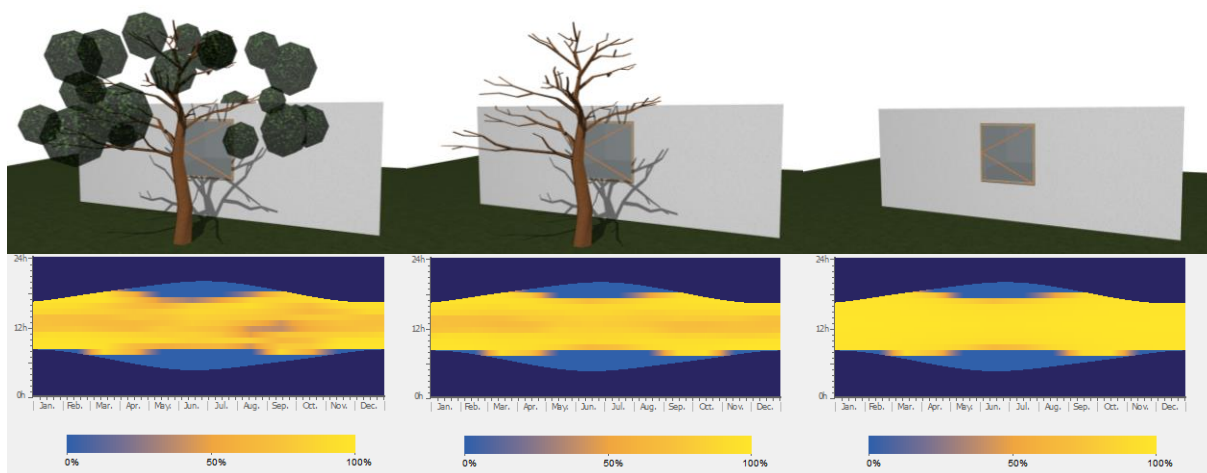
3.1.4.1 Analiza osončenosti

Analizo osončenosti (angl. *Solar Analysis*) lahko izvedemo za vsak transparentni element, ki razmejuje notranje in zunanje okolje. Izvedba analize je nujno potrebna, če želimo upoštevati senčenje elementa, ki je posledica izdelanega informacijskega modela. Upoštevamo torej vse vidne objekte in elemente, ki bi na obravnavanem transparentnem elementu ustvarjali senco. Sem spadajo vsi deli stavbe (npr. balkonska konzola) in zunanje ovire (npr. drevesa ali sosednje stavbe). Dodatno lahko rastline modeliramo kot »pametne« ovire, ki imajo intenziteto senčenja odvisno od letnega časa in tipa rastline (listavci, iglavci). Rezultate analize osončenosti si lahko ogledamo v dveh oknih (Slika 23). Obe prikazujeta urne rezultate izračunov za referenčno leto, pri čemer so na osi x nanizani dnevi leta, na osi y pa ure dneva. Leva slika prikazuje odstotek zasteklitve, ki je izpostavljena direktnemu sončnemu sevanju, desna pa direktno sončno sevanje na zasteklitev. Prvi prikaz zanemari oblačne dni, ki jih podaja datoteka s klimatskimi podatki, medtem ko jih drugi upošteva. Iz tega izhaja tudi manjša uniformnost prikaza.



Slika 23: Analiza osončenosti

Slika 24 prikazuje različne vplive drevesa na senčenje zasteklitve. Prva slika prikazuje drevo, ki se spreminja z letnimi časi. Za srednjo sliko smo modelirali drevo, ki ostane brez listov čez celotno leto. Desna varianta brez drevesa pa služi kot kontrola za preverjanje faktorjev senčenja. Po spodnjih slikah izpostavljenosti direktnemu sončnemu sevanju ugotovimo, da je senčenje v zimskih mesecih pri obeh variantah z drevesom enako. Od pomladi do jeseni, ko se listi začnejo razvijati, se polno razvijejo in na koncu odpadejo, je pri levi varianti senčenje intenzivnejše. Trditve smo potrdili še numerično s primerjanjem solarnih dobitkov po mesecih za vse tri variante.



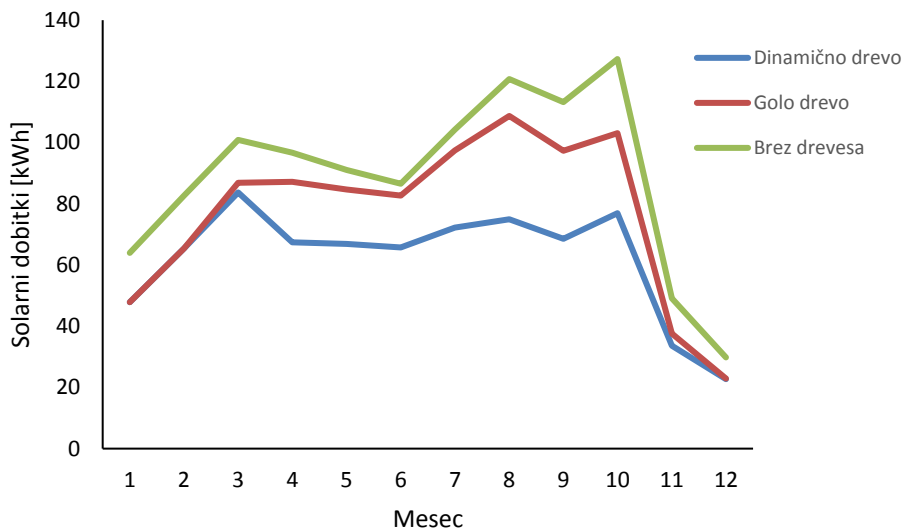
Slika 24: Prikaz dinamičnega senčenja z listavci

Preglednica 6 in Grafikon 1 prikazujeta solarne dobitke stavbe po mesecih. Ker obravnavamo enostaven model z enim oknom, lahko neposredno opazujemo vpliv modeliranega drevesa na solarne dobitke čez leto. Opazimo, da so solarni dobitki v zimskih mesecih skoraj enaki pri prvih dveh variantah. V obdobju rasti listov pa se razlike občutno povečajo.

Preglednica 6: Solarni dobitki po mesecih za različne variante senčenja z drevesom

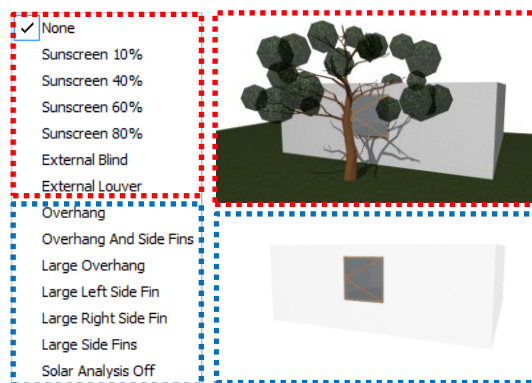
Solarni dobitki stavbe po mesecih [kWh]													
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec	Σ
Dinamično drevo	47.8	65.4	83.7	67.4	66.9	65.7	72.2	74.9	68.6	76.9	33.6	22.7	746
Golo drevo	47.8	65.4	86.9	87.2	84.7	82.7	97.4	108.7	97.3	103.1	37.6	22.9	922
Brez drevesa	64.0	82.7	100.9	96.7	91.0	86.6	104.2	120.8	113.2	127.3	49.1	29.8	1066

Grafikon 1: Solarni dobitki za različne variante senčenja z drevesom



3.1.4.2 Senčila

Na voljo so različni tipi senčil, vsako s svojimi lastnostmi. Senčila se delijo na dva tipa (Slika 25). Prvi tip (rdeča barva) so senčila, kjer je upoštevano tako senčenje zaradi modela, kot tudi dodatno senčenje zaradi senčil. Pri drugem tipu senčil (modra barva) pa je senčenje okolice in modela samega izključeno. Solarna analiza tako upošteva samo sence, ki jih povzročata senčilo. Drugi tip senčil je namenjen le preizkušanju funkcionalnosti programske opreme [61], zato smo za svoje analize uporabili prvi tip senčil.



Slika 25: Tipi senčil

Na enostavnem modelu smo izvedli primerjalno analizo solarnih dobitkov z uporabo prvega tipa senčil. Gre za različne vrste zunanjih senčil, kot so zaslone z 10 do 80-odstotnim senčenjem, roleta in žaluzija. Preglednica 7 prikazuje solarne dobitke po mesecih in pripadajoče faktorje senčenja. Najprej smo preverili razliko med popolnoma izključeno okolico za solarno analizo in analizo brez senčil. Ugotovljene minimalne razlike izhajajo iz senc, ki na okno padajo zaradi okenskega okvirja in fasade. Nato smo preverili ostala senčila, ki spadajo v prvi tip. Ugotovili smo, da navedeni odstotki pri zaslonki (angl. *Sunscreen*) pomenijo odstotek maksimalne sposobnosti senčenja. Z nadaljnjim primerjanjem dobitkov smo ugotovili, da se podobno obnašata tudi roleta (angl. *External Blind*) in žaluzija (angl. *External Louver*). Pri roleti so faktorji senčenja identični faktorjem, ki jih podaja zaslonka z 80-odstotnim senčenjem. Žaluzija ima med vsemi najbolj učinkovito senčenje. V mesecu avgustu, ko je senčenje potrebno ves čas, ko sonce direktno obseva obravnavano okno, so faktorji senčenja žaluzije 0.10, kar ustreza 90-odstotnemu senčenju.

Preglednica 7: Solarni dobitki po mesecih glede na izbrano senčilo

Solarni dobitki stavbe po mesecih [kWh]													
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec	Σ
Solar Analysis Off	62.1	80.6	98.9	95.3	89.7	85.2	102.9	119.3	111.1	124.6	47.8	28.8	1046.3
None	61.5	79.5	97.0	93.0	87.5	83.3	100.2	116.1	108.8	122.4	47.3	28.6	1025.3
Sunscreen 10 %	61.5	79.5	97.0	93.0	85.3	78.4	90.2	104.5	103.9	122.4	47.3	28.6	991.6
Sunscreen 60 %	61.5	79.5	97.0	93.0	75.3	56.8	40.1	46.5	81.0	122.4	47.3	28.6	828.9
Sunscreen 80 %	61.5	79.5	97.0	93.0	72.3	48.8	20.0	24.3	73.9	122.4	47.3	28.6	768.6
External Blind	61.5	79.5	97.0	93.0	72.3	48.8	20.0	24.3	73.9	122.4	47.3	28.6	768.6
External Louver	61.5	79.5	97.0	93.0	70.9	45.3	10.0	14.0	70.3	122.4	47.3	28.6	739.8

Na preglednici 8 lahko preko koeficientov senčenja bolj jasno opazujemo, da je intenzivnost senčenja postopna. Naraščati začne v mesecu maju, vrhunec doseže avgusta in potem postopoma pada do oktobra. Razlog za to se skriva v »pametni« zasnovi senčil. Ta se v ogrevalni sezoni ne aktivirajo, saj tako s pomočjo solarnih dobitkov zmanjšujejo potrebo po ogrevanju.

Preglednica 8: Koeficienti senčenja po mesecih glede na izbrano senčilo

Koeficienti senčenja po mesecih [-]													
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec	
Sunscreen 10 %	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.94	0.90	0.90	0.95	1.00	1.00	1.00	
Sunscreen 60 %	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86	0.68	0.40	0.40	0.74	1.00	1.00	1.00	
Sunscreen 80 %	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	0.59	0.20	0.21	0.68	1.00	1.00	1.00	
External Blind	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	0.59	0.20	0.21	0.68	1.00	1.00	1.00	
External Louver	1.00	1.00	1.00	1.00	0.81	0.54	0.10	0.12	0.65	1.00	1.00	1.00	

Učinkovitost oz. pamet senčil smo preverili s pomočjo dveh primerov. V prvem primeru smo predpisali zeleno konstantno notranjo temperaturo 19 °C čez celotno leto, v drugem primeru pa 25 °C. Preglednica 9 prikazuje solarne dobitke in potrebno energijo za ogrevanje glede na konfiguracijo zasteklitve in

želeno notranjo temperaturo. V obeh primerih so bila uporabljena senčila z maksimalno sposobnostjo senčenja 80 odstotkov oz. faktorjem senčenja $k_s = 0.2$. Rezultati so bili popolnoma v nasprotju z intuicijo, saj je program pri varianti z notranjo temperaturo 25 °C ves čas upošteval senčenje. Tako smo izgubili tudi zelene solarne dobitke v ogrevalnem obdobju. Na ta račun so se seveda povečale tudi skupne potrebe po ogrevanju. Proizvajalec programa navaja [61], da se senčila vključijo šele, ko notranja temperatura prostora preseže 22 °C. S tem lahko pojasnimo celoletno senčenje pri varianti, ko je bila notranja temperatura 25 °C, saj je bila ta že v izhodišču višja od aktivacijske temperature. Ker bomo v nadaljevanju za namene svojih analiz izbrali dovoljeno območje notranje temperature med 20 °C in 26 °C, kot to predvideva tehnična smernica [55], se senčila dejansko obnašajo pametno.

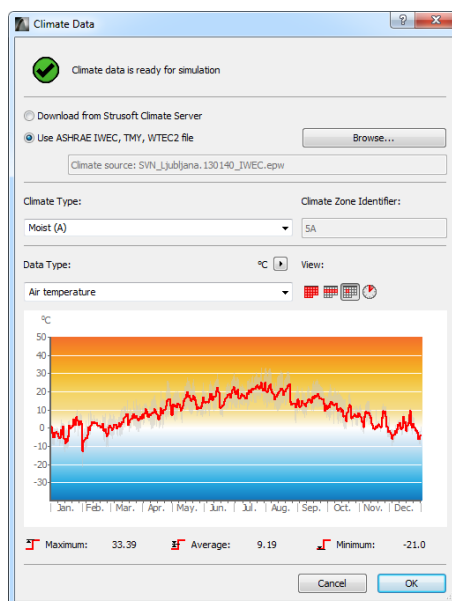
Preglednica 9: Preizkus "pameti" senčil

	T_i [°C]	Q_s [kWh]	$k_{s,min}$ [-]	$k_{s,max}$ [-]	Q_h [kWh]
Brez senčila	19.0	1025	/	/	5151
S senčilom		966	0.38	1.00	5153
Brez senčila	25.0	1025	/	/	9448
S senčilom		205	0.2	0.2	10092

3.1.5 Klimatski podatki

Klima ali podnebje opisuje vremenske pojave nekega območja. Za izvedbo energijske simulacije so najbolj pomembni podatki o zunanji temperaturi zraka, relativni vlažnosti, sončnem sevanju in vetru. V programu ArchiCAD lahko klimatske podatke (angl. *Climate Data*) prenesemo neposredno v program preko strežnika (Strusoft Climate Server), ki hrani podatke za različne lokacije po svetu ali preko uvoza datoteke, ki vsebuje potrebne podatke.

Slika 26 prikazuje klimatske podatke, kot jih predstavlja ArchiCAD. Na voljo je mesečni, tedenski, dnevni in urni pregled podatkov o temperaturi zraka, relativni vlažnosti, sončnem sevanju in vetru. Izberemo lahko tudi tip podnebja, ki velja za obravnavano lokacijo. Na voljo je vlažen, suh in obmorski tip podnebja. Ker izbira ne vpliva na rezultate energijske simulacije [61], se z izbiro ni smiselno posebej ukvarjati.



Slika 26: Klimatski podatki

Za namene simulacij v magistrski nalogi smo klimatske podatke pridobili iz zbirke podatkov, namenjene uporabi programa EnergyPlus [62] v zapisu EPW (angl. *EnergyPlus Weather*). Za Slovenijo so na voljo klimatski podatki le za eno lokacijo. Označena je kot Ljubljana, vendar gre glede na zapisane geografske koordinate za lokacijo v bližini Letališča Jožeta Pučnika. Mednarodni vremenski podatki za energijske izračune (angl. *International Weather for Energy Calculations – IWECC*) sicer izvirajo iz ASHRAE raziskovalnega projekta 1015. Gre za nabor urnih podatkov o 227 lokacijah izven ZDA in Kanade, ki izvirajo iz do 18-letnih meritev.

Glavni podatki, ki jih datoteka EPW vsebuje, so urne meritve za:

- temperaturo suhega termometra (angl. *Dry Bulb Temperature – DBT*),
- temperaturo vlažnega termometra (angl. *Wet Bulb Temperature – WBT*),
- zračni tlak,
- relativno vlažnost zraka (angl. *Relative Humidity – RH*),
- temperaturo rosišča,
- globalno sončno sevanje (angl. *Global Solar Radiation - GSR*),
- direktno sončno sevanje (angl. *Normal Solar Radiation*),
- difuzno sončno sevanje (angl. *Diffuse Solar Radiation*),
- hitrost vetra in
- smer vetra.

Poleg naštetih podatkov vsebuje datoteka EPW tudi mnoge druge podatke, kot so geografska širina in dolžina, nadmorska višina ter projektni pogoji (angl. *Design Conditions*). Projektni pogoji se uporabljajo za načrtovanje opreme za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje in razvlaževanje. Navedene so projektne vrednosti temperature suhega in vlažnega termometra, temperatura rosišča, smer in hitrost vetra, parametri za izračun sončnega sevanja, temperaturni primanjkljaj (angl. *Heating Degree Days*) in temperaturni presežek (angl. *Cooling Degree Days*) ter temperatura tal po globini. S pomočjo programa Elements [63] smo variirali omenjene projektne pogoje ter tako preverili ali ArchiCAD na kakšen način le-te upošteva. Ugotovili smo, da projektni pogoji nimajo vpliva na izračune. Tako lahko sklepamo, da ArchiCAD za izračun uporablja le podatke iz urnih meritev, ki so zapisani v datoteki EPW.

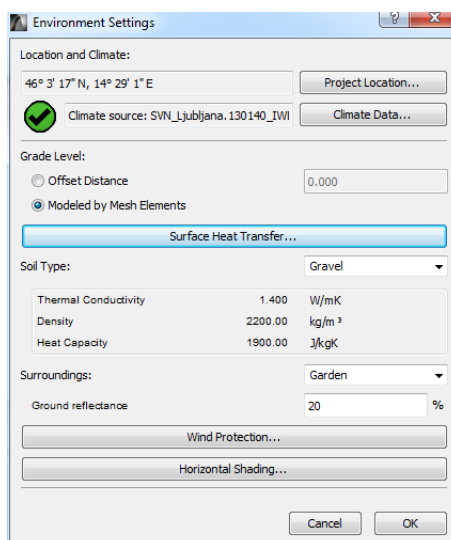
Izvedli smo primerjavo med podatki, ki jih za izračun gradbene fizike po PURES [64] podaja ARSO na spletni strani [65] ter podatki iz EPW datoteke (Preglednica 10). Izračunani koeficient korelacije je pri temperaturi suhega termometra (DBT) in globalnem sončnem sevanju (GSR) višji od 0.99 ter pri relativni vlažnosti (RH) višji od 0.90, kar pomeni zelo močno povezanost podatkov. Iz tega lahko sklepamo, da so razlike med povprečnimi mesečnimi podatki zanemarljivo majhne. To je pomembno predvsem za nadaljnjo primerjavo rezultatov energijskih simulacij, izvedenih z različno programsko opremo.

Preglednica 10: Primerjava klimatskih podatkov iz EPW datoteke in spletne strani ARSO za lokacijo Letališča Jožeta Pučnika

	EPW			ARSO		
	DBT	RH	GSR	DBT	RH	GSR
Mesec	[°C]	[%]	[Wh/m ²]	[°C]	[%]	[Wh/m ²]
Januar	-1,20	78,8	963	-1,00	83,0	1069
Februar	-0,85	82,5	1589	1,00	79,0	1856
Marec	3,85	69,6	2553	5,00	75,0	2724
April	9,45	71,6	3683	9,00	73,0	3953
Maj	14,00	72,9	4397	14,00	73,0	4702
Junij	16,61	74,1	4914	17,00	74,0	5067
Julij	20,36	69,2	5425	19,00	74,0	5227
Avgust	18,89	70,9	4829	19,00	76,0	4591
September	14,86	80,8	3108	15,00	81,0	3326
Oktober	9,64	82,4	2293	10,00	83,0	1983
November	4,00	87,7	963	4,00	85,0	1122
December	-0,03	92,5	616	0,00	86,0	832
Povprečje:	9,13	77,7	-	9,33	78,5	-
Vsota:	-	-	35332	-	-	36452

3.1.6 Okoljski podatki

Med okoljske podatke (angl. *Environment Data*) spadajo geografska lokacija, nivo terena, tip zemljine, lastnosti zemljine in značilnosti okolice.



Slika 27: Okno za vnos okoljskih podatkov

3.1.6.1 Lokacija

Lokacija je vezana na klimatske podatke, vseeno pa jo lahko poljubno spreminjamo, saj nima vpliva na izračun. Pomembna je nadmorska višina, ki jo moramo natančno definirati. Zunanji zračni tlak je odvisen od nadmorske višine in ima velik vpliv na energijski izračun [61]. Za potrditev trditve smo izvedli preprost test. Primerjali smo energijske izgube stavbe pri nadmorskih višinah 0, 320, 500, 1000 in 2500 metrov (Preglednica 11). Ugotovili smo, da ima nadmorska višina največji vpliv na ventilacijske izgube in na izgube zaradi infiltracije, ki se z rastjo nadmorske višine manjšajo. Pričakovano ima nadmorska višina najmanjši vpliv na transmisijske izgube. Glede na rezultate sklepamo na linearno odvisnost rezultatov od zunanjega zračnega tlaka.

Preglednica 11: Vpliv nadmorske višine na toplotne izgube

Nadmorska višina [m]	Transmisijske izgube [kWh]	Ventilacijske izgube [kWh]	Infiltracija [kWh]
0	4812.2	5374.2	926.9
320	4831.1	5188.0	894.9
500	4842.6	5080.1	876.3
1000	4875.8	4801.1	828.3
2500	4980.1	4062.4	701.3

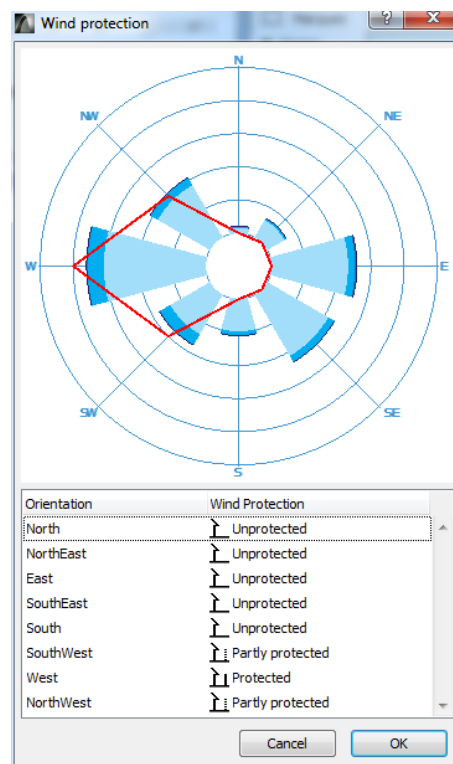
3.1.6.2 Teren in okolica

Na voljo imamo dve možnosti obravnave terena. Lahko ga (natančno) modeliramo ali pa predpišemo odklik od izbrane referenčne etaže. Druga možnost je uporabna le za popolnoma horizontalen teren oziroma v primeru, ko teren ali lokacija še nista popolnoma definirana. Zemljini lahko definiramo

koeficiente toplotne prehodnosti in določimo tip zemljine. Na voljo je osem različnih tipov zemljine in vsaka ima določeno toplotno prevodnost, gostoto in specifično toploto, ki pa jim ni možno nastaviti poljubnih vrednosti. Te nastavitve so pomembne predvsem za izračun toplotnega toka preko konstrukcij, ki so v stiku s tlemi.

Poleg zemljine lahko definiramo tudi odbojnost zunanje ureditve. S to nastavitvijo upoštevamo odstotek sončnega sevanja, ki se od tal odbija v smeri stavbe. Na voljo je prost vnos odbojnosti tal, kar je prednost, saj lahko tako spremljamo vpliv posrednega sončnega sevanja na solarne dobitke.

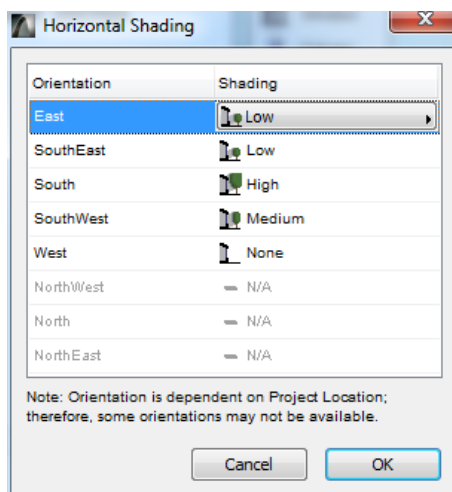
Tudi veter vpliva na rabo energije v stavbi. Slika 28 prikazuje glavnih osem smeri neba oz. smeri, iz katerih piha veter. Dolžina polja pomeni pogostost in hitrost vetra iz posamezne smeri. Vsaki smeri lahko predpišemo zaščito pred vetrom. Stavba je lahko nezavarovana, delno zavarovana ali popolnoma zavarovana pred vetrom v posamezni ali v vseh smereh. Zaščito vidimo kot rdečo črto na spodnji sliki.



Slika 28: Zaščita pred vetrom

3.1.6.3 Horizontalno senčenje

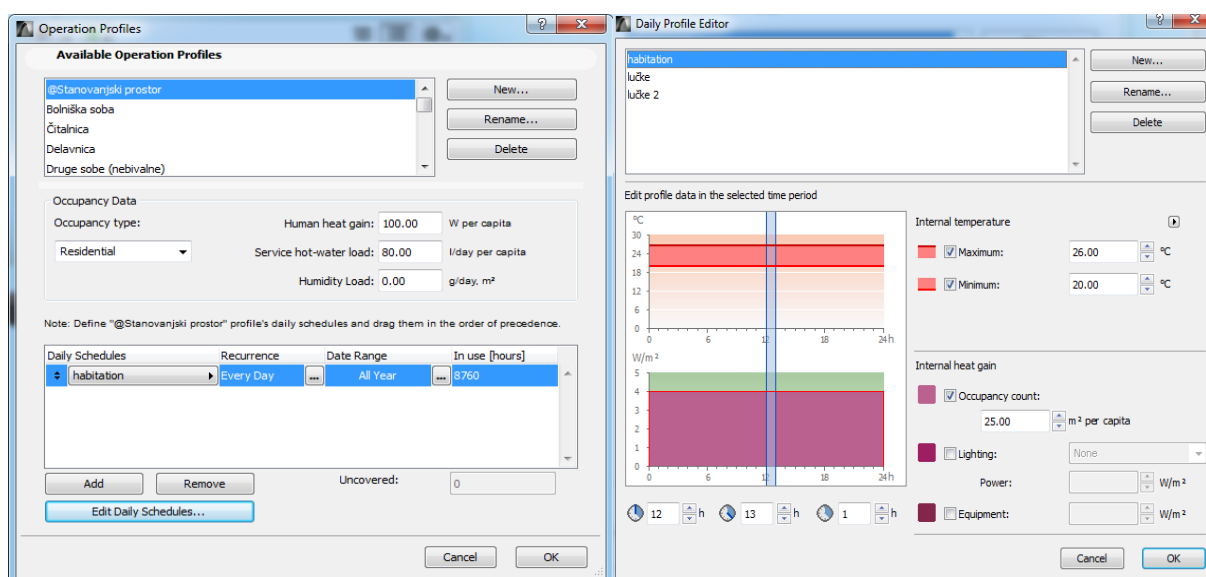
Senčenje zaradi modela samega (stavba, zunanost), ki smo ga obdelali v točki 3.1.4.1, vpliva samo na transparentne elemente. Vpliv direktnega sončnega sevanja in posledično senčenja pa je pomemben tudi za netransparentne elemente. Ta vpliv lahko zajamemo z nastavitvijo zunanega oz. horizontalnega senčenja. Na voljo imamo štiri nastavitve, in sicer brez, z malo, srednje in veliko senčenja, ki ga lahko predpišemo vsaki merodajni smeri neba. V Sloveniji večinoma severne orientacije ne prejemajo direktnega sončnega sevanja, zato je za izbrano lokacijo izključena možnost senčenja severnih orientacij. Slika 29 prikazuje možnosti nastavitvev horizontalnega senčenja objekta.



Slika 29: Nastavitve horizontalnega senčenja

3.1.7 Urniki obratovanja

Z urniki obratovanja (angl. *Operation Profiles*) opisujemo različne namembnosti stavb in s tem povezane različne načine uporabe stavb. (Več)stanovanjske stavbe so v uporabi razmeroma konstantno, medtem ko so nestanovanjske stavbe, kot so šole ali pisarne, v uporabi le v dopoldanskem in popoldanskem času delovnih dni, ponoči in med vikendi pa so praviloma prazne. Od namembnosti stavbe je torej odvisna tudi raba energije. Pomembni so predvsem podatki o zahtevani notranji temperaturi, notranjih toplotnih virih, potrebah po topli vodi in obremenitvah z vlago. V programu ArchiCAD lahko poljubno definiramo vse potrebne parametre ali pa izberemo urnik obratovanja, ki ustreza standardu DIN 18599. Parametre definiramo na dveh nivojih. Najprej določimo splošne podatke, kot so namembnost stavbe, toplotne vire ljudi, dnevno porabo tople vode na osebo in obremenitev z vlago. Nato določimo še natančne dnevne urnike, kjer za vsako uro v dnevu določimo zgornjo in spodnjo mejo zelene notranje temperature in definiramo prispevke notranjih virov. Med notranje vire sodijo toplotni dobitki zaradi uporabnikov, razsvetljave in opreme.



Slika 30: Urniki obratovanja

Ker bomo v nadaljevanju obravnavali stanovanjsko stavbo, smo vse prispevke notranjih virov upoštevali po poenostavljeni metodi. Odločitvi botruje dejstvo, da je način uporabe večstanovanjske stavbe skoraj nemogoče natančno predvideti in je zaradi primerjave bolj smiselna uporaba standardnih vrednosti. Tehnična smernica [55] predpisuje prispevek notranjih virov 4 W/m^2 na enoto uporabne površine stavbe in zajema notranje toplotne vire zaradi ljudi, naprav, procesov, materialnih tokov in razsvetljave v stavbi.

3.1.8 Tehnični sistemi

Vsaki stavbi lahko definiramo tehnične sisteme (angl. *Building Systems*) za ogrevanje, hlajenje in prezračevanje ter sisteme za izkoriščanje energije vetra in sonca. Sistemi zagotavljajo pogoje notranjega okolja, ki smo jih definirali z urniki obratovanja.

Ugotovili smo, da je priprava tople vode vezana na sistem ogrevanja. Zato ni možno definirati različnega sistema za ogrevanje in za pripravo tople vode. V primeru, ko stavbo ogrevamo preko daljinskega ogrevanja, toplo vodo pa pripravljamo s pomočjo boilerja, tega ne moremo natančno modelirati. Če toplo vodo pripravljamo s pomočjo električne energije, lahko sicer rabo energije vključimo k električnim napravam (v urnikih obratovanja).

3.1.9 Faktorji pretvorbe

Energijo za zagotavljanje zelenih pogojev notranjega okolja program izračuna glede na vhodne podatke, opisane v točki 3.1. Primarna energija za delovanje stavbe se določi tako, da letno dovedeno energijo za delovanje sistemov pomnožimo z ustreznim faktorjem pretvorbe (angl. *Energy Source Factors*) glede na vrsto energenta.

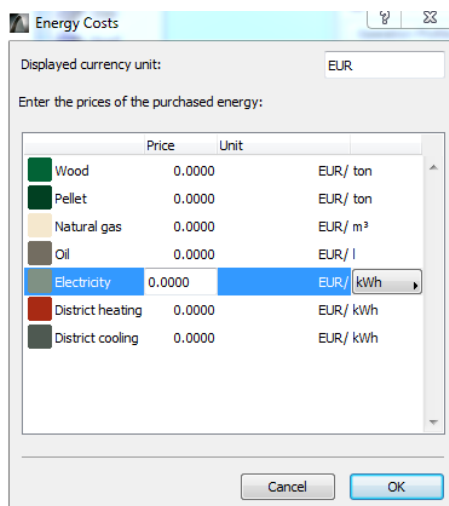
Faktorji pretvorbe so odvisni od lokacije. ArchiCAD jih podaja po standardu DIN 18599, za Slovenijo pa jih podaja tehnična smernica [55]. Spodnja preglednica 12 prikazuje faktorje pretvorbe glede na energent.

Preglednica 12: Faktorji pretvorbe glede na energent

Energent	Faktor pretvorbe
Kurilno olje	1.1
Plin	1.1
Premog	1.1
Lesna biomasa	0.1
Električna energija	2.5
Daljinsko ogrevanje brez kogeneracije	1.2
Daljinsko ogrevanje s kogeneracijo	1.0

3.1.10 Cene energentov

Na voljo imamo tudi možnost definiranja cen energentov (angl. *Energy Costs*) v zeleni denarni enoti na enoto energije (npr. €/kWh). Ceno lahko pripišemo lesu, peletom, zemeljskemu plinu, kurilnemu olju, elektriki ter centralnemu gretju in hlajenju. Energente, ki jim lahko pripišemo ceno, prikazuje slika 31. Z definiranimi cenami in pravilno izvedeno simulacijo lahko hitro vidimo predvideni strošek za obratovanje stavbe.



Slika 31: Cene energentov

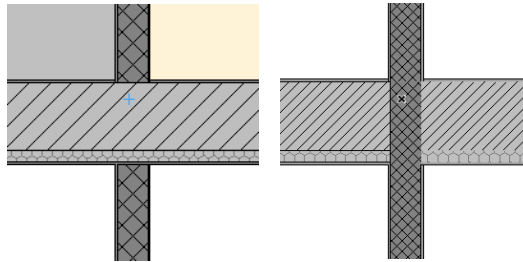
V preglednici 13 so za lažjo predstavo prikazane prodajne cene energentov za področje Nove Gorice na dan 26. junij 2016, le za občutek. Zavedati se moramo, da izračun cen v programu ArchiCAD ni posebej smiseln, razen za primerjavo trenutnih stroškov za obratovanje stavbe z morebitnimi novimi stroški, ko apliciramo rešitve za izboljšanje energijske učinkovitosti. Poleg časovne variabilnosti cen je treba upoštevati tudi onemogočen vnos vseh deležev cen energentov, kot so različne tarife električne energije ter variabilni in fiksni deli cene daljinske toplote.

Preglednica 13: Primer cen energentov

Energent	Cena	Enota
Les	50	€/prm
Peleti	235	€/t
Zemeljski plin	0.67748	€/Sm ³
Kurilno olje	0.8130	€/l
Elektrika	0.13226	€/kWh
Daljinska toplota	0.0748	€/kWh

3.2 Osnovne smernice za modeliranje BIM namenjeno pretvorbi v BEM

1. Cone modeliramo s pomočjo avtomatskega zaznavanja robov (»Construction Method: Inner Edge«.)
2. Izreze v conah (npr. poševen strop) izvajamo z Booleovimi operatorji (orodje »Solid Element Operations«).
3. Prostore, ki se raztezajo preko več nadstropij, modeliramo z ločeno cono v vsakem nadstropju.
4. Adiabatne stene modeliramo s pomočjo tankih con.
5. Neraven teren modeliramo z orodjem »Mesh tool«.
6. Konstruktivske sklope, sestavljene iz več kot enega sloja, modeliramo kot kompozitne strukture. Nikoli ne modeliramo z več ločenimi, staknjenimi elementi.
7. Uporabljamo šrafure konsistentno skozi celoten projekt. Posamezen material vedno rišemo z isto šrafuro.
8. Detajle rešujemo posebej. ArchiCAD prepozna meje con na pravokotnih ploskvah, robne pogoje v vogalih opisujemo preko toplotnih mostov. Energy Evaluation oz. Ecodesigner STAR spodnji primer prepozna enako, zato popolnost detajlov na tem mestu ni pomembna. Reševanje detajlov v BIM lahko celo vodi do napak pri prepoznavanju robnih pogojev v BEM.



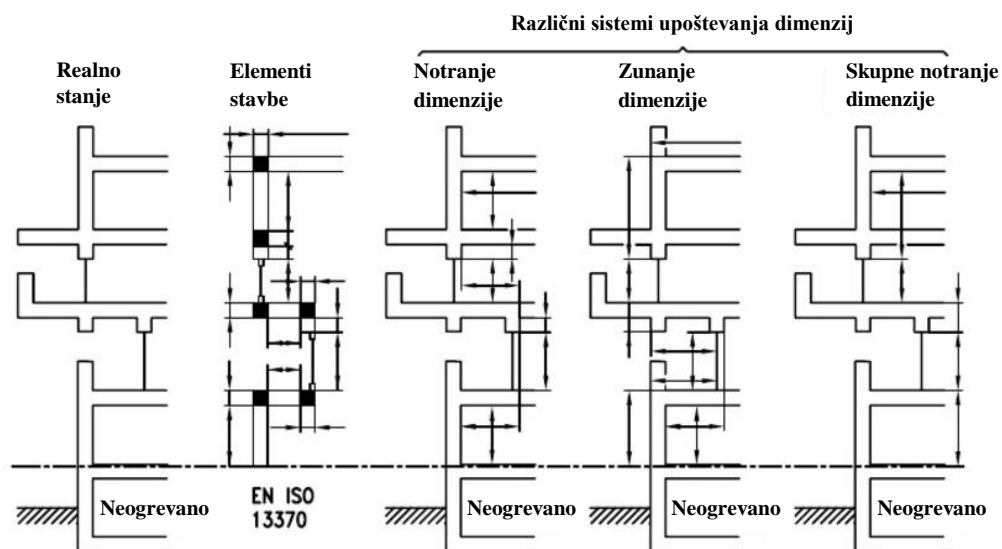
Slika 32: Primer detajliranja (levi primer zadostuje)

9. Elemente (npr. stene) modeliramo tako, da je os postavljena na notranji površini (»Inside face«). Tako preprosto povečujemo debelino toplotne izolacije in ohranjamo notranjo površino prostorov.
10. Priporočljivo je sprotno osveževanje v Energy Evaluation in sprotno odpravljanje morebitnih nepravilnosti. V nasprotnem primeru lahko model postane preveč kompleksen, odkrivanje in odpravljanje napak pa dolgotrajnejše od samega modeliranja.

3.3 Pretvorba enostavnega BIM v energijski model stavbe in primerjava rezultatov s programom KI Energija

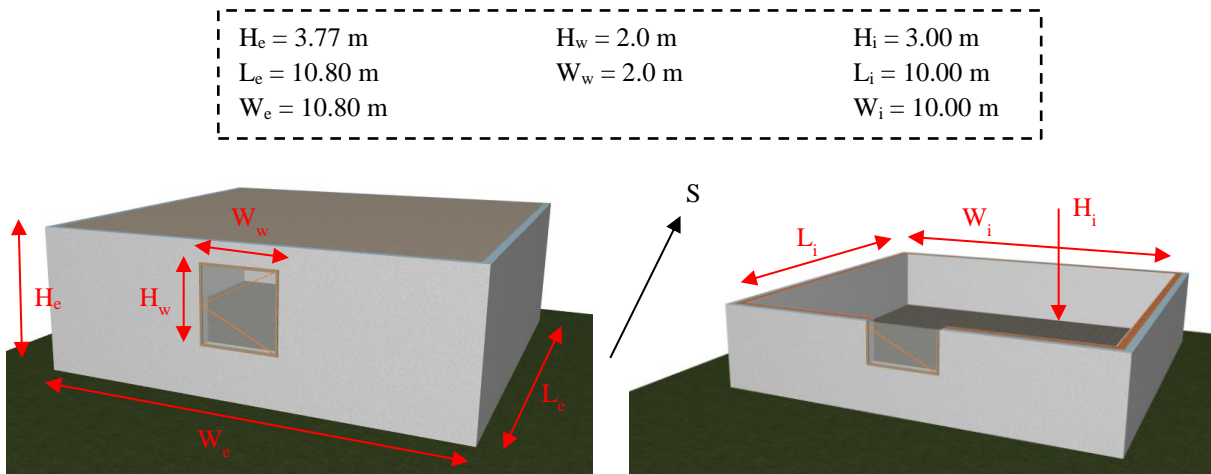
Po svetu se uporabljajo različni standardi in lokalni pravilniki za izračun energijskih lastnosti stavbe. Zato ArchiCAD in KI Energija 2014 računata energijsko bilanco stavbe po različnih standardih. ArchiCAD izvaja urno dinamično simulacijo v skladu s standardom ANSI/ASHRE Standard 140-2007. KI Energija 2014 oz. programi, ki se uporabljajo v Sloveniji, pa računajo po mesečni kvazistacionarni metodi. Ta je v skladu s pravilnikom PURES [64] in tehnično smernico TSG-1-004:2010 [55], ki določa metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavbe in temelji na slovenskih standardih, predvsem na standardu SIST EN ISO 13790:2008 [66].

ArchiCAD torej izračuna potrebo po ogrevanju oz. hlajenju za vsako uro dneva v letu, KI Energija 2014 pa povprečno po mesecih, pri čemer upošteva korekcijske faktorje, ki zmanjšujejo napako zaradi povprečenja. Pomembna razlika pri metodah oz. standardih je tudi različno obravnavanje geometrije stavbe. ArchiCAD uporablja notranje dimenzije prostorov, medtem ko KI Energija 2014 uporablja zunanje mere stavbe (Slika 34). Izvedba simulacije v obeh programih je smiselna zaradi opazovanja primerljivosti rezultatov. Dobljeni rezultati izvirajo iz upoštevanja različnih standardov s področja učinkovite rabe energije. KI Energija 2014 seveda upošteva slovensko zakonodajo, ArchiCAD pa ne.



Slika 33: Različne možnosti upoštevanja geometrije po standardu SIST EN ISO 13789 [67]. (Vir slike: [68]).

Za ugotovitev primerljivosti rezultatov, ki jih programa vrmeta, smo zasnovali model (v nadaljevanju enostavni model), na katerem smo izvajali simulacije (Slika 34). Gre za stavbo preproste oblike s štirimi zunanji stenami, ravno streho, tlemi na terenu ter zasteklitvijo na južni fasadi. Stavbi smo predpisali notranjo temperaturo, ki lahko čez leto variira med 20 °C in 26 °C. Stavba je zasnovana brez konstrukcijskih toplotnih mostov, zato smo upoštevanje toplotnih mostov v simulacijah zanemarili. Slika 34 prikazuje tako zunanje kot notranje dimenzije enostavnega modela in dimenzije transparentnega dela ovoja.



Slika 34: Dimenzije enostavnega modela stavbe

Preglednica 14 prikazuje potrebne vhodne podatke za izvedbo energijske simulacije. Identificirani so konstrukcijski sklopi, njihova sestava ter lastnosti materialov. Podani sta tudi toplotni prestopnosti mejnih plasti in izračunani faktorji toplotne prehodnosti.

Preglednica 14: Lastnosti stavbnega ovoja

	Sloj	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	α_i [W/m ² K]	α_e [W/m ² K]	U [W/m ² K]
Stena	Fasadni sloj	0.003	0.85	1700	1050			
	Lepilna malta	0.003	0.93	1600	1050			
	TI	0.18	0.035	30	1500	8	25	0.175
	Opeka	0.19	0.61	1400	920			
	Omet	0.025	0.85	1700	1050			
Streha	Nasutje	0.05	0.81	1700	840			
	Filc	0.001	0.10	100	840			
	TI	0.14	0.035	32	1500	8	25	0.174
	HI	0.01	0.19	1100	1460			
	TI v naklonu	0.05	0.035	32	1500			
	Beton	0.16	2.33	2500	960			
Tla na terenu	Ploščice	0.01	1.28	2300	920			
	Estrih	0.05	1.40	2200	1050			
	Zvočna izolacija	0.05	0.035	50	1260	8	6	0.134
	HI	0.01	0.19	1100	1460			
	Beton	0.24	2.04	2400	960			
	TI	0.20	0.035	32	1500			

Ker gre za zelo preprost primer, smo preverili izračun osnovnih parametrov ter izgub in dobitkov stavbe, ki jih programa izračunata. Pri tem smo uporabili klimatske podatke, ki jih podaja ARSO za izračun rabe energije po PURES za lokacijo Letališča Jožeta Pučnika. Urne klimatske podatke, ki smo jih uporabili v programu ArchiCAD, smo priredili s programom Elements, tako da smo dobili večje ujemanje podatkov glede na mesečno povprečje. Dobitke notranjih virov smo upoštevali 4 W/m². Namen izračuna je bil ugotoviti primerljivost izračunanih rezultatov oz. ugotoviti, kako velika so odstopanja.

Primer izračuna faktorja toplotne prehodnosti za steno:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (3)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{8 \frac{W}{m^2K}} + \frac{0.003 m}{0.85 \frac{W}{mK}} + \frac{0.003 m}{0.93 \frac{W}{mK}} + \frac{0.18 m}{0.035 \frac{W}{mK}} + \frac{0.19 m}{0.61 \frac{W}{mK}} + \frac{0.025 m}{0.85 \frac{W}{mK}} + \frac{1}{25 \frac{W}{m^2K}}} = 0.177 \frac{W}{m^2K}$$

Kjer je:

- U - faktor toplotne prehodnosti [W/m²K]
- α_i - toplotna prestopnost mejne notranje plasti [W/m²K]
- d_i - debelina sloja konstrukcijskega sklopa [m]
- λ_i - toplotna prevodnost sloja konstrukcijskega sklopa [W/mK]
- α_e - toplotna prestopnost mejne zunanje plasti [W/m²K]

Preglednica 15 prikazuje izračun U-faktorja stene s programom ArchiCAD, KI Energija 2014 ter z izračunom po zgornji enačbi (3). Ugotovili smo, da so faktorji izračunani enako, razen za tla na terenu. V tem primeru KI Energija 2014 za U-faktor tal na terenu upošteva tudi toplotno prevodnost tal.

Preglednica 15: Primerjava izračuna U-faktorja stene

	U [W/m ² K]		
	ArchiCAD	KI Energija 2014	Enačba
Stena	0.177	0.177	0.177
Streha	0.173	0.174	0.173
Tla na terenu	0.134	0.105	0.134

Podobno kot za steno smo izračunali tudi U-faktor okna:

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f + \psi l}{A_w} \quad (4)$$

$$U_w = \frac{3.42 m^2 \cdot 0.40 \frac{W}{m^2K} + 0.58 m^2 \cdot 0.95 \frac{W}{m^2K} + 7.20 m \cdot 0.00 \frac{W}{mK}}{4.00 m^2} = 0.479 \frac{W}{m^2K}$$

Kjer je:

- U_w - faktor toplotne prehodnosti okna [W/m²K]
- A_g - površina okna [m²]
- U_g - faktor toplotne prehodnosti zasteklitve [W/m²K]
- A_f - površina zasteklitve [m²]
- U_f - faktor toplotne prehodnosti okvirja [W/m²K]
- ψ - linijske toplotne izgube na stiku steklo-okvir [W/mK]
- l - vidni obseg stekla [m]

Preglednica 16 prikazuje izračun U-faktorja stene s programom ArchiCAD, KI Energija 2014 ter z izračunom po enačbi (4). Ugotovili smo, da vsi izračuni podajo enako vrednost faktorja toplotne prehodnosti.

Preglednica 16: Primerjava izračuna U-faktorja okna

	U _w [W/m ² K]		
	ArchiCAD	KI Energija 2014	Enačba
Okno	0.479	0.48	0.479

Transmisijske in ventilacijske izgube ter dobitke notranjih virov in dobitke sončnega sevanja smo izračunali po poenostavljeni metodi za mesec januar in jih primerjali z rezultati obeh programov. Dobitke oz. izgube smo izračunali za vsako uro preko podatkov, ki so bili uporabljeni v programu ArchiCAD. Izračuni za poenostavljeno metodo so izvedeni po spodnjih enačbah enačbah (6-8).

$$Q_c = \sum(A \cdot U) \cdot \Delta T \cdot n \quad (5)$$

Kjer je:

- Q_c - transmisijske izgube [kWh]
- A - površina elementov stavbnega ovoja [m²]
- U - faktor toplotne prehodnosti [W/m²K]
- ΔT - temperaturna razlika med notranjostjo in zunanostjo [K]
- n - število ur [h]

$$Q_v = c_{zrak} \cdot nv \cdot V \cdot \Delta T \cdot n \quad (6)$$

Kjer je:

- Q_v - ventilacijske izgube [kWh]
- c_{zrak} - specifična toplota zraka [Wh/m³K]; c_{zrak} = 0,34 Wh/m³K
- nv - število izmenjav zraka na uro [h⁻¹]
- V - neto volumen stavbe [m³]
- ΔT - temperaturna razlika med notranjostjo in zunanostjo [K]
- n - število ur [h]

$$Q_s = \sum(A \cdot I \cdot g_s \cdot g_0 \cdot g_{se}) \quad (7)$$

Kjer je:

- Q_s - dobitki sončnega sevanja [kWh]
- A - površina odprtine [m²]
- I - globalno sončno sevanje v ravnini odprtine [kWh/m²]
- g_s - faktor prepustnosti za sončno sevanje [-]
- g₀ - faktor okvirja [-]
- g_{se} - faktor senčenja [-]

$$Q_i = \sum(E \cdot A_u \cdot n) \quad (8)$$

Kjer je:

- Q_i - dobitki notranjih virov [kWh],
- E - moč notranjega vira [W/m²],
- A_u - uporabna površina stavbe [m²],
- n - čas prisotnosti vira [h].

Preglednica 17 prikazuje rezultate toplotnih izgub in dobitkov za mesec januar, izračunanih po zgornjih enačbah, ter s programoma ArchiCAD in KI Energija. Ugotovili smo, da se največje razlike pojavljajo pri izračunu transmisijskih izgub, medtem ko je ujemanje ventilacijskih izgub in dobitkov notranjih virov veliko. Dobitki sončnega sevanja se najbolj ujemajo pri izračunu s programoma ArchiCAD in KI Energija. Pomembno se je zavedati, da je izračun informativno narejen le za mesec januar, zato ne smemo ugotovitev posploševati na celotno leto.

Preglednica 17: Toplotne izgube in dobitki za mesec januar

	ArchiCAD	KI Energija 2014	Enačbe
Transmisijske izgube	715.0	977.0	819.1
Ventilacijske izgube	747.9	797.0	796.9
Dobitki notranjih virov	297.6	298.0	298.0
Dobitki sončnega sevanja	80.1	78.0	56.7

Opomba: enote so v kWh

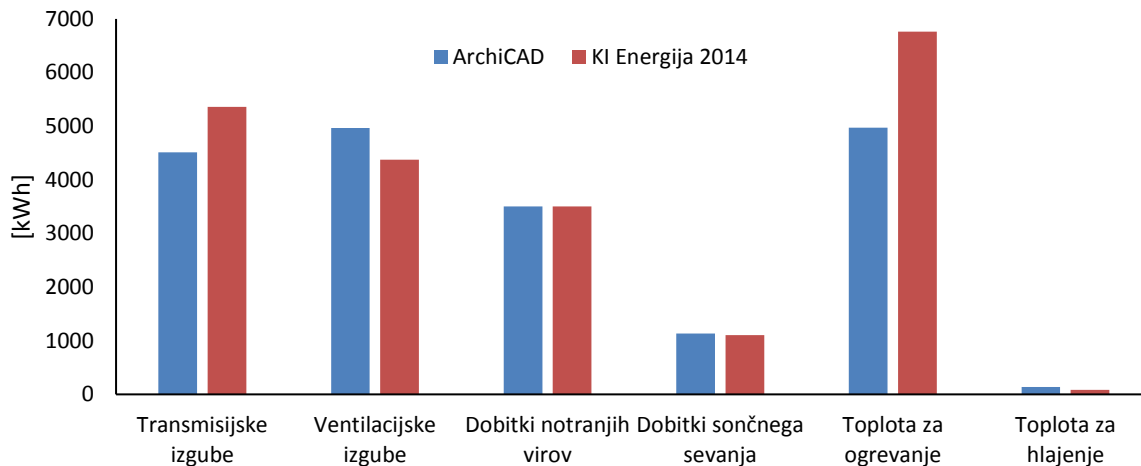
Zato smo primerjali tudi letno bilanco dobitkov in izgub, izračunanih v programih ArchiCAD in KI Energija 2014. Rezultati so prikazani v preglednici 18 in grafikonu 2. Ugotovili smo, da se izračunani potrebni toploti za ogrevanje in hlajenje obe razlikujeta za približno 36 odstotkov. Transmisijske izgube, ki jih izračuna KI Energija, so za 19 odstotkov višje od tistih, izračunanih v ArchiCAD-u. Ventilacijske izgube so v KI Energiji manjše za 12 odstotkov. Dobitki notranjih virov so izračunani identično, solarni dobitki pa se razlikujejo za 2.5 odstotka. Razlike, predvsem v izračunu transmisijskih in ventilacijskih izgub, pripisujemo različnemu upoštevanju geometrije stavbe, koriščenju dobitkov ter samemu načinu izračuna. Velik vpliv na izračun ima definitivno način upoštevanja zunanjih temperatur, relativne vlažnosti in sončnega sevanja. KI Energija ima za vsak parameter na voljo 12 podatkov (za vsak mesec v letu), medtem ko ArchiCAD operira z 8760 podatki (za vsako uro leta) za vsak parameter.

Preglednica 18: Primerjava izračuna med programi ArchiCAD in KI Energija 2014

	ArchiCAD	KI Energija 2014
Transmisijske izgube	4512.4	5362.0
Ventilacijske izgube	4965.5	4373.0
Dobitki notranjih virov	3504.0	3504.0
Dobitki sončnega sevanja	1135.9	1107.0
Toplota za ogrevanje	4971.9	6763.0
Toplota za hlajenje	135.0	87.0

Opomba: enote so v kWh

Grafikon 2: Grafični prikaz primerjave izračuna med programi ArchiCAD in KI Energija 2014



3.4 Način upoštevanja notranjih virov in energije za pripravo tople vode v programu ArchiCAD

V zgornjem primeru smo dobitke notranjih virov upoštevali preko toplote, ki jo oddajajo ljudje, kljub temu da med njih spada tudi toplota, ki jo oddaja razsvetljava. Za sam izračun notranjih dobitkov je ta metoda primerna. Če želimo izračunati primarno energijo, ki je potrebna za razsvetljavo (ne samo toplotnih dobitkov zaradi razsvetljave), moramo vnos notranjih virov znotraj programa ArchiCAD bolj natančno razdelati.

Tehnična smernica za stanovanjske stavbe določa prispevek notranjih virov 4 W/m^2 na enoto uporabne površine stavbe in zajema notranje toplotne vire zaradi ljudi, naprav, procesov, materialnih tokov in razsvetljave v stavbi. Če želimo v ArchiCAD-u doseči to vrednost ter hkrati upoštevati potrebno energijo za ogrevanje in delovanje sistemov, moramo vhodne podatke preračunati. S pomočjo spodnje enačbe lahko izračunamo vrednosti za doseganje zelenih prispevkov notranjih virov (4 W/m^2).

$$Q_{i,ArchiCAD} = Q_{i,uporabniki} + Q_{i,oprema} + Q_{i,razsvetljava} = 4 \frac{W}{m^2}$$

Tehnična smernica določa, da se letna dovedena energija za razsvetljavo določi tako, da skupno vgrajeno moč fiksnih svetil pomnožimo s 1500 obratovalnimi urami letno. Pri tem lahko uporabimo privzete vrednosti za pretežno uporabo svetil na žarilno nitko 10 W/m^2 in za pretežno uporabo sijalk 2.5 W/m^2 . Zaradi preprostejšega vnosa in majhne napake predpostavimo, da so luči prižgane 4 ure na dan, to v letu prinese 1460 ur. Na sliki 35 to opazimo kot skok med devetnajsto in triindvajseto uro.

$$Q_{i,razsvetljava} = \frac{n_{vklop}}{n_{leto}} q_{luči} = \frac{1460 \text{ h}}{8760 \text{ h}} \cdot 2.5 \frac{W}{m^2} = 0.417 \frac{W}{m^2}$$

Prispevek notranjim virom zaradi električne opreme privzamemo 0.5 W/m^2 skozi celotno leto.

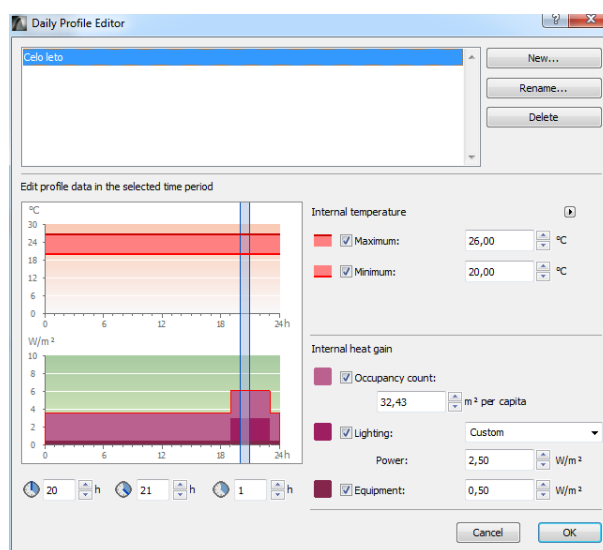
$$Q_{i,oprema} = 0.5 \frac{W}{m^2}$$

Določiti moramo še fiktivno število prebivalcev, da izračunamo prispevek človeka k notranjim virom. Pri tem predpostavimo, da je toplotni tok ene osebe (q_{oseba}) enak 100 W [69].

$$Q_{i,uporabniki} = 4 \frac{W}{m^2} - Q_{i,razsvetljava} - Q_{i,oprema} = 4 \frac{W}{m^2} - 2.5 \frac{W}{m^2} - 0.5 \frac{W}{m^2} = 3.08 \frac{W}{m^2}$$

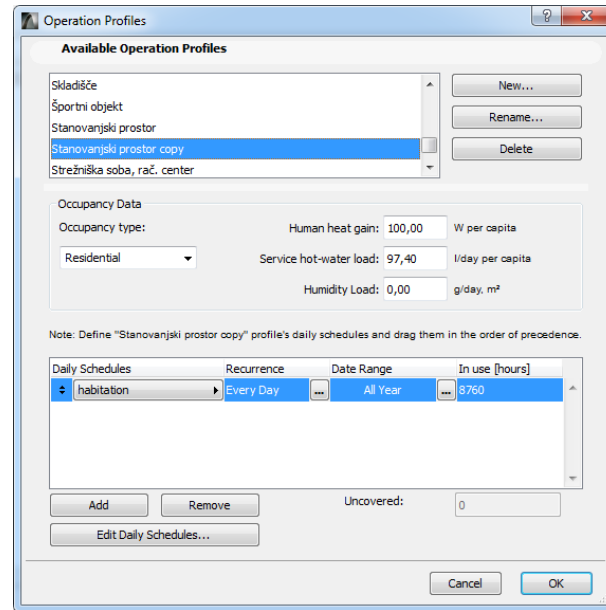
$$A_{oseba} = \frac{q_{oseba}}{Q_{i,uporabniki}} = \frac{100 W}{3.08 \frac{W}{m^2}} = 32,43 m^2$$

Z zgoraj prikazanim postopkom smo pridobili vhodne podatke, potrebne za izračun notranjih virov v skladu s tehnično smernico [55], pri čemer smo naredili majhno napako pri prispevkih zaradi razsvetljave. Izračunane podatke vnesemo v program ArchiCAD tako, kot kaže spodnja slika 35.



Slika 35: Princip vnosa razdelanih notranjih virov v ArchiCAD

Zavedati se moramo, da smo z določitvijo fiktivnega števila uporabnikov vplivali tudi na izračun energije za pripravo tople vode. Ta je vezana na število uporabnikov, ki ga program izračuna preko uporabne površine in površine, ki smo jo pripisali enemu uporabniku (na sliki 35 angl. *Occupancy Count*). V našem primeru je uporabna površina stavbe 100 m². Torej smo določili, da imamo na 100 m² uporabne površine 3.08 uporabnikov. Program bo izračunal potrebo po topli vodi za 3.08 uporabnika. V primeru, da želimo določiti rabo tople vode glede na drugačno (točno) število uporabnikov, moramo to podati v korigirani količini litrov na osebo na dan (glej sliko 36).



Slika 36: Primer korekcije količine tople vode za 6 uporabnikov, kjer upoštevamo porabo tople vode 50 litrov na osebo na dan

ArchiCAD toploto potrebno za pripravo tople vode izračuna po enačbi 9. Temperaturno razliko, za katero sistem segreva vodo, nastavimo v rubriki »Building Systems« pri sistemih ogrevanja (glej točko 3.1.8).

$$Q_w = c_w \cdot m \cdot \Delta T \cdot \left(\frac{1}{3,6 \cdot 10^6} \cdot n \right) \quad (9)$$

$$Q_w = 4180 \frac{J}{kgK} \cdot 100 kg \cdot 10 K \cdot \frac{1}{3,6 \cdot 10^6} \cdot 365 = 423,8 kWh$$

- Q_w - potrebna toplota za segrevanje vode [kWh]
- c_w - specifična toplota vode [kJ/kgK]
- m - masa vode [kg]
- ΔT - temperaturna razlika za katero segrevamo vodo [K]
- n - število dni [-]

3.5 Izvoz podatkov v programe tretjih strank

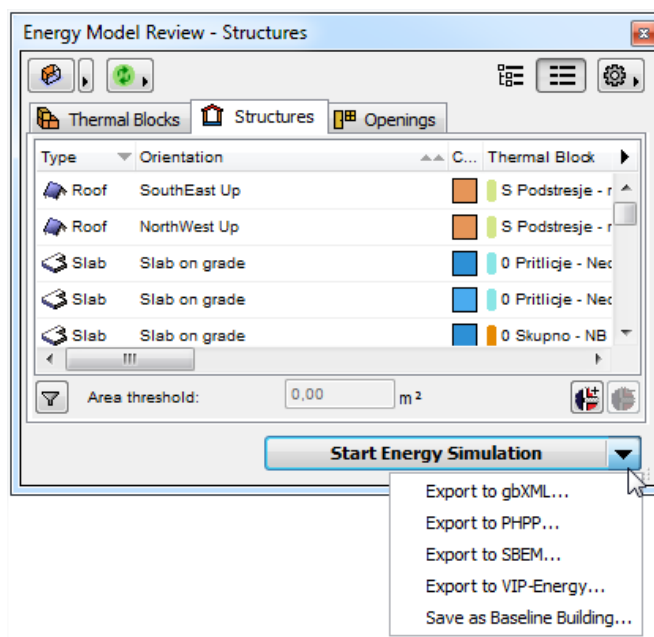
Slovenska zakonodaja zahteva uporabo programskega orodja, ki rabo energije v stavbi računa po pravilniku PURES 2010 in v skladu s Tehnično smernico učinkovite rabe energije. Ker simulacije izvedene v programu ArchiCAD niso v skladu s temi pravilniki, smo preverili, kakšne bi bile možnosti izvoza podatkov, potrebnih za izvedbo izračuna v slovenskih programih. Trenutno slovenski programi ne omogočajo uvoza geometrijskih in drugih podatkov v formatu, ki ni lasten programu.

Za izdelavo energetske izkaznice ali izračuna gradbene fizike potrebujemo:

- podatke o delu ali delih stavbe, ki so ogrevani,
- uporabno površino, neto in bruto prostornino,
- lokacijo in klimatske značilnosti lokacije,
- orientacijo glede na smer neba za stavbno pohišstvo in netransparentne elemente,
- naklon stavbnega pohišstva in netransparentnih elementov,
- faktorje toplotne prehodnosti stavbnega pohišstva in netransparentnih elementov,
- sestavo konstrukcijskih sklopov (KS) netransparentnih elementov in
- toplotno prevodnost, specifično toploto in gostoto uporabljenih materialov,
- faktorje prepustnosti sončnega sevanja transparentnih elementov in
- podatke o senčenju transparentnih elementov.

3.5.1 Pregled možnosti izvoza podatkov

ArchiCAD omogoča izvoz geometrije stavbe in materialnih podatkov v formatih drugih programskih orodij. Osnovni program (Energy Evaluation) omogoča izvoz geometrije preko formata IFC, dodatek Ecodesigner STAR pa tudi v gbXML, PHPP, SBEM ter VIP-Energy (Slika 37). V obeh različicah je možno po izvedeni simulaciji vhodne podatke in izhodne podatke izvoziti v obliki datoteke Microsoft Office Excel (XLSX).



Slika 37: Možnosti izvoza

Preverili smo, katere od zgoraj omenjenih podatkov je možno pridobiti z različnimi izvozi. Ker IFC zapis v osnovi vsebuje le podatke o geometriji in ne o materialih, smo ga izločili že na začetku. Izvoz za programa SBEM in VIP-Energy smo izločili zaradi nepoznavanja programskih orodij. Ostali so še izvozi v obliki gbXML, PHPP in XLSX oz. delovni zvezek programa Excel. Green Building XML (gbXML) je odprta shema, namenjena prenosu podatkov o stavbi iz informacijskega modela stavbe v orodje za energijsko simulacijo stavbe. Ideja sheme je zmanjšati težave pri interoperabilnosti različnih programov za (energijsko) modeliranje. Passive House Planning Package (PHPP) je programsko orodje, osnovano na Excelovih zvezkih, ki omogoča izračun letne rabe energije v stavbi. Namenjen oz. zahtevan je izračunom rabe energije v stavbah, ki so načrtovane v skladu s standardom pasivne hiše. Pri izvozu podatkov v obliki Excelove datoteke gre za zelo preprost delovni zvezek, v katerem so podatki o elementih stavbe. Preglednica 19 prikazuje, katere podatke lahko pridobimo z izvozom v XLSX, PHPP in gbXML. Oznaka »x« pomeni, da je izvoz možen, oznaka »0« pa, da izvoz ni možen.

Preglednica 19: Možnost izvoza podatkov z izbranimi tipi izvoza

	XLSX	PHPP	gbXML
Netransparentni elementi			
Orientacija	x	x	x
U-faktor	x	x	x
Naklon	0	0	x
Sestava KS	0	x	x
Toplotna prevodnost	0	x	x
Specifična toplota	0	0	x
Gostota	0	0	x
Transparentni elementi			
Orientacija	x	x	x
Naklon	0	x	x
U-faktor	x	0	x
g-faktor	x	0	0
LT-faktor	x	0	0
Senčenje	x	0	0
Splošno			
Zunanje dimenzije ovoja	0	0	0
Licenca ED STAR	0	x	x
Neto površina	x	0	x
Bruto volumen	0	0	0
Neto volumen	x	0	x

Ugotovili smo, da z vsemi tremi tipi dobimo podatke o orientaciji in toplotni prehodnosti netransparentnih elementov. Naklon netransparentnih elementov je pomemben predvsem pri strehah in morebitnih nagnjenih stenah. gbXML ta podatek vsebuje predvsem zaradi poustvarjanja geometrije v drugih orodjih. Za slovenske programe je podatek o orientaciji strehe dovolj in ga izvoza XLSX in PHPP tudi vsebujeta. Sestava konstrukcijskega sklopa ni nujno potreben podatek, če že imamo podatek o toplotni prehodnosti elementa. Kljub temu vidimo prednosti posedovanja informacij o sestavi konstrukcijskega sklopa, ki vsebuje podatke o materialih in njihovih debelinah. Znotraj programa za energijske simulacije bi lahko spreminjali debeline ali materiale in tako optimizirali toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa brez vračanja v osnovni program (ArchiCAD). Podobno kot pri netransparentnih elementih, je možno pridobiti podatek o orientaciji in naklonu stavbnega pohištva. Pri XLSX izvozu manjka podatek o naklonu, ki je potreben predvsem pri strešnih oknih. Toplotno prehodnost elementa lahko dobimo z izvozom XLSX in gbXML. Pri izvozu v PHPP se ta podatek

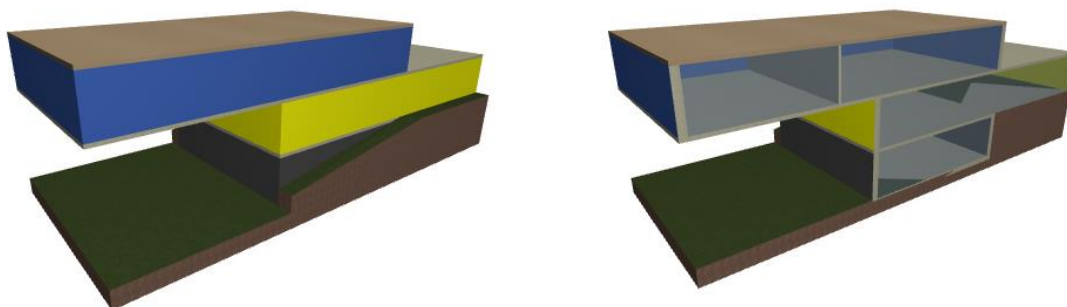
verjetno izgubi, ker se tip elementa ne prenese v obstoječi seznam stavbnega pohištva. Podatek o optičnih lastnostih transparentnih elementov (g-faktor in LT-faktor) in senčenju elementa se ohrani samo pri izvozu XLSX. Nobeden izmed izvozov ne podaja podatka o zunanjih dimenzijah stavbnega ovoja in posledično tudi ne podatka o bruto prostornini stavbe. Razlog za to je v upoštevanju računske metode, ki zahteva notranje dimenzije prostorov in način modeliranja con, ki jih ArchiCAD upošteva v izračunu. Podatka o neto prostornini in neto uporabni površini ogrevanih prostorov sta na voljo preko izvoza XLSX in gbXML.

Standard SIST EN ISO 13789:2008 [67] v dodatku B dovoljuje tri različne sisteme upoštevanja geometrije stavbe za izračun rabe energije. Geometrijo je dovoljeno upoštevati po sistemu notranjih dimenzij, skupnih notranjih dimenzij ali zunanjih dimenzij (Slika 33). Odločitev, kateri sistem bo upoštevan, je določena na nacionalni ravni. Za Slovenijo velja dogovor uporabe zunanjega sistema določanja mer. Odločitev za posamezen sistem vpliva na dimenzije ploskovnih elementov in posledično na linearno toplotno prehodnost (ψ -vrednost). Uporaba zunanjih dimenzij pomeni manjše ψ -vrednosti, saj je toplotni tok skozi ploskovne elemente večji. Skupni transmisijski toplotni tok je neodvisen od dogovora o upoštevanju geometrije, zato naj bi bili rezultati za vse tri sisteme enaki [70]. Drugačna odločitev za obravnavanje dimenzij stavbe v Sloveniji bi torej omogočila bolj preprosto povezovanje načrtovalskih in simulacijskih orodij.

Izvoz čim večjega nabora podatkov o stavbi v slovenske programe za izračun rabe energije bi omogočil hitrejšo izdelavo energetske izkaznice ali izračun gradbene fizike. Hkrati bi zaradi direktnega uvoza podatkov zmanjšali možnost napak. Največ pomembnih podatkov lahko pridobimo s pomočjo izvozov XLSX in gbXML. Pri tem se moramo zavedati, da XLSX temelji na zaprti kodi programa Microsoft Office Excel in bi lahko pri uvozu podatkov v program za energijske simulacije naleteli na težave. Velika prednost tega izvoza pa je, da ne potrebujemo dodatne licence za Ecodesigner STAR. Na drugi strani je bil format gbXML izdelan ravno za primere, kot ga opisujemo. V osnovi torej ne bi smelo biti večjih težav pri uvažanju podatkov v programe. Slabost izvoza v gbXML je potreba po dodatni licenci in s tem povezani dodatni stroški. Splošno gledano je gbXML boljše izbira za izdelovalca slovenskega programa, saj tako omogoči uvoz podatkov iz vseh orodij BEM, ki omogočajo izvoz v obliki gbXML.

3.5.2 Izvoz podatkov v obliki gbXML

Strukturo sheme gbXML smo bolj podrobno preučili. Izdelali smo poseben model (Slika 38), ki je zajemal vse pogoste strukture zunanjega ovoja. Na enem modelu smo izvedli tla na terenu, tla pod terenom, tla nad terenom, zunanje stene, vkopane in delno vkopane stene, ravno streho, medetažno konstrukcijo nad ogrevanim ter neogrevanim prostorom ter notranjo steno. Znotraj programa ArchiCAD smo ugotovili, da so vsi tipi struktur pravilno identificirani. Ujemanje smo preverili tudi v zapisu gbXML.



Slika 38: Model za preverjanje pravilnosti identifikacije konstrukcijskih sklopov

Ugotovili smo, da se vse konstrukcije ujemajo v ArchiCAD-u in gbXML datoteki le z nekoliko različnimi poimenovanji. Vsi konstrukcijski sklopi so podani s koordinatami, nagibom, odklonom od severa ter širino in višino. Ostali parametri so naštet v preglednici 19.

Preglednica 20: Poimenovanje znotraj programa ArchiCAD in v shemi gbXML

	ArchiCAD	gbXML
Zunanja stena	Wall (Orientacija)	ExteriorWall
Notranja stena	Wall (Inner)	InteriorWall
Medetažna konstrukcija	Slab (Inner)	InteriorWall
Vkopana stena	Wall (Underground)	UndergroundWall
Streha	Roof (Upward)	Roof
Tla pod terenom	Slab (Underground)	UndergroundSlab
Tla nad terenom	Slab (Bottom)	RaisedFloor
Tla na terenu	Slab (Slab on grade)	SlabOnGrade

Spodaj je prikazan splošen primer sheme gbXML, ki jo dobimo z izvozom iz programa ArchiCAD Ecodesigner STAR:

- gbXML
 - Zone(s)
 - Constructions(s)
 - Layer(s)
 - Material(s)
 - Campus
 - Location
 - Surface(s)
 - Building(s)
 - BuildingStorey(s)
 - Space(s)
 - Weather
 - DocumentHistory

V prvi vrstici je navedena verzija gbXML sheme in fizikalne enote, v katerih je shema zapisana.

Cone predstavljajo termalne bloke, ki jih definiramo znotraj vtičnika Ecodesigner STAR. Vsebujejo le podatek o poimenovanju in zaporedno številko. Določeni način uporabe termalnega bloka (angl. *Operation Profiles*) se ne prenese v shemo. Primer iz sheme:

```
<Zone id="bldg-zn-1">
<Name>Osnovni termalni blok</Name>
<Description>001</Description>
</Zone>
```

Konstrukcije zajemajo podatek o poimenovanju konstrukcijskega sklopa znotraj osnovnega programa ArchiCAD, izračunan U-faktor ter podatek o barvi konstrukcije. Pomemben del je tudi atribut LayerId, ki je za vsako konstrukcijo definiran ločeno. Primer iz sheme:

```
<Construction id="cnstr-4">
<Name>FZ-AB 1/16/20/1 omet</Name>
<U-value unit="WPerSquareMeterK">0.23100779</U-value>
<LayerId layerIdRef="lyr-4"/>
<LoadCalcInputParameters>
```

```
<CLTDParameters wallColor="Dark"/>  
</LoadCalcInputParameters>  
</Construction>
```

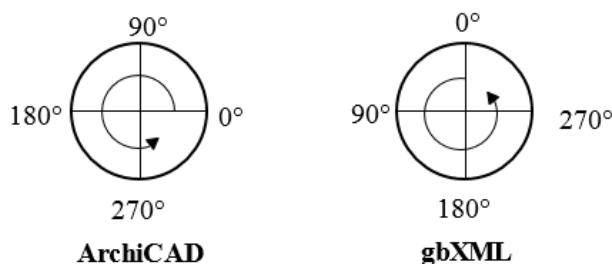
Sloji (angl. *Layer*) obsegajo poimenovanje konstrukcije in uporabljene materiale znotraj sloja, ki pripada posamezni konstrukciji. Primer iz sheme:

```
<Layer id="lyr-5">  
<Name>FZ-AB 1/16/20/1 omet</Name>  
<MaterialId materialIdRef="mat-3"/>  
<MaterialId materialIdRef="mat-4"/>  
<MaterialId materialIdRef="mat-5"/>  
<MaterialId materialIdRef="mat-6"/>  
<MaterialId materialIdRef="mat-7"/>  
</Layer>
```

Materiali vsebujejo podatke o debelini (sloja konstrukcijskega sklopa), toplotni prevodnosti, gostoti, specifični toploti in R-faktor. Primer iz sheme:

```
<Material id="mat-4">  
<R-value unit="SquareMeterKPerW">4.16666667</R-value>  
<Thickness>0.16000000</Thickness>  
<Name>Izolacija - Kamena volna trda</Name>  
<Conductivity unit="WPerMeterK">0.04000000</Conductivity>  
<Density unit="KgPerCubicM">180.00000000</Density>  
<SpecificHeat unit="JPerKgK">840.00000000</SpecificHeat>  
</Material>
```

Sledi atribut »Campus«, ki vsebuje podatke lokaciji, površinah in conah. Lokacija (angl. *Location*) vsebuje podatke o geografski širini in dolžini ter azimut oz. odklon od severa. Pomembno je, da vrednost odklona od severa v Ecodesigner STAR in gbXML nista enaki. Odklon 90° v Ecodesigner STAR bo v gbXML pomenil odklon 0°. Slika 39 prikazuje različno razumevanje severa v obeh zapisih.



Slika 39: Različna definicija severa v programu ArchiCAD in shemi gbXML

Površine (angl. *Surface*) povedo tip konstrukcijskega sklopa (npr. zunanja stena), poimenovanje konstrukcije, orientacijo, naklon ter širino in višino. Vsebuje tudi koordinate elementa, podatek o oni, na katero element meji, in odprtine v elementu. Podobno kot konstrukcijski sklop, imajo tudi odprtine definirane dimenzije, koordinate in toplotno prehodnost. Spodaj so delno prikazane površine iz sheme:

```
<Surface constructionIdRef="cnstr-5" exposedToSun="true" id="su-  
17" surfaceType="ExteriorWall">  
<Name>FZ</Name>  
<RectangularGeometry>  
<Azimuth>270.00000000</Azimuth>  
<Tilt>90.00000000</Tilt>  
<Width>4.99999998</Width>
```

```

<Height>2.49999999</Height>
<CartesianPoint>
<Coordinate>8.75716146</Coordinate>
<Coordinate>12.66912415</Coordinate>
<Coordinate>0.00000000</Coordinate>
</CartesianPoint>
</RectangularGeometry>
<PlanarGeometry>...</PlanarGeometry>
<AdjacentSpaceId spaceIdRef="sp-2-Zone"/>
<Opening id="opn-1" openingType="OperableWindow">...</Opening>
</Surface>

```

Atribut »Buildings« vsebuje podatke o conah, ki jih definiramo znotraj ArchiCAD-a. Vsebuje podatke o višini definiranih nadstropij (angl. *Storey*) in geometrijo con, skupaj z njihovo neto površino in neto volumnom:

```

<Building buildingType="Unknown" id="bldg-1">
<Area>0.00000000</Area>
<BuildingStorey id="bldg-stry-1">
<Name>-1. Klet</Name>
<Level>-2.70000000</Level>
</BuildingStorey>
<BuildingStorey id="bldg-stry-2">
<Name>0. Pritlicje</Name>
<Level>0.00000000</Level>
</BuildingStorey>
<BuildingStorey id="bldg-stry-3">
<Name>1. Nadstropje</Name>
<Level>2.70000000</Level>
</BuildingStorey>
<Space buildingStoreyIdRef="bldg-stry-1" id="sp-1-Zone" zoneIdRef="bldg-zn-1">...</Space>
<Space buildingStoreyIdRef="bldg-stry-2" id="sp-2-Zone" zoneIdRef="bldg-zn-1">...</Space>
<Space buildingStoreyIdRef="bldg-stry-3" id="sp-3-Zone" zoneIdRef="bldg-zn-1">...</Space>
<Space buildingStoreyIdRef="bldg-stry-3" id="sp-4-Zone" zoneIdRef="bldg-zn-1">...</Space>
</Building>

```

Atribut »Weather« vsebuje dvanajst zapisov povprečnih mesečnih zunanjih temperatur za izbrano lokacijo:

```

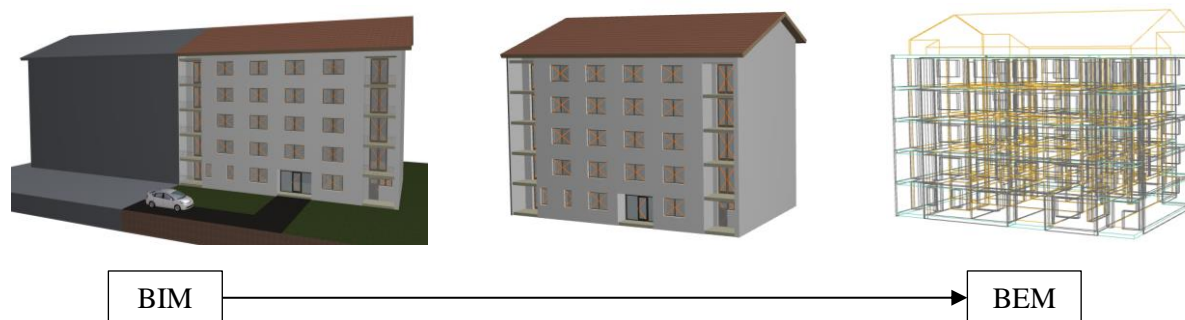
<Weather id="wthr-1">
<City>LJUBLJANA, 46° 13' 12" N, 14° 28' 48" E</City>
<GroundTemp unit="C">-1.20255376</GroundTemp>
<GroundTemp unit="C">-0.84880952</GroundTemp>
...
<GroundTemp unit="C">-0.03225806</GroundTemp>
</Weather>

```

Schema se zaključuje z atributom »DocumentHistory«, kjer so navedeni podatki o programski opremi, operacijskem sistemu, uporabniku in času nastanka gbXML dokumenta.

4 PRETVORBA INFORMACIJSKEGA MODELA STANOVANJSKEGA BLOKA V ENERGIJSKI MODEL (BEM)

Po opravljenih analizah in evalvaciji programske opreme smo ugotovitve aplicirali na modelu stanovanjskega bloka. Gre za stavbo, zgrajeno v osemdesetih letih dvajsetega stoletja. Kot mnoge stanovanjske stavbe v Sloveniji je tudi ta potrebna energijske prenove. S programom ArchiCAD smo preverili različne pristope k izboljšanju energijske učinkovitosti in njihov vpliv na skupno rabo energije objekta.



Slika 40: Model obravnavane stavbe

Objekt se nahaja v Ribnici na Dolenjskem. Gre za pet etažno, večstanovanjsko stavbo. Zunanje tlorisne dimenzije objekta so 22.8 metrov dolžine in 14.4 metrov širine, višina slemena pa je 17.8 metrov. Objekt se na severovzhodni strani drži enakega večstanovanjskega objekta. Dostop je mogoč s severozahodne strani, kjer je urejeno parkirišče ter asfaltirano dvorišče.

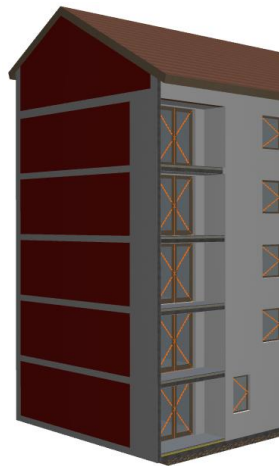
Gre za kombinirano konstrukcijo armiranobetonskih in opečnih nosilnih zidov, nosilne plošče so armiranobetonske, ostrešje pa je leseno. Stavba obsega 17 enakih bivalnih enot, eno v pritličju ter po štiri v vsakem nadstropju. Bivalno enoto sestavljajo hodnik, kuhinja, dve sobi ter kopalnica. V pritličju so kletni prostori, kolesarnica ter skupni prostori, namenjeni skladiščenju in druženju. Podstrešje je neizkoriščeno. Z vidika energijske analize razdelimo stavbo na tri področja: bivalno in ogrevano, nebivalno in ogrevano ter neogrevano. V ogrevano in bivalno spadajo vse bivalne enote, nebivalni in ogrevani so vsi hodniki oz. stopnišča ter skupni prostori, neogrevani pa so klet, kolesarnica vhod in podstrešje.

V nadaljevanju je opisan postopek pretvorbe informacijskega modela izbrane stavbe v energijski model stavbe po korakih, ki jih predvideva program ArchiCAD z dodatkom Ecodesigner STAR. Opisani so vsi zahtevani vhodni podatki, ki vodijo k izvedbi simulacij in analizi rezultatov.

4.1 Cone in termalni bloki

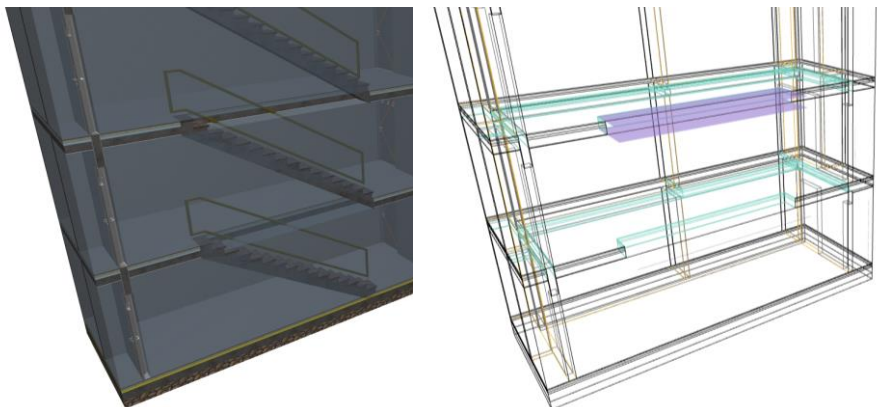
Vsak prostor stavbe je modeliran kot svoja cona. Vseh con skupaj je 125, pri čemer je 106 con bivalnih, 14 nebivalnih in ogrevanih ter 5 neogrevanih. Cone so glede na namembnost in ogrevanje razdeljene v termalne bloke (bivalni, nebivalni in ogrevani, neogrevani). Na fasadi stavbe, ki se drži drugega objekta, smo v vsakem nadstropju definirali tudi adiabatne cone. S pomočjo teh con modeliramo adiabatne stene, ki ločujejo dva ogrevana prostora. Skozi adiabatne stene prenos toplote ne poteka in nimajo vpliva na toplotne izgube, vplivajo pa na termalno maso. Pogost primer adiabatnih sten so, tako kot v našem primeru, požarni zidovi med dvema stikajočima se stavbama. Take primere modeliramo s pomočjo tankih con v vsakem nadstropju [61]. Slika 41 prikazuje kako smo modelirali adiabatne stene v

obravnavačem primeru. Pri tem se je pomembno zavedati tudi, na kakšen prostor meji stena. Podstrešna stena meji na neogrevano podstrešje, ostale stene pa na ogrevane bivalne enote.



Slika 41: Način modeliranja adiabatnih sten

Program nas opozarja na napake pri modeliranju s pomočjo t. i. nepokritih področij (angl. *Uncovered Areas*). Ta področja v žičnatem pogledu modela vidimo obarvana vijolično. V primeru na sliki 42 je šlo za manjkajoči del cone v preboju medetažne konstrukcije. Težavo smo rešili s pomočjo Booleovih operatorjev, tako da smo izvedli stik dveh con na področju preboja.



Slika 42: Nepokrita področja

Vse prostore, ki jih želimo upoštevati v energijski simulaciji, moramo opisati s conami. Upoštevati je potrebno vse kondicionirane prostore [61]. Ker obravnavamo stanovanjski blok s tako ogrevanimi kot neogrevanimi prostori smo zasnovali tri principe upoštevanja con. V prvem primeru smo upoštevali le ogrevane prostore, medtem ko smo neogrevane zanemarili. V drugem primeru smo upoštevali neogrevane kletne prostore v pritličju, v tretjem primeru pa smo upoštevali še neogrevano podstrešje. Ugotovili smo, da program upošteva neogrevane prostore v simulaciji in izračunava prenos toplote med ogrevanimi prostori in neogrevanimi prostori. Zaradi toplotne vztrajnosti teh prostorov lahko zato opazimo razlike v toplotnih izgubah pri različnem upoštevanju neogrevanih prostorov (Slika 43). Najnižje so pri tretjem primeru, kar je zaradi zgoraj opisanih razlogov smiselno. Pomembno je tudi upoštevanje toplotnih dobitkov zaradi sončnega sevanja, če so zidovi neogrevanih prostorov zastekljeni. Drugi in tretji primer imata zaradi zasteklitev kletnih sten večje solarne dobitke. Na tak način smo se prepričali, da program upošteva interakcijo med ogrevanimi in neogrevanimi prostori. Tretji primer je zato edini pravilen način upoštevanja prostorov v simulacijah.

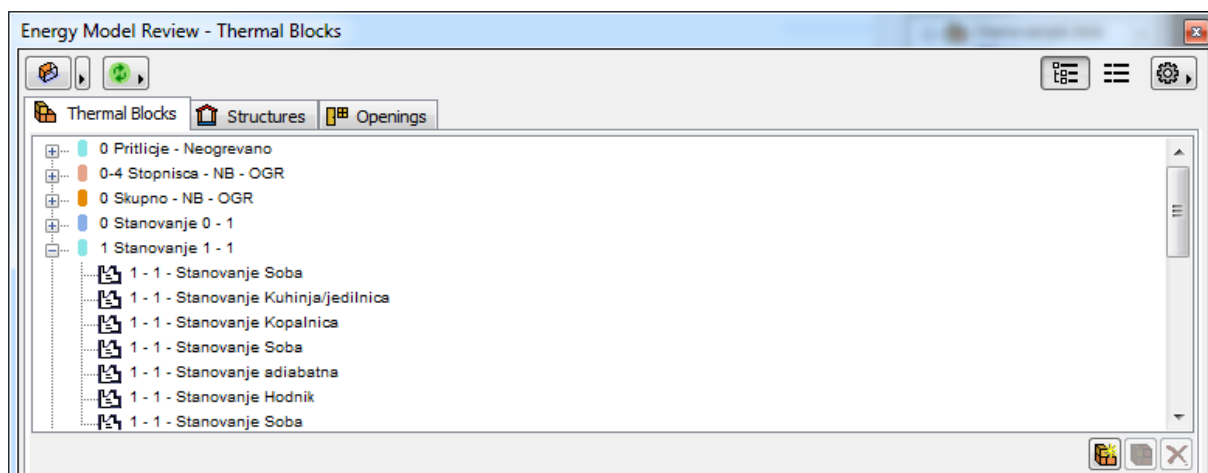
Lighting and Equipment 7604,3 MWh/a	Lighting and Equipment 7604,3 MWh/a	Lighting and Equipment 7604,3 MWh/a
Added Latent Energy 2400,3 MWh/a	Added Latent Energy 2400,3 MWh/a	Added Latent Energy 2397,1 MWh/a
Human Heat Gain 25578,0 MWh/a	Human Heat Gain 25578,0 MWh/a	Human Heat Gain 25578,0 MWh/a
Service Hot-Water Heating 14810,6 MWh/a	Service Hot-Water Heating 14810,6 MWh/a	Service Hot-Water Heating 14810,6 MWh/a
Solar Gain 25699,9 MWh/a	Solar Gain 28151,0 MWh/a	Solar Gain 28151,5 MWh/a
Heating 209905,8 MWh/a	Heating 188249,0 MWh/a	Heating 164519,4 MWh/a
Transmission 180475,3 MWh/a	Transmission 159842,5 MWh/a	Transmission 129838,9 MWh/a
Infiltration 9868,7 MWh/a	Infiltration 10010,7 MWh/a	Infiltration 12444,3 MWh/a
Ventilation 80972,4 MWh/a	Ventilation 82224,8 MWh/a	Ventilation 86186,6 MWh/a
Sewage 14810,6 MWh/a	Sewage 14810,6 MWh/a	Sewage 14810,6 MWh/a

Slika 43: Upoštevanje neogrevanih prostorov v simulaciji (levo – samo ogrevani, sredina – ogrevani in klet, desno – ogrevani in vsi neogrevani)

Podobno, kot pri upoštevanju con, smo razmišljali glede termalnih blokov. Ali je bolj smiselno vsako stanovanjsko enoto upoštevati kot ločeni termalni blok ali vse cone z enakimi pogoji kot en sam termalni blok. V točki 3.1.4.2, kjer smo obravnavali senčila, smo ugotovili, da je delovanje senčil odvisno od notranje temperature termalnega bloka.

Zato bi lahko temperatura v nekem prostoru (coni), ki je del skupnega termalnega bloka, preseгла mejno temperaturo in vplivala na aktivacijo senčil v celotni stavbi. V preliminarnih simulacijah, ki smo jih izvedli za obravnavano stavbo, je bil vpliv na solarne dobitke minimalen, pojavile pa so se razlike v infiltraciji. Ker ne poznamo principa izračuna toplotnih izgub zaradi infiltracije, lahko le sklepamo, da so razlike posledica različnega upoštevanja skupne prostornine kondicioniranih prostorov.

Za nadaljnje simulacije smo se odločili upoštevati vsako stanovanjsko enoto kot svoj termalni blok, saj tako lahko spremljamo dogajanje v posamezni enoti. Takšen princip modeliranja je primeren tudi za bolj natančno modeliranje ali pri uporabi BEM v fazi obratovanja stavbe, saj bi lahko na tak način vsako stanovanjsko enoto opisovali s posebnimi parametri.



Slika 44: Razdelitev con (prostorov) v termalne bloke

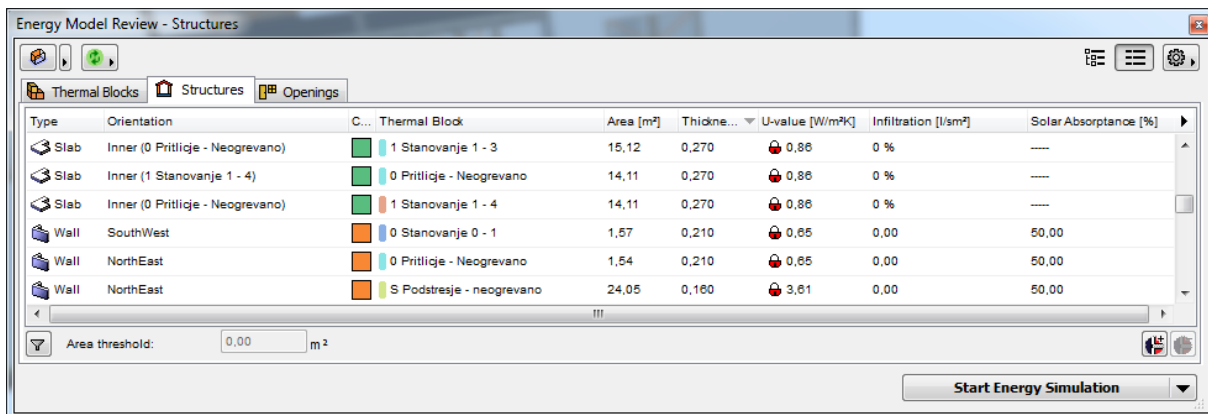
4.2 Konstrukcije

Preverili smo tipe konstrukcij, ki jih program prepozna. Te bi morale ustrezati konstrukcijam, ki smo jih modelirali za informacijski model. Pomembno je, da se zavedamo načina obravnave ovoja stavbe v programu ArchiCAD. ArchiCAD vedno upošteva notranjo površino mejnih ploskev, medtem ko slovenski programi in predpisi zahtevajo vnos zunanjih površin ovoja.

Pri tleh na terenu najprej opazimo, da so tla razdeljena na površine glede na oddaljenost od zunanje stene. Razlog za to je v različnih karakteristikah področij, ki se spreminjajo v odvisnosti od oddaljenosti od zunanjega okolja [61]. Površine zunanjih sten so razdeljene glede na konstrukcijske sklope in orientacijo ter ne zajemajo površin odprtin. Podobno so razdeljene medetažne konstrukcije, in sicer glede na konstrukcijski sklop in cone, ki jih ločuje.

Tla nad terenom program prepozna kot "Slab – Bottom" tudi, če celotno nadstropje modeliramo kot eno ploščo, ki zajema tako medetažno konstrukcijo kot tla nad terenom. Različne konstrukcijske sklope moramo vseeno modelirati drugače, saj imajo različno sestavo in posledično toplotno prehodnost. Kljub temu, da lahko te parametre ročno korigiramo, je glavni razlog za natančno modeliranje konstantna usklajenost BIM in BEM.

Podobno kot zunanje stene je obravnavana tudi streha, ki se deli glede na orientacijo. Notranje stene so določene glede na cone, ki jih ločujejo. Ker obravnavamo zidano konstrukcijo z izvedeno fasado, smo predvideli infiltracijo vseh zunanjih netransparentnih elementov enako 0. Elementom, ki mejijo na zunanje okolje, lahko definiramo še faktor absorpcije za sončno sevanje. Za svoje analize smo za vse konstrukcije izbrali vrednost 50 %. Slika 45 prikazuje del prepoznanih elementov modela v vtičniku Energy Evaluation.



Type	Orientation	C...	Thermal Block	Area [m ²]	Thickne...	U-value [W/m ² K]	Infiltration [l/sm ²]	Solar Absorptance [%]
Slab	Inner (0 Pritilje - Neogrevano)	1	Stanovanje 1 - 3	15,12	0,270	0,88	0 %	----
Slab	Inner (1 Stanovanje 1 - 4)	0	Pritilje - Neogrevano	14,11	0,270	0,88	0 %	----
Slab	Inner (0 Pritilje - Neogrevano)	1	Stanovanje 1 - 4	14,11	0,270	0,88	0 %	----
Wall	SouthWest	0	Stanovanje 0 - 1	1,57	0,210	0,65	0,00	50,00
Wall	NorthEast	0	Pritilje - Neogrevano	1,54	0,210	0,65	0,00	50,00
Wall	NorthEast	S	Podstresje - neogrevano	24,05	0,160	3,61	0,00	50,00

Area threshold: 0,00 m²

Start Energy Simulation

Slika 45: Prikaz elementov modela v dodatku Energy Evaluation

Spodnja preglednica 21 prikazuje lastnosti konstrukcijskih sklopov obstoječe stavbe.

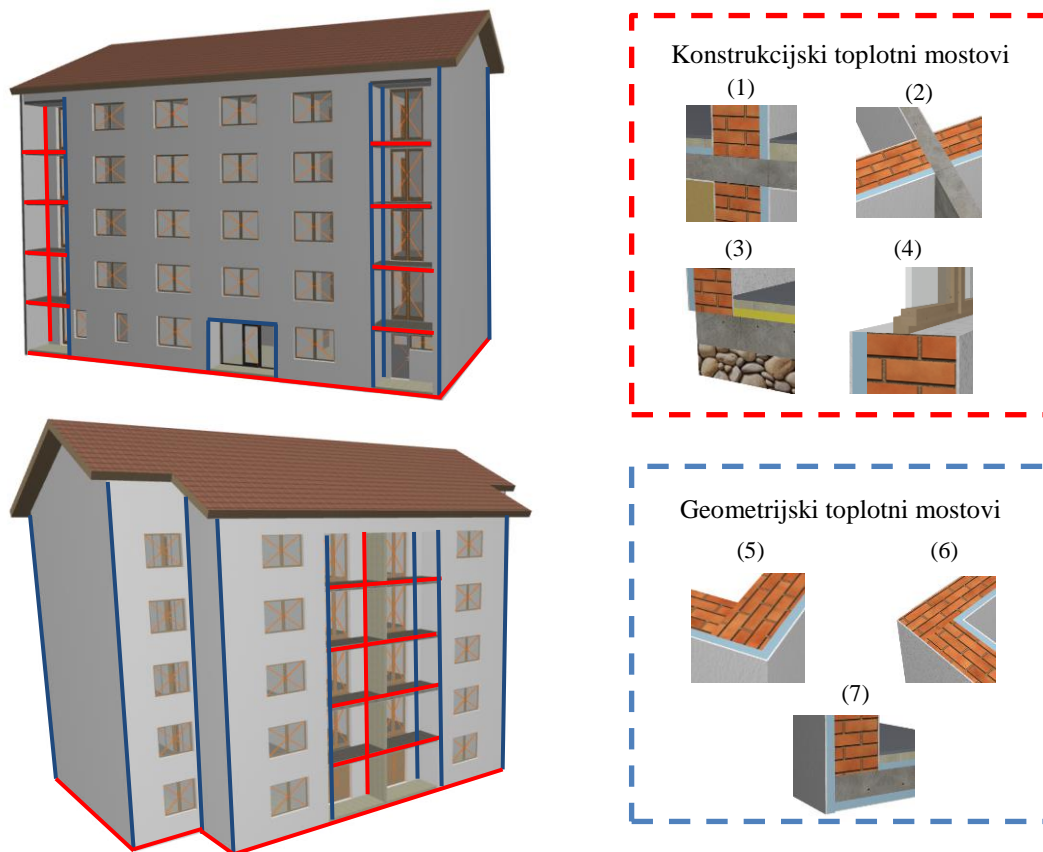
Preglednica 21: Lastnosti netransparentnega dela stavbnega ovoja obstoječe stavbe

	Sloj	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	α_i [W/m ² K]	α_e [W/m ² K]	U [W/m ² K]
Zunanja stena	Omet	0.01	0.80	1480	1050			
	Toplotna izolacija	0.05	0.04	30	1260	8	25	0.46
	Opeka	0.29	0.40	821	920			
	Omet	0.01	0,87	1600	1050			
Tla med stanovanji	Talna obloga	0.02	1.28	2300	920			
	Cementni estrih	0.05	1.40	2200	1050			
	Toplotna izolacija	0.04	0.04	30	1260	8	8	0.71
	Armirani beton	0.15	1.51	2200	960			
	Omet	0.01	0.80	1480	1050			
Stene med stanovanji	Omet	0.01	0,87	1600	1050			
	Armirani beton	0.13	1.51	2200	960	8	8	2.78
	Omet	0.01	0,87	1600	1050			
Tla nad neogrevanim prostorom	Talna obloga	0.02	1.28	2300	920			
	Cementni estrih	0.05	1.40	2200	1050			
	Toplotna izolacija	0.04	0.04	30	1260			
	Armirani beton	0.15	1.51	2200	960	8	6	0.37
	Toplotna izolacija	0.05	0.04	30	1260			
	Omet	0.01	0.80	1480	1050			
Strop proti podstrešju	Toplotna izolacija	0.20	0.04	30	840			
	Armirani beton	0.15	1.51	2200	960	8	25	0.19
	Omet	0.01	0.80	1480	1050			
Tla nad terenom	Talna obloga	0.02	1.28	2300	920			
	Cementni estrih	0.05	1.40	2200	1050			
	Toplotna izolacija	0.04	0.04	30	1260			
	Armirani beton	0.15	1.51	2200	960	8	25	0.39
	Toplotna izolacija	0.05	0.04	30	1260			
	Omet	0.01	0.80	1480	1050			
Tla na terenu	Talna obloga	0.02	1.28	2300	920			
	Cementni estrih	0.05	1.40	2200	1050			
	Toplotna izolacija	0.05	0.04	30	840	13	0	0.57
	Armirani beton	0.15	1.51	2200	960			
	Nasutje	0.20	0.81	1700	840			
Streha	Strešniki	0.03	0.99	1900	880			
	Letev	0.05	0.14	550	2090			
	Letev	0.05	0.14	550	2090	8	25	0.51
	Hidro-izolacija	0.01	0.19	1200	1460			
	Škarnik	0.14	0.14	550	2090			

4.3 Toplotni mostovi

V točki 3.1.3 smo ugotovili, da upoštevanje toplotnih mostov v programu ArchiCAD zaradi nezanesljivega izračuna ni najbolj smiselno. Kljub temu smo se odločili za pravi pristop k energijski obravnavi stavbe in smo toplotne mostove identificirali ter jih upoštevali s pomočjo korekcijskih faktorjev. Toplotne mostove upošteevamo s pomočjo detajlov, ki jih pripišemo posameznim termalnim blokom. Pravilna izbira termalnega bloka je pomembna zaradi temperaturne razlike, po kateri program izračuna toplotni tok skozi toplotni most.

Identificirali smo geometrijske in konstrukcijske toplotne mostove, ki jih prikazujemo na sliki 46. Z modro barvo so prikazani geometrijski, z rdečo barvo pa konstrukcijski toplotni mostovi. Med konstrukcijske toplotne mostove spadajo tudi vsi stiki stavbnega pohištva s konstrukcijo, ki zaradi preglednosti niso označeni.



Slika 46: Identifikacija toplotnih mostov

Identificirali smo štiri tipe konstrukcijskih in tri tipe geometrijskih toplotnih mostov:

- (1) preboj zunanje stene z balkonsko ploščo,
- (2) preboj zunanje stene z armiranobetonsko steno,
- (3) stik zunanje stene in tal na terenu,
- (4) stik stavbnega pohištva in zunanje stene,
- (5) vogal navzven,
- (6) vogal navznoter in
- (7) stik zunanje stene in tal nad terenom.

V programu ArchiCAD smo vsakega od njih izrisali v obliki detajla in na njih izvedli simulacijo toplotnih mostov v skladu s standardom SIST EN ISO 10211. Izris in simulacija sta nujno potrebna, če jih želimo upoštevati v simulaciji rabe energije. Za vsak toplotni most smo določili dolžino ter toplotni blok, v katerega spada.

Kot smo omenili, je izračun ψ -faktorjev nezanesljiv, zato smo pravilne ψ -faktorje poiskali v standardu SIST EN ISO 14683 in predpisali korekcijske faktorje za upoštevanje pri vnosu v Ecodesigner STAR. Popravek ψ -vrednosti v programu ni mogoč, zato smo izračunali korigirano dolžino, kot prikazujejo spodnje enačbe.

$$\psi_{standard} \cdot l = \psi_{ArchiCAD} \cdot l \cdot f_{\psi} \quad (10)$$

$$f_{\psi} = \frac{\psi_{standard}}{\psi_{ArchiCAD}} \quad (11)$$

$$l_{\psi} = f_{\psi} \cdot l \quad (12)$$

Kjer je,

- $\Psi_{standard}$ - linearna toplotna prehodnost linearnega toplotnega mostu, kot jo podaja SIST EN ISO 14683 [W/mK],
- $\Psi_{ArchiCAD}$ - linearna toplotna prehodnost linearnega toplotnega mostu, kot jo izračuna ArchiCAD [W/mK],
- l - dolžina toplotnega mostu [m],
- f_{ψ} - korekcijski faktor toplotnega mostu [-],
- l_{ψ} - korigirana dolžina toplotnega mostu [m].

Preglednica 22 prikazuje identificirane toplotne mostove in njihove linearne toplotne prehodnosti za obstoječo stavbo skupaj s korigiranimi dolžinami, ki smo jih vnesli v program. Detajl stika stavbnega pohištva in zunanje stene (4) smo v programu ArchiCAD modelirali shematično z namenom dobiti nekakšno vrednost, ki smo jo v nato korigirali. Program ne omogoča upoštevanja realne toplotne prehodnosti zasteklitve v simulaciji toplotnega mostu, zato natančnost ni smiselna. Vnosi, označeni z dvema zvezdicama, označujejo negativne vrednosti ψ -faktorja. Negativen predznak pomeni pozitiven vpliv na toplotne izgube. Program ArchiCAD ne omogoča vnosa negativne vrednosti ψ -faktorja, zato teh toplotnih mostov nismo upoštevali. Na tak način je simulacija rabe energije izvedena na varni strani.

Preglednica 22: Seznam toplotnih mostov na obstoječi stavbi

Toplotni most	Oznaka v SIST EN ISO 14683	$\Psi_{standard}$ [W/mK]	$\Psi_{ArchiCAD}$ [W/mK]	Tip toplotnega bloka	l [m]	f_{ψ} [-]	l_{ψ} [m]
(1)	B1	0.95	1.44	ogrevani	52.8	0.66	34.83
(2)	IW3	0.90	1.34	ogrevani	24.5	0.67	16.46
(3)	GF5	0.60	1.54	ogrevani	39.8	0.39	15.51
(4)	W7	0.45	1.65*	neogrevani	35.0		13.64
				ogrevani	162.6	0.29	47.51
(5)	C1	-0.05	1.07	neogrevani	26.3		7.68
				ogrevani	78.4	-0.05	-3.66**
(6)	C3	-0.20	0.64	neogrevani	12.3		-0.57**
				ogrevani	88.2	-0.31	-27.56**
(7)	C7	0.15	1.02	neogrevani	9.8		-3.06**
				ogrevani	3.6	0.15	0.53

*poenostavljeno modelirano

**vnos negativne dolžine ni mogoč, neupoštevanje toplotnega mostu je na varni strani

4.4 Odprtine

Vsem odprtinaam smo določili faktorje toplotne prehodnosti okvirja in zasteklitve, linearno toplotno prehodnost na distančniku, faktorje prehoda celotnega in vidnega dela sončnega spektra, prepustnost (netesnost) ter senčila. Odprtine so podobno kot stene razdeljene glede na orientacijo ter pozicijo v stavbi (znotraj ali zunaj), pri čemer omenjene lastnosti za notranje odprtine niso relevantne in jih ni treba definirati. Iz seznama odprtin smo izbrali tipe oken in vrat, ki imajo že definirane vse potrebne lastnosti. Zunanjih senčil na objektu ni, zato jih v analizi osončenosti nismo upoštevali, smo pa upoštevali senčenje zaradi objekta samega. Preglednica 23 prikazuje lastnosti obstoječega stavbnega pohištva. Tipi zasteklitve in okvirjev so izbrani iz možnosti, ki jih ponuja program ArchiCAD. Tip zasteklitve G1 pomeni dvojno zasteklitev. Tip G2 je dvoslojna zasteklitev, polnjena z zrakom in nizkoemisivskim nanosom (angl. *Low emissivity - Low-E*). Tipa okvirja F1 in F3 sta razen poimenovanja enaka in sta klasična lesena. Tip F2 predstavlja kompozitni okvir za vhodna vrata.

Preglednica 23: Lastnosti obstoječega stavbnega pohištva

Element	Zasteklitev	Okvir	U_g [W/m ² K]	U_r [W/m ² K]	Ψ [W/mK]	g [-]	LT [-]	Infiltracija [l/sm]
Vrata – balkon	G1	F1	2.80	2.50	0.21	0.82	0.69	2.77
Vrata - vhodna	G2	F2	1.30	1.42	0.12	0.49	0.39	0.22
Vrata – klet, kolesarnica	G1	F3	2.80	3.17	0.29	0.82	0.69	2.83
Okno	G1	F1	2.80	2.50	0.21	0.82	0.69	2.77

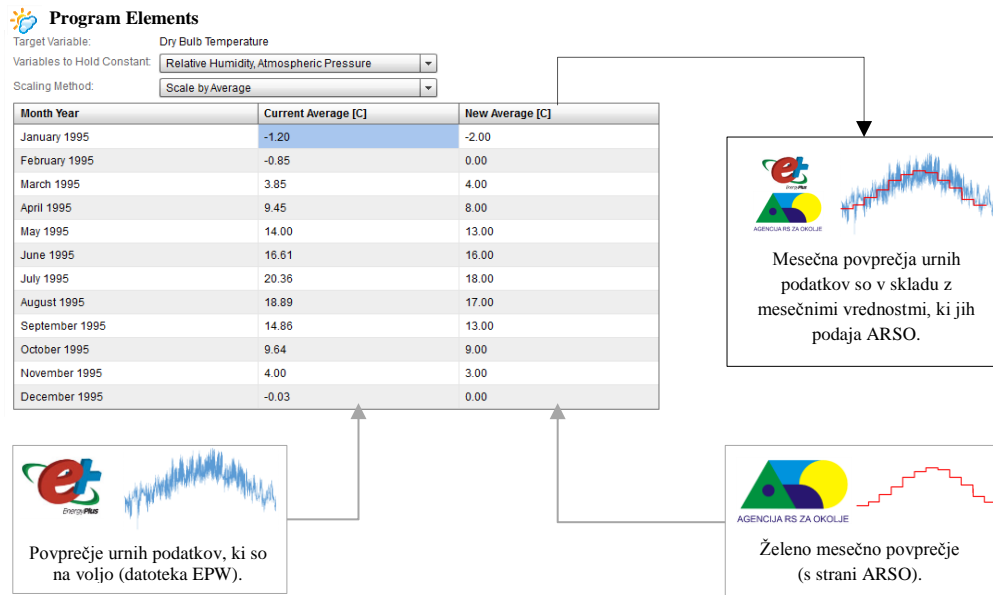
G1: Glazing – double – basic: Air fill – clear; G2: Glazing – double – premium: Air fill – clear – low E; F1: Frame – wood: Traditional; F2: Entry door: Composite – premium; F3: Entry door: Wood - traditional

4.5 Klimatski podatki

Kot smo ugotovili v točki 3.1.5, so urni klimatski podatki za Slovenijo na voljo le za eno lokacijo. Zato smo jih v skladu s podatki, ki jih za izračun rabe energije podaja ARSO [65], prilagodili s pomočjo programa Elements [63]. Program omogoča prilagajanje urnih podatkov glede na želena mesečna povprečja (glej sliko 47). Slika shematično prikazuje postopek:

- uvoz datoteke EPW v program Elements,
- izbira spremenljivke, ki jo želimo povprečiti po mesecu,
- nastavitev zelenega mesečnega povprečja.

Glede na zelene vrednosti mesečnega povprečja program prilagodi urne vrednosti, tako da njihove mesečne povprečne vrednosti ustrezajo zelenim vrednostim. Na tak način dobimo datoteko EPW z urnimi podatki, ki bolj ustrezajo izbrani lokaciji.



Slika 47: Prikaz postopka prilagoditve urnih klimatskih podatkov glede na želena mesečno povprečje

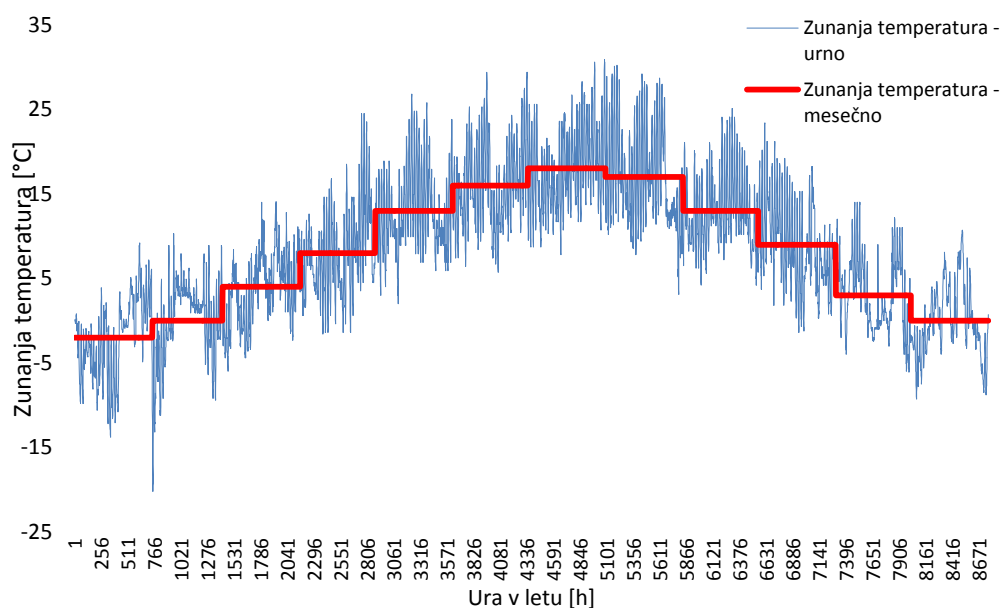
Relevantni klimatski podatki, potrebni za izdelavo energijske simulacije, so za lokacijo Ribnice prikazani v preglednici 24.

Preglednica 24: Klimatski podatki za Ribnico (mesečna povprečja)

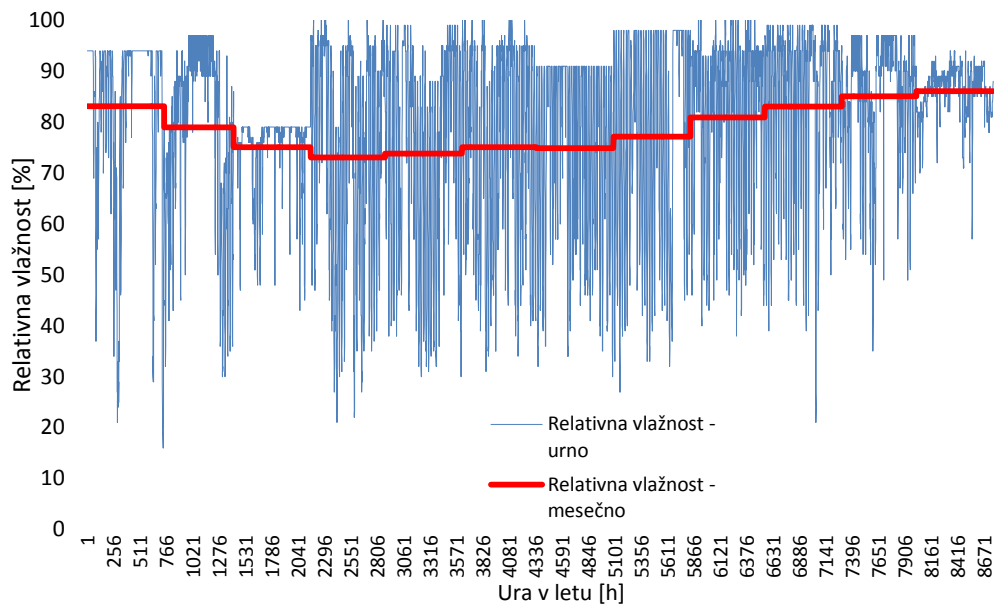
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
T [°C]	-2	0	4	8	13	16	18	17	13	9	3	0
RH [%]	83	79	75	73	74	75	75	77	81	83	85	82
GSR [Wh/m ²]	1002	1746	2629	4099	4583	5013	5180	4469	3150	1886	1035	1016

Grafikoni 3, 4 in 5 prikazujejo razlike med urnimi in mesečnimi podatki za zunanjo temperaturo, relativno vlažnost in sončno sevanje. Modra črta prikazuje urne podatke, ki so bili s programom Elements prirajeni za lokacijo Ribnice, rdeča črta pa mesečno povprečje v skladu s podatki ARSO.

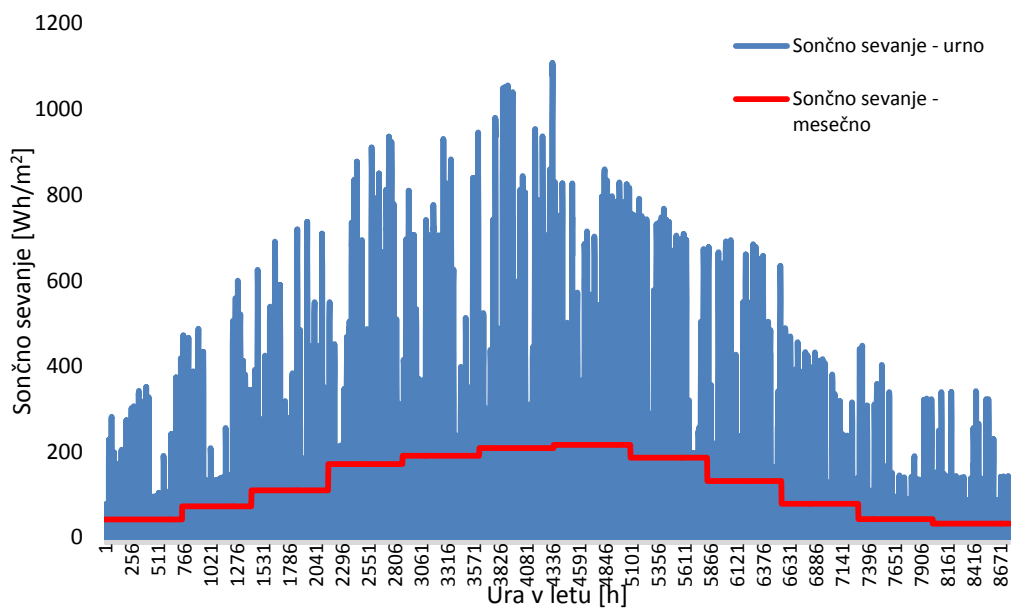
Grafikon 3: Primerjava zunanje temperature



Grafikon 4: Primerjava relativne vlažnosti



Grafikon 5: Primerjava sončnega sevanja



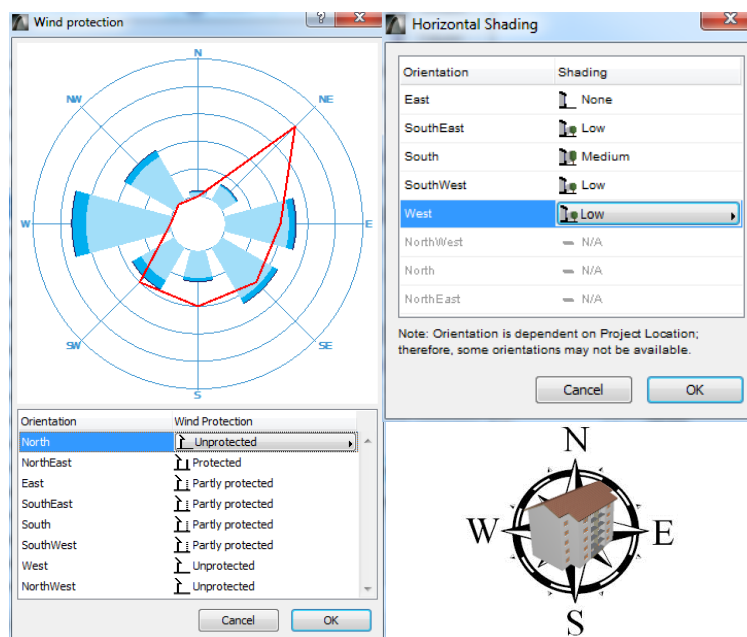
4.6 Okoljski podatki

Določili smo zahtevane okoljske podatke, potrebne za izvedbo simulacije. Značilnosti so prikazane v preglednici 25. V simulaciji nismo upoštevali modeliranega terena, saj je ta raven, zato smo predpisali le odmik od ničte kote.

Preglednica 25: Značilnosti lokacije

Lokacija	45.74 ° N, 14.73 ° E
Nadmorska višina	491.3 m
Odmik od severa	45 °
Način upoštevanja tal	Odmik za 0.00 m
Tip tal:	Gramoz
Okolica:	Park, odbojnost tal 20 %

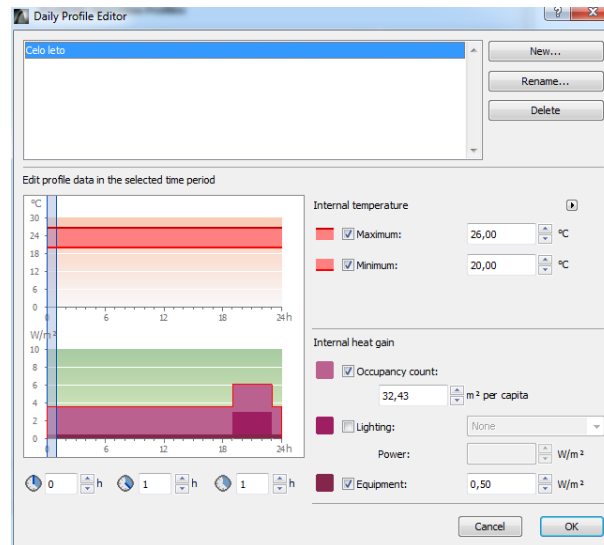
Glede na ogled lokacije, kjer stavba stoji, smo določili tudi zaščitenost pred vetrom ter horizontalno senčenje. Parametri so prikazani na sliki 48.



Slika 48: Zaščitenost pred vetrom in horizontalno senčenje stavbe

4.7 Urniki obratovanja

Predvideli smo tri tipe toplotnih blokov in vsakemu pripisali urnik obratovanja. Bivalnemu tipu toplotnega bloka smo določili dovoljeno temperaturno območje notranjega zraka med 20 °C in 26 °C ter 24-urno dnevno uporabo stavbe, kar je v skladu s tehnično smernico TSG-1-004:2010 [55]. Notranje vire smo prav tako določili v skladu s tehnično smernico, ki za stanovanjske stavbe dopušča poenostavljeno upoštevanje vseh prispevkov toplotnih dobitkov zaradi notranjih virov (4 W/m^2) in čas, ko so luči vključene (1500 ur). Za določitev potreb po topli vodi smo predvideli 50 litrov tople vode na dan na osebo. Po podatkih upravnika stanovanjske stavbe je skupno število oseb 47, zato smo to tudi upoštevali. Obremenitev z vlago (angl. *Humidity Load*) smo določili tako kot program za stanovanjske stavbe predlaga sam 10 g/dan na kvadratni meter uporabne površine. Doseganje omenjenih vrednosti znotraj programa ArchiCAD smo bolj podrobno opisali že v točki 3.4.

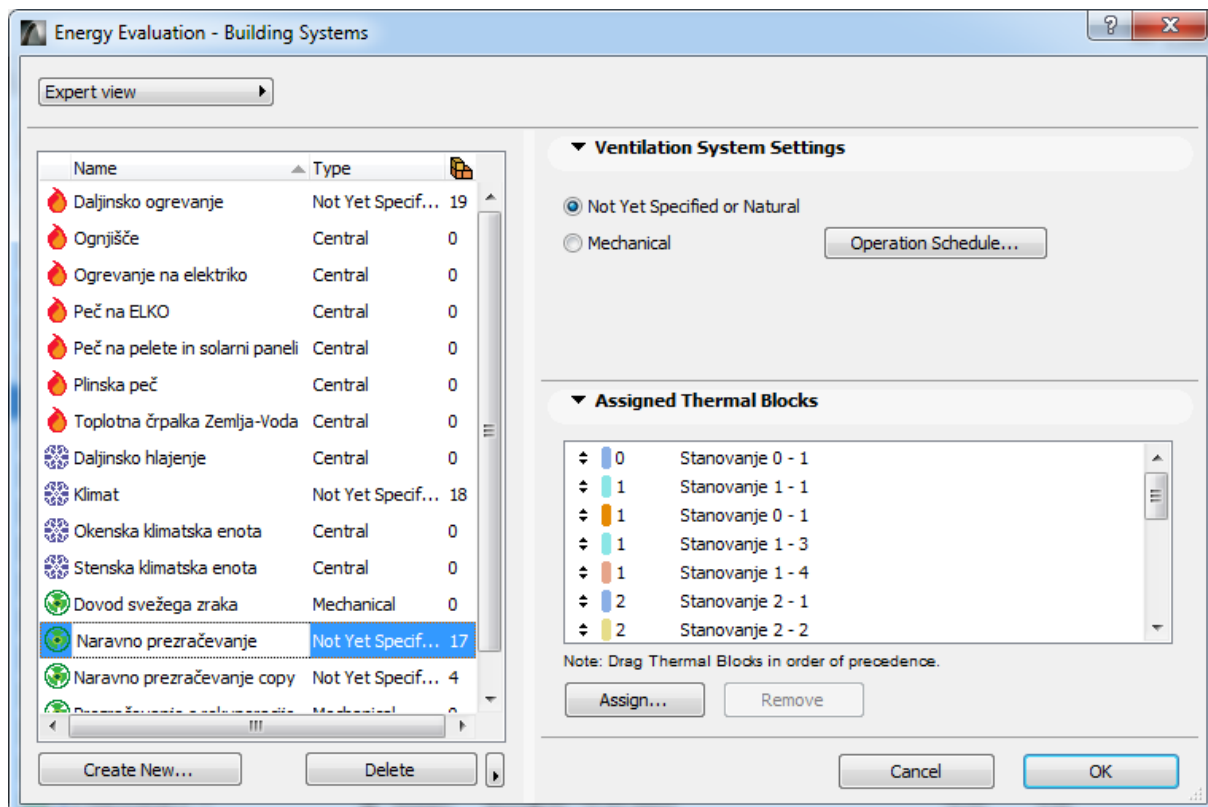


Slika 49: Urnik obratovanja za bivalni toplotni blok

Za toplotni blok, ki zajema ogrevane in nebivalne cone smo predpisali bolj ohlapne pogoje notranje temperature. Najnižjo dovoljeno temperaturo smo določili na 18 °C, najvišje pa nismo omejili, saj pričakujemo majhne toplotne dobitke v tem termalnem bloku. Notranje vire predstavlja le razsvetljava, za katero smo predpostavili, da je vključena 400 ur na leto. Termalni blok, ki zajema neogrevane cone, smo pustili v t. i. prostem teku (angl. *Free-float*), saj nismo podali nobenih zahtev glede notranje temperature. Notranjih virov v nebivalnih prostorih nismo predvideli.

4.8 Tehnični sistemi

Za začetne simulacije tehničnih sistemov nismo podrobno definirali. V nadaljevanju bomo za doseganje boljše energijske učinkovitosti najprej preverjali arhitekturne ukrepe na ovoju stavbe in šele nato ukrepe na tehničnih sistemih. Za izračun toplotnih dobitkov in izgub pa moramo vseeno določiti način ogrevanja, prezračevanja in morebitnega hlajenja. Za ogrevana termalna bloka smo definirali ogrevanje preko sistema za daljinsko ogrevanje, sem smo šteli tudi pripravo tople vode, kljub temu da ta poteka s pomočjo bojlerjev (glej točko 3.1.7). Definirali smo naravno prezračevanje, pri čemer smo za bivalni termalni blok predpostavili eno izmenjavo zraka na uro (1 h^{-1}) za celotno leto, za nebivalna termalna bloka pa 0.1 h^{-1} . Oba sistema smo nastavili na način »še ni določeno« (angl. *Not yet specified*), ki omogoča izračun potrebne energije za pokrivanje toplotnih izgub in dobitkov, ne izračuna pa rabe primarne energije. Hlajenja stavbe ni, zato bomo v nadaljevanju preverili tudi kakšne so potrebe po hlajenju.



Slika 50: Izbira tehničnih sistemov in pripadajočih termalnih blokov

4.9 Energijska simulacija in primerjalna analiza

Z zgoraj opisanimi vhodnimi podatki smo simulirali rabo energije v stavbi. Začetna simulacija opisuje trenutno stanje stavbe. Če ne definiramo sistema za hlajenje, ne moremo videti, kakšne so potrebe po hlajenju, razen števila ur, ko je zelena notranja temperatura presežena. Zato smo v nadaljevanju spremljali število ur, ko je hlajenje potrebno, in se glede tega odločali o smiselnosti namestitve hladilnega sistema.

Osnovna geometrija in lastnosti stavbnega ovoja ustrezajo trenutnemu stanju stavbe. Upoštevali smo tudi, da stanovalci razmeroma redno prezračujejo prostore oz. odpirajo okna. Predpostavili smo eno izmenjavo zraka na uro oz. 1.00 ACH (angl. *Air Change per Hour*). Lastnosti konstrukcij in stavbnega pohištva izhodiščnega primera prikazujeta preglednici 21 in 23. Simulacije, v katerih smo preizkušali pristope k izboljšanju energijske učinkovitosti stavbe, si sledijo:

- (0) Izhodiščno stanje brez upoštevanja toplotnih mostov.
- (0) *Izhodiščno stanje z upoštevanjem toplotnih mostov.
- (1) Izboljšane lastnosti stavbnega ovoja (fasada in stavbno pohištvo).
- (1) *Izboljšane lastnosti stavbnega ovoja (fasada, stavbno pohištvo in rešeni toplotni mostovi).
- (2) Izboljšane lastnosti stavbnega ovoja in namestitve senčil.
- (3) Izboljšane lastnosti stavbnega ovoja in namestitve senčil ter zmanjšanje prezračevanja na dovoljeni minimum.
- (4) Izboljšane lastnosti stavbnega ovoja in namestitve senčil ter zmanjšanje prezračevanja na dovoljeni minimum in namestitev klimatske naprave.

V nadaljevanju opisujemo upoštewane spremembe in njihov vpliv na rezultate simulacij. Opisi si sledijo po zgoraj naštetih korakih. Rezultati vseh simulacij so prikazani v preglednici 29 v točki 4.10.

S pomočjo prvih dveh simulacij (0) in (0)* smo ugotovili, kakšen vpliv imajo toplotni mostovi na toplotne izgube obstoječe stavbe. Izračun je pokazal, da toplotni mostovi predstavljajo približno pet odstotkov vseh transmisijskih izgub oz. 3.5 odstotka potreb po ogrevanju. Transmisijske izgube stavbe znašajo brez upoštevanja toplotnih mostov 94046.7 kWh, z upoštevanjem toplotnih mostov v simulaciji pa 101275.6 kWh (glej preglednico 29).

Prva izboljšava (1), ki smo jo upoštevali, je izboljšava lastnosti stavbnega ovoja na nivoju fasade in stavbnega pohištva. Kot prvi ukrep smo torej upoštevali najpogostejši ukrep, ki se v praksi aplicira na stanovanjskih blokih. Debelino izolacije zunanjih sten smo iz 5 centimetrov povečali na 20 centimetrov in tako znižali faktor toplotne prehodnosti (U) iz 0.46 W/m²K na 0.17 W/m²K. Dvojno zasteklitev vseh transparentnih delov stavbnega ovoja smo nadomestili z napredno troslojno zasteklitvijo z nižjo toplotno prehodnostjo in prehodnostjo za sončno sevanje ter bistveno nižjo infiltracijo. Preglednica 26 prikazuje izbrane tipe stekla in okvirjev, ki jih ponuja program. Poleg so navedene tudi pripadajoče lastnosti stavbnega pohištva, ki so v primerjavi z izhodiščnim stanjem izboljšane. Zasteklitev tipa G3 predstavlja troslojno zasteklitev, polnjeno z argonom in nizkoemisijemskim nanosom. Tip okvirja F4 je napredni leseni okvir, tip F5 pa kompozitni.

Preglednica 26: Izboljšane lastnosti stavbnega pohištva

	Zasteklitev	Okvir	U _g [W/m ² K]	U _f [W/m ² K]	Ψ [W/mK]	g [-]	LT [-]	Infiltracija [l/sm]
Vrata – balkon	G3	F4	0.60	0.72	0.09	0.52	0.40	0.12
Vrata - vhodna	G3	F5	0.60	0.79	0.09	0.52	0.40	0.09
Vrata – klet, kolesarnica	G3	F5	0.60	0.79	0.09	0.52	0.40	0.09
Okno	G3	F4	0.60	0.72	0.09	0.52	0.40	0.12

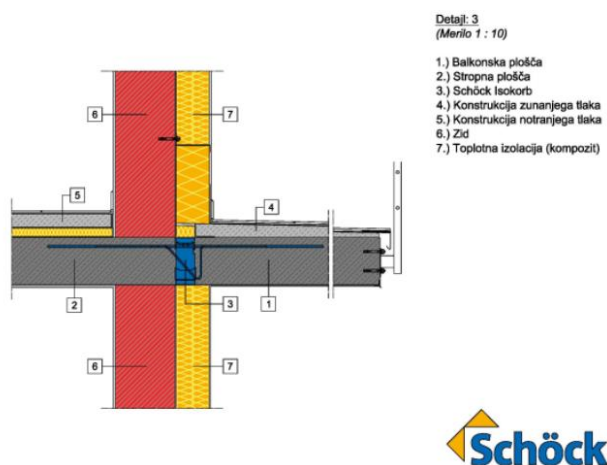
G3: Glazing – triple: Argon fill – clear – low E; F4: Frame – wood: Ultimate; F5: Entry door: Composite - ultimate

Ugotovili smo, da se toplotni dobitki zaradi sončnega sevanja zmanjšajo za približno 35 odstotkov (glej preglednico 29). Znižanje ustreza zmanjšanju prepustnosti zasteklitve za celotni sončni spekter (g-faktor), ki se je znižal za približno 36 odstotkov. Zaradi izboljšane toplotne izolativnosti tako sten kot tudi stavbnega pohištva (U-faktor) opazimo bistveno znižanje transmisijskih izgub, in sicer za 54 % (glej preglednico 29). Z izboljšanim tesnjenjem stavbnega pohištva smo za 95 odstotkov zmanjšali tudi izgube zaradi infiltracije (glej preglednico 29). Potrebe po toploti za ogrevanje so se najbolj znižale na račun zmanjšanja transmisijskih izgub, ki so velike v primerjavi z infiltracijskimi izgubami. Zanimivo je, da so se povečale potrebe po hlajenju oz. število ur, ko je zelena notranja temperatura presežena kljub manjšim solarnim dobitkom. Sklepamo, da je razlog za to boljša toplotna izolativnost stavbnega ovoja in posledično boljša sposobnost stavbe za ohranjanje notranje temperature.

Pogosta napaka preнове stavbnega ovoja je zanemarjanje toplotnih mostov. V dodatni simulaciji smo preverili, kakšen vpliv imajo toplotni mostovi na transmisijske izgube v primeru izboljšane stavbnega ovoja in enakih toplotnih mostovih. Izkazalo se je, da v tem primeru toplotni mostovi predstavljajo približno 12 odstotkov transmisijskih izgub (glej preglednico 29). Za primerjavo so v simulacijah (0) in (0)* toplotni mostovi predstavljali približno 5 odstotkov vseh transmisijskih izgub. Pri neprimerni

izvedbi sanacije zunanega ovoja se lahko zgodi, da z dodajanjem toplotne izolacije poudarimo obstoječe toplotne mostove ter njihovo prevodnost celo zvišamo. To lahko preprosto razložimo, saj toplotni tok tako kot vsak tok vedno teče tam, kjer ima najmanjši odpor, zato bo intenzivnost toplotnega toka največja skozi dele stavbnega ovoja z najvišjo toplotno prehodnostjo [44].

V naslednji simulaciji (1)* smo zato poskusili zmanjšati vpliv toplotnih mostov (glej preglednico 22) z reševanjem detajlov. Izboljšali smo konstrukcijske toplotne mostove preboja balkonske plošče (1), preboja notranje stene (2) in stavbnega pohištva (4). Toplotnega mostu stika zunanje stene in tal na terenu (3) nismo izboljšali, saj obravnavamo obstoječo stavbo. Ostali toplotni mostovi (5) do (7) so geometrijski. Za toplotni most preboja balkonske plošče smo upoštevali izboljšavo proizvajalca Schöck, ki smo jo našli v katalogu linijskih toplotnih mostov programa ArchiMAID (Slika 51). Preglednica 27 prikazuje ψ -vrednosti izboljšanih toplotnih mostov ter upoštewane vrednosti v simulaciji (1)*.



Slika 51: Rešitev toplotnega mostu za konzolni balkon

Preglednica 27: Toplotni mostovi na stavbi z izboljšanimi detajli

Toplotni most	Oznaka v SIST EN ISO 14683	Ψ_{standard} [W/mK]	Ψ_{ArchiCAD} [W/mK]	Tip termalnega bloka	l [m]	f_{ψ} [-]	l_{ψ} [m]
(1)	/	0.23	1.44	ogrevani	52.8	0.16	8.43
(2)	IF8	0.45	1.34	ogrevani	24.5	0.34	8.23
(3)	GF5	0.60	1.54	ogrevani	39.8	0.39	15.51
				neogrevani	35.0		13.64
(4)	W1	0.00	1.65*	ogrevani	162.6	0.00	0.00
				neogrevani	26.3		0.00
(5)	C1	-0.05	1.07	ogrevani	78.4	-0.05	-3.66**
				neogrevani	12.3		-0.57**
(6)	C3	-0.20	0.64	ogrevani	88.2	-0.31	-27.56**
				neogrevani	9.8		-3.06**
(7)	C7	0.15	1.02	ogrevani	3.6	0.15	0.53

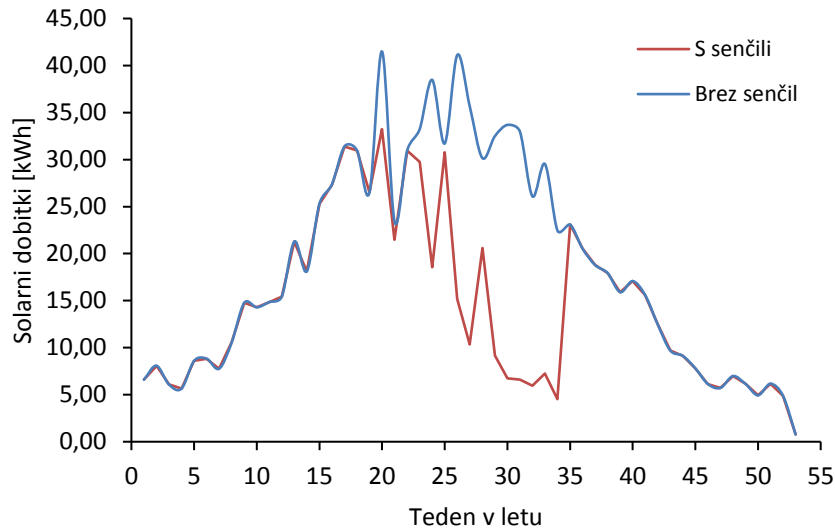
*poenostavljeno modelirano

**vnos negativne dolžine ni mogoč, neupoštevanje toplotnega mostu je na varni strani

Naslednji ukrep (2) je bil namestitev zunanjih senčil na transparentnih delih stavbnega ovoja. Uporabili smo zunanja senčila (angl. *External Blind*), ki lahko blokirajo do 80 odstotkov sončnega sevanja. Skupni solarni dobitki so se zmanjšali iz 17477.7 kWh na 13648.8 kWh. Grafikon 6 prikazuje solarne dobitke

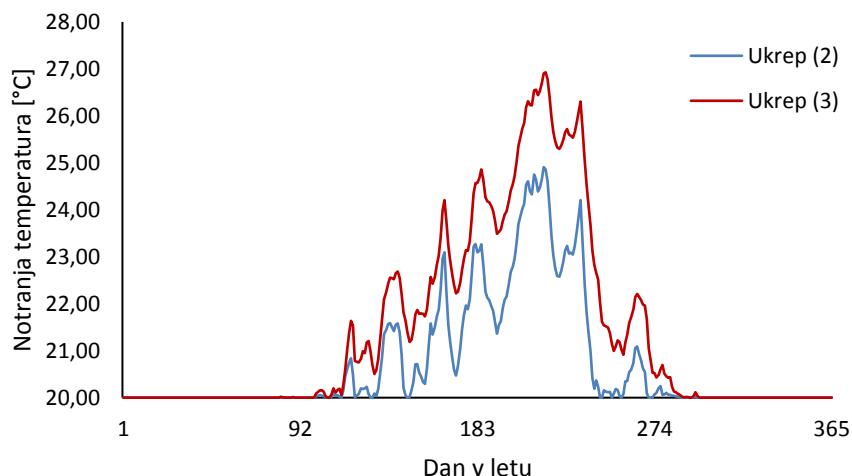
za izbrani termalni blok (stanovanje v prvem nadstropju) po tednih v letu. Ugotovili smo, da se senčila pravilno aktivirajo le v poletnih mesecih, ko solarni dobitki niso zaželeni. Glede na rezultate v preglednici 29 se nekoliko zmanjšajo tudi transmisijske in ventilacijske izgube. Predvidevamo, da zmanjšanje izvira iz manjših temperaturnih razlik med notranjostjo in zunanostjo, saj smo ugotovili tudi, da hlajenje v primeru uporabe senčil ni potrebno. Iz tega lahko sklepamo, da so povprečne temperature prostorov nekoliko nižje. Po enačbah 5 in 6 ravno temperaturna razlika vpliva na izračun transmisijskih in ventilacijskih izgub.

Grafikon 6: Vpliv senčil na solarne dobitke



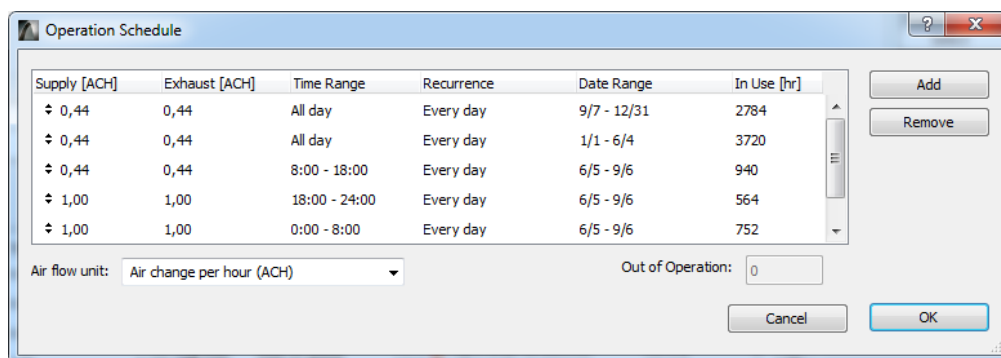
Nadaljevali smo z ukrepom (3) zmanjšanja ventilacijskih izgub na najnižjo dovoljeno vrednost volumske izmenjave zraka glede na Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [71], ki določa vrednost 0.50 h^{-1} . Eno izmenjavo zraka na uro smo torej zmanjšali na pol izmenjave zraka na uro. Teoretično bi se morale torej ventilacijske izgube zmanjšati za polovico. Simulacija kaže 45-odstotno zmanjšanje ventilacijskih izgub. Podobno kot pri ukrepu senčil predvidevamo, da večje razlike izvirajo iz povečane temperaturne razlike med zunanjim in notranjim zrakom, kar za eno izmed stanovanjskih enot prikazujemo v grafikonu 7. Vpliv izmenjave zraka na notranjo temperaturo potrjuje tudi dejstvo, da je v tem primeru ponovno presežena notranja temperatura (43 ur v letu) in se pojavijo potrebe po hlajenju. Te razlike torej potrjujejo, da manjši dovod svežega (hladnega) zraka vpliva na notranjo temperaturo.

Grafikon 7: Vpliv intenzivnosti prezračevanja na notranjo temperaturo zraka za izbrano stanovanje



Potrebe po hlajenju so v primerjavi s potrebami po ogrevanju zanemarljivo majhne (4. ukrep). Preglednica 29 kaže, da so potrebe po hlajenju manjše od enega odstotka potreb po ogrevanju. Zato je na mestu vprašanje smiselnosti namestitve klimatske naprave. S simulacijo (3) smo ugotovili, da se maksimalna dosežena notranja temperatura pojavi v podstrešnih stanovanjih. Najvišja dosežena temperatura je znašala 27.4 °C in se je pojavila 6. avgusta popoldne. Zaradi majhnega časa, ko bi bila temperatura presežena, bi bila namestitev klimatske naprave iz stroškovnega vidika precej nesmiselna.

Po izvedenih vseh predvidenih simulacijah smo dodatno poskusili optimizirati delovanje stavbe na nivoju prezračevanja. Lenassi [45] ugotavlja, da lahko izmenjavo zraka, ki je posledica infiltracije zraka, upoštevamo pri skupni izmenjavi zraka. Simulacija je pokazala, da v stanovanjskih enotah znaša izmenjava zraka 0.06 ACH zaradi infiltracije. Zato smo izvedli novo simulacijo, v kateri smo za ventilacijske izgube upoštevali 0.44 izmenjav zraka na uro v stanovanjskih enotah. Tako je skupna izmenjava zraka še vedno zahtevanih 0.50 ACH. Kot smo ugotovili v primerjavi simulacij (2) in (3) zgoraj, se z znižanjem intenzivnosti prezračevanja povečajo potrebe po hlajenju. Na tak način smo torej učinkovito zmanjšali dotok hladnega zraka tudi v poletnem času. Zato smo se odločili, da v obdobju hlajenja, od 5. junija do 6. septembra, upoštevamo nočno prezračevanje. Od šeste ure popoldne do osme ure zjutraj smo zato predpisali eno izmenjavo zraka na uro (1.00 ACH). Na sliki 52 so prikazani novi parametri upoštevanja prezračevanja stanovanjskih enot.



Slika 52: Novi parametri prezračevanja

Preglednica 28 prikazuje primerjavo med ukrepom (4) in optimiziranim upoštevanjem prezračevanja. Pomembna ugotovitev je, da z upoštevanjem nočnega prezračevanja v sezoni ogrevanja izničimo potrebe po hlajenju. Dodatno smo s celoletnim znižanjem prezračevanja zmanjšali ventilacijske izgube. Skupno smo tako z bolj natančnim pristopom k prezračevanju znižali skupno potrebno energijo za ogrevanje za približno 9 odstotkov. Z dodatno simulacijo smo želeli pokazati, da lahko z bolj definiranimi parametri simulacije pomembno vplivamo na rezultate.

Preglednica 28: Dobitki in izgube za optimizirano varianto

	Ukrep (4)	Optimizacija prezračevanja
Dobitki notranjih virov	7688.0	7688.0
Latentna energija	2414.6	2414.6
Dobitki zaradi uporabnikov	25859.6	25859.6
Solarni dobitki	11689.7	12497.3
Transmisijske izgube	40613.0	39683.7
Ventilacijske izgube	46543.9	44909.3
Infiltracijske izgube	166.5	162.5
Potrebna energija za ogrevanje	39728.4	36181.3
Potrebna energija za hlajenje	173.4	0
Število ur, ko je temperatura presežena: [h]	0	0

4.10 Ugotovitve in primerjava stroškov ogrevanja z realnim stanjem

Preglednica 29 prikazuje rezultate toplotnih dobitkov in izgub za različne situacije. Iz preglednice je razvidno, da so dobitki notranjih virov, latentna toplota ter dobitki zaradi uporabnikov konstantni, saj na njih arhitekturni ukrepi nimajo vpliva. Ukrepi in njihovi učinki so podrobneje opisani v nadaljevanju.

Preglednica 29: Učinkovitost ukrepov za povečanje energijske učinkovitosti stavbe

	0	0*	1	1*	2	3	4
Dobitki notranjih virov	7688.0	7688.0	7688.0	7688.0	7688.0	7688.0	7688.0
Latentna toplota	2414.6	2414.6	2414.6	2414.6	2414.6	2414.6	2414.6
Dobitki zaradi uporabnikov	25859.6	25859.6	25859.6	25859.6	25859.6	25859.6	25859.6
Solarni dobitki	26813.6	26815.0	17477.9	17477.7	13648.8	11670.5	11689.7
Transmisijske izgube	96046.7	101275.6	44462.9	40269.5	38982.7	40713.7	40613.0
Ventilacijske izgube	85662.3	85284.5	86218.1	86956.2	84718.8	46607.5	46543.9
Infiltracijske izgube	3180.8	3159.3	157.3	159.5	155.8	165.7	166.5
Potrebna energija za ogrevanje	122476.6	126802.3	77284.1	73831.6	74124.4	39727.9	39728.4
Potrebna energija za hlajenje	/	/	/	/	/	/	173.4
Število ur, ko je temperatura presežena: [h]	82	68	84	117	0	43	0

Glede na začetno oz. trenutno stanje stanovanjskega bloka nam je z zadnjim ukrepom uspelo znižati potrebe po ogrevanju za skoraj 70 odstotkov. Opisali smo teoretičen potek izboljšanja energijske učinkovitosti stavbe po korakih, ki so smiselni za primerjalno študijo učinkovitosti ukrepov. Pri tem smo izkoriščali prednosti programa, ki omogoča boljše definiranje parametrov za vsako uro leta posebej. Seveda smo uporabili tudi nekaj simulacijskih predpostavk, predvsem na področju toplotnih mostov in urnikov uporabe. Simulacija rabe energije v stanovanjskih stavbah je zelo zahtevna, ker težko predvidimo obnašanje njenih uporabnikov. Ukrepe smo aplicirali po korakih, ker smo tako lahko opazovali, kako posamezen ukrep vpliva na rabo energije v stavbi. Tak način simulacij je sicer nekoliko bolj dolgotrajen, vendar nam nudi boljše temelje za odločanje. Pri kompleksnih geometrijah pogosto nimamo inženirskega občutka, kakšne spremembe posamezni ukrep prinese. V takih primerih je simulacija po korakih zelo dobrodošla.

V prejšnji točki smo opisali in izboljšali energijsko učinkovitost obravnavane stavbe na podlagi simulacije. Ker gre za resničen objekt, smo želeli preveriti, kako zanesljiva je simulacija rabe energije v primerjavi z resničnostjo. Za obravnavano stavbo smo uspeli pridobiti letno rabo energije za ogrevanje, vendar so bili podatki navedeni v evrih (€), kar zaradi razlogov, opisanih v točki 3.1.10, ni najbolj primerno. Vseeno smo izvedli primerjavo na ravni cen za toploto za ogrevanje. Pri tem smo upoštevali ceno daljinske toplote 0.049434 €/kWh v Ribnici [72]. Realne cene so bile podane za leta 2013, 2014 in 2015, zato smo izračunali povprečje. Pri cenah je bil naveden le variabilni del, brez cene za priključno moč, tako kot je upoštevano v simulaciji. Zavedamo se, da natančna primerjava nima veliko smisla, saj tri leta nikakor ne morejo opisovati večletnega klimatskega povprečja.

Preglednica 30: Primerjava stroškov ogrevanja

	ArchiCAD	ArchiCAD	Realno
	– osnova	– izboljšano	
Ogrevanje [€]	6490	2010	3196

Iz preglednice 30 je razvidno, da so razlike med realnim stanjem in simulacijo precej velike. Realni znesek za ogrevanje je približno 50 odstotkov nižji od tistega, ki ga podaja simulacija. Zanimivo je, da simulacija kaže bolj podoben znesek pri izboljšanem stanju. Stroški ogrevanja so pri simulaciji izboljšanega stanja približno 70 odstotkov nižji od začetnega stanja, kar ustreza izračunani rabi energije za ogrevanje v obeh simulacijah. Primerjava v denarni enoti za inženirje tako ali tako ni najbolj uporabna. Vseeno se nam zdi, da takšna opcija lahko pride prav, še posebej pri komunikaciji z laiki.

5 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

Naredili smo pregled do sedaj izvedenih študij, ki obravnavajo energijske simulacije. Ugotovili smo, da se ArchiCAD in EcoDesigner STAR ne pojavljata v velikem številu študij ali pa te obravnavajo le vtičnik Energy Evaluation. Želeli smo preveriti, kakšne so možnosti uporabe programa ArchiCAD za direktno energijsko modeliranje stavb, saj je program razmeroma razširjen med projektanti v Sloveniji.

Pripravili smo splošen pregled programske opreme s področja energijskega modeliranja. Pri tem smo primerjali tradicionalni in napredni postopek izdelave energijskega modela. Primerjavo smo osnovali na študiji programov KI Energija 2014 in ArchiCAD z dodatkom Ecodesigner STAR. Ugotovili smo, da za energijske simulacije v obeh primerih potrebujemo najmanj stopnjo podrobnosti LOD 200. Primerjali smo tudi postopek izdelave modela z obema programoma in zaključili, da je v splošnem napredni postopek oz. BEM na osnovi BIM hitrejši in učinkovitejši, saj se izognemo podvojenemu definiranju iste geometrije in zmanjšamo možnosti za napake.

Primerjali smo tudi podatkovna modela obeh programov. Kot je pričakovano, sta si precej podobna, saj sta oba v osnovi programa, ki stremita k istemu cilju, tj. izdelavi modela za energijsko simulacijo. V grobem lahko zaključimo, da nudi ArchiCAD več možnosti pri definiranju stavbnega ovoja, okolice in natančnih urnikov uporabe. Na drugi strani lahko v programu KI Energija 2014 bolj natančno definiramo tehnične sisteme stavbe, predvsem na nivoju generatorjev, hranilnikov toplote, razvodnega sistema, ogreval in sistemov za pripravo tople vode.

Analizo funkcionalnosti programa ArchiCAD smo zastavili tako, da smo po korakih obdelali vse zahtevane vnose, pri čemer smo se najbolj osredotočili na arhitekturno gradbene elemente stavb. Na tem mestu smo izvedli vrsto simulacij, s katerimi smo poskusili ugotoviti, kako določena funkcija v programu vpliva na rezultate simulacij. Natančno smo preverili izračun linijske toplotne prehodnosti toplotnih mostov, za katere smo ugotovili, da jih EcoDesigner STAR ne izračuna pravilno. To direktno vpliva na spekter uporabnosti programa, še posebej ob upoštevanju dejstva, da lahko toplotni mostovi predstavljajo 30 odstotkov skupnih transmisijskih izgub [44]. Tako smo omejeni na stavbe z majhnimi toplotnimi mostovi, kjer lahko te upoštevamo po poenostavljeni metodi ali pa jih preprosto zanemarimo. V naših simulacij smo toplotne mostove sicer upoštevali s pomočjo korekcijskih faktorjev, vendar takšno početje ni v skladu z idejo direktne pretvorbe informacijskega modela v energijski model stavbe. Podrobno smo preučili tudi upoštevanje senčenja transparentnih elementov stavbnega ovoja. Ugotovili smo, da je vnos faktorjev senčenja omejen, saj nimamo možnosti poljubnega vnosa. Sicer pa je senčenje upoštevano korektno, saj zajame tako senčenje zaradi objekta samega kot tudi zaradi okolice. Senčila se obnašajo kot »pametna« senčila. To je sicer prednost, vendar tak način ni primeren za vse vrste simulacij. Ugotovili smo tudi, da »pamet« ni najboljša v vseh primerih, saj se senčila avtomatsko aktivirajo, ko temperatura v prostoru preseže 22 °C, tudi ko to ni najbolj smiselno.

Podali smo nekaj osnovnih smernic za pripravo BIM, ki je namenjen pretvorbi v BEM. Na preprostem primeru smo prikazali princip simulacije in osnovne izračune tudi preverili s pomočjo programa KI Energija 2014 in poenostavljenimi enačbami. Za preprost model v obliki »kocke« smo se odločili zaradi večje obvladljivosti vhodnih podatkov in končnih izračunov. Primerjali smo predvsem osnovne parametre, kot so dobitki notranjih virov, dobitki sončnega sevanja, transmisijske in ventilacijske izgube ter potrebna toplota za ogrevanje in hlajenje. Odločitev za to izvira iz dejstva, da programa računata v skladu z različnimi standardi in po različnih metodah. Primerjava vmesnih rezultatov je smiselna zaradi manjšega vpliva parametrov, na katere ne nimamo vpliva. Potrdili smo ugotovitve nekaterih avtorjev [73], [74], da v splošnem ArchiCAD vrne nekoliko nižje rezultate potrebne toplote za ogrevanje. Sklepamo, da je razlog za to bolj natančno upoštevanje temperaturnih razlik pri izračunu transmisijskih

in ventilacijskih izgub. Zavedamo se, da direktna primerjava zaradi različnih metod v programih ni veljavna, zato rezultati služijo le za občutek. Ob prikazu simulacije smo zasnovali tudi metodo upoštevanja notranjih dobitkov in energije za pripravo tople vode v skladu s tehnično smernico [55], saj je način vnosa teh podatkov v ArchiCAD-u drugačen.

Ugotovitve smo nato aplicirali na realni stavbi. Obravnavali smo stanovanjski blok, ki stoji v Ribnici in je primeren kandidat za energijsko sanacijo. Stavbo smo si ogledali in s pomočjo meritev izdelali informacijski model stavbe, pri čemer smo upoštevali osnovne smernice za kasnejšo pretvorbo v energijski model. Gre za kompleksnejšo geometrijo z različno ogrevanimi volumni, zato smo najprej izvedli analize, s katerimi smo ugotavljali razlike v različnem upoštevanju ogrevanih oz. neogrevanih volumnov. Najbolj smiselno se nam je zdelo upoštevanje vsake stanovanjske enote kot svoj termalni blok. Nadaljevali smo s postopnimi aplikacijami za izboljšanje energijske učinkovitosti stavbe. Izvedba simulacij po korakih je smiselna zaradi boljšega pregleda nad vplivom posameznega ukrepa na skupno rabo energije. Poleg klasične zamenjave stavbnega pohištva in dodatne izolacije na fasadi smo ugotovili, da na rabo energije pomembno vpliva tudi način prezračevanja. Ugotovili smo, da je namestitev zunanjih senčil pozitivno vplivala na potrebe po hlajenju stavbe, saj smo jih izničili z učinkovitim blokiranjem solarnih dobitkov v poletnih dneh.

Ves čas izvajanja simulacij in preverjanja izračunov smo se zavedali neskladnosti izračunov s slovenskimi pravilniki in standardi. Ker smo večinoma obravnavali arhitekturno gradbene elemente stavbe, pri katerih ima geometrija pomembno vlogo, smo preverili tudi možnost izvoza podatkov v programe tretjih strank, na primer slovenske programe, namenjene izračunu rabe energije v stavbi. Najprej smo primerjali različne tipe izvoza podatkov iz programa ArchiCAD, pri čemer smo ugotovili, da je najbolj primeren zapis gbXML, ki smo ga tudi bolj podrobno opisali. Uvoz »tuje« geometrije v slovenske programe trenutno ni možen. Pojavlja se vprašanje, ali bo tak način v bližnji prihodnosti sploh mogoč, saj se obravnava geometrije razlikuje že v najbolj osnovnem parametru, to je upoštevanju notranjih oz. zunanjih dimenzij stavbnega ovoja.

Uporaba programa ArchiCAD z ali brez dodatka Ecodesigner STAR v Sloveniji trenutno ni primerna za izdelavo elaboratov gradbene fizike in izdelavo energetske izkaznice. Prednost programa je enostavno preverjanje vplivov različnih ukrepov za izboljšanje energijske učinkovitosti v fazi načrtovanja bodisi nove stavbe bodisi stavbe, ki jo čaka obnova. Z direktno komunikacijo BIM in BEM modela dosežemo večjo učinkovitost pri načrtovanju in zmanjšamo možnosti za napake, saj sta modela ves čas neposredno usklajena. Definitivno je prednost programa ta, da računa rabo energije po urni metodi, saj tako dosegamo večjo natančnost izračuna. Končni sklep je, da ima program dobre možnosti za uveljavitev, saj je razmeroma intuitiven in enostaven za uporabo. Priložnosti za uporabo vidimo predvsem v omogočanju enostavnega in hitrega odločanja o različnih ukrepih, ki vplivajo na energijsko učinkovitost stavbe. Seveda pa je prostora za izboljšave še veliko, predvsem pogrešamo možnost izvedbe analize dnevne svetlobe in več možnosti za prosto definiranje toplotnih mostov in parametrov okolja ter načina uporabe stavbe.

VIRI

- [1] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. 2011. BIM Handbook A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. Hoboken, John Wiley & Sons, Inc.: 648 str.
- [2] Mordue, S., Swaddle, P., Philp, D. 2016. Building Information Modeling For Dummies. Chichester, John Wiley & Sons, Ltd: 408 str.
- [3] Direktiva 2014/24/EU evropskega parlamenta in sveta o javnem naročanju in razveljavitvi Direktive 2004/18/ES.
- [4] Zakon o javnem naročanju. Uradni list RS, št. 91/15.
- [5] Abanda, F.H., Vidalakis, C., Oti, A.H., Tah, J.H.M. 2015. A critical analysis of Building Information Modelling systems used in construction projects. Advances in Engineering Software 90, str. 183-201.
- [6] Report Ranks Best BIM and Building Design Platforms for 2015. 2015. <http://www.archdaily.com/597063/report-ranks-best-bim-and-building-design-platforms-for-2015> (Pridobljeno 26. 1. 2016).
- [7] AEC. 2016. <http://aec.si/> (Pridobljeno 27. 1. 2016).
- [8] Arhinova. 2016. www.arhinova.si (Pridobljeno 6. 1. 2016).
- [9] Pilon AEC. 2016. www.pilon.si (Pridobljeno 27. 1. 2016).
- [10] Jalaei, F., Jrade, A. 2015. Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings. Sustainable Cities and Society 42: 95-107.
- [11] Niknam, M., Karshenas, S. 2015. Sustainable Design of Buildings using Semantic BIM and Semantic Web Services. Procedia Engineering 118: 909-917.
- [12] Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., Griffith, B. T. 2008. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. Building and Environment 43, 4: 661-673.
- [13] Kim, J. B., Jeong, W., Clayton, M. J., Haberl, J. S., Yan, W. 2015. Developing a physical BIM library for building thermal energy simulation. Automation in Construction 50: str 16-28.
- [14] BEST Directory. 2016. <http://www.buildingenergysoftwaretools.com/> (Pridobljeno 14. 1. 2016).

- [15] Azhar, S., Carlton W. A., Olsen, D., Ahmad, I. 2011. Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. *Automation in Construction* 20, 2: 217-224.
- [16] Reinhart, C. F., Davila, C. C. 2016. Urban building energy modeling – A review of a nascent field. *Building and Environment* 97: 196-202.
- [17] Azhar, S., Brown, J. 2009. BIM for Sustainability Analyses. *International Journal of Construction Education and Research*: str. 276-292.
- [18] Reeves, T., Olbina, S., Issa, R. R. A. 2015. Guidelines for Using Building Information Modeling for Energy. *Buildings* 2015 5(4): 1361-1388.
- [19] Jarić, M., Budimir, N., Pejanović, M., Svetel, I. 2013. A Review of Energy Analysis Simulation Tools. 7th International Working Conference 'Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches'.
- [20] Reeves, T., Olbina, S.; Issa, R. 2012. Validation of building energy modeling tools: Ecotect™, Green Building Studio™ and IES<VE>™. *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC) 2012*: 1-12.
- [21] Ryan, E. M., Sanquist, T. F. 2012. Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions. *Energy and Buildings* 47: 375-382.
- [22] O'Donnel, J. T., Maile, T., Rose, C., Mrazović, N., Regnier, C., Parrish, K., Bazjanac, V. 2013. Transforming BIM to BEM: Generation of Building Geometry for the NASA Ames Sustainability Base BIM. Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory: 26 str.
- [23] Jeong, W., Kim, J. B., Clayton, M. J., Haberl, J. S., Yan, W. 2014. Translating Building Information Modeling to Building Energy Modeling Using Model View Definition. *The Scientific World Journal* 2014: 21 str.
- [24] Schlueter, A., Thesseling, F. 2009. Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. *Automation in Construction* 18, 2: 153-163.
- [25] GSA BIM Guide 05 - Energy Performance.
http://www.gsa.gov/portal/mediaId/227119/fileName/GSA_BIM_Guide_ (Pridobljeno 26. 6. 2016).
- [26] DOE-2. 2016.
<http://doe2.com/DOE2/index.html> (Pridobljeno 7. 9. 2016).
- [27] EnergyPlus. 2016.
<https://energyplus.net/> (Pridobljeno 7. 9. 2016).
- [28] IES-VE. 2016.
<https://www.iesve.com/> (Pridobljeno 7. 9. 2016).

- [29] TRNSYS. 2016.
<http://www.trnsys.com/> (Pridobljeno 7. 9. 2016).
- [30] Autodesk Ecotect Analysis. 2016.
https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Ecotect_Analysis (Pridobljeno 7. 9. 2016).
- [31] Green Building Studio. 2016.
<https://gbs.autodesk.com/GBS/> (Pridobljeno 7. 9. 2016).
- [32] VIP-Energy. 2016.
<http://www.strusoft.com/products/vip-energy> (7. 9. 2016).
- [33] Rademaekers, K. 2014. Market study for a voluntary common European Union certification scheme for the energy performance of non-residential buildings.
- [34] BREEAM. 2016.
<http://www.breeam.com/> (Pridobljeno 7. 1. 2016).
- [35] LEED. 2016.
<http://leed.usgbc.org/leed.html> (Pridobljeno 7. 1. 2016).
- [36] DGNB. 2016.
<http://www.dgnb-system.de/en/system/international/Slowenien.php> (Pridobljeno 7. 1. 2016).
- [37] International Passive House Association. 2016.
http://www.passivehouse-international.org/index.php?page_id=65 (Pridobljeno 10. 1. 2016).
- [38] Intervju: V Sloveniji smo zgradili več kot 400 pasivnih hiš.
<http://www.finance.si/8837772/Intervju-V-Sloveniji-smo-zgradili-ve%C4%8D-kot-400-pasivnih-hi%C5%A1-%C4%8Demur-se-%C4%8Dudijo-tudi-tuji-kolegi> (Pridobljeno 10. 1. 2016).
- [39] Zbašnik Senegačnik, M. 2007. Pasivna hiša. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: 144 str.
- [40] Energetske izkaznice stavb. 2016.
<http://www.energetika-portal.si/podrocja/energetika/energetske-izkaznice-stavb/> (Pridobljeno 6. 1. 2016).
- [41] Energetski zakon (EZ-1) (Uradni list RS, št. 17/14 in 81/15).
- [42] Register energetskih izkaznic.
<http://www.energetika-portal.si/podrocja/energetika/energetske-izkaznice-stavb/register-energetskih-izkaznic/> (Pridobljeno 6. 1. 2016).
- [43] Energetska izkaznica stavbe. 2016.
<http://www.ursa.si/sl-si/pasivna-gradnja/strani/energetska-izkaznica-stavbe.aspx> (Pridobljeno 7. 9. 2016).

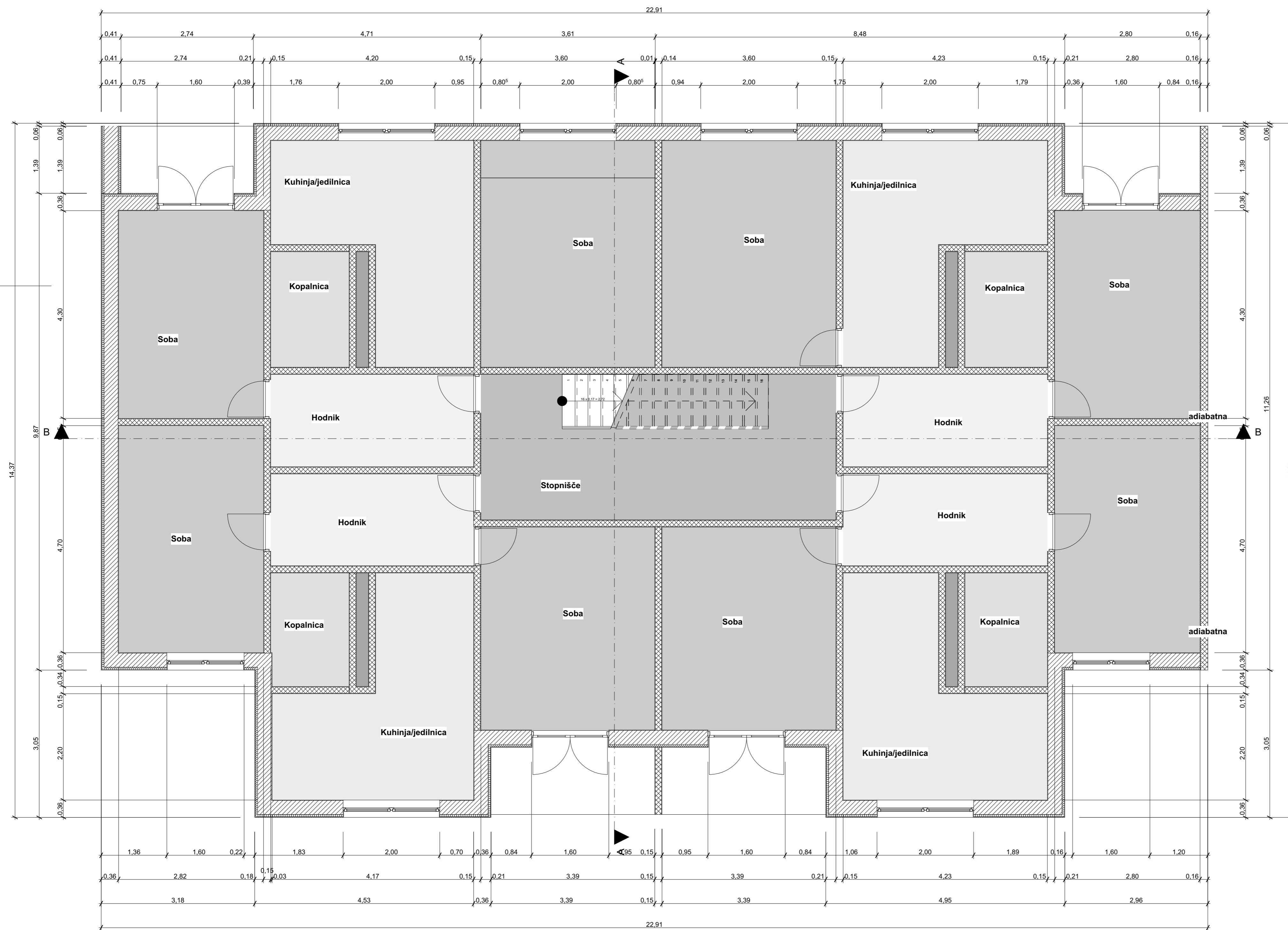
- [44] Košir, M., 2015. Prosojnice s predavanj pri predmetu Učinkovita raba energije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani Fakulteta za Gradbeništvo in geodezijo.
- [45] Lenassi, M. 2015. Osnovno o infiltraciji zraka.
<http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/aktualno/aktualno-letno-2015/Novica-osnovno-o-infiltraciji-18-8-15.pdf> (Pridobljeno 15. 9. 2016).
- [46] Strmčnik S., Hanus, R., Juričić, Đ., Karba, R., Marinšek, Z., Murray-Smith, D. J., Verbruggen, H. B., Zupančič, B. 1998. Celostni pristop k računalniškemu vodenju procesov. Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko: 673 str.
- [47] Underwood, J., Isikdag, U. 2010. Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies. Hershey, IGI Global: 567 str.
- [48] Garcia, E. G. 2014. Interoperability between Building Design and Energy Modeling for Building Performance. Montreal, Concordia University: 165 str.
- [49] Krygiel, E., Nies, B. 2008. Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling. Indianapolis. Wiley Publishing, Inc.: 268 str.
- [50] Hunn, B. D. 1996. Fundamentals of Building Energy Dynamics. Cambridge, The MIT Press: 538 str.
- [51] Gasparella, A, Pernigotto, G. 2012. Comparison Of Quasi-Steady State And Dynamic Simulation Approaches For The Calculation Of Building Energy Needs: Thermal Losses. International High Performance Buildings Conference. Paper 88: 10 str.
- [52] Zangheri, P. Armani, R., Pietrobon, M., Pagliano, L., Fernandez B. M., Müller, A. 2014. Heating and cooling energy demand and loads for building types in different countries of the EU.
- [53] Cerovšek, T. 2014. Prosojnice s predavanj pri predmetu Informacijsko modeliranje stavb. Ljubljana, Univerza v Ljubljani Fakulteta za Gradbeništvo in geodezijo.
- [54] Autodesk Revit Best Practices. 2016.
<http://bimformasonry.org/pdf/autodesk-revit-best-practices.pdf> (Pridobljeno 19. 8. 2016).
- [55] Ministrstvo za okolje in prostor, Tehnična smernica TSG-1-004:2010. Učinkovita raba energije.
- [56] THERM 7.4. 2015.
https://windows.lbl.gov/software/therm/7/index_7_4_3.html (Pridobljeno 15. 9. 2016).
- [57] SIST EN ISO 14683:2008. Toplotni mostovi v stavbah - Linearna toplotna prehodnost - Poenostavljena metoda in privzete vrednosti (ISO 14683:2007).
- [58] SIST EN ISO 10211:2008. Toplotni mostovi v stavbah - Toplotni tokovi in površinske temperature - Podrobni izračuni (ISO 10211:2007).

- [59] Šteflič, P. 2014. Analiza natančnosti poenostavljenih metod za toplotne mostove. Diplomsko delo. Maribor, Univerza v Mariboru Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo (samozaložba Šteflič P.): 128 str.
- [60] ArchiCAD-Talk. 2016.
<http://archicad-talk.graphisoft.com/> (Pridobljeno 20. 1. 2016).
- [61] GRAPHISOFT. 2014. EcoDesigner STAR User Manual: 432 str.
- [62] Weather Data by Region. 2016.
https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6/SVN%20%20 (Pridobljeno 21. 6. 2016).
- [63] Elements. 2016.
<http://bigladdersoftware.com/projects/elements/> (Pridobljeno 20. 7. 2016).
- [64] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. (Uradni list RS, št. 52/2010).
- [65] Podatki za pravilnik o učinkoviti rabi energije.
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/pravilnik-ucinkoviti-rabi-energije/> (Pridobljeno 20. 7. 2016).
- [66] SIST EN ISO 13790:2008. Energijske lastnosti stavb - Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov (ISO 13790:2008).
- [67] SIST EN ISO 13789:2008 - Toplotne značilnosti stavb - Toplotni koeficienti pri prenosu toplote in prezračevanju - Računska metoda (ISO 13789:2007).
- [68] UNI EN ISO 13789:2001. Prestazione termica degli edifici. Coefficiente di perdita di calore per trasmissione. Metodo di calcolo.
- [69] Metabolic Heat Gain from Persons. 2016.
http://www.engineeringtoolbox.com/metabolic-heat-persons-d_706.html (21. 7. 2016).
- [70] CENSE. Compilation of Information Papers introducing the CEN standards concerning Building Energy Performance.
http://www.rehva.eu/fileadmin/EU_regulations/Standards_and_standardization/EPBD_standards/cense_booklet_2_info_papers_cen_building_energy_performance.pdf (Pridobljeno 22. 7. 2016).
- [71] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. (Uradni list RS, št. 42/2002).
- [72] Daljinsko ogrevanje v Ribnici. 2016.
<http://www.petrol.si/za-dom/energija/daljinsko-ogrevanje/sistemi-daljinskega-ogrevanja/daljinsko-ogrevanje-v-ribnici> (Pridobljeno 25. 6. 2016).

- [73] Poglajen, S. 2015. Primer uporabe BIM za trajnostno načrtovanje v Sloveniji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Poglajen S.): 51 str.

- [74] Čančar, T. 2016. Uporaba BIM za parametrično analizo izbranih okoljskih trajnostnih vidikov stavb. Magistrsko delo. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba T. Čančar): 151 str.

PRILOGA A: NAČRTI STANOVANJSKEGA BLOKA



STANOVANJSKA HIŠA

K.P. = 297,04 = +0,14 = F.T.

ABSOLUTNA KOTA = K.P. = 296,90 = ±0,00 = Kota hidroizolacije

Legenda materialov

- Zemlja
- Armirani beton
- Opečni modularni blok
- Les
- Omet
- Mavčnokartonska plošča 01
- Mehka izolacija
- Toplotna izolacija - Mineralna volna

investitor: UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Jamova ulica 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija	
objekt: Stanovanjski blok	
številka projekta: 012345678	datum izdelave: September 2016
vrsta projekta: A.02	vrsta načrta: ARHITEKTURA
odg. vodja projekta: Jure Lovšin #OVP_ZAPS	
odg. projektant: Jure Lovšin	
izdelal: Jure Lovšin	
merilo: M 1:50	



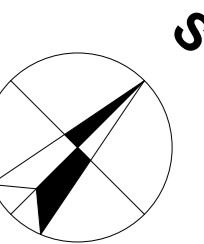
STANOVANJSKA HIŠA

K.P. = 297,04 = +0,14 = F.T.

ABSOLUTNA KOTA = K.P. = 296,90 = ±0,00 = Kota hidroizolacije

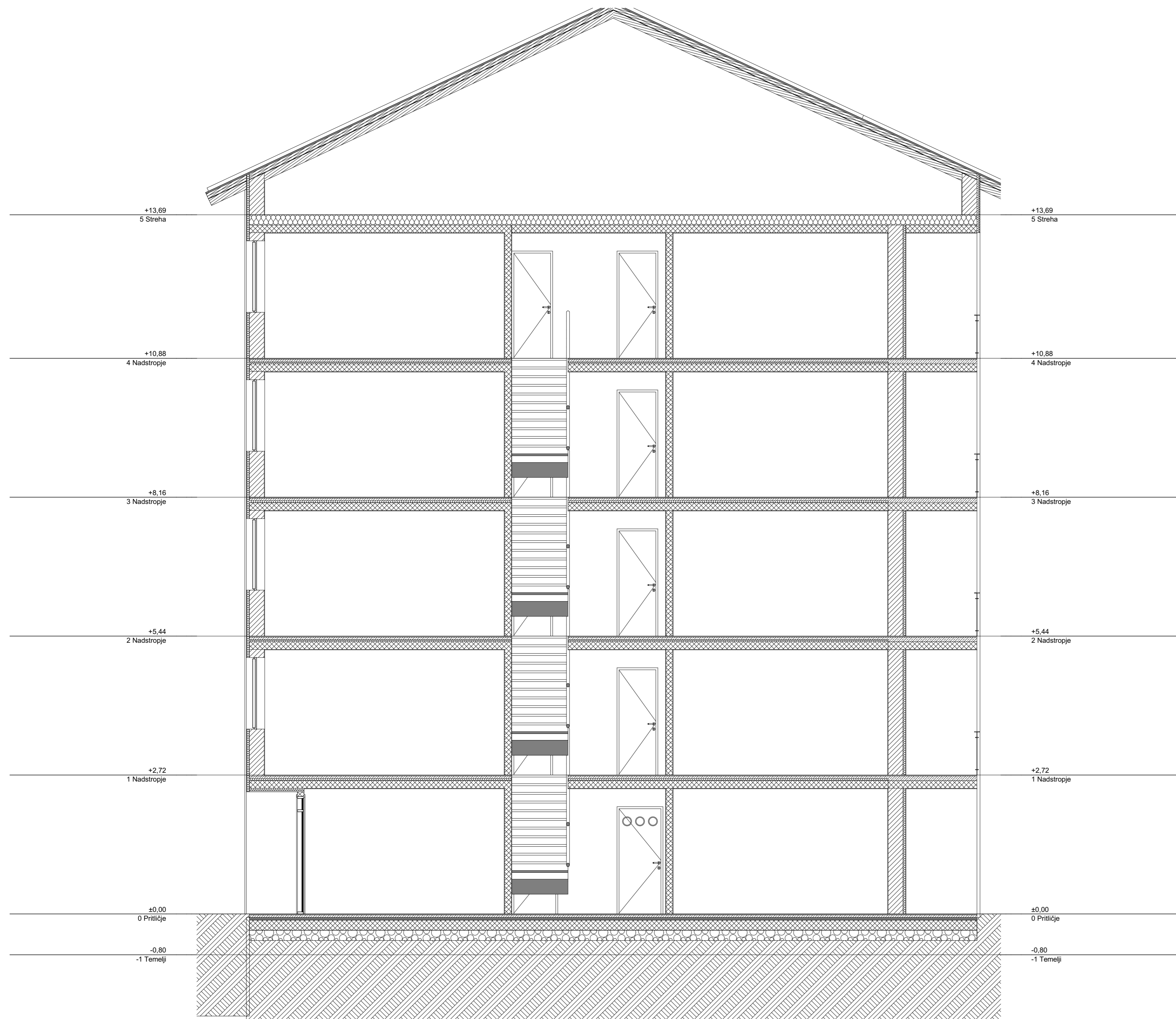
Legenda materialov

- Zemlja
- Armirani beton
- Opečni modularni blok
- Les
- Omet
- Mavčnokartonska plošča 01
- Mehka izolacija
- Toplotna izolacija - Mineralna volna



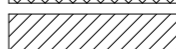

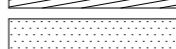
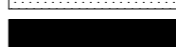




investitor: UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Jamova ulica 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija	
objekt: Stanovanjski blok	
številka projekta: 012345678	datum izdelave: September 2016
vrsta projekta: A.02	vrsta načrta: ARHITEKTURA
odg. vodja projekta: Jure Lovšin #OVP_ZAPS	
odg. projektant: Jure Lovšin	
izdelal: Jure Lovšin	
merilo: M 1:50	

Saturday, September 10, 2016



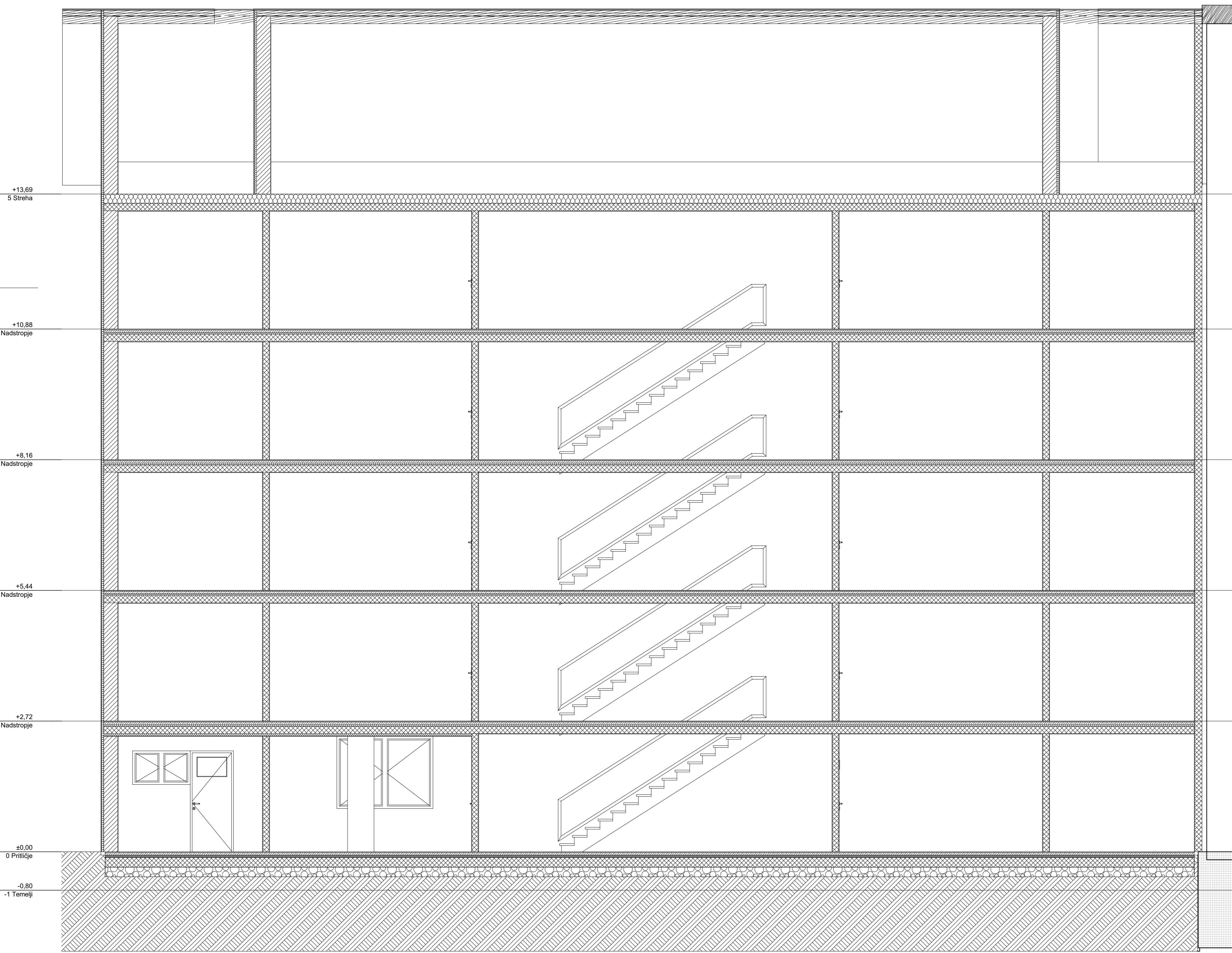
Legenda materialov

-  Zemlja
-  Armirani beton
-  Opečni modularni blok
-  Les
-  Omet
-  Mavčnokartonska plošča 01
-  Mehka izolacija
-  Toplotna izolacija - Mineralna volna

MERE PREVERITI NA KRAJU SAMEM!

investitor: UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Jamova ulica 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija	
objekt: Stanovanjski blok	
številka projekta: 012345678	datum izdelave: September 2016
vrsta projekta: A.02	vrsta načrta: ARHITEKTURA
odg. vodja projekta: Jure Lovšin #OVP_ZAPS	
odg. projektant: Jure Lovšin	
izdelal: Jure Lovšin	
merilo: M 1:50	

Saturday, September 10, 2016



+13.69
5 Streha

+10.88
4 Nadstropje

+8.16
3 Nadstropje

+5.44
2 Nadstropje

+2.72
1 Nadstropje

±0.00
0 Pritličje

-0.80
-1 Temelji

+13.69
5 Streha

+10.88
4 Nadstropje

+8.16
3 Nadstropje

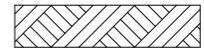
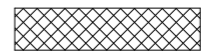


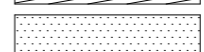


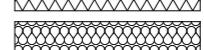
+5.44
2 Nadstropje

+2.72
1 Nadstropje

±0.00
0 Pritličje

-0.80
-1 Temelji

Legenda materialov

-  Zemlja
-  Armirani beton
-  Opečni modularni blok
-  Les
-  Omet
-  Mavčnokartonska plošča 01
-  Mehka izolacija
-  Toplotna izolacija - Mineralna volna

investitor: UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Jamova ulica 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija	
objekt: Stanovanjski blok	
številka projekta: 012345678	datum izdelave: September 2016
vrsta projekta: A.02	vrsta načrta: ARHITEKTURA
odg. vodja projekta: Jure Lovšin #OVP_ZAPS	
odg. projektant: Jure Lovšin	
izdelal: Jure Lovšin	
merilo: M 1:50	

Saturday, September 10, 2016

Prerez BB

risba št.: A.02.5