

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:

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

Datum arhiviranja: 13-07-2016

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:

Čančar, T., 2016. Uporaba BIM za parametrično analizo izbranih okoljskih trajnostnih vidikov stavb. Master Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Cerovšek, T.): 151 pp.

Archiving Date: 13-07-2016

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:

**TONI ČANČAR**

**UPORABA BIM ZA PARAMETRIČNO ANALIZO  
IZBRANIH OKOLJSKIH TRAJNOSTNIH VIDIKOV  
STAVB**

Magistrsko delo št.: 8/II.ST

**USE OF BIM FOR PARAMETRIC ANALYSIS OF  
SELECTED ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY  
ASPECTS OF BUILDINGS**

Graduation – Master Thesis No.: 8/II.ST

**Mentor:**

doc. dr. Tomo Cerovšek

Ljubljana, 30. 06. 2016

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

Spodaj podpisani študent Toni Čančar, vpisna številka 26420028, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Uporaba BIM za parametrično analizo okoljskega trajnostnega vidika.

### 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 vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil 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: Ljubljani

Datum: 17. 6. 2016

Podpis študenta:

---

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>004:699.86(043.3)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Toni Čančar</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Tomo Cerovšek</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Uporaba BIM za parametrično analizo izbranih okoljskih trajnostnih vidikov stavb</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Magistrsko delo</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>151 str., 39 pregl., 63 sl., 93 graf., 9 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>ArchiCAD, BIM, Ecodesigner, trajnostna gradnja, ogljični odtis, vgrajena energija, globalno segrevanje</b>

### **Izvleček**

Magistrska naloga obravnava okoljski vpliv stanovanjskih stavb na osnovi ogljičnega odtisa in vgrajene energije. V okviru magistrske naloge sem preučeval parametre okoljskega trajnostnega vidika za štiri konstrukcijske različice družinske stavbe. Za stavbo v različnih izvedbah (AB, opeka, jeklo in les) sem primerjal porabo energije in sproščanje emisij toplogrednih plinov skozi življenjski cikel stavbe. Predstavil sem oceno življenjskega cikla stanovanjske stavbe s pomočjo BIM modelirnika.

Na začetku magistrskega dela sem predstavil problematiko globalnega segrevanja in pomembno vlogo trajnostne gradnje. Na kratko sem opisal metodologijo LCA, ki se uporablja za oceno vpliva izdelkov in objektov na okolje. V nadaljevanju sem prikazal obravnavano stavbo in njene različne izvedbe. Za posamezno različico objekta sem izdelal informacijske modele stavbe (BIM) v BIM modelirniku ArchiCAD. Pri delu sem uporabil računalniški program ArchiCAD in vtičnik Ecodesigner STAR, ki sem jih prav tako predstavil. Prikazal in opisal sem energetske analize BIM modela s pomočjo omenjenih računalniških programov. Iz ArchiCAD-a sem pridobil podatke o porabi energije stavbe in sproščenih emisijah CO<sub>2</sub>, ki so pomembni podatki za oceno življenjskega cikla objekta. Predstavil sem izračun ogljičnega odtisa oziroma vgrajene emisije in vgrajeno energijo za posamezen model. Podatke o ogljičnem odtisu materialov sem pridobil iz ICE podatkovne baze in knjižnice materialov v programu ArchiCAD. Po preučeni pomembni fazah življenjskega cikla sem na koncu naloge prikazal primerjavo ogljičnega odtisa posameznih izvedb stavbe. V sklepnem delu sem podal končne ugotovitve in sklepe na osnovi izvedenega magistrskega dela.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTATION, INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 004:699.86(043.3)  
**Autor:** Toni Čančar  
**Supervisor:** Assist. prof. Tomo Cerovšek, PhD.  
**Title:** Use of BIM for parametric analysis of selected environmental sustainability aspects of buildings  
**Document type:** M. Sc. Thesis  
**Notes:** 151 p., 39 tab., 63 fig., 93 graph., 9 ann.  
**Key words:** ArchiCAD, BIM, sustainable design, Ecodesigner, carbon footprint, embodied carbon

**Abstract**

Master thesis addresses to ecological aspect of building's sustainability, based on carbon footprint and embodied energy. Within the thesis are studied parameters of environmental aspect of sustainability for four different variants of a residential building. For different variants of the building (reinforced concrete, clay brick, structural steel and wood) are compared energy consumption and release of GHG emissions throughout the whole life cycle of the building. There is also demonstrated life cycle analysis with a BIM software.

At the beginning of the master thesis there are introduced the issues of the global warming and the importance of sustainable design. Followed by the short description of LCA methodology, which is used for an assessment of products and objects on environment. Further on there is introduced the building and its variants. There are made BIM models for each building variant, which are executed by using BIM software ArchiCAD. For various simulations and calculations is used ArchiCAD and its plugin Ecodesigner STAR, which are also presented within the thesis. Process of energy analysis is described in details. Obtained data of energy consumption and released emissions is used for a life-cycle assessment. That is followed by the presentation of calculated carbon footprint (embodied carbon) and embodied energy of a particular building variant. Input data of material's carbon footprint is obtained from ICE database and ArchiCAD's material library. After studied important phases of the building's life-cycle there is shown a comparison of carbon footprint for different variants. At the end there are given some final conclusions of conducted study.

## **ZAHVALA**

Predvsem se zahvaljujem mentorju doc. dr. Tomu Cerovšku za svetovanje, razlage in pomoč pri nastajanju magistrske naloge. Zahvala gre tudi vsem profesorjem na UL FGG za pridobljeno znanje. Še posebej bi rad izpostavil prijaznost doc. dr. Mitje Koširja in doc. dr. Romana Kuniča. Prav tako pa se zahvaljujem podjetju Pilon AEC za tehnično podporo in za ureditev potrebnih licenc za ustrezne računalniške programe.

Zahvala gre nenazadnje tudi družini in prijateljem za podporo v času študija.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>18</b>
1.1	Problematika .....	19
1.2	Namen naloge.....	21
1.2	Cilji naloge .....	21
1.3	Hipoteze .....	22
1.4	Zakonodaja in standardi .....	23
<b>2</b>	<b>TRAJNOSTNI RAZVOJ .....</b>	<b>25</b>
2.1	Trajnostna gradnja.....	25
2.2	Certificiranje stavb skladno s trajnostnimi vidiki.....	28
2.2.1	Leadership in Energy and Environmental Design (LEED).....	28
2.3	Energijska učinkovitost stavbe in ogljični odtis .....	31
2.3.1	Razredi energijske učinkovitosti.....	32
2.3.2	Pomembni izrazi pri obravnavanju rabe energije v stavbah.....	33
2.4	Celostna metodologija ocene trajnostnega vidika stavbe .....	35
2.4.1	Ocena življenjskega cikla (Life-cycle assessment - LCA).....	35
2.4.2	Glavni koraki v LCA .....	37
2.4.3	Življenjski krog energije stavbe in ogljični odtis .....	39
2.4.4	Vgrajena energija (Embodied energy – EE) .....	40
2.4.5	Obratovalna energija (Operational Energy – OE).....	41
2.4.6	Okoljska deklaracija proizvoda (Environmental Product Declaration - EPD).....	41
2.4.7	Vgrajeni ogljikov dioksid (Embodied carbon – EC).....	42
2.4.8	Ekvivalent ogljikovega dioksida (CO <sub>2</sub> -e) .....	43
2.4.9	Potencial globalnega segrevanja (Global Warming Potential – GWP).....	43
2.4.10	Uporabljene predpostavke v nalogi .....	44
<b>3</b>	<b>ŠTUDIJA PRIMERA: OPIS STAVBE .....</b>	<b>45</b>
3.1	Geometrija in lastnosti stavbe .....	45
3.2	Različice materialne izvedbe stavbe BIM .....	48
3.2.1	Opečna zidana stavba – Hiša 1 .....	50
3.2.2	Armiranobetonska stavba – Hiša 2 .....	52
3.2.3	Jeklana stavba – Hiša 3 .....	54
3.2.4	Lesena stavba – Hiša 4.....	57
3.4	Uporaba modela BIM za energijsko analizo .....	60
3.4.1	Delovanje programa Ecodesigner STAR.....	61
3.4.2	Priporočljiv pristop pri delu z Ecodesigner STAR.....	62



<b>4</b>	<b>ANALIZA POSAMEZNIH UKREPOV ZMANJŠANJA RABE ENERGIJE.....</b>	<b>67</b>
4.1	Razdelitev prostorov .....	67
4.2	Vpliv orientacija in lokacija stavbe.....	70
4.2.1	Lokacija .....	70
4.2.2	Orientacija stavbe .....	73
4.3	Netransparentni del ovoja stavbe .....	76
4.3.1	Izbira materiala NK .....	78
4.3.2	Toplotna izolacija stavbe .....	80
4.4	Transparentni del ovoja stavbe - okna in senčila .....	86
4.4.1	Izbira oken .....	86
4.4.2	Ogljični odtis oken.....	90
4.5	Sistemi stavbe .....	92
4.5.1	Prezračevanje stavbe.....	92
4.5.2	Ogrevanje in hlajenje stavbe.....	96
4.5.3	Uporaba obnovljivih virov energije (OVE).....	101
4.6	Upoštevanje toplotnih mostov ovoja stavbe .....	105
4.7	Energetska bilanca stavbe .....	110
<b>5</b>	<b>OGLJIČNI ODTIS RAZLIČNIH KONSTRUKCIJSKIH RAZLIČIC STAVBE.....</b>	<b>115</b>
5.1	Ogljični odtis materialov.....	119
5.2	Hiša 1 – Zidana opečna NK .....	125
5.3	Hiša 2 – Armiranobetonska NK.....	129
5.4	Hiša 3 – Jeklena okvirna NK .....	133
5.5	Hiša 4 – Lesena okvirna NK.....	136
5.6	Skupne primerjave in razlaga rezultatov .....	139
<b>6</b>	<b>DISKUSIJA IN ZAKLJUČKI .....</b>	<b>145</b>
6.1	Rezultati .....	145
6.2	Končne ugotovitve .....	145
6.3	Zaključek .....	147
<b>VIRI.....</b>		<b>148</b>

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Možne točke pri LEED certifikaciji [48].....	30
Preglednica 2: Razredi energijske učinkovitosti [11].....	33
Preglednica 3: Koraki in vsebina LCA v magistrski nalogi .....	39
Preglednica 4: Vrednosti GWP za različne toplogredne pline [22].....	44
Preglednica 5: Podatki o stavbi .....	47
Preglednica 6: Sestava KS zunanja stena – Hiša 1 .....	50
Preglednica 7: Sestava KS medetažna konstrukcija – Hiša 1 .....	51
Preglednica 8: Sestava KS notranja stena – Hiša 1 .....	51
Preglednica 9: Sestava KS predelna stena – Hiša 1 .....	51
Preglednica 10: Sestava KS temeljna plošča – Hiša 1.....	51
Preglednica 11: Sestava KS streha – Hiša 1 .....	52
Preglednica 12: Sestava KS zunanja stena – Hiša 2.....	53
Preglednica 13: Sestava KS medetažna konstrukcija – Hiša 2.....	53
Preglednica 14: Sestava KS notranja stena – Hiša 2 .....	53
Preglednica 15: Sestava KS predelna stena – Hiša 2.....	53
Preglednica 16: Sestava KS temeljna plošča – Hiša 2.....	54
Preglednica 17: Sestava KS streha – Hiša 2 .....	54
Preglednica 18: Sestava KS zunanja stena – Hiša 3 .....	55
Preglednica 19: Sestava KS medetažna konstrukcija – Hiša 3.....	56
Preglednica 20: Sestava KS streha – Hiša 3 .....	56
Preglednica 21: Sestava KS temeljna plošča – Hiša 3.....	56
Preglednica 22: Sestava KS notranja stena – Hiša 3 .....	57
Preglednica 23: Sestava KS predelna stena – Hiša 3.....	57
Preglednica 24: Sestava KS zunanja stena – Hiša 4.....	58
Preglednica 25: Sestava KS medetažna konstrukcija – Hiša 4.....	58
Preglednica 26: Sestava KS notranja stena – Hiša 4 .....	59
Preglednica 27: Sestava KS predelna stena – Hiša 4.....	59
Preglednica 28: Sestava KS streha – Hiša 4.....	59
Preglednica 29: Sestava KS temeljna plošča.....	59
Preglednica 30: Primerjava toplotne izolacije na modelu .....	83
Preglednica 31: Vrednosti EC in EE EPS-a pri različnih podatkovnih bazah [47] .....	85
Preglednica 32: Primejani primeri različnih oken na stavbi .....	88
Preglednic 33: Ogljični odtis različnih oken [29].....	90

Preglednica 34: Privzete vrednosti energentov v ArchiCAD, ki so povzete po DIN V 18599.....	97
Preglednica 35: Vrednosti energentov uporabljene v nalogi.....	97
Preglednica 36: $\Psi$ vrednosti toplotnih mostov v ArchiCAD-u .....	106
Preglednica 37: Primerjava ogljičnega odtisa dveh izvedb primera večstanovanjske stavbe [63].....	118
Preglednica 38: Fizikalne lastnosti in vgrajena energija ter ogljični odtis uporabljenih materialov...	121
Preglednica 39: Primerjane različice jeklene stavbe .....	134

## KAZALO SLIK

Slika 1: Globalne emisije ogljikovega dioksida od 1850 do 2011 [19].....	21
Slika 2: Merila trajnostnega razvoja [69] .....	26
Slika 3: Hierarhična struktura trajnosti [41].....	27
Slika 4: Hierarhična struktura podkriterijev in parametrov okoljskega vidika trajnosti [41].....	27
Slika 5: Področja, ki jih obravnava LEED [66].....	29
Slika 6: Štiri stopnje LEED certifikacije [36].....	29
Slika 7: Shematski prikaz metode ocenjevanja življenjskega ciklusa izdelka [72].....	36
Slika 8: Meje nekaterih sistemov na življenjski poti izdelkov [72].....	37
Slika 9: Konceptualni okvir LCA in glavni koraki [46].....	37
Slika 10: Vgrajena energija izdelka [39] .....	40
Slika 11: Poenostavljeno obravnavanje energije stavbe pri LCA, ki je uporabljen v mag. nalogi [63]	41
Slika 12: Življenjski cikel stavbe [69].....	42
Slika 13: Izvirna slika stavbe pridobljena na FloorPlans.com.....	45
Slika 14: Izvirni tloris pritličja obravnavane hiše (FloorPlans.com ).....	46
Slika 15: Izvirni tloris prve etaže obravnavane hiše (vir: FloorPlans.com).....	46
Slika 16: Vizualizacija izdelanega modela stavbe (ArchiCAD, Artlantis 5).....	47
Slika 17: Vizualizacija modelirane stavbe v programu ArchiCad 19 (Cinerender) .....	48
Slika 18: Tloris pritličja Hiše 1 v ArchiCAD modelirniku.....	49
Slika 20: Vizualizacija nosilne konstrukcije Hiše 1 (ArchiCAD).....	50
Slika 21: Vizualizacija nosilne konstrukcije Hiše 2 (ArchiCAD).....	52
Slika 22: Vizualizacija nosilne konstrukcije Hiše 3 (ArchiCAD).....	55
Slika 23: Vizualizacija nosilne konstrukcije Hiše 4 (ArchiCAD).....	58
Slika 24: Dostop do okna vtičnika Ecodesigner.....	61
Slika 25: Nepravilno določena cona.....	63
Slika 26: Nepravilno določena cona.....	63
Slika 27: Prikaz ukaza za osvežitev con in modela v vtičniku Ecodesigner .....	64
Slika 28: Spročilo o nepopolnih conah v modelu ob zagonu analize .....	65
Slika 29: Ukazi za prikaz con in neupoštevanih ploskev v modelu.....	65
Slika 30: Ukaz "construction method" za določanje con na BIM modelu.....	66
Slika 31: Spisek osveženih con, kjer nepravilno modelirane cone ustrezno označene .....	66
Slika 32: BEM model obravnavane stavbe v ArchiCAD-u.....	67
Slika 33: Bivalni prostori v BEM modelu obravnavane stavbe .....	68
Slika 34: Določeni termalni bloki modela.....	68
Slika 35: Režim ogrevanja bivale cone (levo med tednom, desno med vikendi).....	69
Slika 36: Določanje toplotnih dobitkov za posamezni termalni blok.....	69
Slika 37: Določanje zasedenosti pri režimu ogrevanja.....	70
Slika 38: Nastavitve okolja v vtičniku Ecodesigner .....	70
Slika 39: Nastavitve geografskih lastnosti modela v vtičniku Ecodesigner .....	73
Slika 40: Nastavitve vetrne zaščite modela v vtičniku Ecodesigner .....	74
Slika 41: Nastavitve senčenja v vtičniku Ecodesigner .....	74
Slika 42: Določanje konstrukcijskih sklopov modela v vtičniku Ecodesigner.....	77

Slika 43: Prikaz KS-jev modela v vtičniku Ecodesigner .....	77
Slika 44: Okence za ročno nastavljanje U-faktorja posameznega KS .....	78
Slika 45: Prikaz stavbnega pohištva v modelu v Ecodesigner-ju.....	86
Slika 46: Katalog stavbnega pohištva .....	87
Slika 47: Prikaz izpostavljenosti sončni svetlobi na izbranem oknu.....	87
Slika 48: Prikaz prejetega sončnega sevanja na izbranem oknu .....	88
Slika 49: Okno za definiranje prezračevalnega sistema .....	93
Slika 51: Nastavitveno okno za definiranje sistemov oziroma strojnih inštalacij.....	98
Slika 52: Nastavitveno okno za določanje solarnega sistema .....	102
Slika 53: Nastavitve toplotne črpalke za ogrevanje objekta.....	104
Slika 54: Nastavitve za vetrno energijo.....	104
Slika 55: Detajl za račun toplotne mostu.....	107
Slika 56: Bližnjica do izračuna toplotnih mostov .....	107
Slika 57: Prikaz dodanih toplotnih mostov v določeni coni.....	108
Slika 58: Energijski tok skozi T-križanje.....	108
Slika 59: Potek temperature skozi T-križanje .....	109
Grafikon 54: Ogljični odtis v življenjskem ciklu različnih tipov stavb (v 30 letih) [42] .....	116
Slika 60: Nastavitve materialov v ArchiCAD 19.....	120
Slika 61: Lastnosti materialov v katalogu materialov .....	120
Slika 62: Dostop do popisa količin v ArchiCAD-u.....	124
Slika 63: Shema shranjenega CO2 v lesu (biogenic CO2) [64] .....	136

## KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Svetovne emisije CO <sub>2</sub> od leta 1850, v milijardah ton.....	19
Grafikon 2: Delež porabljene energije v ZDA .....	20
Grafikon 3: Deleži emisij TGP, ZDA leta 2013.....	21
Grafikon 4: Sektorski deleži porabe energije v Sloveniji leta 2012 (Eurostat) [2] .....	30
Grafikon 5: Specifična raba energije v stavbah [39] .....	31
Grafikon 5: Potrebna energija za ogrevanje in hlajenje glede na lokacijo stavbe v Sloveniji.....	71
Grafikon 6: Letne emisije CO <sub>2</sub> stavbe glede na lokacijo v Sloveniji .....	71
Grafikon 7: Potrebna energija za ogrevanje in hlajenje glede na lokacijo stavbe v svetu.....	72
Grafikon 8: Solarni dobitki glede na lokacijo stavbe v svetu.....	72
Grafikon 9: Letne emisije CO <sub>2</sub> stavbe glede na lokacijo stavbe v svetu .....	73
Grafikon 10: Potrebna energija za ogrevanje in hlajenje glede na orientacijo objekta .....	75
Grafikon 11: Sproščene emisije CO <sub>2</sub> v 60 letih objekta glede na orientacijo.....	75
Grafikon 12: Prejeti solarni dobitki glede na orientacijo objekta.....	76
Grafikon 13: Transmisije izgube objekta glede na orientacijo .....	76
Grafikon 14: Ogljični odtis vertikalne nosilne konstrukcije – Hiša 1 .....	78
Grafikon 15: Potrebna energija za ogrevanje in hlajenje pri izbiri različnih materialov NK – Hiša 1..	79
Grafikon 16: Letne ogljične emisije stavbe glede na različen material NK – Hiša 1 .....	79
Grafikon 17: Potrebna energija za ogrevanje pri izoliranju Hiše 1 .....	80
Grafikon 18: Primarna in dovedena energija pri izoliranju Hiše 1 .....	81
Grafikon 19: Letni stroški pri izoliranju Hiše 1 .....	81
Grafikon 20: Letne transmisije izgube in ogrevanje stavbe po ukrepih URE .....	82
Grafikon 21: Letni ogljični odtis po izoliranju stavbe – Hiša 1 .....	82
Grafikon 22: Primerjava ogljičnega odtisa toplotne izolacije na Hiši 1 (podatki iz ArchiCAD-a).....	83
Grafikon 23: Primerjava vgrajene energije toplotne izolacije na Hiši 1 (podatki iz ArchiCAD-a) .....	84
Grafikon 24: Zmanjšanje CO <sub>2</sub> emisij v 60 letih z toplotnim izoliranjem stavbe.....	85
Grafikon 25: Solarni dobitki stavbe glede na tip zasteklitve .....	89
Grafikon 26: Potrebna energija za ogrevanje stavbe glede na tip zasteklitve .....	89
Grafikon 27: Letne emisije CO <sub>2</sub> stavbe glede na različne zasteklitve .....	90
Grafikon 28: Primerjava ogljičnega odtisa stavbe z 2 in 3-slojnimi okni v 20 letih [30].....	91
Grafikon 29: Primerjava skupnega ogljičnega odtisa oken na Hiši 1 .....	91
Grafikon 30: Primerjava skupnega CO <sub>2</sub> pri zasteklitvi oken na stavbi .....	92
Slika 50: Nastavitve stopnje prezračevanja .....	94
Grafikon 31: Primerjava vseh obratovalnih emisij CO <sub>2</sub> v 60 letih, pri uporabi različnega prezračevanja .....	94
Grafikon 32: Vpliv tipa prezračevanja na letno porabo energije za ogrevanje in primarno energijo... 94	94
Grafikon 33: Vpliv stopnje prezračevanja z rekuperacijo 90% na letno porabo energije za ogrevanje in primarno energijo .....	95
Grafikon 34: Vpliv stopnje prezračevanja pri 90 % rekuperaciji na količine sproščenega CO <sub>2</sub> v 60 letih .....	95
Grafikon 35: Poraba energije v gospodinjstvih po namenu, leto 2013, SURS [2] .....	96
Grafikon 36: Poraba energije v gospodinjstvih po vrsti energenta, leto 2013, SURS [2] .....	97

Grafikon 37: Graf prikazuje ogljični ekvivalent pri proizvodnji elektrike z različnimi energenti [9] ..	98
Grafikon 38: Stroški obratovanja nizkoenergijske Hiše 1 glede na vrsto energenta.....	99
Grafikon 39: Letne emisije CO <sub>2</sub> Hiše 1 glede na vrsto uporabljenega energenta .....	99
Graph 39: Annual carbon releases of House 1 by used energy source .....	99
Grafikon 40: Emisije CO <sub>2</sub> v 60 letih Hiše 1 glede na vrsto uporabljenega energenta .....	99
Grafikon 41: Primerjava emisij CO <sub>2</sub> v 60 letih potratne in nizkoenergijske Hiše 1 glede na vrsto uporabljenega energenta.....	100
Grafikon 42: Zmanjšanje emisij CO <sub>2</sub> pri uporabi solarnih modulov.....	103
Grafikon 43: Prejeti solarni dobitki (kWh) glede na orientacijo stavbe.....	103
Grafikon 45: Vpliv toplotnih mostov na sproščanje emisij stavbe.....	109
Grafikon 46: Poraba energije za ogrevanje stavbe, po ukrepih URE.....	110
Grafikon 47: Poraba primarne energije stavbe, po ukrepih URE.....	110
Grafikon 48: Letne emisije CO <sub>2</sub> , po ukrepih URE.....	111
Grafikon 49: Energetska bilanca Hiše 1 iz poročila Ecodesigner-ja.....	111
Grafikon 50: Primerjava letne potrebne energije za ogrevanje (KI Energija 2010 in Ecodesigner STAR) .....	112
Grafikon 51: Primerjava letne dovedene energije (KI Energija 2010 in Ecodesigner STAR).....	113
Grafikon 52: Primerjava letne primarne energije (KI Energija 2010 in Ecodesigner STAR) .....	113
Grafikon 53: Primerjava letnih emisij CO <sub>2</sub> na m <sup>2</sup> (KI Energija 2010 in Ecodesigner STAR).....	114
Grafikon 55: Sproščeni ogljikov dioksid glede na energetska učinkovitost objekta [42].....	116
Grafikon 56: Poraba energije v fazah življenjskega cikla [45] .....	117
Grafikon 57: CO <sub>2</sub> emisije v fazah življenjskega cikla [45] .....	117
Grafikon 58: Povprečne vrednosti EC in EE pri procesu gradnje za različne tipe konstrukcij [57] ...	119
Grafikon 59: Graf ogljičnega odtisa materialov na osnovi preglednice 38.....	122
Grafikon 60: Graf ogljičnega odtisa materialov na osnovi preglednice 38.....	123
Grafikon 61: Graf vgrajene energije materialov na osnovi preglednice 38 .....	123
Grafikon 62: Obratovalne emisije CO <sub>2</sub> stavbe v obdobju 60 let, pri dodajanju ukrepov URE.....	125
Grafikon 63: Ogljični odtis (kgCO <sub>2</sub> e) posameznih delov stavbe Hiša 1 .....	125
Grafikon 64: Delež ogljičnega odtisa posameznih uporabljenih gradbenih materialov Hiše 1 .....	126
Grafikon 65: Delež ogljičnega odtisa posameznih gradbenih materialov Hiše 1 glede na funkcijo materiala .....	126
Grafikon 66: Primerjava skupnega ogljičnega odtisa Hiše 1 z različnimi zidaki.....	127
Grafikon 67: Primerjava vgrajene energije (MJ/m <sup>2</sup> ) Hiše 1 z različnimi zidaki .....	127
Grafikon 68: Primerjava vgrajenih in obratovalnih emisij (kgCO <sub>2</sub> ) - Hiša 1.....	128
Grafikon 69: Začetna vgrajena in obratovalna energije – Hiša 1 .....	128
Grafikon 70: Deleži CO <sub>2</sub> emisij pri konvencionalni proizvodnji betona [68].....	129
Grafikon 71: Vgrajeni CO <sub>2</sub> v odvisnosti od trdnostnega razred betona [59] .....	130
Grafikon 72: Vgrajeni CO <sub>2</sub> nosilca v odvisnosti od velikosti prereza različnih materialov [59].....	130
Grafikon 73: Ogljični odtis (kgCO <sub>2</sub> e) posameznih delov stavbe Hiša 2 .....	131
Grafikon 74: Delež ogljičnega odtisa posameznih uporabljenih gradbenih materialov Hiše 2 .....	131
Grafikon 75: Delež ogljičnega odtisa posameznih gradbenih materialov Hiše 2 glede na funkcijo materiala.....	132

---

Grafikon 76: Ogljični odtis Hiše 2 pri uporabi nadomestka cementa.....	132
Grafikon 77: Ogljični odtis (kgCO <sub>2</sub> e) posameznih delov stavbe - Hiša 3 .....	133
Grafikon 78: Delež ogljičnega odtisa posameznih uporabljenih gradbenih materialov Hiše 3.....	134
Grafikon 79: Delež ogljičnega odtisa posameznih gradbenih materialov Hiše 3 glede na funkcijo materiala .....	134
Grafikon 80: Ogljični odtis Hiše 3 za različno jekleno NK.....	135
Grafikon 81: Vgrajena energija Hiše 3 za različno jekleno NK.....	135
Grafikon 82: Ogljični odtis (kgCO <sub>2</sub> e) posameznih delov stavbe - Hiša 4.....	137
Grafikon 83: Delež ogljičnega odtisa posameznih uporabljenih gradbenih materialov Hiše 4.....	138
Grafikon 84: Delež ogljičnega odtisa posameznih gradbenih materialov Hiše 4 glede na funkcijo materiala .....	138
Grafikon 85: Skupne vgrajene emisije (EC) na m <sup>2</sup> uporabne površine za posamezno različico stavbe (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ).....	139
Grafikon 86: Letna vrednost skupnih vgrajenih emisij (EC) na m <sup>2</sup> uporabne površine za posamezno različico stavbe (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> leto) .....	140
Grafikon 87: Vgrajena energija na m <sup>2</sup> uporabne površine različnih izvedb hiše (MJ/m <sup>2</sup> ) .....	140
Grafikon 88: Skupna primerjava ogljičnega odtisa različic z prikazom prispevka različnih materialov .....	141
Grafikon 89: Skupna primerjava ogljičnega odtisa različic stavbe in materialov glede na njihovo funkcijo.....	142
Grafikon 90: Ogljični odtis NK (tCO <sub>2</sub> ) in teža NK (t), (brez temeljenja).....	142
Grafikon 91: Ogljični odtis pomembnih KS-jev obravnavanih različic stavbe.....	143
Grafikon 92: Ocena skupnega ogljičnega odtisa vseh različic stavbe v ŽC stavbe.....	144
Grafikon 93: Skupna vgrajena energija vseh različic stavbe v življenjskem ciklu stavbe .....	144



## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

$U_g$  – toplotna prehodnost zasteklitve

$U_f$  – toplotna prehodnost okvirja

$U_w$  – toplotna prehodnost okna

$g$  – prepustnost sončne energije

$\lambda$  – faktor toplotne prevodnosti

$\rho$  – gostota materiala

$Q_H$  – potrebna energija za ogrevanje

$Q_C$  – potrebna energija za hlajenje

$Q_P$  – primarna energija

BIM – Informacijsko modeliranje zgradb, angl. *Building Information Modeling*

BEM – Energijsko modeliranje zgradb, angl. *Building Energy Modeling*

BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

DGNB – *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*

LEED – *Leadership in Energy and Environmental design*

USGBC – neprofitna organizacija *U.S. Green Building Council*

GHG – toplogredni plini, angl. *Greenhouse Gas*

LCA – ocena življenjskega cikla, angl. *Life Cycle Assessment*

LCC – stroški življenjskega cikla, angl. *Life Cycle Costs*

LCCA – analiza stroškov življenjskega cikla, angl. *Life Cycle Cost Analysis*

EC – *Embodied Carbon*

OC – *Operational Carbon*

EE – *Embodied Energy*

OE – *Operational Energy*

EPB – okoljska deklaracija proizvoda

GWP – potencial globalnega segrevanja, angl. *Global Warming Potential*

TGP – toplogredni plini

HVAC – sistemi ogrevanja, prezračevanja in klimatske naprave, angl. *Heating, ventilation and air conditioning*

URE – učinkovita raba energije

TST (*Total Solar Transmission*) - je oznaka za g faktor, ki pomeni sončno prepustnost sončne energije

DST (*Direct Solar Transmission*) – direktna transmisija sončne energije

PURES 2010 – Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, Uradni list RS, št. 52/2010

NK – nosilna konstrukcija

HI – hidroizolacija

KS – konstrukcijski sklop

TI – toplotna izolacija

TM – toplotni most

ŽC – življenjski cikel

TČ – toplotna črpalka

$V_e$  – ogrevana prostornina stavbe

$A_u$  – uporabna površina stavbe

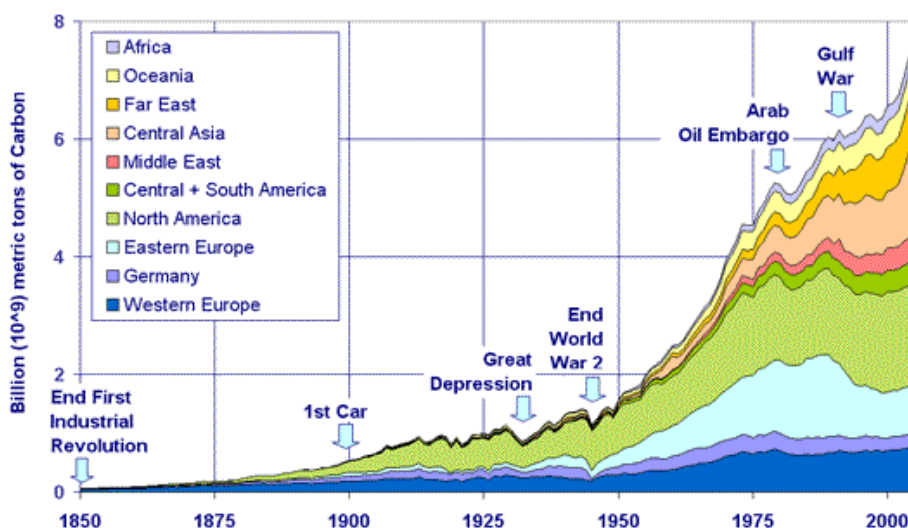
»Ta stran je namenoma prazna«

## 1 UVOD

Človek je od industrijske revolucije močno izkoriščal naravne vire surovin, dandanes pa se njihova prisotnost zmanjšuje, povpraševanje se povečuje iz dneva v dan, cene le teh pa posledično strmo naraščajo. Ob tem se dražijo fosilna goriva, ki so se pred kratkim masovno uporabljali pri ogrevanju stavb.

Za stavbe v svetu porabimo kar 24 % vseh zemeljskih virov [74]. Slabost uporabe fosilnih goriv je onesnaževanje okolja s toplogrednimi plini, predvsem je pomemben ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), ki nastaja ob zgorevanju teh goriv. Ogljikov dioksid vedno bolj vpliva na podnebne spremembe, saj na Zemlji ustvarja učinek tople grede.

Višanje koncentracij CO<sub>2</sub> v ozračju (grafikon 1) je posledica človeške dejavnosti, ki strmo narašča od začetka industrijske revolucije v 18. stoletju. Po zadnjih podatkih so globalne emisije CO<sub>2</sub> 150-krat višje, kot so bile leta 1850. Leta 2011 je bila Kitajska odgovorna za največ sproščenih emisij CO<sub>2</sub>, sledile so ZDA, Indija, Rusija in Japonska [19].



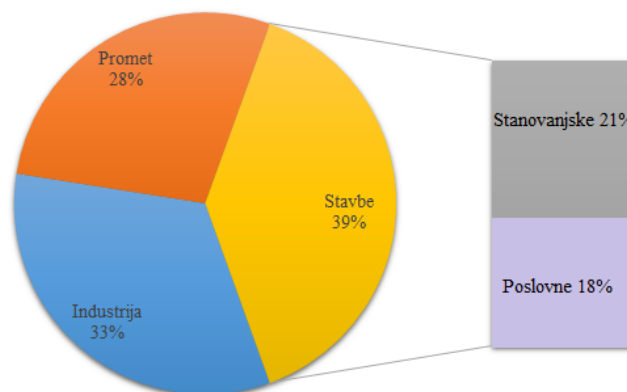
Grafikon 1: Svetovne emisije CO<sub>2</sub> od leta 1850, v milijardah ton [20]

Graph 1: Global carbon emissions since year 1850 in billion tons [20]

V preteklosti smo bili bolj osredotočeni na gradbeništvo z ekonomskega vidika, v zadnjem času pa dajemo vse večji pomen varovanju okolja in trajnostni gradnji. Na srečo smo ljudje vedno bolj ozaveščeni, povečuje se tudi pozornost na manjšo rabo energije in zmanjšanje vplivov na okolje. Dejstvo je, da se v EU-28 porabi skoraj 40 % celotne končne energije v stavbah [2].

V Sloveniji pa je po podatkih Eurostata delež stavb v končni porabi energije leta 2012 znašal skoraj 34 % (od tega 24,4 % v gospodinjstvih) [2]. Prav zaradi tega je največji možni prihranek energije prav na stavbah, zato je smiselno ukrepati pri načrtovanju bodočih stavb. Prav tako pa moramo sanirati obstoječe stavbe in s tem zmanjšati porabo energije, saj le te v ŽC največ energije porabijo v fazi upravljanja oziroma uporabe, povprečno okoli 80 % energije porabljen v ŽC stavbe.

Emisije ogljikovega dioksida, ki jih povzročajo stavbe, predstavljajo 35–40 % vseh povzročenih emisij. To je predvsem zato, ker so stavbe grajene iz netrajnostnih materialov, za svoje delovanje pa porabijo veliko energije. Po virih statističnega urada Slovenije povprečna stanovanjska enota v Sloveniji potrebuje približno trikrat več energije, kot je dovoljeno z novimi predpisi PURES [74]. Stanovanjske in poslovne stavbe v ZDA prispevajo k porabi 39 % celotne energije in posledično 38 % vseh emisij ogljikovega dioksida (grafikon 2) [43].

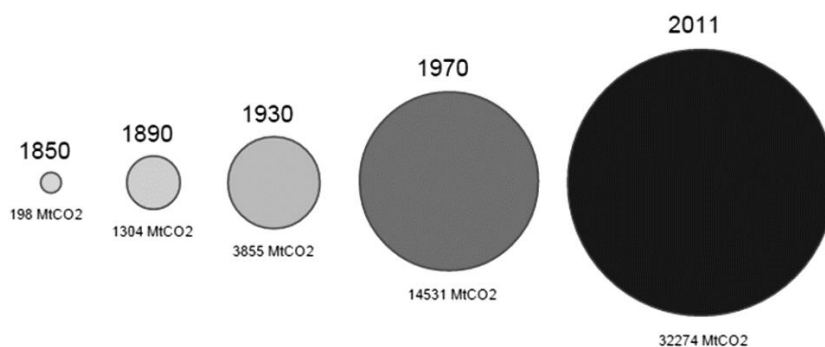


Grafikon 2: Delež porabljene energije v ZDA (U.S. Department of Energy (DOE)) [43]  
Graph 2: Percentage of consumed energy in US (U.S. Department of Energy (DOE)) [43]

## 1.1 Problematika

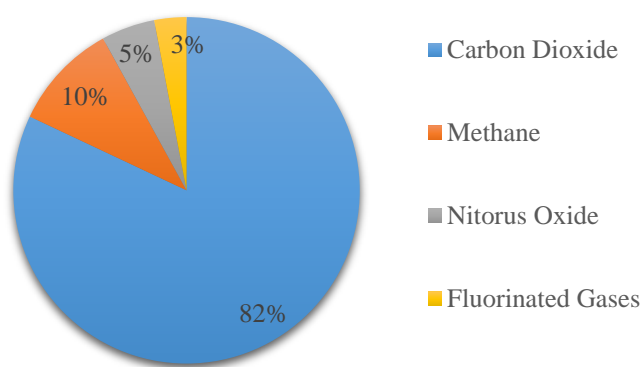
V zadnjih desetletjih zaradi povišanja koncentracij toplogrednih plinov (TGP) vse bolj opažamo negativne vplive na okolje in podnebne spremembe. Toplogredne pline sestavljajo v največjem deležu vodna para in ogljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ), sledijo dušikov dioksid ( $\text{N}_2\text{O}$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), žveplov heksafluorid ( $\text{SF}_6$ ), fluorirani ogljikovodiki (HFC) in perfluorirani ogljikovodiki (PFC) (glej graf 3). TGP ustvarjajo proces učinka tople grede na Zemlji, saj ustvarjajo plast ozračja, ki deluje kot plast toplotne izolacije, ki absorbira solarno radiacijo oziroma toploto, kar zmanjša Zemljino oddajanje toplote v vesolje. Na ta način se Zemlja dodatno segreva, saj odbita sončna radiacija ne more prosto zapustiti atmosfero. Posledično se pojavlja globalno segrevanje, ki ima katastrofalne posledice na okolje, kot so na primer podnebne spremembe. Najbolj pomemben toplogredni plin je  $\text{CO}_2$ , saj je prisoten v največjem deležu, nanj pa vpliva tudi človeška aktivnost. Plin  $\text{CO}_2$  nastaja v naravi, a ga tudi dodatno sproščamo pri uporabi fosilnih goriv, sekanju gozdov in z nekaterimi kemičnimi reakcijami. Nekateri TGP, kot je metan nastajajo kot posledica kmetijstva, deponiranja odpadkov in zaradi proizvodnje nekaterih surovin. Vodna para ( $\text{H}_2\text{O}$ ) je tudi TGP in največ prispeva k absorbiranju toplote, vendar pa vodna para ni posledica človeške dejavnosti, temveč delo narave, zato je prikazana na grafu 3. Pri oceni vplivov TGP na okolje uporabljamo termin ogljični ekvivalent ali ogljični odtis.

Na sliki 1 je prikazano naraščanje globalnih emisij ogljikovega dioksida od leta 1850. Izkoriščanje naravnih virov in uporaba fosilnih goriv prispevata rasti emisij TGP. Poraba naravnih virov linearno narašča z rastjo svetovne populacije, ki je leta 1950 znašala 2,5 milijardi, trenutno pa znaša 7,4 milijard prebivalcev. Kar pomeni, da je samo v 65 letih svetovna populacija narasla za skoraj 3 milijarde prebivalcev. Z višanjem populacije gradimo več stavb in gradbenih objektov, ki so veliki porabniki fosilnih goriv in naravnih virov.



Slika 1: Globalne emisije ogljikovega dioksida od 1850 do 2011 [19]

*Figure 1: Global carbon emissions from year 1850 to 2011 [19]*



Grafikon 3: Deleži emisij TGP, ZDA leta 2013 [21]

*Graph 3: Percentage of GHG in US, 2013 [21]*

Stavbe imajo torej veliko vlogo pri globalnih emisijah TGP in s tem delno vplivajo na globalno segrevanje. Sama gradbena industrija pa predstavlja 40 % celotne svetovne porabe vseh materialov in surovin, tekom gradnje in uporabe gradbeni objekti porabijo približno 40 % vse potrebe po energiji in naravnih virov v svetu in po končanem življenjskem ciklu predstavljajo gradbeni odpadki 40 % vseh povzročenih odpadkov na svetu [77].

Posledično načrtovalci, arhitekti in gradbeniki zadnjih nekaj deset let skušajo preučevati in zmanjšati vpliv stavbnega sektorja na okolje. Pojavljajo se različna orodja in metode za vrednotenje vpliva izdelkov in objektov na okolje. Družba se nagiba k trajnosti in ohranjanju narave, prav tej poti sledi tudi gradbeništvo. Trajnostna gradnja in trajnostno načrtovanje objektov igrata dandanes veliko vlogo pri ohranjanju okolja.

Dandanes se pri gradnji in sanaciji stavb osredotočamo na njihovo izboljšanje energetske učinkovitosti, saj so prav stavbe velika možnost za prihranek energije. S sanacijo obstoječe stavbe lahko preidemo iz energijsko potratne stavbe na energijsko varčno stavbo, ki je lahko tudi do sedemkrat bolj energijsko varčna od energetske potratne stavbe. Trajnostno načrtovanje je pomembno, zlasti zaradi višje udobnosti bivanja, izpolnjevanja novih zakonskih zahtev glede učinkovite rabe energije ter manjšega vpliva na okolje.

## 1.2 Namen naloge

Namen magistrske naloge je preučevati okoljski vidik trajnosti družinske hiše v štirih različicah s pomočjo računalniško podprtega orodja za informacijsko modeliranje zgradb (angl. *Building information model*, v nadaljevanju BIM). Osredotočil sem se na uporabo BIM modelirnika pri preverjanju energetske učinkovitosti stavb in pri preučevanju okoljskega trajnostnega vidika stavb.

Prikazal sem različne primerjave posameznih izvedb in konstrukcijskih sklopov stavbe z okoljskega trajnostnega vidika. Preučeval sem vpliv stavbe na okolje tekom vplivnih faz življenjskega cikla stavbe na osnovi ogljičnega odtisa in vgrajene energije. Z obravnavano magistrsko nalogo bi rad pripomogel k ozaveščanju javnosti o pomembnosti trajnostne gradnje, sanacije stavb in negativnih vplivov stavb na okolje.

## 1.2 Cilji naloge

Cilji magistrske naloge so:

- Predstaviti problematiko globalnega segrevanja in vlogo stavbnega sektorja pri negativnih vplivih na okolje.
- Predstaviti vedno pomembnejšo vlogo BIM tehnologije v trajnostnem načrtovanju stavb.
- Na osnovi arhitekturnega in energetskega informacijskega modela stavbe izdelati odvisne modele za parametrično analizo trajnostnih vidikov, ki vplivajo na umestitev stavbe, izbor materialov in nosilne konstrukcije ter na izvedbo detajlov stavbe.
- Predstaviti postopek energijske analize objekta s pomočjo programa ArchiCAD 19 in vtičnika Ecodesigner STAR.
- V BIM modelirniku optimizirati model družinske stavbe in s pomočjo ukrepov učinkovite rabe energije spremeniti v nizkoenergijski objekt.
- Na osnovi štirih različic BIM modela izdelati niz analiz, ki se nanašajo na okoljske trajnostne parametre stavbe, kot je na primer ogljični odtis.
- Prikazati oceno življenjskega cikla stavbe in vpliv na okolje na osnovi vgrajene energije ter ogljičnega odtisa.
- Primerjati ogljični odtis štirih izhodiščnih različic stavbe.
- Po načelih LCA metode primerjati štiri konstrukcijske različice objekta in določiti najbolj (ne)ugodno rešitev z okoljskega vidika trajnosti.
- Predstaviti ugotovitve, sklepe in priporočila, ki se nanašajo na opravljeno delo.

### 1.3 Hipoteze

V okviru magistrske naloge sem potrdil naslednje hipoteze:

- Raziskave kažejo, da stavbe prispevajo velik delež globalnih emisij toplogrednih plinov, ki med drugim povzročajo globalno segrevanje in podnebne spremembe.
- Da bi lahko gradili zelene gradnje, ki povzročajo malo ali nič ogljikovega dioksida, moramo prinašati odločitve že v sami fazi načrtovanja objekta, tu ima ogromno prednosti BIM tehnologija.
- Računalniški programi so iz dneva v dan bolj napredni in z njimi lahko najlažje ocenimo trajnostne parametre objektov. BIM modelirnik ArchiCAD in vtičnik Ecodesigner STAR sta zanesljiva kombinacija za preučevanje trajnostnih parametrov stavb.
- Največ emisij toplogrednih plinov v celotnem življenjskem ciklu se sprosti v fazi obratovanja stavbe, saj stavbe porabijo ogromno energije za ogrevanje, prezračevanje in hlajenje. Ta energija je večinoma pridobljena iz fosilnih energentov, ki imajo visoko emisivnost sproščanja TGP. Z uvajanjem ničenergijskih in pasivnih stavb, lahko bistveno zmanjšamo negativne vplive na okolje.
- Z ukrepi učinkovite rabe energije ogromno prispevamo k varovanju okolja na račun zmanjšanja emisij ogljikovega dioksida objektov. Najbolj učinkovita ukrepa sta toplotno izoliranje objekta in zamenjava potratnih naprav.
- Pri doseganju energijsko učinkovitih hiš postajajo vgrajene emisije (*Embodied Carbon*) vse bolj pomemben parameter pri trajnostnem načrtovanju, saj predstavljajo pomemben del emisij stavbe.
- Uporabljena LCI podatkovna baza in geografska lokacija objekta vplivata na izračun ogljičnega odtisa in vgrajene energije.
- Med vsemi izvedbami gradnje je lesena gradnja najbolj prijazna okolju, ta prispeva k ohranjanju narave in zmanjšanju globalnega segrevanja.



## **1.4 Zakonodaja in standardi**

### **Kjotski protokol**

Je mednarodni sporazum, katerega namen je omejitev ali zmanjšanje šestih toplogrednih plinov (TGP). Kjotski protokol je sprejet 11. decembra 1997 v Kjotu, veljati pa je začel 16. februarja 2005. Kjotski protokol je korak naprej v boju proti globalnemu segrevanju, saj vsebuje opredeljene cilje za omejevanje in zmanjševanje toplogrednih plinov. Kjotski protokol je eden izmed najpomembnejših mednarodnih pravnih instrumentov za spopadanje s podnebnimi spremembami. Z njim so se industrijske države zavezale, da bodo zmanjšale emisije določenih toplogrednih plinov, ki povzročajo globalno segrevanje ozračja. Skupne emisije industrijskih držav naj bi v letih 2008–2012 zmanjšale za najmanj 5 % v primerjavi z letom 1990. Kjotski protokol obravnava emisije naslednjih šestih toplogrednih plinov: ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), didušikov oksid (N<sub>2</sub>O), fluorirani ogljikovodiki (HFC), perfluorirani ogljikovodiki (PFC), žveplov heksafluorid (SF<sub>6</sub>) [14].

### **Sistem EU za trgovanje z emisijami (ETS – Emission trading scheme)**

EU ETS je temelj strategije EU za boj proti podnebnim spremembam. Predstavlja prvi mednarodni sistem za trgovanje z emisijami CO<sub>2</sub> v svetu in uporablja ga 27 držav članic EU in tri druge članice Evropskega gospodarskega prostora – Norveško, Islandijo in Lihtenštajn. Trenutno vključuje več kot 10 000 obratov v energetske in industrijske panogah, ki so skupaj odgovorni za skoraj polovico emisij CO<sub>2</sub> in 40 % skupnih emisij toplogrednih plinov v EU [16].

### **Evropa 2020**

Evropa 2020 je desetletna strategija Evropske unije za gospodarsko rast in delovna mesta, ki se je začela izvajati leta 2010. Strategija ni namenjena zgolj premagovanju krize in postopnemu okrevanju našega gospodarstva. Strategija se loteva pomanjkljivosti našega modela gospodarske rasti in ustvarja pogoje za razvoj, ki bo temeljil na pametnih tehnologijah, trajnostni naravnosti in socialni vključenosti. EU naj bi do konca leta 2020 uresničila pet krovnih ciljev, in sicer na področjih: zaposlovanje, raziskave in razvoj, podnebje/energija, izobraževanje, socialno vključevanje in zmanjševanje revščine [15]. Evropa 2020 skuša do leta 2020 povečati energijsko učinkovitost za 20 %, povečati delež OVE za 20 % in zmanjšati izpuste TGP za 20 %.

### **Akcijski načrt za energetske učinkovitost (AN URE 2020)**

Z Akcijskim načrtom za energetske učinkovitost za obdobje 2014–2020 (AN URE 2020) si Slovenija skladno z zahtevami Direktive 2012/27/EU o energetske učinkovitosti zastavlja nacionalni cilj izboljšanja energetske učinkovitosti energije za 20 % do leta 2020. Obstoječi stavbni fond predstavlja sektor z največjim potencialom za doseganje prihrankov energije. Za doseganje cilja ga bo treba do leta 2020 četrtno energetsko obnoviti, kar pomeni okrog 22 mio. m<sup>2</sup> stavbnih površin. S tem se bo raba energije v stavbah zmanjšala skoraj za 10 % [17].

### **Uredba o zelenem javnem naročanju.**

Zeleno javno naročanje je javno naročanje, pri katerem naročnik naroča blago, storitve ali gradnje, ki imajo v primerjavi z običajnim blagom, storitvami in gradnjami v celotni življenjski dobi manjši vpliv na okolje in enake ali boljše funkcionalnosti [52].

Namen te uredbe je zmanjšati negativen vpliv na okolje z javnim naročanjem okoljsko manj obremenjujočega blaga, storitev in gradenj ter dajanje zgleda zasebnemu sektorju in potrošnikom. Ta

uredba določa okoljske zahteve za predmete javnega naročanja med katerimi so na primer; stavbe, pohištvo, električna energija, gospodinjski aparati, vozila, hrana in pijača [51].

### **Zakon o varstvu okolja**

Ta zakon ureja varstvo okolja pred obremenjevanjem kot temeljni pogoj za trajnostni razvoj in v tem okviru določa temeljna načela varstva okolja, ukrepe varstva okolja, spremljanje stanja okolja in informacije o okolju, ekonomske in finančne instrumente varstva okolja, javne službe varstva okolja in druga z varstvom okolja povezana vprašanja. Namen tega zakona je spodbujanje in usmerjanje družbenega razvoja, ki bo omogočal dolgoročne pogoje za človekovo zdravje, počutje in kakovost njegovega življenja ter ohranjanje biotske raznovrstnosti [8].

Cilji zakona so trajnostna raba naravnih virov, zmanjšanje obremenjevanja okolja, ohranjanje in izboljševanje kakovosti okolja, odpravljanje posledic obremenjevanja okolja, zmanjšanje rabe energije in večja uporaba obnovljivih virov energije.

### **Direktiva 2010/31/EU o energetske učinkovitosti stavb**

V letu 2010 je bila sprejeta prenovljena direktiva EPBD (2010/31/EU), ki upošteva cilje »20-20-20 do 2020« evropske podnebno-energetske politike in tudi pri stavbah zahteva znaten prispevek k 20-odstotnemu zmanjšanju emisij CO<sub>2</sub>, k 20-odstotnemu povečanju energijske učinkovitosti (URE) in k 20-odstotnemu deležu obnovljivih virov energije (OVE) v primarni energijski bilanci. V stavbah je torej treba zmanjšati rabo energije, zmanjšati izpuste CO<sub>2</sub>, povečati energijsko učinkovitost in povečati rabo obnovljivih virov: s tem prenovljena direktiva EPBD tudi prispeva k izboljšanju zanesljivosti oskrbe z energijo, spodbuja tehnološki razvoj, ustvarja nova delovna mesta in spodbuja regionalni razvoj [54].

### **Pravilnik o učinkoviti rabi energije (PURES 2010), Ur. l. RS, št. 52/2010: 7840**

Ta pravilnik določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja ali njihove kombinacije, priprave tople vode in razsvetljave v stavbah, zagotavljanja lastnih obnovljivih virov energije za delovanje sistemov v stavbi ter metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavbe v skladu z Direktivo 31/2010/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (UL L št. 153 z dne 18. 6. 2010, str. 13). Ta pravilnik se uporablja pri gradnji novih stavb in rekonstrukciji stavbe oziroma njenega posameznega dela, kjer se posega v najmanj 25 % površine toplotnega ovoja, če je to tehnično izvedljivo. Pri zagotavljanju učinkovite rabe energije v stavbah je treba upoštevati celotno življenjsko dobo stavbe, njeno namembnost, podnebne podatke, materiale konstrukcije in ovoja, lego in orientiranost, parametre notranjega okolja, vgrajene sisteme in naprave ter uporabo obnovljivih virov energije [1].

### **Tehnična smernica za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije**

Tehnična smernica za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za doseganje zahtev iz pravilnika PURES 2010 ter določa metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe. Uporaba tehnične smernice je obvezna [1].

## 2 TRAJNOSTNI RAZVOJ

Trajnostni sonaravni razvoj ali okolje varovalni razvoj je oblika razvoja, ki zadostuje človekove potrebe ne da bi pri tem ogrožala vire, od katerih je odvisen razvoj prihodnjih rodov [3]. Trajnostni sonaravni razvoj je v naši državi podprt s številnimi vrednostnimi in normativnimi dokumenti. Najpomembnejši med njimi je Zakon o varstvu okolja (Uradni list RS št. 41/04 z dne 22.4.2004). V njem so jasno podana tudi določila (zaveze), ki se nanašajo na graditev, gradbeništvo in urejanje prostora [3].

Gradbeništvo je skoraj v vseh državah v bruto nacionalnem dohodku udeleženo z vsaj desetimi odstotki, poleg tega znaša poraba materialov, surovin in odpadkov v celotni življenjski dobi objektov celo 40 % vseh svetovnih količin. Prav zato posvečamo pozornost varčevanju z neobnovljivimi viri energije, zmanjševanju porabe surovin in drugih virov, varovanju okolja, načrtovanju recikliranja ter skrbi za odpadke in njihovemu upravljanju, ki nastopajo kot rezultat zaključka življenjske dobe ali odstranitve objektov [74].

### 2.1 Trajnostna gradnja

Klimatske spremembe, številna znanstvena dognanja in navsezadnje tudi ekonomska učinkovitost usmerjajo gradbeništvo v spremembo do sedaj ustaljenih praks [80]. Za trajnostno gradnjo je pomembno, da zmanjšamo porabo materialov, saj ob porabi materiala zmanjšamo možnosti za njegovo nadaljnjo uporabo in posledično njegovo koristnost za prihodnje generacije [74]. Energetska učinkovitost in zahteve po varovanju okolja, pitne vode in virov sta le en segment trajnostne gradnje. Trajnostna gradnja išče kompromis in optimalno rešitev med potrebno energijo za delovanje stavb in potrebno energijo za proizvodnjo gradbenih materialov in opreme [80].

Trajnostne stavbe sledijo načelom skrbnega ravnanja z okoljem in ohranjanja naravnih virov v vseh njenih fazah ŽC (od načrtovanja do odstranitve), ob tem pa je njihova gradnja in uporaba finančno ekonomična. Trajnostne stavbe so prijazne do uporabnika in njegovega zdravja, izpolnjujejo pričakovanja glede funkcionalnosti ter prispevajo k ohranjanju družbenih in kulturnih vrednot [33].

Trajnostna stavba in njeni konstrukcijski sklopi so oblikovani tako, da [74]:

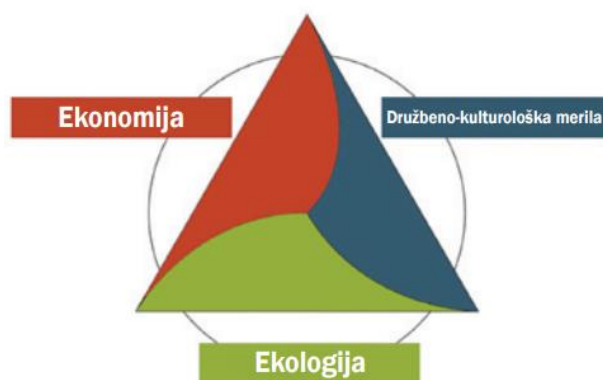
- Varčujejo z energijo in drugimi viri, omogočajo recikliranje materialov, znižujejo emisije toksičnih snovi skozi celotni ŽC stavb, od proizvodnje do končne razgradnje,
- So v harmoniji ali sozvočju z lokalno klimo, tradicijo gradnje, kulturo in okolico,
- So sposobni trajno izboljševati kakovost bivanja in hkrati vzdrževati okoljsko bilanco na lokalni in globalni ravni.

Najbolj učinkovite odločitve v povezavi z trajnostnim načrtovanjem so tiste, ki so sprejete pred gradnjo in/ali med gradnjo. Odločitve in pristopi v kasnejših fazah projekta, so dragi in neučinkoviti [58]. Uporabljati bi morali materiale za katere se pri njihovi proizvodnji, uporabi in transportu porabi čim manj energije, so izdelani iz lokalnih virov, brez toksičnih snovi, so trajni in jih je mogoče reciklirati ter ponovno uporabiti.

Pomembna je tudi ozaveščenost uporabnikov in avtomatizacija sistemov v stavbah, za bolj učinkovito in ekonomično upravljanje. Če pomislimo, so stavbe in objekti iz zgodovine človeštva, bolj energijsko

varčne kot današnje, saj ljudje za izdelavo svojih objektov niso trčili naravnih virov in škodili okolju, kot to delamo danes.

Pristop k trajnosti obsega tri glavne vidike oziroma aspekte, in sicer okolje, ekonomijo ter družbo (slika 2). Trajnostna stavba mora izpolnjevati kakovostne zahteve z ekološkega, ekonomskega, družbeno-kulturološkega in procesnega vidika [38].



Slika 2: Merila trajnostnega razvoja [69]  
Figure 2: Aspects of sustainable development [69]

Okoljski oziroma ekološki vidik v trajnostni gradnji obravnava naravne vire in globalno ter lokalno okolje. Cilj trajnostne gradnje z okoljskega vidika je zaščita naravnih virov in ekosistema [69]. Okoljski vidik trajnosti se nanaša na razbremenitev okolja, ohranjanje naravnih virov, zmanjšanje izpustov CO<sub>2</sub>, porabo energije, zmanjšanje količine odpadkov, reciklažo materialov in varčevanje s pitno vodo. Vplive na okolje lahko ocenimo z analizo LCA (angl. *Life-cycle assessment*), ki bo podrobneje opisana v poglavju 2.3.

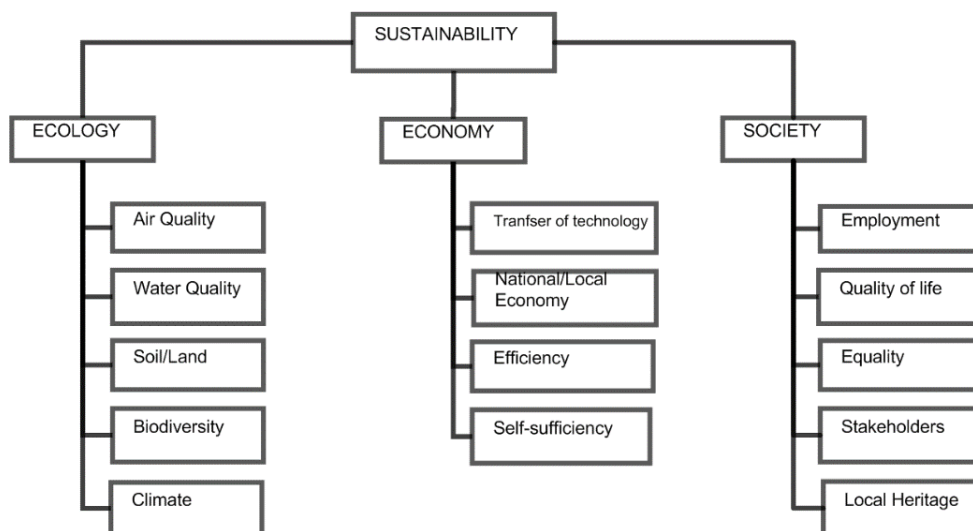
V gradbeništvu lahko dosežemo varstvo naravnih virov [69]:

- z manjšim koriščenjem površin in posledično obširnimi prizanašanjem tlorisa in naravnim prostorom, npr. z gradnjo na manjši površini,
- z zmanjšanjem potrebe po virih pri gradnji in obratovanju stavb,
- s podaljšanjem trajanja uporabe izdelkov, gradbenih konstrukcij in stavb,
- z izogibanjem transportnih stroškov gradbenih materialov,
- z minimizacijo potrebe po energiji v fazi uporabe,
- z uporabo obnovljive energije,
- z uporabo deževnice ali sive vode,
- z uporabo gradbenih izdelkov/materialov, ki jih lahko ponovno uporabimo ali predelamo, in
- z varnim vračanjem snovi v naravni krogotok snovi.

Cilj varstva okolja in globalnega varovanja okolja je podkrepjen [69]:

- s širitvijo nacionalnega programa varstva podnebja z določilom, da se emisije v Kjotskem protokolu [13] določenih toplogrednih plinov do leta 2020 zmanjša za 40 % glede na leto 1990;
- z direktivo o skupni učinkovitosti stavb [14] in
- z »integriranim energijskim in podnebnim programom«.

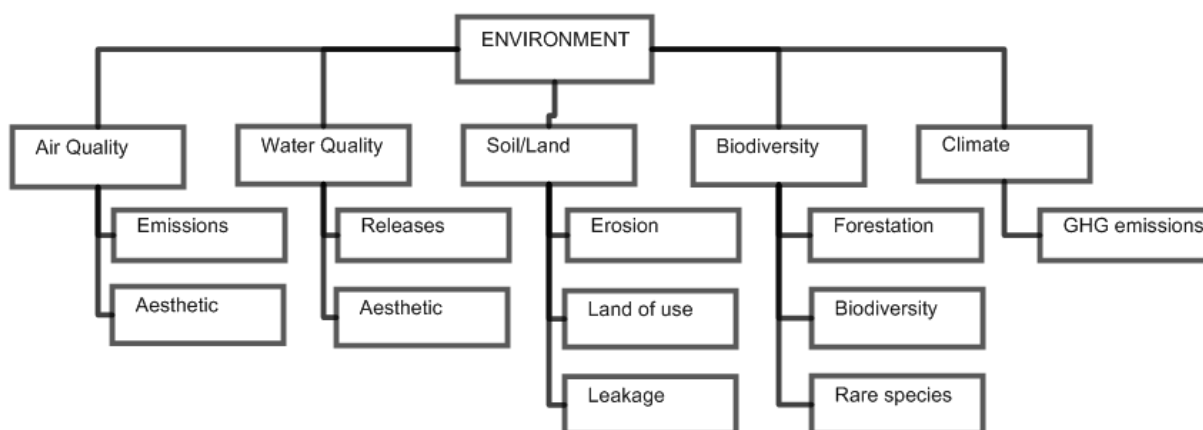
Na sliki 3 vidimo razčlenjeno strukturo trajnosti, v magistrski nalogi sem osredotočen na okoljski vidik trajnosti.



Slika 3: Hierarhična struktura trajnosti [41]

Figure 3: Hierarchical structure of sustainability [41]

Na sliki 4 je podrobneje razčlenjena struktura okoljskega trajnostnega vidika. Prikazani so podkriteriji in parametri, ki jih lahko analiziramo z okoljskega (ekološkega) vidika trajnosti. V okviru magistrske naloge sem večji poudarek namenil nastajanju TGP in porabi energije v ŽC stavbe, ki vplivata predvsem na podnebje in izrabo naravnih virov.



Slika 4: Hierarhična struktura podkriterijev in parametrov okoljskega vidika trajnosti [41]

Figure 4: Hierarchical structure of environmental aspect of sustainability [41]

## 2.2 Certificiranje stavb skladno s trajnostnimi vidiki

Nove študije prikazujejo vedno večjo zahtevo po trajnostnih objektih, ki imajo minimalen vpliv na okolje [48]. Ker je vedno bolj pomembno načrtovanje, gradnja in uporaba stavb, ki so skladne s trajnostnimi zahtevami, se je do danes razvilo veliko sistemov za vrednotenje objektov. V zadnjih nekaj desetletjih se opravljajo številčne razširjene raziskave z namenom zniževanja vplivov stavb na okolje, hkrati pa se uvajajo nove metode ocenjevanja trajnosti gradenj [74].

Namen certificiranja stavb je z naborom kazalnikov lastniku, zainteresiranemu kupcu ali javnosti prikazati »kvaliteto« stavbe. Večina certifikacijskih sistemov ocenjuje trajnost lokacije, porabo vode, energetske učinkovitost, porabo materiala in bivalno okolje. Obstajata obvezno certificiranje (npr. energetske izkaznice) ali prostovoljno certificiranje (npr. LEED, BREEAM, CASBEE itd.). Certificiranje lahko obravnava samo eno področje, kot so to energetske izkaznice ali pa je certificiranje bolj kompleksno in obravnava več različnih kriterijev (npr. ocena trajnosti stavb) [35].

Dandanes je metod za ocenjevanje trajnostnih kriterijev že več kot 200, vendar pa ostajajo najbolj popularni certifikacijski sistemi, kot so LEED, BREEAM, CASBEE in DGNB. Ameriški LEED – *angl. Leadership in Energy and Environmental Design* je zagotovo ena najbolj razširjenih certifikacij za ekološko in trajnostno gradnjo. Na Japonskem pa se uporablja CASBEE – *Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*. Znani sta tudi britanska certifikacija BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* in nemška DGNB – *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*. Uporabljena programska oprema v magistrski nalogi (Ecodesigner STAR) temelji na ocenjevanju trajnostnih kriterijev po LEED-u.

Kupcem, investitorjem in najemnikom objektov moramo pomagati odločiti se investirati oziroma kupiti nek objekt, tako da prikažemo ali se bo strošek vzdrževanja nepremičnine povečal ali zmanjšal, kakšno ima objekt bivalno udobje, kakšen je vpliv na okolje ipd. To lahko omenjenim osebam prikažemo s certifikati, kot so BREEAM, LEED, DGNB in še množico drugih. Ta certificiranja oziroma vrednotenja objektov imajo svoje trajnostne kriterije in nam lahko prikažejo v katero kategorijo spada stavba. Vsak certifikat ima svoje točkovanje in vrednotenje trajnosti objekta. Certificiranje se ne omejuje na etiketo stavbe, to pomeni da ni pomembno, ali je stavba označena kot nič energijska, skoraj nič energijska ali pasivna stavba. Z jasno določenimi in ovrednotenimi postavkami se strokovno pregledajo vsi elementi stavbe, zato da dobijo njihovi lastniki ali investitorji zanesljivo jamstvo kakovosti objekta v njegovi celotni življenjski dobi [6].

### 2.2.1 Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)

LEED je najbolj razširjen certifikacijski sistem trajnostnih stavb v ZDA. Da bi projekt zadostil zahtevam LEED-a, morajo projektanti izvesti obsežne analize, ki temeljijo na obliki stavbe, materialih in strojnih ter elektro inštalacijah v stavbi. BIM pa omogoča natančno in učinkovito izvedbo teh analiz [48]. Namen LEED-a je ocenjevanje okoljske učinkovitosti stavbe v njenem celotnem ŽC in prinaša standard za t.i. zeleno hišo. Program namerava ohraniti in ščititi okolje, zdravje uporabnikov v stavbah, povračanje investicij, postavlja standard za izraz »zeleno« in promovira trajnostno gradnjo [37]. LEED je eden najbolj priznanih mednarodnih certifikacijskih sistemov na svetu, ki je bil razvit v ZDA s strani neprofitne organizacije *U.S. Green Building Council (USGBC)*. LEED zajema množico ocenjevalnih kriterijev za načrtovanje, gradnjo, uporabo in vzdrževanje zelenih objektov ter sosesk. Certifikacijski sistemi omogočajo gradnjo in uporabo objektov v skladu z načeli trajnostne (zelene) gradnje, ob tem

določa katere materiale uporabljati, kako varčevati z vodo in energijo ter kako obravnavati odpadke in podobno. Sistem LEED ocenjuje na osnovi energetske učinkovitosti, učinkovite rabe vode, udobja in izbire ter rabe zemljišča. Lahko se uporablja tako za obstoječe gradnje kot tudi novogradnje [32]. Lastniku in uporabniku objekta pomaga biti ozaveščen, skrbeti za okolje in varčevati z naravnimi viri. Poleg tega pa lahko uporabnik s pomočjo LEED certifikata razlikuje dobre in slabe gradnje.



Slika 5: Področja, ki jih obravnava LEED [66]

Figure 5: LEED's credit categories [66]

Slika 5 prikazuje področja oziroma aspekte, ki jih obravnava LEED v2.2. Iz slike 6 so razvidne kategorije LEED v2.2 certifikacije. Na preglednici 1 je prikazana primerjava točkovanja pri treh različnih verzijah certifikacije. Najvišja kategorija LEED certifikata je *Platinum*, kjer mora objekt doseči več kot 90 točk.

LEED v1.0 je bil prvič predstavljen leta 1999, pri ocenjevanju je bilo možno doseči največ 45 točk. Druga verzija LEED-a je izšla leta 2005, leta 2009 pa so uvedli tretjo verzijo. Najnovejša četrta verzija certifikacije je izšla novembra leta 2013, pri vrednotenju objekta pa lahko dosežemo največ 110 točk.



Slika 6: Štiri stopnje LEED certifikacije [36]

Figure 6: Four categories of LEED certification [36]

Preglednica 1: Možne točke pri LEED certifikaciji [48]  
*Table 1: Available points in LEED certification [48]*

<b>Kategorija/Categories</b>	<b>LEED v2.2</b>	<b>LEED v3.0</b>	<b>LEED v4.0</b>
Integralno načrtovanje/Integrated Practice	/	/	1
Lokacija in transport/Location and transportation	/	/	16
Trajnostna območja/Sustainable Sites	14	26	10
Učinkovita raba vode/Water Efficiency	5	10	11
Energija in atmosfera/Energy and Atmosphere	17	35	33
Materiali in viri/Materials & Resources	13	14	13
Kakovost notranjega zraka/Indoor Environmental Quality	15	15	16
Inovacije in načrtovanje/Innovation & Design	5	6	6
Dodatne regionalne bonus točke/Additional Regional Bonus Credits	/	4	4
<b>Skupne točke/Total Points</b>	<b>69</b>	<b>110</b>	<b>110</b>

### **WorldGBC – World Green Building Council**

*The World Green Building Council* je mreža nacionalnih svetov za zeleno gradnjo v več kot 100 državah, kar predstavlja največjo svetovno mednarodno organizacijo, ki vpliva na trg zelenih gradenj [24]. WorldGBC promovira širjenje trajnostne zelene gradnje po celem svetu.

### **U.S. Green Building Council (USGBC)**

Je neprofitna organizacija za zeleno gradnjo ustanovljena leta 1993. Leta 1994 je organizacija ustanovila združenje, ki so ga sestavljali arhitekti, nepremičninski agenti, lastniki stavb, odvetniki, podjetniki in okoljevarstveniki. Namen je bil razviti sistem certificiranja za industrijo trajnostne gradnje, tako je nastal LEED certifikacijski sistem. Leta 1997 je *U.S. Department of Energy* pristal na financiranje *Green Building Council's committee*, ki je leto kasneje pognal prvo verzijo LEED-a [37].

### **The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**

Medvladni panel za podnebne spremembe (IPCC) je ustanovljen leta 1988 z strani dveh UN organizacij, in sicer UNEP (*United Nations Environment Programme*) ter WMO (*World Meteorological Organization*). IPCC izdaja poročila o oceni stanja klimatskih sprememb (*Assessment Reports*), ki jih objavlja približno na vsakih šest let. Prvo poročilo stanja so izdali leta 1990, zadnje oziroma peto poročilo pa so izdali leta 2014.



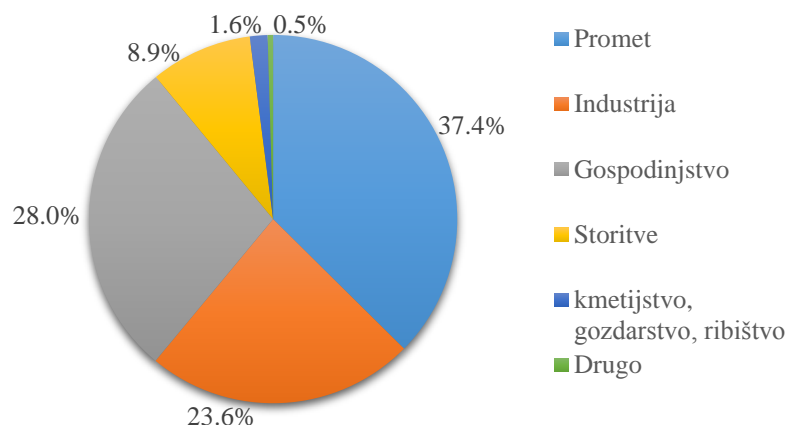
### 2.3 Energijska učinkovitost stavbe in ogljični odtis

Stavbe obsegajo 40 % skupne porabe energije v Uniji. Stavbni sektor se večja, zaradi česar bi morale priti tudi do večje porabe energije. Zaradi tega sta zmanjšanje porabe energije in raba energije iz obnovljivih virov pomembna ukrepa, potrebna za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in energetske odvisnosti Unije.

Z ukrepi za zmanjšanje porabe energije v Uniji bi lahko Unija skupaj z večjo rabo energije iz obnovljivih virov spoštovala Kjotski protokol k Okvirni konvenciji Združenih narodov o spremembi podnebja (UNFCCC), in izpolnila tako svojo dolgoročno zavezanost za ohranitev svetovnega dviga temperature pod 2 °C kot svojo zavezanost, da do leta 2020 zmanjša skupne emisije toplogrednih plinov za vsaj 20 % glede na vrednosti iz leta 1990 ter za 30 % v primeru, da pride do mednarodnega sporazuma.

Manjša poraba energije in večja raba energije iz obnovljivih virov imata pomembno vlogo tudi pri spodbujanju zanesljive oskrbe z energijo, tehnološkega razvoja ter pri zagotavljanju možnosti za zaposlitev in regionalni razvoj, zlasti na podeželju [53].

Spodnji graf 4 prikazuje porabo energije po sektorjih v Sloveniji, leta 2012. Stavbni sektor, ki ga sestavljata gospodinjstva in storitve, je odgovoren za porabo 36,9 % skupne letne energije.



Grafikon 4: Sektorski deleži porabe energije v Sloveniji leta 2012 (Eurostat) [2]

Graph 4: Sector energy usage in Slovenia in year 2012 (Eurostat) [2]

Danes smo osredotočeni na trajnostne stavbe, ki za bivanje in omogočanje zdravega in udobnega okolja v stavbi potrebujejo malo, nič ali skoraj nič energije, pridobljene z izkoriščanjem konvencionalnih naravnih virov. Energija pridobljena iz tradicionalnih konvencionalnih virov, natančneje iz fosilnih goriv, je obremenjujoča za okolje, predvsem zaradi onesnaževanja in izrabljanja naravnih virov. Prav zato moramo čim več energije pridobiti z uporabo nekonvencionalnih oziroma obnovljivih virov energije, kot so sonce, veter, zrak, zemlja, podtalnica in geotermalna energija.

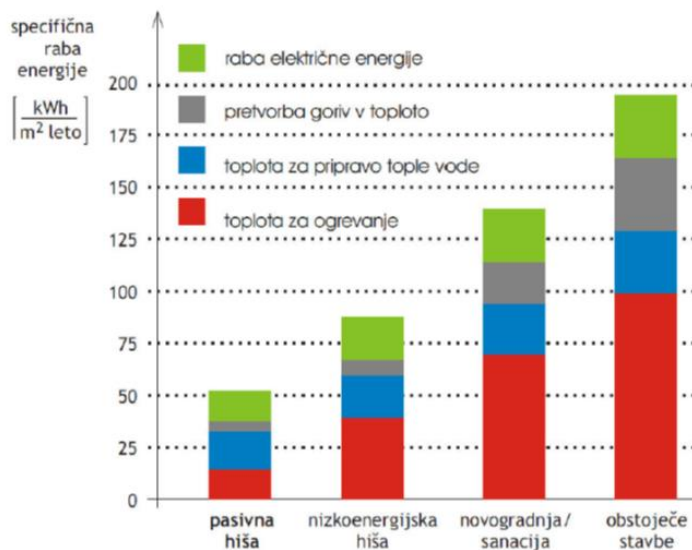
### 2.3.1 Razredi energijske učinkovitosti

Med trajnostne stavbe, ki porabijo malo ali nič energije uvrščamo številne tipe stavb. Med te lahko uvrstimo nizkoenergijske, skoraj nič-energijske, trilitrske, pasivne, nič-energijske, energijsko samozadostne in plus-energijske hiše.

Za kateri tip hiše pa se bo investitor odločil, je odvisno od finančnih zmožnosti investitorja in njegovih želja. Vendar tudi z doseganjem trajnostnih in energijsko varčnih stavb posredno onesnažujemo okolje, saj pri izdelavi, vgradnji in transportu onesnažujemo okolje in porabljamo naravne vire. Veliko materialov, ki so neobhodni za gradnjo pasivnih stavb ni ekološko sprejemljivo. Z drugimi besedami, prisiljeni smo uporabljati materiale, ki niso reciklabilni, so energetsko potratni in negativno vplivajo na okolje. Prav zato se v zadnjem času namenja veliko pozornosti pri izbiri materialov in izdelkov pri načrtovanju trajnostnih stavb, kjer moramo izbirati material, ki ima med drugim čim manjšo vgrajeno energijo in ogljični odtis.

Odličnost določene energijsko varčne stavbe lahko vidimo na osnovi merskih kazalcev, kot je energijsko število. Energijsko število predstavlja specifično porabo energije (kWh/a) na enoto površine zgradbe ( $m^2$ ) v določenem časovnem obdobju oziroma enostavno rečeno razmerje med letno količino (po)rabljene energije in ogrevalno površino objekta [34].

Na grafu 5 je prikazana povprečna specifična raba energije glede na energijski razred hiše.



Grafikon 5: Specifična raba energije v stavbah [39]

Graph 5: Specific energy consumption in buildings [39]

Na spodnji preglednici 2 so prikazani energijski razredi stavb. Glede na letno potrebno toploto za ogrevanje stavbe na enoto uporabne površine stavbe, lahko uvrstimo objekt v določen energijski razred.

Preglednica 2: Razredi energijske učinkovitosti [11]  
Table 2: Classification of buildings related to energy efficiency [11]

Razredi energijske učinkovitosti		
Energijski razred	Poraba (kWh/m <sup>2</sup> a)	Opis objekta
A1	od 0 do 10	Pasivna hiša
A2	od 10 do 15	
B1	od 15 do 25	Nizko energijska hiša
B2	od 25 do 35	
C	od 35 do 60	Varčna hiša
D	od 60 do 105	Povprečna hiša
E	od 105 do 150	
F	od 150 do 210	Potratna hiša
G	od 210 do 300 in več	Zelo potratna hiša

V magistrski nalogi je obravnava energetske analize stavbe pomembna predvsem za pridobitev podatkov o emisijah (kgCO<sub>2</sub>/leto) stavbe v fazi uporabe. Z ustrezno simulacijo porabe energije lahko pridobimo podatek o ogljičnem odtisu stavbe v fazi uporabe in s tem lahko določimo količino sproščenih CO<sub>2</sub> emisij v življenjski dobi objekta. Preučevanje faze uporabe stavbe je zelo pomembno, saj je prav v tem obdobju življenjske dobe objekta porabljen največ energije in pri tem nastane največ emisij CO<sub>2</sub>.

### 2.3.2 Pomembni izrazi pri obravnavanju rabe energije v stavbah

**Energetska učinkovitost stavbe** pomeni izračunano ali izmerjeno količino energije, potrebno za zadovoljevanje potreb po energiji, povezanih z običajno uporabo stavbe, ki med drugim vključuje energijo za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, toplo vodo in razsvetlavo [53].

**Energija iz obnovljivih virov** pomeni energijo iz obnovljivih nefosilnih virov, predvsem vetra, sonca, aerotermalne, geotermalne, hidrotermalne energije in energije oceanov, vodne energije, biomase, deponijskega plina, plina iz komunalnih čistilnih naprav in bioplinov [53].

**Letna potrebna toplota za hlajenje stavbe** je potreba po hladu, ki ga je treba v enem letu dovesti v stavbo za doseganje projektnih notranjih temperatur v obdobju hlajenja [1].

**Letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe** je potreba po toploti, ki jo je treba v enem letu dovesti v stavbo za doseganje projektnih notranjih temperatur v obdobju ogrevanja [1].

**Letna primarna energija za delovanje sistemov** je celotna primarna energija, ki zajema letno primarno energijo sistema za ogrevanje in hlajenje, letno primarno energijo za delovanje sistema mehanskega prezračevanja v skladu predpisom ki ureja prezračevanje in klimatizacijo stavb, letno primarno energijo sistema za pripravo tople vode in letno primarno energijo sistema za razsvetlavo (kWh/a) [1].

**Kondicionirana prostornina stavbe** je neto prostornina stavbe, ki jo obdaja površina toplotnega ovoja stavbe [1].

**Površina toplotnega ovoja stavbe** je zunanja površina dela stavbe s kontroliranim notranjim okoljem, skozi katero prehaja toplota ali hlad [1].

**Primarna energija** je energija primarnih nosilcev energije, pridobljena z izkoriščanjem naravnih energetskega virov, ki niso izpostavljeni še nobeni tehnični pretvorbi [1]. Primarna energija pomeni energijo iz obnovljivih in neobnovljivih virov, ki ni bila pretvorjena ali spremenjena [59].

**Sistemi v stavbi** so sistemi, namenjeni ogrevanju in hlajenju, prezračevanju, pripravi tople vode in razsvetljavi stavbe, ter njihove kombinacije [1].

**Ovoj stavbe** pomeni vgrajene elemente stavbe, ki ločujejo njeno notranjost od zunanjega okolja [53].

**Faktor oblike** je razmerje med površino toplotnega ovoja stavbe in neto ogrevano prostornino stavbe ( $f(o) = A/V(e)$ ).

**Kondicionirana prostornina stavbe** je neto prostornina stavbe, ki jo obdaja površina toplotnega ovoja stavbe ( $V(e)$ , (m<sup>3</sup>)).

**Površina toplotnega ovoja stavbe** je zunanja površina dela stavbe s kontroliranim notranjim okoljem, skozi katero prehaja toplota ali hlad.

**Količnik specifičnih transmisijskih toplotnih izgub** je razmerje med količnikom transmisijskih toplotnih izgub stavbe  $H(T)$  in celotno zunanjo površino stavbe  $A$  ( $H'(T)$ , (W/(m<sup>2</sup>K))) [1].

**Toplotna črpalka** pomeni stroj, napravo ali sistem, ki prenaša toploto iz naravnega okolja (zrak, voda ali zemlja) v stavbo ali za uporabo v industriji s preusmeritvijo naravnega toka toplote, tako da potuje od nižje k višji temperaturi. Pri povratnih toplotnih črpalkah je možno tudi prehajanje toplote iz stavbe v naravno okolje [53].

**Nazivna izhodna moč** pomeni maksimalno toplotno moč, izraženo v kW, za katero proizvajalec navede in zagotavlja, da jo je mogoče ob doseganju izkoristka, ki ga navede, doseči med neprekinjenim delovanjem [53].

## 2.4 Celostna metodologija ocene trajnostnega vidika stavbe

Stavbni sektor je eden izmed sedmih dominantnih sektorjev, ki največ prispevajo globalnim emisijam toplogrednih plinov. Gradbeni sektor porabi približno 40 % vse porabljene energije, s tem pa prispeva do 30 % vseh emisij toplogrednih plinov. Po napovedi Programa Združenih narodov za okolje (UNEP, 2009), se bodo globalne emisije v 20 letih več kot podvojile, zato se je smiselno poglobiti in ukrepati na področju stavbnega sektorja [28].

Iz tega razloga moramo novogradnje jemati z vso resnostjo in se poglobiti v ŽC objekta ter zmanjšati oziroma preprečiti negativne vplive na okolje. Zmanjšati moramo rabo naravnih virov in povzročanje emisij TGP v vseh fazah ŽC objekta. Pri tem nam pomagajo orodja za ocenjevanje vpliva objektov in izdelkov na okolje. V zadnjih nekaj desetletjih se je razvilo nekaj metod in načinov za ocenjevanje vpliva izdelkov na okolje, najbolj popularen način je ocena življenjskega cikla (LCA).

### 2.4.1 Ocena življenjskega cikla (Life-cycle assessment - LCA)

Namen ocene življenjskega cikla (LCA) je popis stanja in ocenitev obremenitev okolja, ki nastanejo zaradi izkoriščanja virov (*input*) in sproščanja emisij ter odpadkov (*output*), na osnovi teh ugotovitev pa predvidimo možne izboljšave izdelka ali storitve v odnosu do okolja. Torej z oceno življenjskega cikla presodimo vplive na okolje, ki se pojavljajo zaradi izkoriščanja naravnih virov in sproščanja škodljivih emisij [72].

Ocena življenjskega cikla (LCA) je eden izmed načinov oziroma metod za vrednotenje ekološke sprejemljivosti izdelka, objekta ali storitve, z upoštevanjem vseh njihovih vplivov na okolje. Pri LCA gre zgolj za oceno, ki nas usmerja pri zasnovi, proizvodnji ipd. Torej ni nujno, da dobimo natančno vrednost. Sicer pa velja za vedno bolj popularno metodo, nekateri pa jo obravnavajo kot revolucijo na področju trajnostnega načrtovanja stavb. Ob uporabi LCA analize, lahko uporabimo tudi stroškovno oceno življenjskega cikla objekta (LCC), vendar se tej v nalogi nisem posvečal. LCA upošteva vse podatke o pridobivanju surovin, porabi fosilnih goriv, vplivu na klimatske spremembe in porabi vode. V primeru obravnavanja vpliva izdelka na okolje, lahko upoštevamo bodisi posamezno fazo bodisi celotni ŽC.

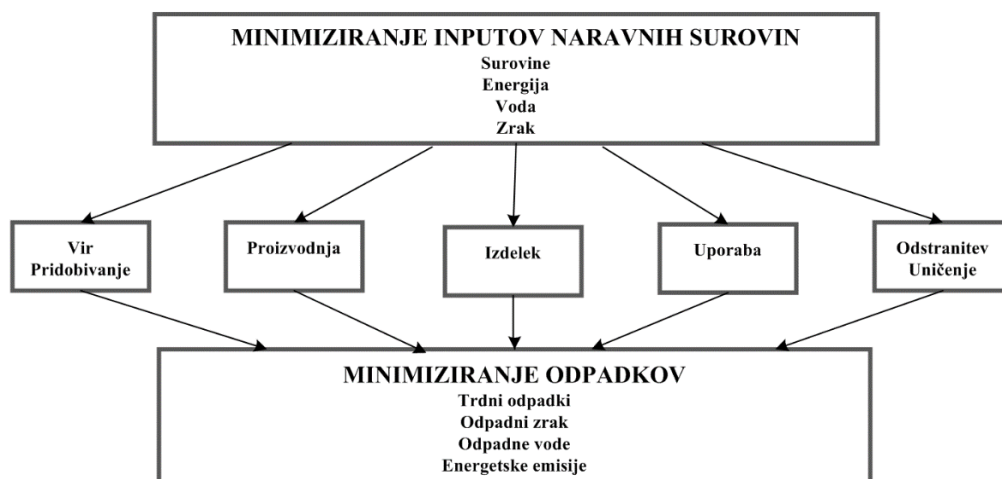
LCA predstavlja glavno orodje za ocenjevanje bodisi negativnih bodisi pozitivnih vplivov na okolje [12]. Aplikacija LCA na stavbah obsega analizo in oceno vpliva gradbenega materiala, elementov in konstrukcij na okolje, skozi celotno življenjsko dobo stavbe, uporabo ter odstranitev stavbe [57]. LCA obsega veliko več kot sproščanje emisij in porabo energije, uporablja se tudi za ocenjevanje toksičnosti, zakisljevanje okolja, onesnaževanje ozračja, izrabe virov in vode. LCA je postala običajen način vrednotenja (ne)trajnosti stavb, vendar ima nepopolnost, in sicer je zanesljivost rezultatov odvisna od vhodnih podatkov in predpostavk [47]. Za izvajanje LCA, lahko uporabljamo različne programe, med njimi je najbolj znan SimaPro. V teh programih pa so vgrajene LCI podatkovne baze, kot je na primer Ecoinvent.

S to metodo lahko predlagamo in določimo možnosti za izboljšanje okolja [72]. LCA lahko pripomore k identificiranju možnosti za izboljšanje ekološkega vidika izdelkov v določenih točkah življenjskega cikla, pripomore tudi sprejemanju odločitev pri proizvodnji in načrtovanju ter ekološkemu deklariranju izdelkov in mnogo več. Standard ISO 14040 priznava LCA metodo kot prakso, ki je še v razvoju.

Potrebno je še mnogo dela in izkušenj, da bi se LCA razvijala naprej, tega se je potrebno zavedati pri interpretiranju oziroma uporabi rezultatov dobljenih z LCA. Omenjena metoda običajno ne obravnava ekonomskih in socialnih vidikov izdelka. Tehnika ocenjevanja vplivov na okolje LCA je podrobno opisana v mednarodnem standardu ISO 14040:1997(E), kjer je postavljen jasen konceptualni okvir ocenjevanja. LCA obravnava okoljski vidik in potencialne vplive na okolje tekom celotnega ŽC (*Cradle to Grave*), torej od surovega materiala, proizvodnje, uporabe do odlaganja oziroma odstranitve. Metodologija ocenjevanja je v standardu ISO 14000 opredeljena s štirimi podstandardi, ki predeljujejo štiri osnovne faze, in sicer; ISO 14040, 14041, 14042 in 14043.

Po izidu standardov UNE-EN ISO 14040 in UNE-EN ISO 14044 leta 2006, se je pojavilo veliko število podatkovnih baz, med katerimi so za gradbene materiale najbolj popularna Ecoinvent ter GABi, a sta oba plačljiva za uporabo. Po virih raziskave [46] je podatkovna baza ELCD 3.1 najboljša brezplačna alternativa. Zavedati se je treba, da se posamezne podatkovne baze nanašajo le na posamezne države in so geografsko omejene. Za področje Evrope je sicer najbolj primerna uporaba LCI podatkovne baze Ecoinvent. V podatkovnih bazah se podatki o materialih običajno nanašajo na meje sistema *Cradle to Gate*. Natančnost rezultatov LCA analize je odvisna od obsežnosti modela, meje sistema, uporabljenih vhodnih podatkov in predpostavk, ki jih apliciramo pri analizi.

S preučevanjem ŽC izdelka ugotavljamo količine inputov, ki v obravnavani sistem vstopajo in količine outputov, ki iz obravnavanega sistema izstopajo. Vzporedno pa iščemo rešitve, ki pripomorejo k minimiziranju inputov ali outputov oziroma se odločamo za tiste alternative, kjer je inputov in outputov čim manj. Shematski prikaz je predstavljen na sliki 7. Pri oceni obremenitve okolja, je najbolj prijazen tisti izdelek, ki iz okolja porabi najmanj inputov in ki v okolje emitira najmanj škodljivih outputov [72].



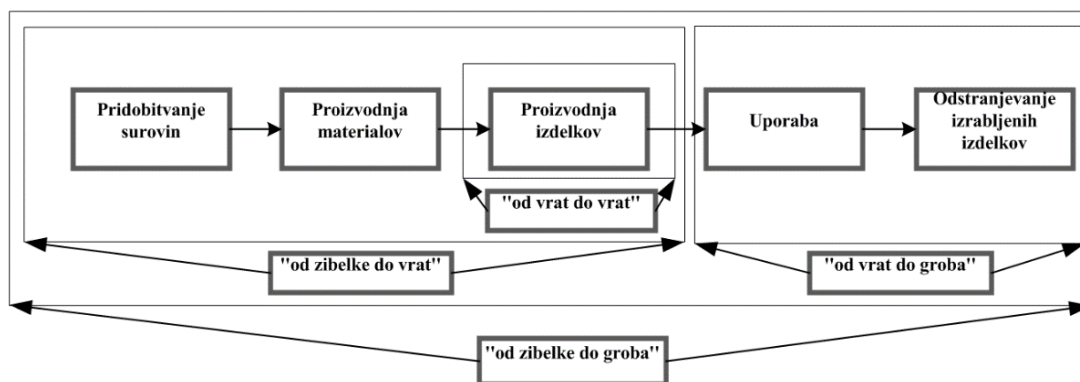
Slika 7: Shematski prikaz metode ocenjevanja življenjskega ciklusa izdelka (prirejeno po Meilu, 1995, str. 78) [72]

Figure 7: LCA scheme of a product's life cycle [72]

V LCA upoštevamo meje preučevanega sistema, ki so razvidne na sliki 8:

- »*Cradle*« predstavlja izvor surovin na primer zemljo iz katere se pridobivajo surovine.
- »*Cradle to Gate*« (od zibelke do vrat) je omejen sistem, ki zajema preučevanje vplivov na okolje med procesi; od prevoza surovin v tovarno, proizvodnje do prevoza na prodajno mesto, vendar brez transporta na lokacijo.
- »*Cradle to Site*« je praktično enak izrazu *Cradle to Gate*, vendar upošteva tudi transport od proizvodnega obrata do lokacije gradnje.

- »**Gate to Gate**« (od vrat do vrat) je opredeljen sistem, ki zajema preučevanje vplivov na okolje samo med procesom izdelave izdelkov.
- »**Cradle to Grave**« preučuje celotni življenjski cikel, torej zajema vse procese od pridobivanja materialov do odstranitve in uničenja izrabljenih izdelkov, vključuje tudi faze, kot so vzdrževanje, odstranitev in reciklaža.



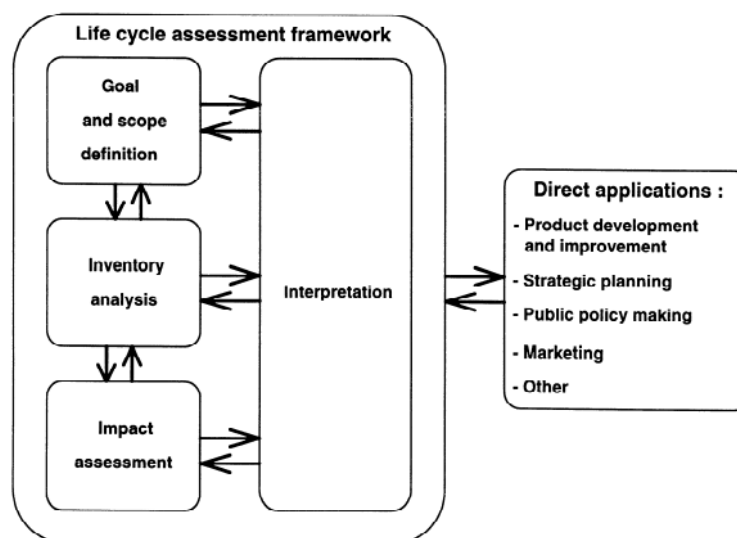
Slika 8: Meje nekaterih sistemov na življenjski poti izdelkov (povzeto po Betzu in sod., 2002, str. 9) [72]

Figure 8: System boundaries of a product's life cycle [72]

Način upoštevanja meja pri analizi življenjskega cikla vpliva na rezultate ocene. Če zastavimo preširoke meje obstaja nevarnost, da postane analiza obsežna, nepregledna in dolgotrajna. Če zastavimo preozke meje, se poveča nevarnost premajhnega zajema podatkov in se lahko zgodi, da ne upoštevamo pomembnih procesov [72]. Najpogosteje v LCA upoštevamo faze in meje, ki so prikazane na sliki 8.

## 2.4.2 Glavni koraki v LCA

Metodologija ocene ŽC je po standardu ISO 14000 opredeljena s štirimi osnovnimi fazami oziroma stopnjami. Na sliki 9 je prikazan konceptualni okvir ocenjevanja, sestavljen iz štirih stopenj.



Slika 9: Konceptualni okvir LCA in glavni koraki [46]

Figure 9: LCA conceptual framework and the main stages [46]

Oceno ŽC lahko razdelimo na štiri korake, najbolj uveljavljena in uporabljena je terminologija po SETAC [72]:

### **1. Opredelitev cilja in obsega študije**

V tem koraku so predstavljeni razlogi uporabe metode ocenjevanja LCA in opredeljeni najpomembnejši cilji raziskave. Definiran in opisan je izdelek, proces ali storitev, ki bo preučevana, izbrana je funkcionalna enota preučevanega izdelka, definirane in opisane so meje sistema [72].

### **2. Določitev inventarja življenjskega cikla**

V tem koraku je treba popisati vse inpute in outpute, ki se pojavijo v celotnem življenjskem ciklom izdelka. V tem koraku pridobimo največ informacij o vplivih določenega izdelka na okolje, zato je ponavadi ta korak časovno najdalgotrajnejši [72].

### **3. Vrednotenje vplivov**

V tem koraku je treba ovrednotiti (v prejšnjem koraku) zbrane podatke o količini inputov in outputov. Različne snovi namreč vplivajo na obremenjevanje okolja na različne načine in z različno intenzivnostjo obremenjevanja, zato moramo za posamezne emitirane snovi oceniti učinke na okolje in podatke o količinah inputov in outputov pretvoriti v enotno dimenzijo, ki predstavlja oceno obremenjevanja okolja [72].

### **4. Interpretacija rezultatov**

Zadnji korak pri ocenjevanju življenjskih ciklusov izdelkov je interpretacija rezultatov, dobljenih v fazi ocenjevanja vplivov na okolje, in oblikovanje spiska predlogov izboljšav obstoječega izdelka, ki bi izboljšale okoljsko kakovost preučevanega izdelka. Če je metoda ocene življenjskega ciklusa izdelkov uporabljena za primerjanje izdelkov, pa je v tem koraku treba predstaviti in podrobno utemeljiti okoljsko najbolj ustrezen izdelek [72].



V okviru magistrske naloge sem zajel vsebino LCA metode, ki je prikazana na preglednici 3.

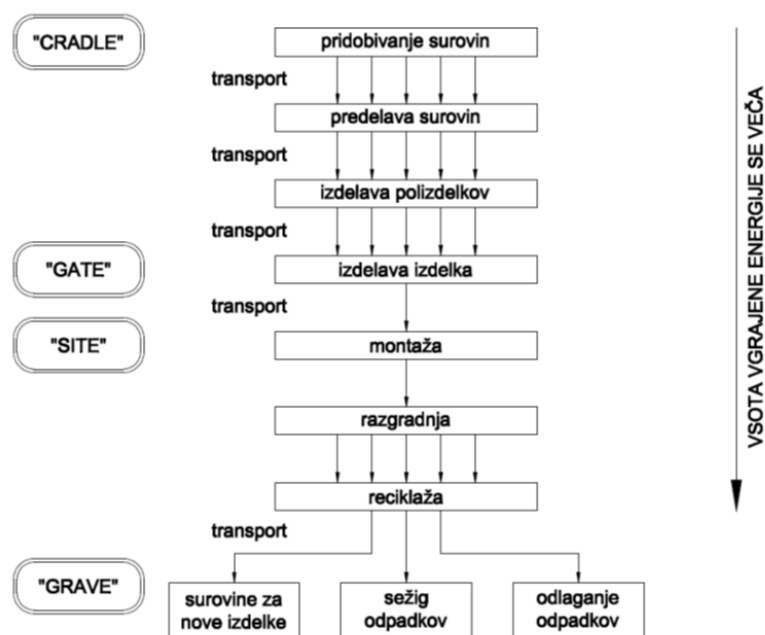
Preglednica 3: Koraki in vsebina LCA v magistrski nalogi  
Table 3: Steps and content of LCA in master thesis

Koraki v LCA	Vsebina	Naloge
<b>1. Opredelitev cilja in obsega študije</b>	Definiranje problema	Stavbe veliko prispevajo k globalnim emisijam TGP in izrabi naravnih virov
	Cilji	Primerjati vpliv dveh izdelkov Pridobiti podatke o porabljenih količini posameznih materialov Poiskati fazo v življenjskem ciklu izdelkov kateri objekt najbolj obremenjuje okolje Določiti količino sproščenih emisij Pomagati pri izbiri gradnje in alternativnih možnosti
	Meje sistema	Določiti meje: Od zibelke do groba
	Opis objekta	Določiti vrsto objekta Določiti volumen in uporabno površino objekta Prikazati sestavo stavbe Določiti življensko dobo objekta
	Funkcionalna enota	Izbira enote za primerjavo in prikaz rezultatov (vgrajena energija, ogljični odtis)
<b>2. Določitev inventarja življenjskega cikla</b>	Vhodni/izhodni podatki	Zbrati vhodne podatke Prevesti podatke na enako funkcionalno enoto Pridobiti količinske podatke iz BIM modela
<b>3. Vrednotenje vplivov</b>	Ocena na osnovi rezultatov	Zbrati končne rezultate obremenitve okolja Podatki o izhodnih podatkih sistema na osnovi simulacije z BIM modelirnikom Oceniti vpliv glede na prispevek k okoljskim problemom
<b>4. Interpretacija rezultatov</b>	Poročanje rezultatov	Zagotoviti priporočila za izboljšanje objekta in predstavitev alternativ Primerjati in preveriti izračune Objektivna interpretacija rezultatov Prednosti in slabosti preučevanih variant Določiti najbolj (ne)ugodno varianto Omeniti uporabljene predpostavke

### 2.4.3 Življenjski krog energije stavbe in ogljični odtis

Porabljeno energijo v življenjskem ciklu stavbe (*Cradle to Grave*) lahko razdelimo na [18]:

- Začetno vgrajeno energijo; Energija porabljena za izgradnjo stavbe, ki vključuje; pridobivanje, predelavo in proizvodnjo materiala, prevoz in vgradnjo.
- Ponovno vgrajena energija; Energija porabljena za sanacije in vzdrževanje stavbe tekom njene življenjske dobe.
- Obratovalna energija stavbe; Energija porabljena za ogrevanje, hlajenje, razsvetljava, prezračevanje in delovanje naprav.
- Energija za odstranitev; Energija porabljena za rušenje in odstranitev stavbe.



Slika 10: Vgrajena energija izdelka [39]

Figure 10: Embodied energy of a product [39]

#### 2.4.4 Vgrajena energija (Embodied energy – EE)

Izraz se pojavlja v slovenski literaturi tudi pod imenom » siva energija «. Vgrajena energija je enostavno povedano količina energije, ki je vložena skozi celotni življenjski cikel izdelka (slika 10); od pridobivanja surovin izdelka do njegovega uničenja. Tipična merska enota vgrajene energije je MJ/kg, ki pomeni količino energije potrebno za izdelavo 1 kg izdelka. Vgrajena energija se lahko preračuna v vgrajeni ogljikov dioksid, vendar ta povezava ni tako enostavna, saj je odvisno kakšni energenti so bili uporabljeni pri aktivnostih, namreč ti imajo različne emisivnosti CO<sub>2</sub>. Manjša je vgrajena energija izdelka boljše je, saj je tak izdelek oziroma material prijaznejši do okolja.

Če izdelek po dotrajanosti zavržemo na odpad, zavržemo tudi vgrajeno energijo izdelka. Iz tega razloga se izdelki reciklirajo, s tem pa prenesemo energijo prejšnjega izdelka v nov izdelek. Na primer v celoti reciklirano jeklo ima okoli 4-krat manj vgrajene energije kot nereciklirano jeklo, podobno velja tudi za ogljični odtis omenjenega materiala. Namreč pri recikliranih materialih se ne upošteva energija porabljena pri ekstrakciji surovin in drugih obdelovalnih procesih. Uporaba recikliranih materialov je zatorej trajnostna izbira.

Vgrajena energija je sestavljena iz direktne in indirektno energije. Direktna energija je porabljena za gradnjo oziroma montažo objekta in elementov ter transport na gradbišče. Indirektna energija predstavlja največji del vgrajene energije, to je energija porabljena za proizvodnjo in transport gradbenega materiala in izdelkov [57].

Začetna vgrajena energija gradbenega materiala ali izdelka zavisi od lokacije. Namreč vgrajena energija izdelka zavisi od dostopnosti surovin, uporabe energenta in tehnologije proizvodnje. Material, ki je do naših krajev transportiran z ladjo preko velikih razdalj ima višjo začetno vgrajeno energijo, saj se šteje

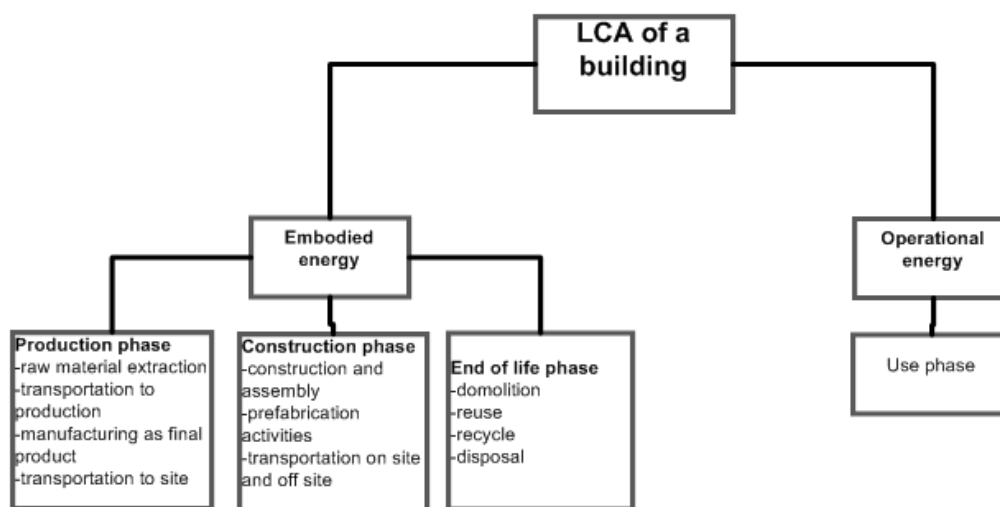
tudi energija porabljena pri transportu materiala. Od vgrajene energije izdelka, je odvisno tudi iz katerega energenta se pridobiva električna energija za proizvodnjo tega izdelka.

Vgrajena energija postaja vedno bolj pomemben parameter, zlasti pri oceni vpliva stavb na okolje oziroma pri LCA analizi. S tem, ko se trudimo zmanjšati obratovalne emisije (*Operational Carbon*) in stremimo k ničogljičnim stavbam, postajata vgrajena energija in vgrajeni CO<sub>2</sub> vedno bolj dominantna in pomembna dejavnika v ŽC.

#### 2.4.5 Obratovalna energija (Operational Energy – OE)

Ta energija je porabljena za dnevno kondicioniranje prostorov in vzdrževanje udobja v prostorih. Gre za energijo porabljeno za HVAC (ogrevanje, prezračevanje, hlajenje), ogrevanje sanitarne vode, razsvetljava in delovanje gospodinjskih aparatov. Količina porabljene obratovalne energije je odvisna od stopnje zelenega udobja, podnebnih pogojev in režima kondicioniranja. Podatek o OE pridobimo z množenjem letne porabljene energije in številom let pričakovane življenjske dobe objekta [76]. V magistrski nalogi je OE pridobljena na osnovi letne dovedene energije, ki je izračunana v BIM modelirniku.

Na naslednji sliki 11 je prikazan koncept LCA obravnavanja ŽC energije v magistrski nalogi.



Slika 11: Poenostavljeno obravnavanje energije stavbe pri LCA, ki je uporabljen v magistrski nalogi [63]  
Figure 11: Simplified consideration of energy in LCA, which is used in this master thesis [63]

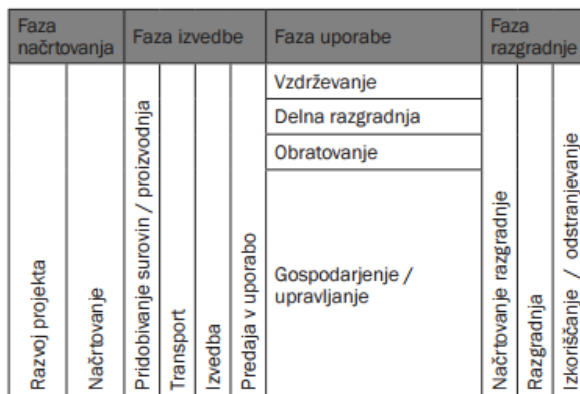
#### 2.4.6 Okoljska deklaracija proizvoda (Environmental Product Declaration - EPD)

Deklariranje kakršnihkoli okoljskih lastnosti smemo narediti izključno na osnovi EPD. Zakonodaja deklariranja je različna za vsako državo [75]. Z okoljsko deklaracijo proizvoda po SIST EN ISO 14025 se dokazuje trajnostno rabo naravnih virov. EPD podaja opis proizvoda in emisije povezane s proizvodom v celotnem življenjskem ciklu, ki temelji na rezultatih ocenjevanja življenjskega cikla (LCA – *life cycle assessment*) in predstavlja kompleksno, a potrebno in zanesljivo podlago trajnostnemu gradbeništvu. EPD za proizvode je prostovoljna okoljska deklaracija, ki predstavlja enotno merljiv vpliv

na okolje v ŽC proizvoda in kot tak omogoča primerjavo med proizvodi z enako funkcijo [10]. Na spodnji sliki 12 je shematsko prikazan ŽC stavbe.

Tipi EPD-jev (glede na vključene faze življenjskega cikla) [10]:

- »od zibelke do vrat« - »Cradle to Gate« – MODULI A1-A3 (obvezni moduli);
- »od zibelke do vrat z možnimi izbirami« - »Cradle to Gate with options« –MODULI A1-A3 in posamezni izbrani opcijski moduli, opcijsko tudi modul D;
- »od zibelke do groba« - »Cradle to Grave« - MODULI A1-C4, opcijsko tudi modul D.



Slika 12: Življenjski cikel stavbe [69]  
Figure 12: Phases of building's life-cycle [69]

Življenjski cikel zajema štiri pomembne faze, in sicer proizvodnjo materialov, gradnjo objekta, obratovanje objekta, rušenje objekta in recikliranje oziroma deponiranje odpadnega materiala. Vse te faze morajo biti obravnavane, da bi pravilno ocenili emisije CO<sub>2</sub> objekta in njegov vpliv na okolje.

V fazi proizvodnje materialov nastajajo emisije TGP pri kemijskih reakcijah ob proizvodnji materiala in zaradi vložka energije. V fazi gradnje objekta so sproščene emisije TGP zaradi vložene energije potrebne za izgradnjo objekta. V fazi obratovanja stavbe nastane največ emisij toplogrednih plinov, zaradi veliko vložene energije potrebne za obratovanje objekta. V fazi gradnje in rušenja oziroma odstranitve objekta prav tako nastajajo emisije TGP zaradi vložene energije, vendar so tu precej manjše vrednosti. Po odstranitvi stavbe nastopi faza recikliranja materialov, ki jih je možno reciklirati, ostali materiali pa se deponirajo [12].

Ker v celotnem ŽC stavbe nastane največ emisij TGP v fazi uporabe oziroma obratovanja stavbe stremimo k energijsko varčnim stavbam, ki bi tekom življenjske dobe pri obratovanju sprostile čim manj energije in emisij. Emisije skupnih TGP objekta lahko zmanjšamo z izbiro trajnostnih materialov, ki imajo manjši ogljični odtis, z energetske sanacije stavb, s promoviranjem reciklaže materialov ter z ozaveščanjem samih uporabnikov stavbe.

#### 2.4.7 Vgrajeni ogljikov dioksid (Embodied carbon – EC)

Najenostavneje povedano je to vsota sproščenega ogljikovega dioksida zaradi porabe fosilnih goriv pri proizvodnji izdelka in samega pridobivanja potrebnih surovin [40]. Katere faze izdelka zajema EC je odvisno od zastavljenih meja sistema, običajno so podatki EC dostopni za *Cradle to Gate*. Podatki o EC nekaterih materialov so dostopni za *Cradle to Grave*, kjer so vštete tudi emisije, ki nastanejo na primer

pri vzdrževanju, deponiranju in reciklaži materiala. Vgrajeni ogljikov dioksid (EC) je izražen z enoto  $\text{kgCO}_2/\text{kg}$  oziroma  $\text{kgCO}_2/\text{m}^3$ . V nekateri literaturi je EC enačen z ogljičnim ekvivalentom ekvivalentom ( $\text{CO}_2\text{-e}$ ), ki poleg ogljikovega dioksida zajema tudi ostale toplogredne pline. Izraz ogljični ekvivalent je podrobneje opisan v naslednjem besedilu. V magistrski nalogi je izraz EC enačen z izrazom ogljični ekvivalent, tega lahko imenujemo tudi ogljični odtis (angl. *Carbon Footprint*).

#### **2.4.8 Ekvivalent ogljikovega dioksida ( $\text{CO}_2\text{-e}$ )**

Je standardna enota s katero označujemo ogljični odtis. Ker obstaja več TGP, jih je lažje obravnavati oziroma meriti z eno skupno enoto, ki se imenuje ekvivalent ogljikovega dioksida ( $\text{CO}_2\text{-e}$ ). V izračunu ogljičnega odtisa so poleg  $\text{CO}_2$  vključeni tudi drugi toplogredni plini – metan ( $\text{CH}_4$ ), dušikovi oksidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ) in kloroflorovodiki (CFC). Ti toplogredni plini so sicer za okolje veliko bolj škodljivi kot  $\text{CO}_2$ , vendar jih nastane količinsko manj, zato so njihove emisije preračunane na ekvivalentno količino  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2\text{-e}$ ) [74].

Ogljikov dioksid je najpomembnejši TGP, vendar pa z ekvivalentom obravnavamo vse TGP, ki so na zgornji preglednici 3. Ogljični odtis je seštevek izpustov toplogrednih plinov, ki jih neposredno ali posredno povzročijo organizacija, izdelek, storitev ali druga aktivnost, ki povzroča ali prispeva k izpustom toplogrednih plinov v določenem časovnem obdobju [74].

Ekvivalent ogljikovega dioksida je termin s katerim opisujemo vse TGP v eni skupni enoti ( $\text{CO}_2\text{-e}$ ). Predstavlja vpliv količine samega  $\text{CO}_2$ , ki bi lahko imel učinke na globalno segrevanje. Količina posameznega TGP je lahko izražena z  $\text{CO}_2\text{-e}$  tako, da pomnožimo količino TGP z njegovo vrednostjo GWP [23]. Na primer 1 kg sproščenega metana, lahko izrazimo z 28kg  $\text{CO}_2\text{-e}$  ( $1\text{kg CH}_4 \times 21 = 28\text{ kg CO}_2\text{-e}$ , glej preglednico 3). Kar pomeni, da metan povzroča 28-krat več k globalnemu segrevanju kot ogljikov dioksid.

Z ekvivalentom oziroma ogljičnim odtisom lahko ocenimo vpliv na okolje posameznega izdelka ali aktivnosti. V magistrski nalogi je izraz ekvivalent ogljikovega dioksida enak izrazom ogljični odtis in vgrajeni ogljikov dioksid.

#### **2.4.9 Potencial globalnega segrevanja (Global Warming Potential – GWP)**

Potencial globalnega segrevanja (GWP) je uveden z namenom, da lahko primerjamo vpliv različnih TGP na globalno segrevanje Zemlje. Natančneje povedano je GWP mera, s katero merimo koliko energije oziroma toplote se bo zaradi 1 tone emisij TGP absorbiralo v določenem časovnem obdobju.

S pomočjo GWP analitiki ocenjujejo emisije različnih TGP. Različni GWP imajo različno časovno dobo obstojnosti v zemeljski atmosferi in tudi različne sposobnosti absorbiranja toplote. Višji je potencial globalnega segrevanja, več ta plin prispeva k globalnemu segrevanju. Časovna doba običajno uporabljena za GWP je 100 let. Vrednosti GWP 1 tone toplogrednih plinov se primerjajo za vrednostjo GWP 1 tone ogljikovega dioksida [21].

Na spodnji preglednici 4 so razvidni potenciali globalnega segrevanja za pomembnejše TGP. Vrednosti GWP se z leti spreminjajo.

Preglednica 4: Vrednosti GWP za različne toplogredne pline [22]  
Table 4: GWP values for different greenhouse gases [22]

Substance	AR1 (1990)	AR2 (1995)	AR3 (2001)	AR4 (2007)	AR5 (2013)
Carbon dioxide, fossil (CO <sub>2</sub> )	1	1	1	1	1
Methane, fossil (CH <sub>4</sub> )	21	21	23	25	28
Methane, biogenic (CH <sub>4</sub> )	18,25	18,25	20,25	22,25	25,25
Dinitrogen monoxide (N <sub>2</sub> O)	290	310	296	298	265
HCFC-141b	440	-	700	725	782
HFC-134a	1200	1300	1300	1430	1300
HCFC-22	1500	-	1700	1810	1760
HCFC-142b	1600	-	2400	2310	1980
CFC-11	3500	-	4600	4750	4460
CFC-12	7300	-	10600	10900	10200
Sulfur hexafluoride	-	23900	22200	22800	23500

#### 2.4.10 Uporabljene predpostavke v nalogi

Pri delu so uporabljene naslednje predpostavke:

- Za fazo rabe objekta je uporabljen določen scenarij (režim ogrevanja, število oseb, način vzdrževanja, vrednosti posameznih parametrov (npr. temperature zraka).
- Poraba energije v fazi rabe je enaka pri vseh različicah stavbe.
- Sekvestracija za lesene izdelke (začasno shranjevanje CO<sub>2</sub> v lesu) ni upoštevana, saj podatkovne baze ne vključujejo tega podatka.
- Podatki o materialih, so vzeti iz knjižnice ArchiCAD in ICE podatkovne baze.
- Izrazi ogljični odtis, vgrajeni ogljikov dioksid in ekvivalent ogljikovega dioksida imajo v nalogi enak pomen.
- Faktorji primarne energije in emisivnosti so pridobljeni iz BIM modelirnika, ti so povzeti po standardu DIN V 18599.
- Nastanek emisij in poraba energije v manj pomembnih fazah ŽC (proces gradnje in odstranitve objekta) so ocenjeni na osnovi ocen iz tujih raziskav.
- Pri izračunu vgrajene energije in ogljičnega odtisa niso všteta notranja vrata, pohištvo in oprema ter sistemi in naprave.
- Dimenzije nosilnih elementov niso natančno izračunane, kar nekoliko vpliva na vrednosti ogljičnega odtisa posamezne različice objekta.

Zanemarjeni so naslednji sestavni deli in konstrukcijski elementi:

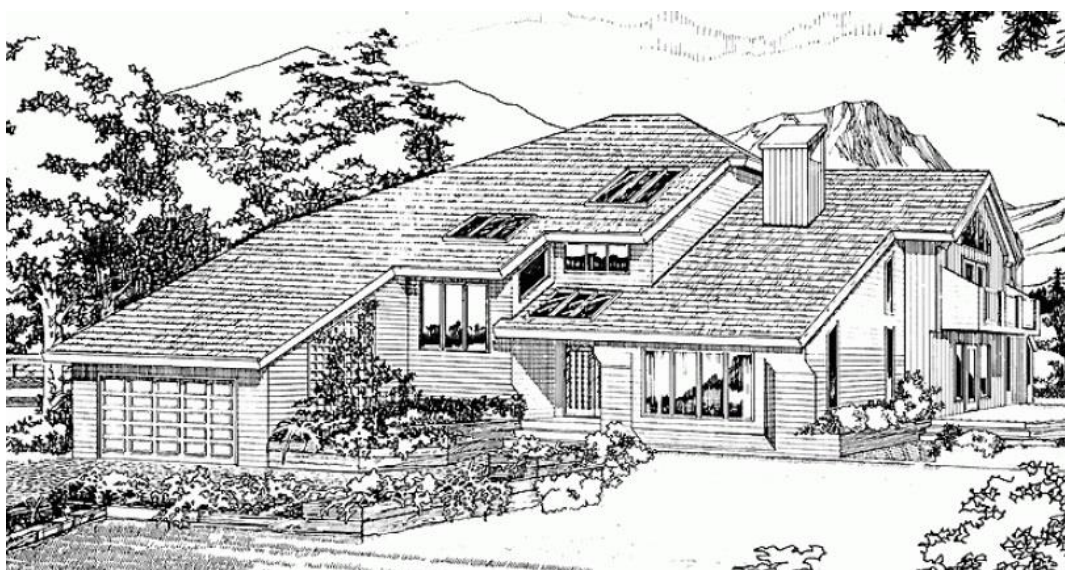
- vezna sredstva pri zidovih (lepila, malte), pritrdilni elementi fasade, barve, premazi, razne mrežice,
- zavetrovalni elementi pri skeletni konstrukciji,
- pločevine in vijaki pri jeklenih in lesenih spojih,
- odpadni in poškodavani material, ki ostane pri gradnji.

### 3 ŠTUDIJA PRIMERA: OPIS STAVBE

#### 3.1 Geometrija in lastnosti stavbe

Izvirno arhitekturno zasnovo stavbe z imenom *Seaside Solarium* sem pridobil na spletni strani *FloorPlans* [78]. Pridobljeni načrti, med katerimi so bili le tlorisi in fasade, so objavljeni v JPEG formatu kot digitalne slike.

Model obravnavane stavbe sem izdelal na osnovi pridobljenih tlorisov in fasad, pri čemer sem stavbo malenkost prilagodil. Spremenil sem obliko strehe višjega dela objekta in razpored nekaterih ločilnih predelnih sten.

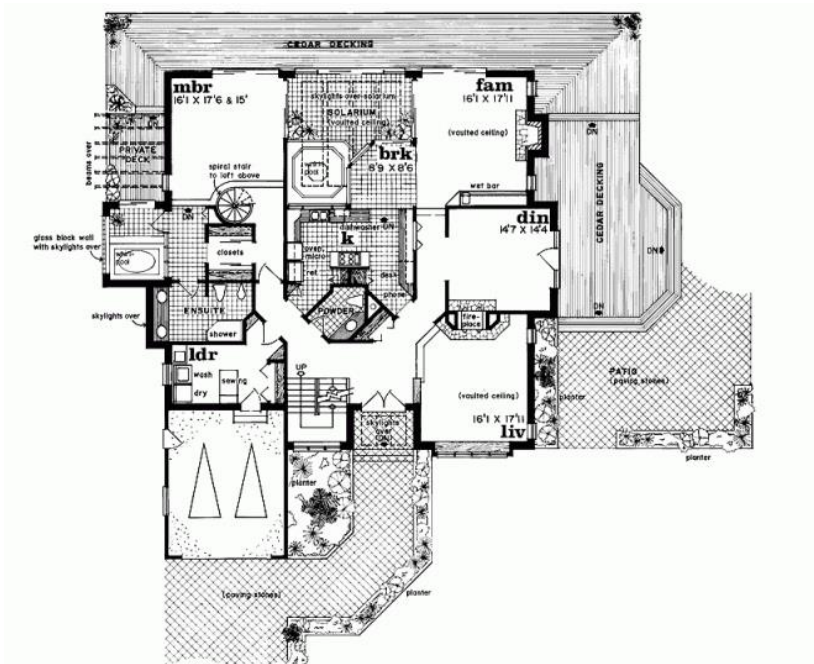


Slika 13: Izvirna slika stavbe pridobljena na FloorPlans.com

Figure 13: Original image of building obtained from FloorPlans.com

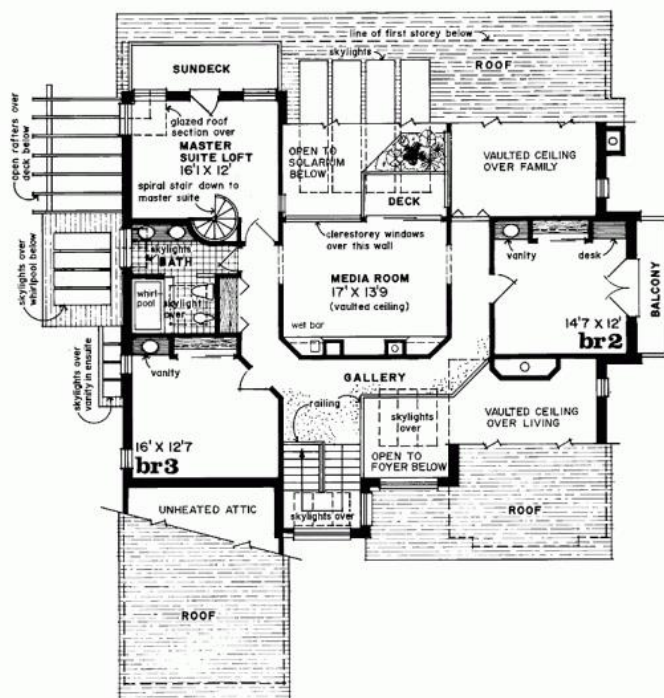
Geometrija stavbe je razvidna na zgornji sliki 13. Stavba ima pritličje, nadstropje in mansardo. Objekt nima podkletenih delov. Mansarda nima bivalnih prostorov, sicer pa so kondicionirani kot manj ogrevani prostori.

V stavbo se lahko vstopi skozi dva glavna vhoda. Streha je poševna pod kotom  $26^\circ$ , v svoji arhitekturni zasnovi stavbe sem opustil izvedbo strešnih čopov in sem obravnaval dvokapno streho, kot je videti na sliki 16. Opustil sem tudi spiralne stopnice na hodniku, ki so razvidne iz tlorisov 14 in 15.



Slika 14: Izvirni tloris pritličja obravnavane hiše (FloorPlans.com)

Figure 14: Original floorplan of the building's ground floor (FloorPlans.com)



Slika 15: Izvirni tloris prve etaže obravnavane hiše (vir: FloorPlans.com)

Figure 15: Original floorplan of the building's ground floor (Source: FloorPlans.com)

Na zgornjih slikah 14 in 15 sta prikazana izvirna tlorisa stavbe. Namembnost in postavitev prostorov sem v večji meri ohranil, prav tako tudi postavitev in velikost stavbnih odprtin. V prvem nadstropju (slika 15) so dodani prostori na primer spalnice in otroška soba. Na sliki 16 je prikazana vizualizacija modelirane stavbe.





Slika 16: Vizualizacija izdelanega modela stavbe (ArchiCAD, Artlantis 5)  
Figure 16: Render image of the building (ArchiCAD, Artlantis 5)

V preglednici 5 so navedeni geografski in arhitekturni podatki stavbe.

Preglednica 5: Podatki o stavbi  
Table 5: Data about the building

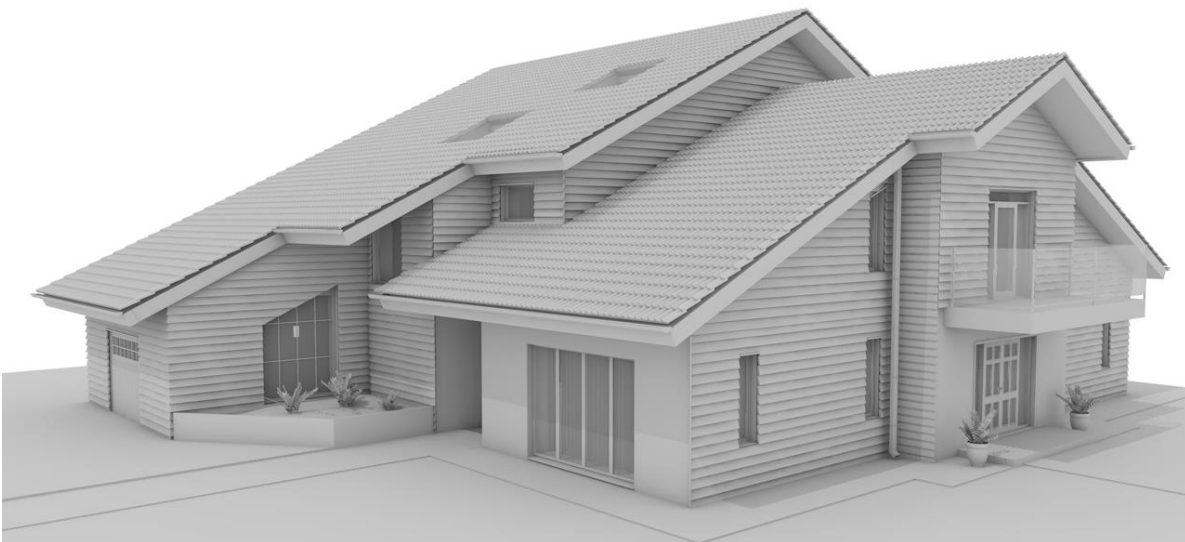
Objekt	Enodružinska hiša
Lokacija	Ljubljana
Geografska širina	(lat)46°02'42,79 (lon)14°27'58,59"
Uporabna površina	594 m <sup>2</sup>
Kondicionirana prostornina	1630 m <sup>3</sup>
Delež zasteklitve	12 %
Tlorisna površina objekta	356 m <sup>2</sup>
Maksimalna višina objekta	10,20 m
Površina strehe	280,7 m <sup>2</sup>
Bruto površina fasade - J	84 m <sup>2</sup>
Bruto površina fasade - S	92 m <sup>2</sup>
Bruto površina fasade - V	152 m <sup>2</sup>
Bruto površina fasade - Z	145 m <sup>2</sup>
Bruto površina fas. ovoja	473 m <sup>2</sup>
Odprtine - J	18,5 m <sup>2</sup>
Odprtine - S	22 m <sup>2</sup>
Odprtine - V	19 m <sup>2</sup>
Odprtine - Z	18 m <sup>2</sup>
Skupne zasteklitve na fasadi	61,3 m <sup>2</sup>
Odprtine na strehi	28 m <sup>2</sup>

### 3.2 Različice materialne izvedbe stavbe BIM

V sklopu magistrske naloge sem za obravnavano stavbo s pomočjo programa ArchiCAD 19 in vtičnika Ecodesigner STAR izdelal BIM modele za štiri različice obravnavane stavbe. V tem podpoglavju so opisane posamezne obravnavane konstrukcijske različice stavbe in pripadajoči konstrukcijski sklopi. Omenjeni modeli so osnova za izvedbo analiz in primerjav trajnostnih vidikov stavbe.

BIM modeli stavbe so izdelani do stopnje natančnosti LOD300, kjer sem upošteval orientacijo in lokacijo objekta, konstrukcijske sklope in stavbno pohištvo. Hišnega pohištva, inštalacij in konstrukcijskih spojev nisem modeliral. Obravnaval sem dve endoskeletni in dve eksoskeletni konstrukcijski izvedbi iste endružinske hiše.

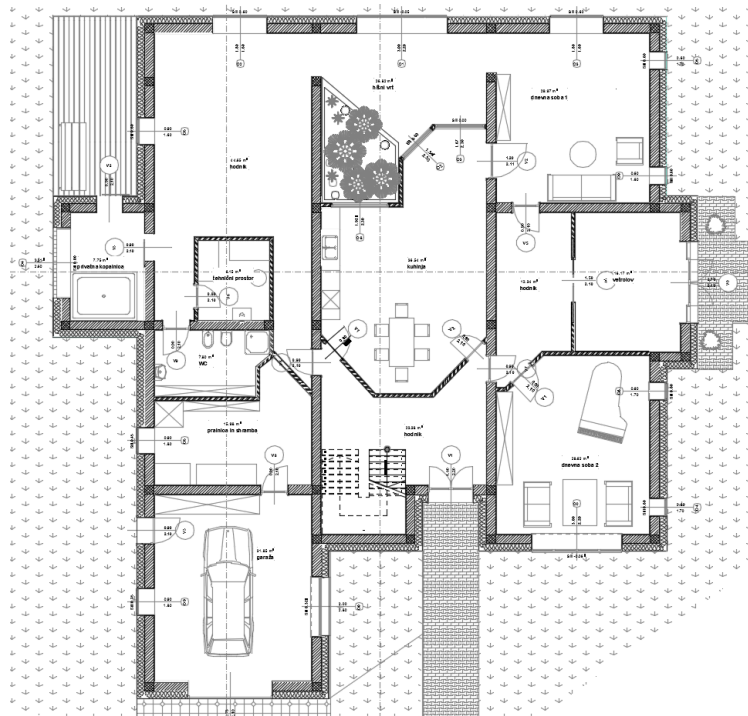
Dimenzije nosilnih elementov niso točno določene na osnovi statičnih izračunov, saj bi bila magistrska naloga preobsežna. Moramo pa se zavedati, da to dejstvo lahko vpliva na oceno trajnostnih parametrov, kot so na primer poraba energije, ogljični odtis, finančni stroški itd.



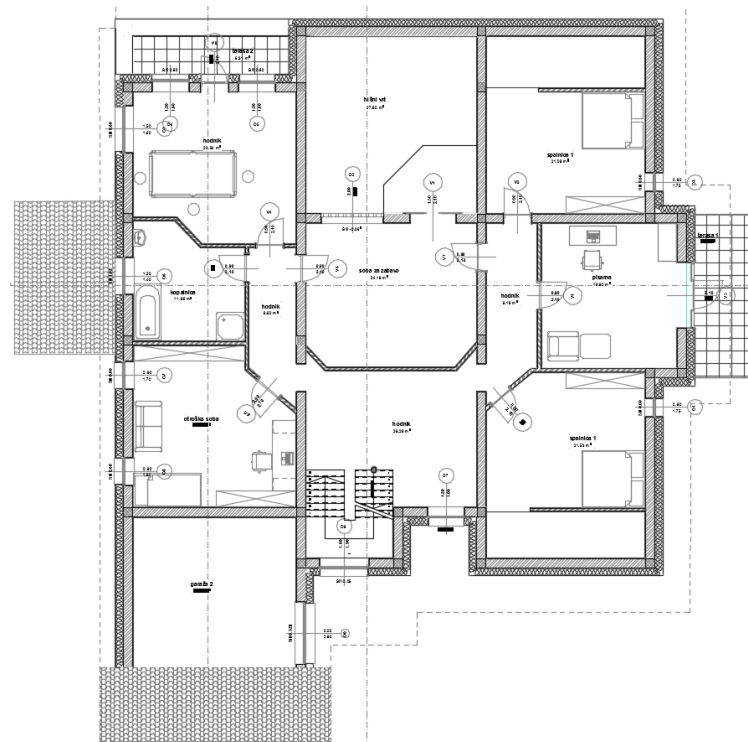
Slika 17: Vizualizacija modelirane stavbe v programu ArchiCad 19 (Cinerender)

Figure 17: Rendering of the model in ArchiCAD 19 (Cinerender)

Na slikah 18 in 19 sta prikazana tlorisa pritličja in prvega nadstropja modeliranega modela v programu ArchiCAD.



Slika 18: Tloris pritličja Hiše 1 v ArchiCAD modelirniku  
Figure 18: Ground floor rplan of House 1 in ArchiCAD



Slika 19: Tloris prve etaže Hiše 1 v ArchiCAD modelirniku  
Figure 19: First floor plan of House 1 in ArchiCAD

### 3.2.1 Opečna zidana stavba – Hiša 1

Zidane stavbe so pri nas že dolgo najbolj pogosta vrsta gradnje. Opeka je lahko obravnavan kot trajnostni material, saj ima veliko možnosti za recikliranje, je obstojen, povzroča malo odpadkov in je izdelan iz naravnih surovin. Opeka ima visoko toplotno kapaciteto, ki omogoča objektu zadostno termalno maso, ki je pomembna za energetska učinkovitost stavb v našem podnebnem pasu. Konstrukcija na ta način podnevi absorbira toploto in jo oddaja ponoči, tako opeka tudi prispeva k bivalnemu udobju v stavbi.

Opeka je eden izmed najstarejših in najbolj obstojnih gradbenih materialov v človeški zgodovini. Opečni zdelki imajo precejšnjo vgrajeno energijo, saj potrebujejo velike količine toplotne energije pri procesu sušenja in žganja, ki poteka med temperaturami 1000 in 1200 °C, odvisno od tipa gline [67].

Hiša 1 ima nosilno konstrukcijo v obliki eksoskeletnih zidov iz OMB zidakov. Zidovi so povezani z vertikalnimi in horizontalnimi AB vezmi. Objekt je temeljen s 30 cm debelo AB ploščo, ki je izvedena na 25 cm debeli plasti toplotne izolacije iz ekstrudiranega polistirena (XPS). Predelne stene, ki delijo določene prostore, so zidane s porobetonskimi ploščami debeline 10 cm. Stavba je toplotno izolirana s klasično kontaktno fasado, kjer je TI iz ekstrudiranega polistirena (EPS). Stavba ima klasično leseno ostrešje iz smrekovega masivnega lesa, špirovci dimenzij 12/18 cm pa so postavljeni na medsebojni razdalji 80 cm. Med špirovci je steklena volna. Stavbni konstrukcijski sklopi ustrezajo vsem omejitvam po pravilniku PURES.



Slika 20: Vizualizacija nosilne konstrukcije Hiše 1 (ArchiCAD)

Figure 20: Rendering of load bearing structure – House 1 (ArchiCAD)

Na spodnjih preglednicah so prikazane sestave konstrukcijskih sklopov Hiše 1.

Preglednica 6: Sestava KS zunanja stena – Hiša 1

Table 6: Exterior wall assembly – House 1

Zunanja stena	$d$ (cm)	$\lambda$ (W/mK)
fasadni omet	1	1
EPS izolacija	25	0,036
Parna ovira	0,02	0,5
OMB zidaki	29	0,324
mavčni omet	2	0,4
<b>skupaj</b>	<b>57,02</b>	<b>U= 0,12 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Preglednica 7: Sestava KS medetažna konstrukcija – Hiša 1  
Table 7: Floor slab assembly – House 1

Medetažna konstrukcija	$d$ (cm)	$\lambda$ (W/mK)
Lesen pod	2	0,13
cementni estrih	7	1,15
Parna ovira	0,02	0,5
EPS	6	0,036
AB plošča	16	2,5
Mavčni omet	1,5	0,4
<b>Skupaj</b>	<b>32,52</b>	<b>U= 0,44 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Preglednica 8: Sestava KS notranja stena – Hiša 1  
Table 8: Internal wall assembly – House 1

Notranja nosilna stena	$d$ (cm)	$\lambda$ (W/mK)
mavčni omet	2	0,25
OMB zidaki	29	0,324
mavčni omet	2	0,25

Preglednica 9: Sestava KS predelna stena – Hiša 1  
Table 9: Partition wall assembly – House 1

Predelna stena	$d$ (cm)	$\lambda$ (W/mK)
mavčni omet	2	0,25
Porobetonski zidaki	10	0,16
mavčni omet	2	0,25

Preglednica 10: Sestava KS temeljna plošča – Hiša 1  
Table 10: Foundation slab assembly – House 1

Temeljna plošča	$d$ (cm)	$\lambda$ (W/mK)
Keramične ploščice	1	1,5
Cementni estrih	7	1,15
Parna ovira	0,02	0,5
EPS	6	0,036
Bitumenski trakovi HI	1	0,23
AB temeljna plošča	30	2,5

XPS	25	0,032
<b>Skupaj</b>	<b>70,02</b>	<b>U= 0,10 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Preglednica 11: Sestava KS streha – Hiša 1

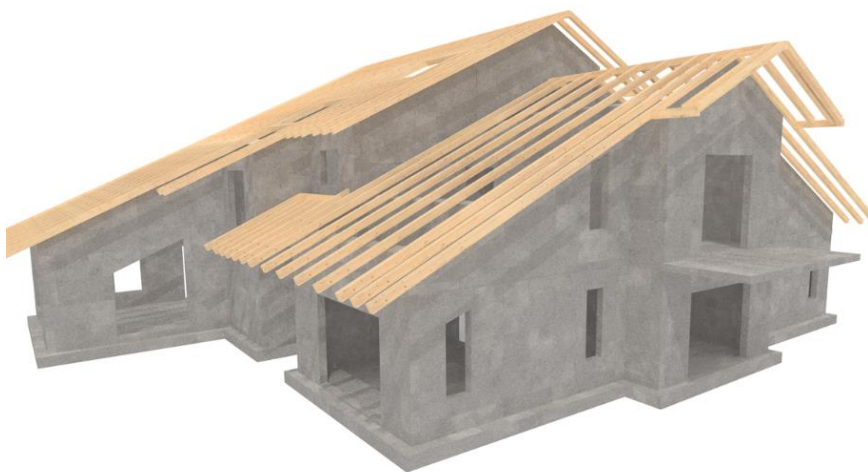
Table 11: Roof assembly – House 1

Streha	d (cm)	λ (W/mK)
Strešniki	2	1
Prezačevalni sloj	6	0,55
Paroprepustna folija	0,05	0,33
Steklena volna + letve	10	0,033
OSB plošča	1,5	0,13
Leseni špirovci + steklena volna	16	0,033
OSB plošča	1,5	0,13
Mavčnokartonske plošče	1,25	0,25
<b>Skupaj</b>	<b>38,3</b>	<b>U= 0,12 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

### 3.2.2 Armiranobetonska stavba – Hiša 2

Monolitne AB konstrukcije se v celoti izvedejo na samem gradbišču. Tak način gradnje obsega več procesov, kot so opaževanje, betoniranje, armiranje in postavljanje odra. Gre za najdražji način gradnje med obravnavanimi primeri. Čas gradnje pa je zelo dolg v primerjavi z izvedbo jeklenih ali lesenih endoskeletnih konstrukcij. Pri gradnji se porabi več energije, potrebno je več delavcev, na gradbišču pa ostane veliko odpadkov. AB konstrukcije imajo tudi svoje prednosti, kot so na primer; monolitnost objekta, požarna varnost, potresna varnost, dober raznos koncentrirane obtežbe, obstojnost itd.

Hiša 2 ima eksoskeletno nosilno konstrukcijo v celoti iz litega AB. Stavba je temeljena na 30 cm debeli AB plošči, ki je izvedena na plasti debeline 25 cm XPS toplotne izolacije. Predelne stene, ki delijo določene prostore, so zidane z lahkobetonskimi zidaki. Zunanje in notranje nosilne AB stene so debeline 20 cm, medetažna AB plošča je debela 16 cm. Lesena strešna konstrukcija je enaka kot pri Hiši 1.



Slika 21: Vizualizacija nosilne konstrukcije Hiše 2 (ArchiCAD)  
Figure 21: Render image of bearing structure – House 2 (ArchiCAD)

Na spodnjih preglednicah so prikazane sestave konstrukcijskih sklopov Hiše 2:

Preglednica 12: Sestava KS zunanja stena – Hiša 2

Table 12: Exterior wall assembly – House 2

Zunanja stena	$d$ (cm)	$A$ (W/mK)
fasadni omet	1	1
EPS izolacija	25	0,036
Parna ovira	0,02	0,5
AB zid	20	2,5
mavčni omet	2	0,4
<b>Skupaj</b>	<b>48,02</b>	<b>U= 0,14 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Preglednica 13: Sestava KS medetažna konstrukcija – Hiša 2

Table 13: Floor slab assembly – House 2

Medetažna konstrukcija	$d$ (cm)	$A$ (W/mK)
Lesen pod	2	0,13
cementni estrih	7	1,15
Parna ovira	0,02	0,5
EPS	6	0,036
AB plošča	16	2,5
Mavčni omet	1,5	0,4
<b>Skupaj</b>	<b>32,52</b>	<b>U= 0,44 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Preglednica 14: Sestava KS notranja stena – Hiša 2

Table 14: Internal wall assembly – House 2

Notranja nosilna stena	$d$ (cm)	$A$ (W/mK)
Mavčni omet	2	0,25
AB zid	20	2,5
Mavčni omet	2	0,25

Preglednica 15: Sestava KS predelna stena – Hiša 2

Table 15: Partition wall assembly – House 2

Predelna stena	$d$ (cm)	$A$ (W/mK)
Mavčni omet	2	0,25
Porobetonski zidaki	10	0,16
Mavčni omet	2	0,25

Preglednica 16: Sestava KS temeljna plošča – Hiša 2

Table 16: Foundation slab assembly – House 2

Temeljna plošča	$d$ (cm)	$\lambda$ (W/mK)
Keramične ploščice	1	1,5
Cementni estrih	7	1,15
Parna ovira	0,02	0,5
EPS	6	0,036
Bitumenski trakovi HI	1	0,23
AB temeljna plošča	30	2,5
XPS	25	0,032
<b>Skupaj</b>	<b>70,02</b>	<b>U= 0,10 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Preglednica 17: Sestava KS streha – Hiša 2

Table 17: Roof assembly – House 2

Streha	$d$ (cm)	$\lambda$ (W/mK)
Strešniki	2	1
Prezačevalni sloj	6	0,55
Paroprepustna folija	0,05	0,33
Steklena volna + letve	10	0,033
OSB plošča	1,5	0,13
Leseni špirovci + steklena volna	16	0,033
OSB plošča	1,5	0,13
Mavčnokartonske plošče	1,25	0,25
<b>Skupaj</b>	<b>38,3</b>	<b>U= 0,12 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

### 3.2.3 Jeklena stavba – Hiša 3

Jeklene montažne konstrukcije se običajno gradijo za večje poslovne, industrijske in stanovanjske objekte. Odlikuje jih enostavna, hitra in fleksibilna gradnja brez odvečnih odpadkov. Jeklene objekte zlahka adaptiramo, dogradimo, razširimo ali pa spremenimo njihovo namembnost. Pri odstranitvi objekta ni potrebno veliko dela in energije. Nosilne jeklene konstrukcije gradimo z vroče valjanimi profili, ki so na trgu prisotni v obliki različnih prerezov (HEA, HEB, HEM, IPE itd.). Jekleni elementi so izdelani v proizvodnih obratih, nakar se jih pripelje na gradbišče. Za nenosilne stavbne elemente, kot so predelne stene in podkonstrukcije konstrukcijskih sklopov uporabljamo hladno valjane jeklene profile različnih oblik (C, Z, U, L itd.).

Jeklene konstrukcije objektov so sestavljene iz prečnih primarnih okvirjev in vzdolžnih sekundarnih okvirjev. V vzdolžni smeri objekta je potrebno na vsaki strani objekta in vsaki etaži predvideti diagonalne zatege s polnim prerezom za prevzem horizontalnih sil. V primeru velikih horizontalnih sil, kot so potresne sile pa moramo priskrbeti zavetrovanje z diagonalami močnejših votlih profilov. Spoji vzdolžnih okvirjev so členkasti in morajo biti duktilni. Primarni oziroma prečni nosilni okvirji imajo toge spoje, za prevzemanje velikih sil in momentov.



Pri projektiranju jeklenih konstrukcij upoštevamo predpise Evrokod 8, saj je Slovenija na potresno nevarni geografski lokaciji. Upoštevanje potresnih obremenitev pri projektiranju jeklenih konstrukcij zahteva večje prereze in ustrezne spoje. Skeletna konstrukcija je zelo primerna za lahko vgrajevanje izolacijskih materialov in inštalacij. Več pozornosti je potrebno nameniti toplotnim mostovom zaradi visoke toplotne prevodnosti jeklenih elementov. Slabosti jeklenih konstrukcij so korozija, zapletenost izvedbe spojev in detajlov, slabša zvočna in toplotna izolativnost, manjša požarna varnost in zahtevno projektiranje.

Hiša 3 ima jekleno endoskeletno okvirno nosilno konstrukcijo. Nosilni stebri HEB280 in nosilci IPE 400 tvorijo prečne momentne okvirje. V vzdolžni smeri so okvirji povezani z nosilci IPE240. Medetažno sovprežno konstrukcijo nosijo nosilci IPE240. Na medetažni konstrukciji je plavajoč pod, ki je izveden z estrihom na EPS izolaciji. Nosilna strešna konstrukcija je sestavljena iz jeklenih profilov IPE180. Hiša 3 je temeljena na AB temeljni plošči z XPS toplotno izolacijo. Predelne montažne stene so sestavljene iz jeklenih hladno valjanih U profilov, med katerimi je vgrajena kamena volna, z obeh strani pa so vijane mavčno kartonske plošče. Konstrukcijski strešni sklop je izveden podobno kot pri drugih različicah, razlika je le, da NK strehe tvorijo IPE 180 profili. Streha in fasada sta v prezračevani izvedbi, kjer ima kamena volna vlogo toplotne izolacije. Fasada je obložena s tankimi opečnimi paneli.



Slika 22: Vizualizacija nosilne konstrukcije Hiše 3 (ArchiCAD)  
Figure 22: Rendering of bearing structure – House 3 (ArchiCAD)

Na spodnjih preglednicah so prikazane sestave konstrukcijskih sklopov Hiše 3:

Preglednica 18: Sestava KS zunanja stena – Hiša 3  
Table 18: Exterior wall assembly – House 3

Zunanja stena	$d$ (cm)	$\lambda$ (W/mK)
Opečna viseča fasada	2	1
Prezračevalni sloj	6	0,20
Paroprepustna folija	0,05	0,33
Kamena volna + letve	8	0,036
OSB plošča	1,5	0,13
HEB 280, 28 cm + kamena volna	20	0,036
Parna ovira	0,02	0,50

OSB plošča	1,5	0,13
Mavčnokartonske plošče	1,25	0,25
<b>Skupaj</b>	<b>36</b>	<b>U= 0,12 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Preglednica 19: Sestava KS medetažna konstrukcija – Hiša 3

Table 19: Floor slab assembly – House 3

Medetažna konstrukcija	d (cm)	$\lambda$ (W/mK)
Lesen pod	2	0,13
Cementni estrih	7	1,15
Parna ovira	0,02	0,50
EPS	6	0,036
Montažna AB+ jeklena pločevina	16	2,5
Mavčni omet	1,5	0,40
IPE 240 + kamena volna	10	0,037
2x Mavčno kartonska plošča,	2,5	0,25
<b>Skupaj</b>	<b>41</b>	<b>U= 0,19 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Preglednica 20: Sestava KS streha – Hiša 3

Table 20: Roof assembly – House 3

Streha	d (cm)	$\lambda$ (W/mK)
Strešniki	2	1,0
Prezačevalni sloj	6	0,55
Paroprepustna folija	0,05	0,33
Kamena volna + letve	10	0,033
OSB plošča	1,5	0,13
IPE 160 + kamena volna	16	0,033
OSB plošča	1,5	0,13
Parna ovira	0,02	0,5
Mavčnokartonske plošče	1,25	0,25
<b>Skupaj</b>	<b>34</b>	<b>U= 0,13 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Preglednica 21: Sestava KS temeljna plošča – Hiša 3

Table 21: Foundation slab assembly – House 3

Temeljna plošča	d (cm)	$\lambda$ (W/mK)
Keramične ploščice	1	1,5
Cementni estrih	7	1,15
Parna ovira	0,02	0,5
EPS	6	0,036
Bitumenski trakovi HI	1	0,23
AB temeljna plošča	30	2,5
XPS	25	0,032
<b>Skupaj</b>	<b>70,02</b>	<b>U= 0,10 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Preglednica 22: Sestava KS notranja stena – Hiša 3

Table 22: Internal wall assembly – House 3

Notranja stena	<i>d</i> (cm)	<i>A</i> (W/mK)
Mavčno kartonska plošča	1,25	0,25
Kamena volna + HEB 280	28	0,033
Mavčno kartonska plošča	1,25	0,25

Preglednica 23: Sestava KS predelna stena – Hiša 3

Table 23: Partition wall assembly – House 3

Predelna stena	<i>d</i> (cm)	<i>A</i> (W/mK)
Keramične ploščice	1,25	0,25
Kamena volna + U profili	10	0,033
Mavčno kartonska plošča	1,25	0,25

### 3.2.4 Lesena stavba – Hiša 4

Skeletno nosilno konstrukcijo sestavljajo nosilni stebri in nosilci, postavljeni na določenem rastru. Nosilni elementi so lahko iz žaganega masivnega lesa, lahko pa se uporabijo tudi drugi leseni izdelki, kot so lamelirani lepljeni les in konstrukcijski kompozitni les. Tak način gradnje je zelo hiter in enostaven, porabi pa se zelo malo lesa. Masivni les ima visoko tlačno in natezno trdnost, tako se porabi precej malo lesa za doseganje visoke nosilnosti konstrukcije. Za prevezmanje horizontalnih obtežb (veter in potres) ima skeletna konstrukcija diagonalne jeklene zatege. Med stebri in nosilci zlahka vgradimo zvočno in toplotno izolacijo. Pri energetski analizi pa moramo paziti na dodatne toplotne mostove zaradi nehomogenih konstrukcijskih sklopov, kar je značilnost vseh endoskeletnih nosilnih konstrukcij. Sicer pa je les lahek naravni material, ki ga odlikuje nizek koeficient toplotne prehodnosti.

Hiša 4 je izvedena z endoskeletno NK masivnega žaganega lesa, ki jo sestavljajo stebri dimenzij 12/25 cm in nosilci dimenzij 12/30 cm. V konstrukcijskih sklopih je med nosilnimi elementi celulozna toplotna izolacija, druge plasti toplotne izolacije za zmanjšanje toplotnih mostov pa so iz lesene volne. Medetažne konstrukcije imajo plavajoč pod z EPS izolacijo. Hiša je skoraj v celoti sestavljena iz lesa. Ta različica stavbe je edina, ki ima pasovne AB temelje namesto temeljne plošče.



Slika 23: Vizualizacija nosilne konstrukcije Hiše 4 (ArchiCAD)  
Figure 23: Rendering of bearing structure – House 4 (ArchiCAD)

Na spodnjih preglednicah so prikazane sestave konstrukcijskih sklopov Hiše 4:

Preglednica 24: Sestava KS zunanja stena – Hiša 4  
Table 24: Exterior wall assembly – House 4

Zunanja stena	$d$ (cm)	$\lambda$ (W/mK)
lesena deskana fasada	2	0,13
Prezračevalni sloj	6	0,50
Paroprepustna folija	0,05	0,33
lesena volna + letve	8	0,075
OSB plošča	1,5	0,13
leseni stebri + celulozna vlakna	25	0,039
Parna ovira	0,02	0,50
OSB plošča	1,5	0,13
Mavčnokartonske plošče	1,25	0,25
<b>Skupaj</b>	<b>41</b>	<b>U= 0,12 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Preglednica 25: Sestava KS medetažna konstrukcija – Hiša 4  
Table 25: Floor slab assembly – House 4

Medetažna konstrukcija	$d$ (cm)	$\lambda$ (W/mK)
Lesen pod	2	0,13
Cementni estrih	5	1,15
Parna ovira	0,02	0,50
EPS	7	0,036
Parna ovira	0,02	0,50
Cementni estrih + inštalacije	7	1.15
2 x OSB	3	0,13
Leseni nosilci, 30 cm + celulozna vlakna, 10 cm	10	0,039
OSB	1,5	0,13

Mavčno kartonske plošče	1,25	0,25
<b>Skupaj</b>	<b>36,79</b>	<b>U= 0,19 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Preglednica 26: Sestava KS notranja stena – Hiša 4  
Table 26: Internal wall assembly – House 4

Notranja stena	<i>d</i> (cm)	<i>λ</i> (W/mK)
Mavčno kartonske plošče	1.25	0,25
leseni stebri 12/25 cm + celulozna vlakna, 25 cm	25	0,039
Mavčno kartonske plošče	1,25	0,25

Preglednica 27: Sestava KS predelna stena – Hiša 4  
Table 27: Partition wall assembly – House 4

Predelna stena	<i>d</i> (cm)	<i>λ</i> (W/mK)
Mavčno kartonske plošče	1,25	0,25
leseni stebri 10/10 cm + celulozna vlakna, 10 cm	10	0,039
Mavčno kartonske plošče	1,25	0,25

Preglednica 28: Sestava KS streha – Hiša 4  
Table 28: Roof assembly – House 4

Streha	<i>d</i> (cm)	<i>λ</i> (W/mK)
Strešniki	2	1,0
Prezačevalni sloj	6	0,55
Paroprepustna folija	0,05	0,33
lesena volna + letve	10	0,075
OSB plošča	1,5	0,13
Leseni špirovci + celulozna vlakna	16	0,039
OSB plošča	1,5	0,13
Mavčnokartonske plošče	1,25	0,25
<b>Skupaj</b>	<b>38,32</b>	<b>U= 0,17 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Preglednica 29: Sestava KS temeljna plošča  
Table 29: Foundation slab assembly – House 4

Temeljna plošča	<i>d</i> (cm)	<i>λ</i> (W/mK)
Keramične ploščice	1	1,50
Cementni estrih	6	1,15
Parna ovira	0,02	0,50
EPS	10	0,036
Bitumenski trakovi HI	1	0,23
Podložni beton	30	1,35
<b>Skupaj</b>	<b>48,02</b>	<b>U= 0,33 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

### 3.3 Uporaba modela BIM za energijsko analizo

Začetne faze projekta, kot sta zasnova in načrtovanje objekta sta ključnega pomena pri določanju trajnostnih karakteristik objekta. Za ocenjevanje učinkovitosti in trajnosti objekta v začetnih fazah projekta potrebujemo veliko količino informacij o stavbi, ki je potrebna za več strokovnih področij, te omogoča prav BIM. Slednji ima od tradicionalnega CAD načrtovanja ogromno prednosti [48]. Informacijsko modeliranje stavb (BIM) se izkazuje kot učinkovito orodje za analizo učinkovitosti stavbe že v fazi projektiranja [58].

Z BIM lahko že v fazi projektiranja izboljšamo različne parametre trajnosti, kot so: Izbira orientacije objekta, masa in ovoj stavbe, analiza dnevne svetlobe, raba vode, energetska analiza, izbira trajnostnih materialov in logistično upravljanje. Informacijski model stavbe je bogat z informacijami, ki so lahko uporabljene za pridobivanje točk pri trajnostnih certifikatih, kot je LEED [48]. Poleg vsega je seveda zelo pomemben časovni in finančni prihranek v primerjavi s tradicionalnim načrtovanjem.

BIM modelirniki imajo veliko dodatkov in vtičnikov, s katerimi lahko izboljšamo naše delo. Prav tako obstaja množica orodij za trajnostno analizo, ki temeljijo na BIM tehnologiji, kot so na primer Ecodesigner STAR, Ecotect, GBS, IES in VE. BIM modelirniki, kot je ArchiCAD imajo z leti vedno več izboljšav in dodatnih vsebin, ki jih lahko uporabimo pri trajnostnem načrtovanju.

BIM ima pri trajnostnem načrtovanju veliko prednosti, med katerimi so:

- izkoriščanje vseh prednosti 3D modeliranja,
- možnost izvajanja različnih simulacij,
- izvoz BIM modela v druge programe, kjer lahko opravimo analize različnih trajnostnih parametrov (dnevna osvetljenost prostorov, osončenost objekta, bivalno udobje, požarna varnost, raba energije itd.)
- enostavna izdelava izpisov in načrtov za pridobitev certifikata (npr. LEED dokumentacija),
- preučevanje porabe materiala in naravnih virov,
- hitro spreminjanje vhodnih podatkov,
- ocena vgrajene energije in ogljičnega odtisa na osnovi informacij BIM modela (količine materialov, popisi elementov ipd.),
- dostop o veliki količini podatkov potrebnih za preučevanje različnih trajnostnih vidikov,
- hitro in zanesljivo pridobivanje rezultatov v primerjavi s tradicionalnimi metodami,
- delo na več projektih hkrati ter medsebojno primerjanje in iskanje najboljših trajnostnih rešitev,
- inovativen račun energijske učinkovitosti objekta glede na druge klasične nedinamične programe,
- odlična preglednost modela, za razliko od drugih programov za ocenjevanje trajnosti in energijske učinkovitosti objekta, kjer model ni viden ali pa imajo nepregleden uporabniški vmesnik,
- izvoz številnih podatkov v različne formate, kot so Excel, PHPP, iSBEM, VIP energy, gbXML, "Green" IFC translator,
- Možnost namestitve različnih vtičnikov in dodatkov.

BIM ima pri trajnostnem načrtovanju tudi nekaj pomanjkljivosti:

- Odsotnost izpisov URE po nacionalnih predpisih ( npr. slovenski PURES),
- Zanesljivost rezultatov je precej odvisna od kvalitete oziroma pravilnosti modeliranega 3D modela stavbe,
- računalniške simulacije zahtevajo natančne vhodne podatke,
- vložiti moramo precej časa za modeliranje,
- potrebno je poznavanje BIM modelirnika (v tem primeru ArchiCAD),
- če prvič delamo z orodjem Ecodesigner STAR imamo lahko težave zaradi nepoznavanja programa. Program pogosto javlja različne napake pri zagonu analize, če model ni pravilno izdelan.

### 3.3.1 Delovanje programa Ecodesigner STAR

Ecodesigner (brez oznake STAR) je zasnovan na ArchiCAD-ovem vtičniku Energy Evaluation in je že nekaj verzij serijsko vgrajen kot brezplačni vtičnik v ArchiCAD-u. Ecodesigner je izboljšana verzija vtičnika Energy Evaluation z dodanimi funkcijami. Gre za enostavno orodje, s katerim lahko v BIM modelirniku naš BIM model neposredno pretvorimo v BEM model, na katerem lahko izvajamo energijske simulacije. Program olajša delo načrtovalcem in arhitektom ter omogoča, da v svoje projekte vključijo principe trajnostnega načrtovanja, obenem pa ne zahteva specifičnega inženirskega znanja.

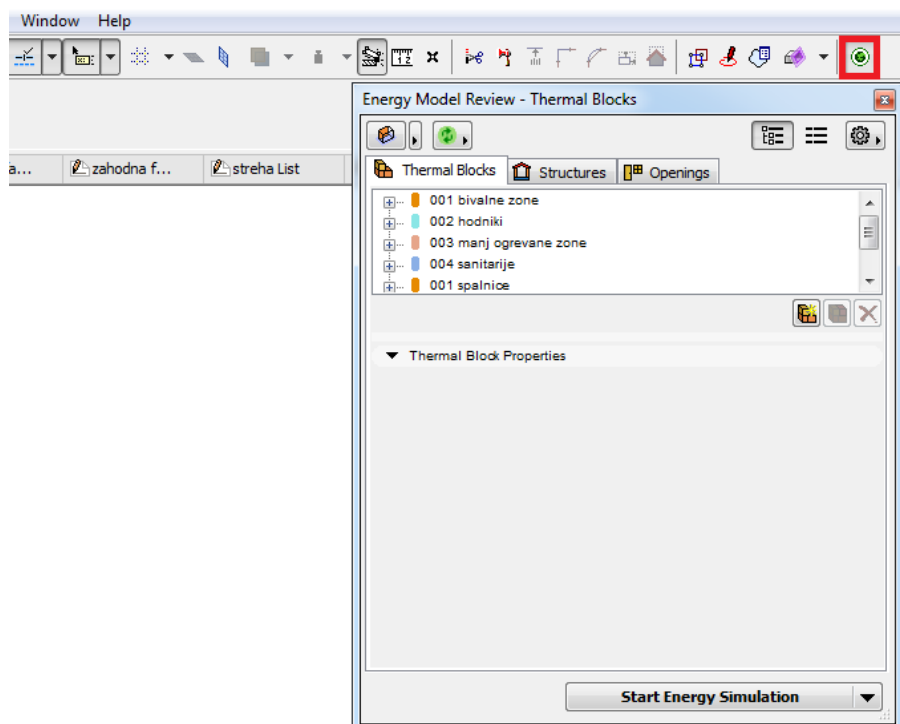
Ecodesigner STAR je izboljšana verzija različice (brez oznake STAR) in ima dodatne funkcije, kar nam omogoča več možnosti pri delu. Na prvi pogled je program precej podoben serijsko vgrajeni različici Ecodesigner (brez oznake STAR). Za program Ecodesigner STAR potrebujemo licenco, ki pa ni del študentske verzije ArchiCAD programa. Licenco za uporabo tega orodja pri magistrski nalogi sem dobil od podjetja ACS Pilon, ki je zastopnik Graphisoft produktov v Sloveniji. Za lažje delo in razumevanje programa ArchiCAD in omenjenega vtičnika priporočam priročnik, ki je dostopen na spletu v elektronski obliki.

STAR verzija ima številne dodatne možnosti nastavitvev za kompleksne in natančne izdelave BEM modelov, ob tem pa nudi tudi možnost številnih dodatnih izpisov, in to v različnih formatih. Ecodesigner STAR ima tudi možnost računa toplotnih mostov na BIM modelu. Dobimo lahko izpise različnih podatkov o BEM modelu v Excel, XML ali drugih datotekah. Pri definiranju modela pa lahko izbiramo med dodatnimi lastnostmi HVAC sistemov, uporabljamo lahko tudi sisteme obnovljivih virov energije (OVE), kot so vetrne turbine in solarni sistemi. Naredimo lahko izpise za vrsto podatkov, ki se nanašajo na podnebje, ogrevane cone, energetske balance ipd.

Ecodesigner STAR je program namenjen prvenstveno arhitektom, saj omogoča račun energetske analize na enostaven in hiter način. Program deluje v skladu z ANSI/ASHRAE Standard 140-2007 in ASHRAE 90.1-2007 Appendix G: Performance Rating Method, ki se sklicuje na USGBC LEED – Energy 2007. Ecodesigner STAR uporabi večino podatkov iz BIM modela, ki je potrebna za dinamično simulacijo porabe energije, z uporabo teh podatkov avtomatsko ustvari energijski model objekta (BEM). Dodatek EcoDesigner STAR omogoča BIM modelirniku ArchiCAD, da uporabnik uporabi dinamični pogon energijske simulacije VIP-Core, s katerim lahko izkusimo največje prednosti BIM modeliranja. Ecodesigner STAR nudi možnost vnašanja detajlnih vhodnih podatkov in natančne izhodne podatke o energijskem modelu. Dinamični simulacijski pogon VIP-Core podaja natančne certificirane rezultate o energijski učinkovitosti modela [26].

S tem uporabnim orodjem lahko ocenimo energijsko učinkovitost stavbe na hiter in enostaven način. V tej magistrski nalogi je to pomembno, predvsem za pridobitev podatkov o porabi energije in emisijah CO<sub>2</sub> obravnavane stavbe tekom njene življensjke dobe. Nalogo bi lahko alternativno opravili z modeliranjem stavbe v modelirniku Revit Autodesk, kar bi izvozili preko datoteke gbXML v program Ecotect Analysis. Na tak način bi lahko prav tako analizirali različne trajnostne parametre na določenem modelu.

Do vtičnika Ecodesigner dostopamo s klikom na ikono, ki je razvidna iz slike 24, nakar se odpre okno *Energy Model Review*. V primeru, da nas zanima, če imamo verzijo STAR, lahko to najhitreje preverimo tako, da pogledamo, če imamo možnost izbire *Expert* pogleda pri definiranju HVAC sistemov.



Slika 24: Dostop do okna vtičnika Ecodesigner  
Figure 24: Approach to Ecodesigner plugin

### 3.3.2 Priporočljiv pristop pri delu z Ecodesigner STAR

Predpogoj za delo s tem orodjem je poznavanje modelirnika ArchiCAD. V tem poglavju sem opisal nekaj pomembnih napotkov pri izvajanju analiz s programom Ecodesigner STAR. Pri modeliranju objekta v programu ArchiCAD, moramo posvetiti veliko pozornosti pri modeliranju, predvsem pri določanju con. Cone, ki obsegajo posamezen prostor, morajo biti pravilno in natančno določene. Zavedati se moramo, da število con in termalnih blokov vpliva na kompleksnost BEM modela in s tem na podaljšanje časa računa simulacije. Čas simulacije se podaljša tudi z večjim številom poligonov v modelu, zaradi tega je najbolje izvajati simulacije na modelu brez pohišstva in kompleksnih elementov.

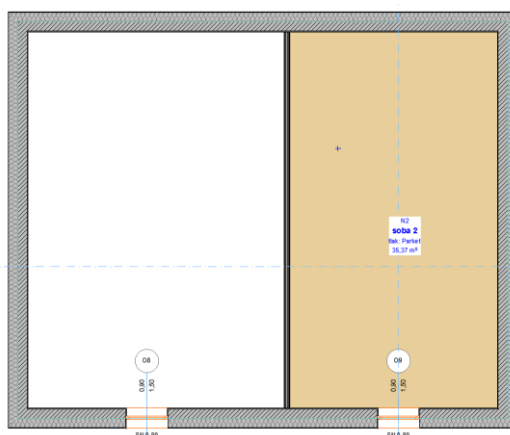
Posamezna cona mora segati od roba do roba posameznega elementa (npr. stene in stropa). Energetsko analizo v Ecodesigner-ju lahko poženemo kljub temu, da cone niso popolnoma pravilno določene. Rezultate v tem primeru dobimo, vendar pa nas program pred zagonom analize opozori, da je prišlo do



nepopolnosti BEM modela, rezultati simulacije v tem primeru niso natančni. Model objekta mora biti brez nepopolnosti, saj le tako dobimo pravilne oziroma zanesljive rezultate.

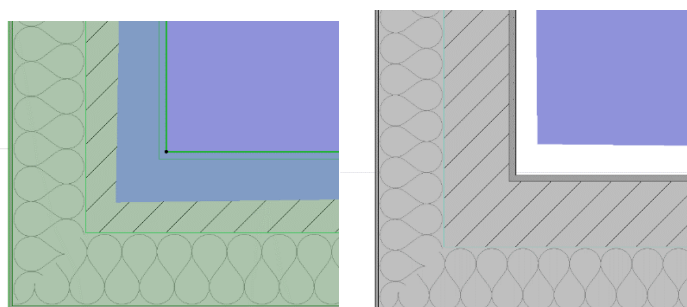
Posamezna cona mora segati do določene etažne višine stavbe, ki smo jo definirali v ArchiCAD-u. Cone, ki se raztezajo skozi dve etaže, jih po višini razdelimo na dva dela. Na primer, če ima stavba etažno višino visoko 3 m, mora biti cona 6 m visokega prostora razdeljena po višini na dva dela. Cona sicer lahko poteka skozi eno ali več etaž, ampak to lahko vpliva na rezultate, saj se lahko pojavijo težave pri zagonu energetske analize v programu Ecodesigner zaradi neupoštevanja nekaterih ploskev cone (*Unused surfaces*). Nepravilno modelirane cone lahko vidimo s prikazom neupoštevanih ploskev con, z ukazom *Unused surfaces*.

Celotna notranjost stavbe mora biti zajeta s conami. Vsak prostor, ki ni definiran kot kondicionirana cona, je obravnavan kot zunanost stavbe (slika 25). Namreč Ecodesigner v tem primeru upošteva, da imamo v stavbi prisotno okolje z zunanjimi temperaturnimi parametri, kar zelo vpliva na (ne)pravilnost rezultatov energetske analize.



Slika 25: Nepravilno določena cona  
Figure 25: Incorrectly zoned model

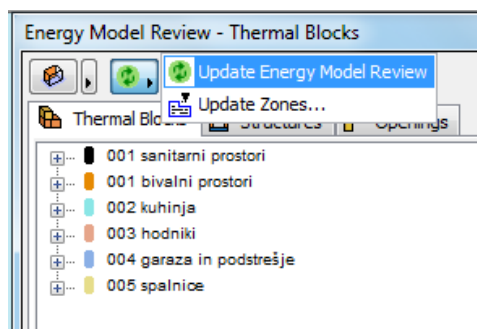
Kadar imamo nepopolno modelirane cone, ki segajo v notranjost zidov ali pa niti do zidu (slika 26), bo v analizi upoštevana le prostornina določenih zon in bo temu primeren tudi rezultat. Pred zagonom analize pa bomo prejeli opozorilo. Torej, če imamo cone za 10 % manjše kot bi morale biti, bo tudi izračunana 10 % manjša poraba energije ipd.



Slika 26: Nepravilno določena cona  
Figure 26: Incorrectly drawn zone

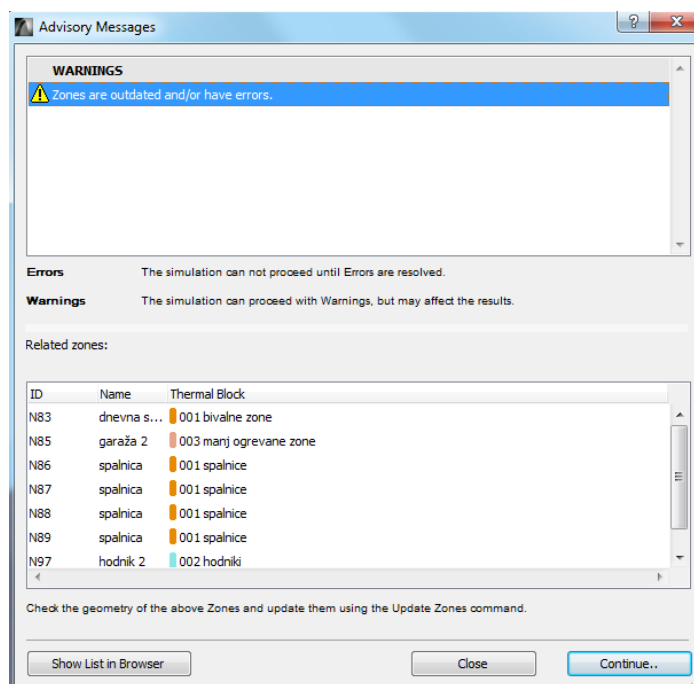
Zelo pomembna sta ukaza *Update zones* in *Update energy model* (slika 27). Če med delovanjem vtičnika Ecodesigner obdelujemo model, spreminjamo ali dodajamo cone, moramo na koncu uporabiti ukaz *Update zones*, ki osveži spremembe popravljenih con. Kadar spreminjamo druge geometrijske in dimenzijske lastnosti v modelu, kot so stebri, zidovi in stropovi, ostanejo cone prejšnjih dimenzij, po osvežitvi modela, pa se cone prilagodijo spremenjeni konstrukciji. Pomembno je da opravimo osvežitev con in v 3D pogledu modela (*Generic perspective*), potem pa zapremo in še enkrat odpremo okno Ecodesigner STAR. Obvladovanje tega orodja ni prav lahko, če ga nismo nikoli imeli možnost uporabljati. Iz lastnih izkušenj, priporočam, po vsaki spremembi modela, osvežiti model z *Update zones* ukazom, nato zapreti okno Ecodesigner-ja in ga še enkrat odpreti, potem lahko zaženemo analizo.

Pri vsakem ponovnem odpiranju datoteke moramo osvežiti cone v modelu (*Update zones*), ko osvežujemo cone modela moramo biti v 3D pogledu modela. V primeru, da ne osvežimo modela po odpiranju, dobimo napačne rezultate, saj iz lastnih opažanj menim, da program uporablja podatke iz prejšnje odprte datoteke, zato je potrebno model osvežiti vsakič po odprtju.



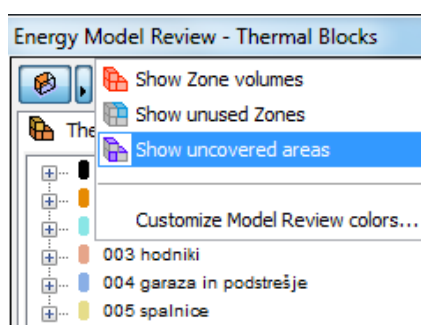
Slika 27: Prikaz ukaza za osvežitev con in modela v vtičniku Ecodesigner  
Figure 27: Showing to Update command in Ecodesigner

Naslednja slika 28 prikazuje, da cone na modelu niso posodobljene oziroma osvežene. V tem primeru osvežimo cone modela v celoti, z ukazom *Update zones* in zapremo ter še enkrat odpremo okno orodja Ecodesigner. V primeru, da se nam prikazuje še vedno sporočilo o nepopolni coni, moramo najti težavo in popraviti 3D model, saj to lahko na pravilnost rezultata. Za doseganje zanesljivih rezultatov mora biti analiza zagnana brez prikazovanja opozorila, ki je prikazan na sliki 28.



Slika 28: Spročilo o nepopolnih conah v modelu ob zagonu analize  
Figure 28: Report of incorretly modeled zones before running analysis

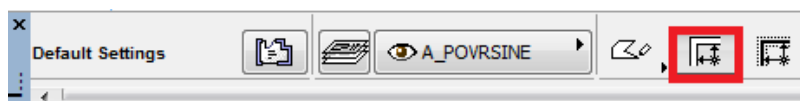
V programu lahko na obravnavanem modelu lahko vidimo posamezne termalne bloke in cone. Vidimo lahko tudi ploskve, ki niso vključene v BEM model zaradi nepravilno določenih con modela. Gre za mejne ploskve v modelu, ki so del arhitekturnega BIM modela, a so odsotne v energetskem modelu stavbe. To so ploskve oziroma površine sten, stropov in tal, ki verjetno niso vključene v BEM model, vidimo pa jih lahko s pomočjo ukaza *Show uncovered areas* (slika 29). Teh ploskev se izognemo s pravilnim določanjem con, ki segajo od roba do roba obravnavanih prostorov in delitvijo con po višji etažnih višin. V primeru, da te ploskve ne popravimo, je drugačen rezultat pri energetski analizi obravnavanega modela.



Slika 29: Ukazi za prikaz con in neupoštevanih ploskev v modelu  
Figure 29: Command for showing zones and uncovered areas in model

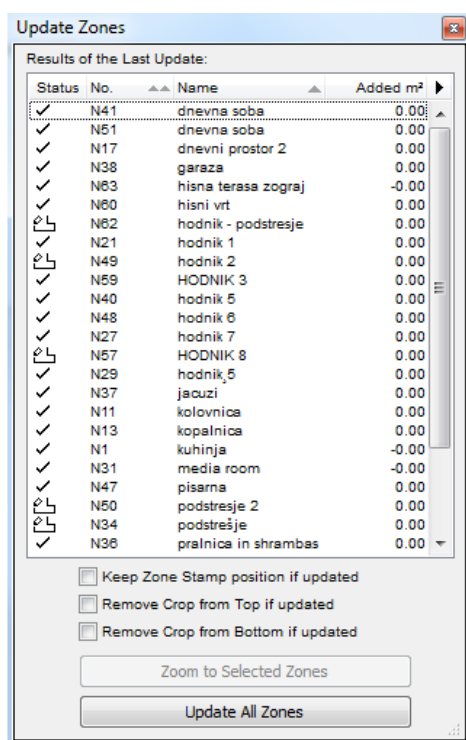
Določanje con z ukazom risanja poligonov, kjer v tlorisu sami rišemo cone v obliki poligona, ne priporočam, saj se nam lahko zlahka zgodi, da bomo odprti ali neustrezeni poligon. Ta namreč povzroči velike težave v BEM modelu. Posledično izkusimo težave pri delu, kot so vedno enak rezultat ne glede na spremembe v BEM modelu ali pa dobimo nesmiselne rezultate. Priporočam samodejno določanje

con z enojnim klikom na prostore v tlorisu modela, z ukazom *Construction method* (slika 30). Program tako ustvari cone izključno v prostorih, ki so modelirani kot popolnoma zaprti poligoni.



Slika 30: Ukaz "construction method" za določanje con na BIM modelu  
Figure 30: Command "construction method" for defining zones in BIM model

V primeru, da BIM model ni pravilno modeliran in ima odprte poligone oziroma prostore Ecodesigner ne more izvesti analize in pri tem ob zagonu javlja različne napake. Nepravilno zaprte poligone lahko vidimo pri osvežitvi modela, ko na oknu ne vidimo obkljukanih con (slika 31). Zatorej je najbolje ustvarjati cone z ukazom (slika 30), kjer program sam zazna, če je prostor v BIM modelu pravilno modeliran.



Slika 31: Spisek osveženih con, kjer nepravilno modelirane cone ustrezno označene  
Figure 31: Updated zones report of uncorrectly drawn zones

V primeru, da vedno prejemo sporočila o nepravilno modeliranih conah ali pa, če dobimo vedno enake rezultate ne glede na popravke in spreminjanje lastnosti modela, moramo vse cone in termalne bloke izbrisati ter jih ponovno določiti.

## 4 ANALIZA POSAMEZNIH UKREPOV ZMANJŠANJA RABE ENERGIJE

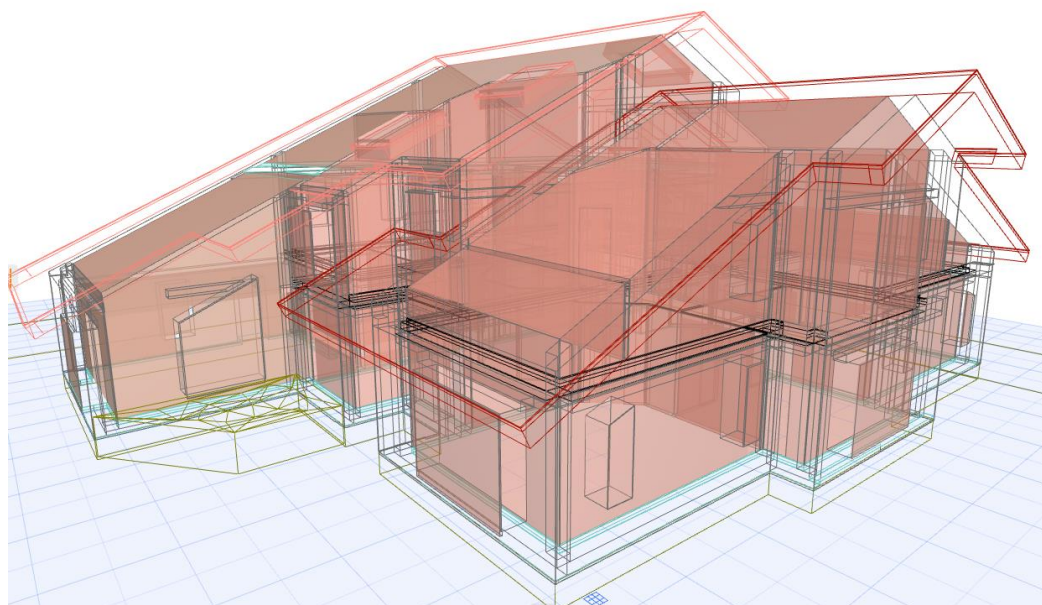
V tem poglavju sem prikazal energetska analizo obravnavane družinske stavbe v BIM modelirniku ArchiCAD 19 s pomočjo vtičnika Ecodesigner STAR. Ob tem sem po korakih prikazal vpliv posameznih ukrepov učinkovite rabe energije na obravnavani stavbi (različica Hiša 1). Grafi so narejeni v programu Excel na osnovi podatkov in rezultatov dobljenih v programu ArchiCAD in Ecodesigner STAR. Rezultate in podatke iz omenjenega programa lahko izvozimo v Excel datoteke. Namen tega poglavja je prikazati proces izvedbe energetske analize v BIM modelirniku. Energetska analiza je pomemben parameter trajnosti in je v magistrski nalogi ključnega pomena, saj potrebujem podatke o porabi energije in sproščenih emisijah CO<sub>2</sub>.

Večina primerjav pri posameznem ukrepu v tem poglavju, se nanaša na končni model nizkoenergijskega objekta, pri katerem z upoštevanjem toplotnih mostov povprečni  $U$ -faktor stavbnega ovoja znaša 0,36 W/m<sup>2</sup>K.

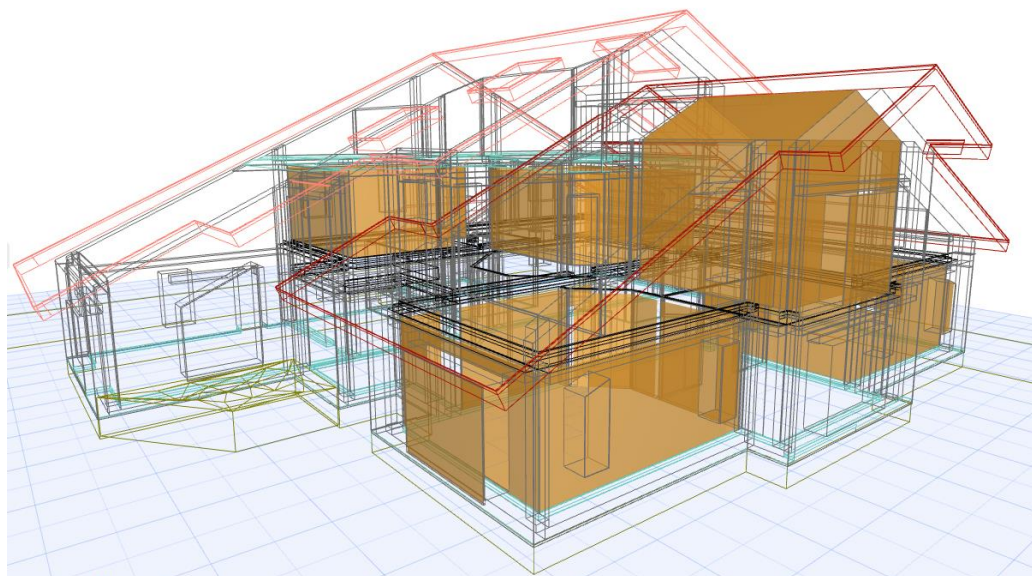
### 4.1 Razdelitev prostorov

Po izdelavi BIM modela, lahko z definiranjem vhodnih podatkov s pomočjo vtičnika Ecodesigner STAR, pretvorimo izdelani BIM model v BEM energijski model, na katerem lahko izvajamo simulacije energetskih analiz. Na sliki 32 je razviden BEM model obravnavane stavbe. V tlorisih stavbe moramo definirati cone oziroma prostore, te združimo v termalne bloke, za katere so značilni enaki pogoji kondicioniranja.

Na sliki 33 je prikazan primer termalnega bloka na modelu. Za vsak termalni blok določimo način ogrevanja, prezračevanja, hlajenja in režim kondicioniranja (slika 32). V programu imamo dostopen pregled na posamezne termalne bloke, cone, konstrukcijske elemente, odprtine ipd.



Slika 32: BEM model obravnavane stavbe v ArchiCAD-u  
Figure 32: BEM model of building in ArchiCAD



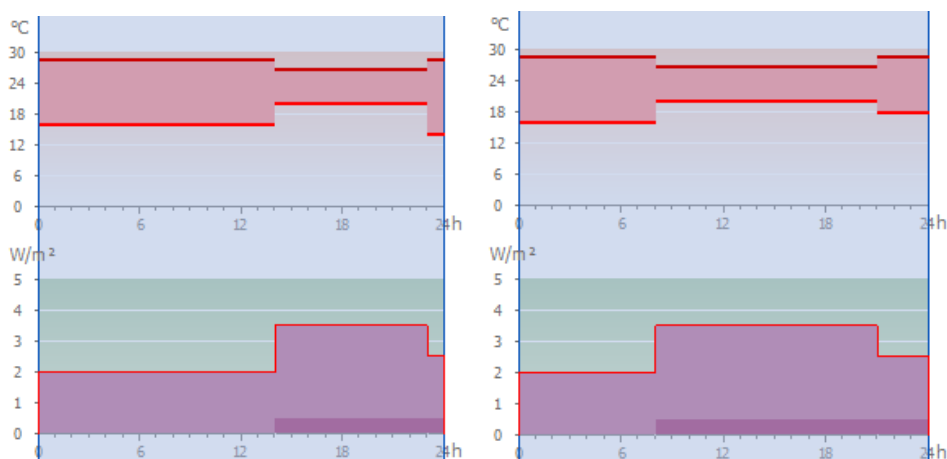
Slika 33: Bivalni prostori v BEM modelu obravnavane stavbe  
Figure 33: Residential places in BEM model of building

Stavba ima 20 različnih prostorov, ki sem jih razdelil na šest termalnih blokov (slika 34), ki imajo enake pogoje kondicioniranja. Pogoji kondicioniranja so primerno določeni glede na namembnost prostora in čas zasedenosti.

ID	Name	Operation Profile	Zones	Area [m <sup>2</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Uncovered Area [m <sup>2</sup> ]	Building Syst...
005	spalnice	spalnice	4	55,85	107,65	17,25	  
001	sanitarni prostori	Sanitarije	3	28,45	73,68	9,19	  
002	kuhinja	Kuhinja (nebivalna)	1	36,69	95,02	--	  
003	hodniki in manj ogrevani pr...	Druge sobe (nebivalne)	11	198,96	567,90	179,82	  
004	garaza in podstrešje	Garaže (pisarne in privat)	4	172,83	398,68	138,49	  
001	bivalni prostori	Stanovanjski prostor	5	125,19	354,94	0,09	  

Slika 34: Določeni termalni bloki modela  
Figure 34: Defined thermal blocks of model

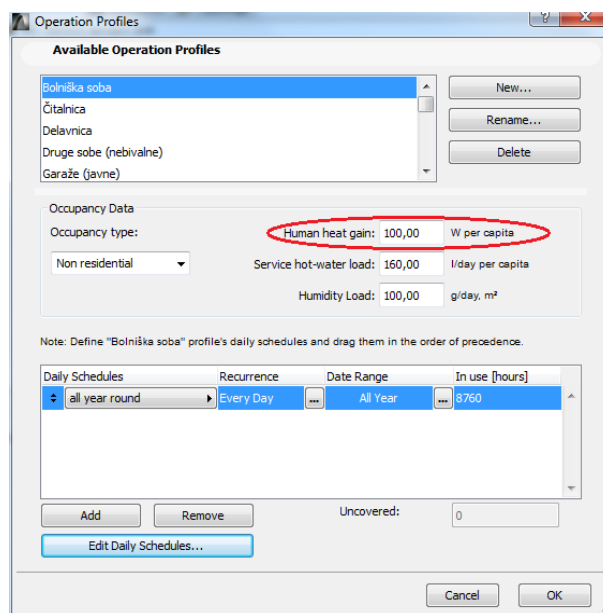
Na spodnji sliki 35, vidimo prikazan primer režima ogrevanja termalnega bloka. Določimo lahko čas ogrevanja, hlajenja in zasedenosti prostora. Določanje režima ogrevanja/prezračevanja je eden izmed ukrepov učinkovite rabe energije v stavbah.



Slika 35: Režim ogrevanja bivalne cone (levo med tednom, desno med vikendi)

Figure 35: Operation profile of residential spaces (on weekdays on the left, on weekends on the right)

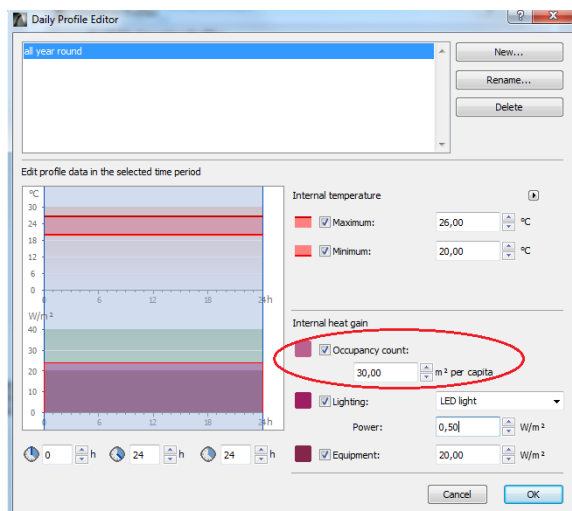
Pomemben dejavnik, ki vpliva na rezultate energetske analize v ArchiCAD-u je parameter zasedenosti stavbe (*Occupancy*). Ta predstavlja glavni notranji vir toplotnih dobitkov, določimo jo s številom oseb na površino prostora ( $m^2$  per capita). Torej vpisati je potrebno pripadajočo površino prostora (cone) na uporabnika ter obdobje prisotnosti oseb v prostoru (slika 37). Na sliki 36 vidimo okno v katerega vnesemo toploto, ki jo oddaja oseba, porabo vode in stopnjo vlažnosti v prostoru.



Slika 36: Določanje toplotnih dobitkov za posamezni termalni blok

Figure 36: Defining heat gains for specific thermal block

Na sliki 37 je razvidno, da za posamezni režim vzdrževanja notranjega okolja lahko določimo čas zasedenosti prostora, delovanje razsvetljave in gospodinjskih aparatov.



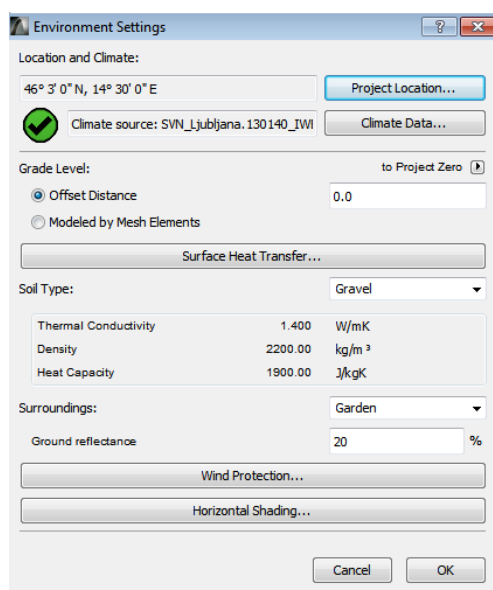
Slika 37: Določanje zasedenosti pri režimu ogrevanja  
*Figure 37: Defining the occupancy for an operation profile*

## 4.2 Vpliv orientacija in lokacija stavbe

### 4.2.1 Lokacija

Lokacija in orientacija objekta sta najpomembnejši odločitvi pri gradnji, ki vplivata tudi na udobje in kvaliteto bivanja, zato jo je treba premišljeno izbrati. Orientacija je pomembno vodilo pri načrtovanju trajnostne stavbe. Idealna lega parcele je prisojna lega, ki je čez cel dan osvetljena s soncem [65].

V programu Ecodesigner STAR imamo možnost dostopa do izbire podatkov o okolju, lokaciji in podnebju izbrane lokacije (slika 38). Vidimo lahko podatke o relativni vlažnosti, temperaturi, vetru in sončnem sevanju. Imamo tudi možnost spreminjanja orientacije objekta, zunanjih ovir in fizikalnih lastnosti okoljskih površin. Z uporabo slovenske predloge podjetja Pilon lahko izbiramo različne lokacije v Sloveniji.

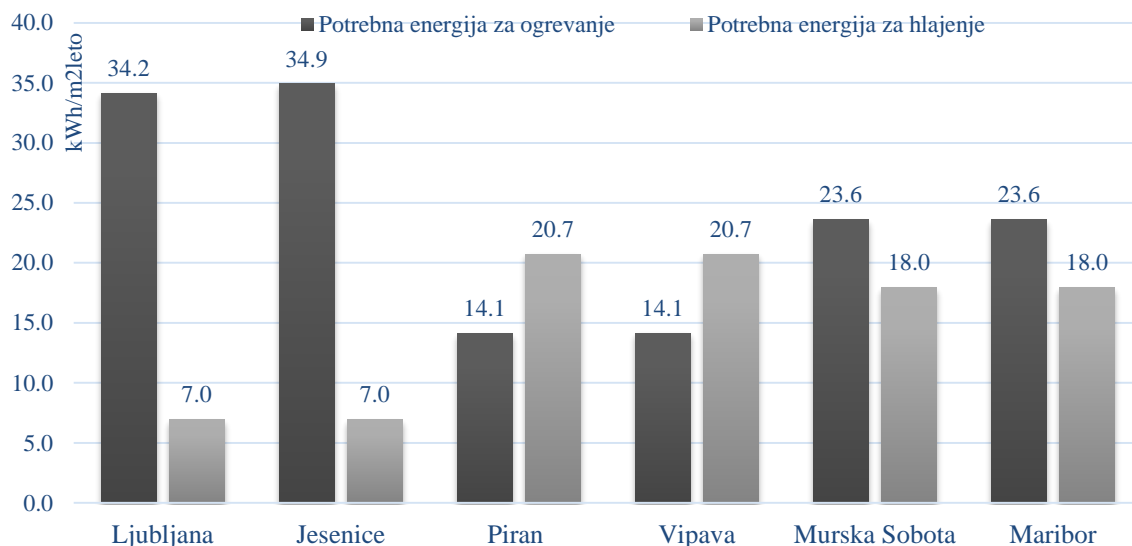


Slika 38: Nastavitve okolja v vtičniku Ecodesigner  
*Figure 38: Environmental settings in Ecodesigner*



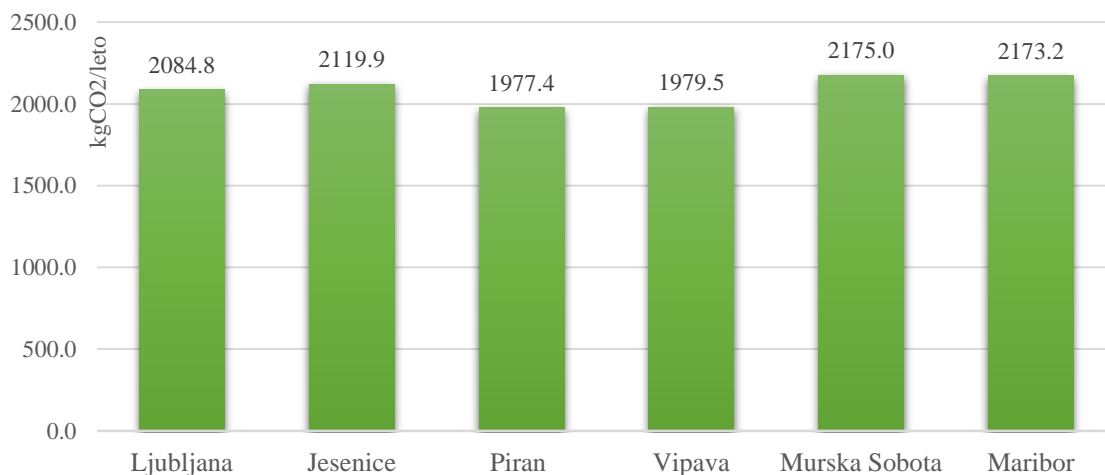
## Lokacija stavbe v Sloveniji

Na grafu 5 je prikazano spreminjanje potrebne energije za hlajenje in ogrevanje stavbe glede na izbiro lokacije v Sloveniji. V Ljubljani, izbranem kraju, je potrebna energija za ogrevanje precej višja kot v drugih krajih. Glede na druge kraje je v Ljubljani potrebno manj energije za hlajenje v poletnih mesecih.



Grafikon 5: Potrebna energija za ogrevanje in hlajenje glede na lokacijo stavbe v Sloveniji  
Graph 5: Heating and cooling energy of the building depending on the location in Slovenia

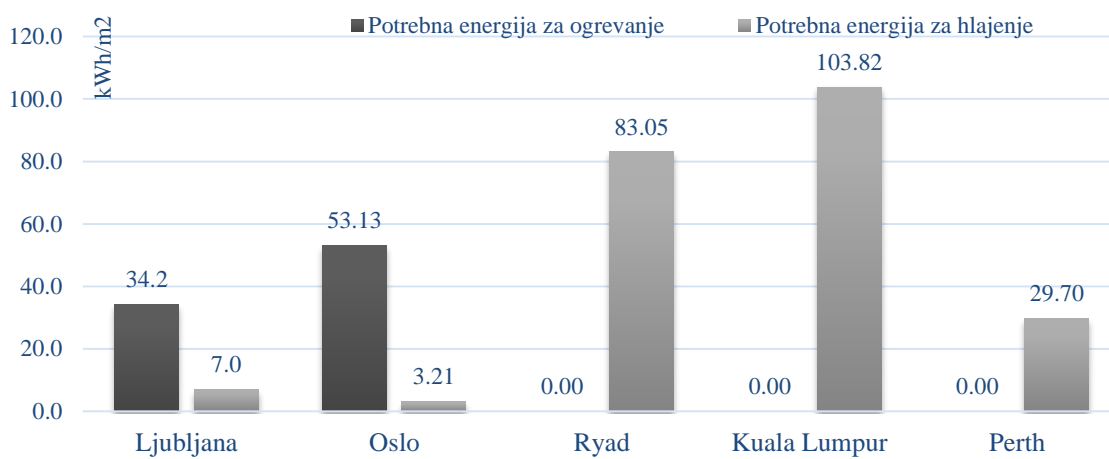
Graf 6 prikazuje skupne letne obratovalne emisije v primeru nizkoenergijske Hiše 1.



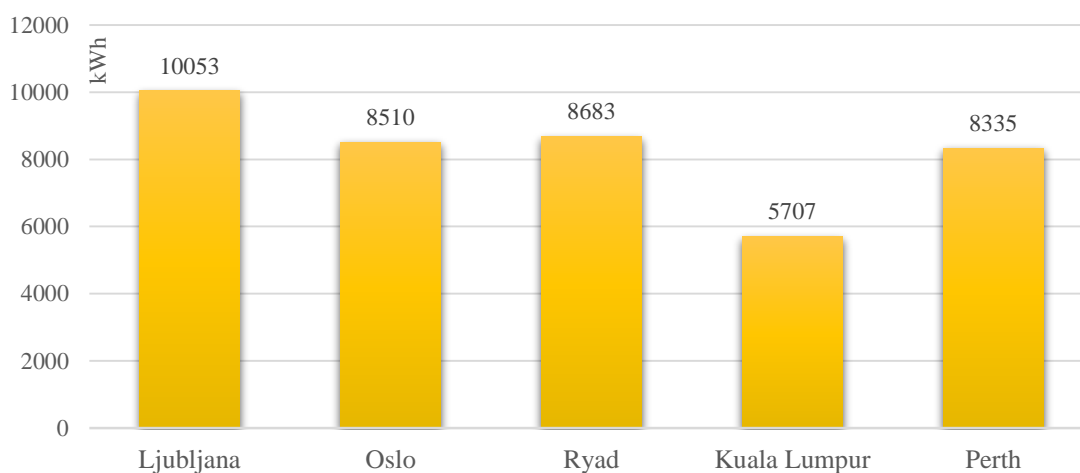
Grafikon 6: Letne emisije CO<sub>2</sub> stavbe glede na lokacijo v Sloveniji  
Graph 6: Annual carbon emissions of the building depending on the location in Slovenia

## Lokacija stavbe v drugih krajih sveta

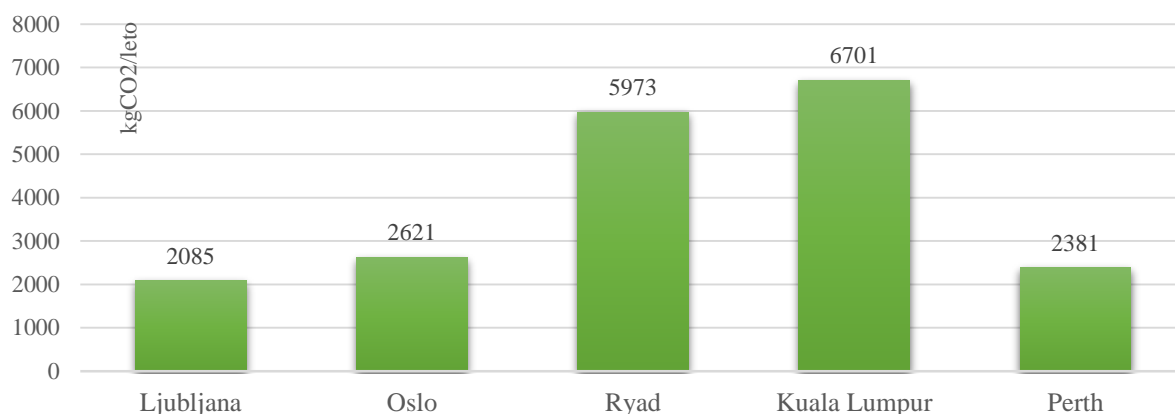
Ta primerjava je zgolj za občutek in lahko vidimo, da postavitve stavbe glede na makrolokacijo izjemno vpliva na zasnovo in konstrukcijo stavbe ter na rabo energije. V vročih in tropskih krajih potrebe po ogrevanju objekta ni, je pa potrebno več energije za hlajenje, posledično moramo glede na lokacijo stavbe uporabiti drugačne ukrepe pri zasnovi arhitekture in primerno izbrati konstrukcijo stavbe. Rezultati iz spodnjih grafov 7, 8 in 9 so pridobljeni s pomočjo BIM modelirnika in so precej realni. Iz grafov je razvidno, da potrebujemo precej veliko energije za hlajenje stavbe v krajih, kot sta Kuala Lumpur in Ryad. Razlog je v tem, da je analizirana stavba zasnovana za naš kraj in ima temu primerno toplotno kapaciteto konstrukcije, toplotno izolativnost, stavbno pohištvo itd.



Grafikon 7: Potrebna energija za ogrevanje in hlajenje glede na lokacijo stavbe v svetu  
Graph 7: Heating and cooling energy of the building depending on location in the world



Grafikon 8: Solarni dobitki glede na lokacijo stavbe v svetu  
Graph 8: Solar gain depending on location in the world

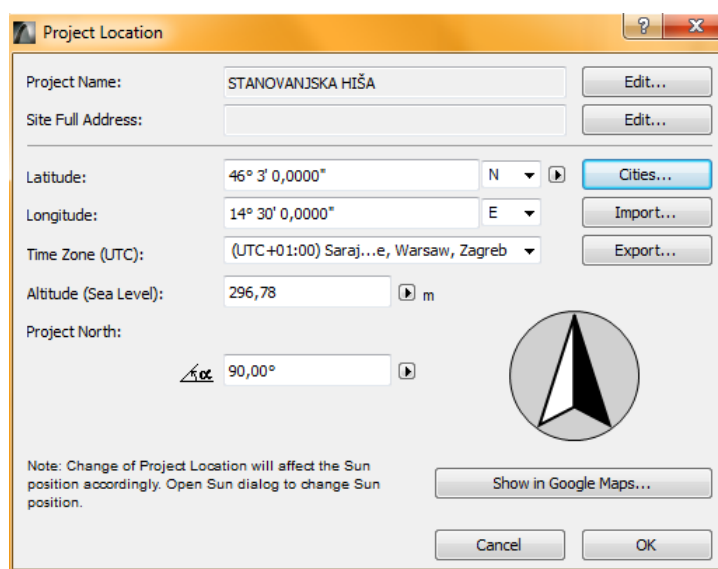


Grafikon 9: Letne emisije CO<sub>2</sub> stavbe glede na lokacijo stavbe v svetu  
Graph 9: Annual carbon emissions depending on location in the world

#### 4.2.2 Orientacija stavbe

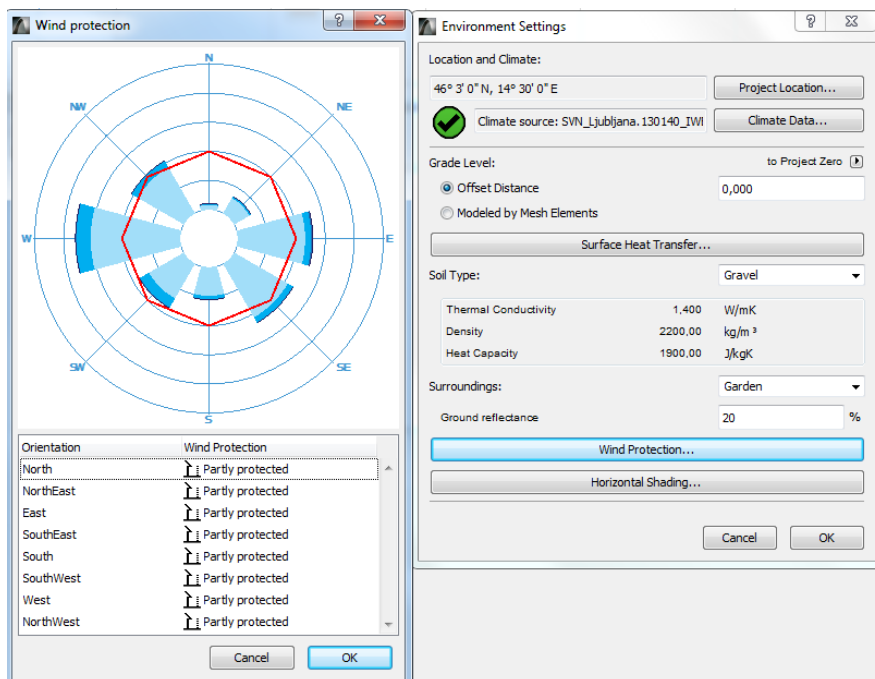
Orientacija stavbe vpliva na delež zasteklitve in pozicijo oken na stavbi. Trajnostna stavba mora biti oblikovana tako, da omogoča čim večjo uporabo dnevne svetlobe, do čim večje globine prostorov na čim bolj ekonomičen in enostaven način, pri tem pa mora varčevati z energijo za osvetljevanje, gretje in hlajenje [61]. Orientacija stavbe vpliva na prejete solarne dobitke, ki vplivajo na skupno energijsko bilanco. Izbrati je primerno orientacijo, ki pozimi omogoča večji pritok solarnih dobitkov ter manj solarnih dobitkov poleti, na tak način zmanjšamo porabo energije in izboljšamo bivalno udobje.

V obravnavanem računalniškem programu lahko določimo poljubno orientacijo in lokacijo objekta, kar je prikazano na sliki 39.



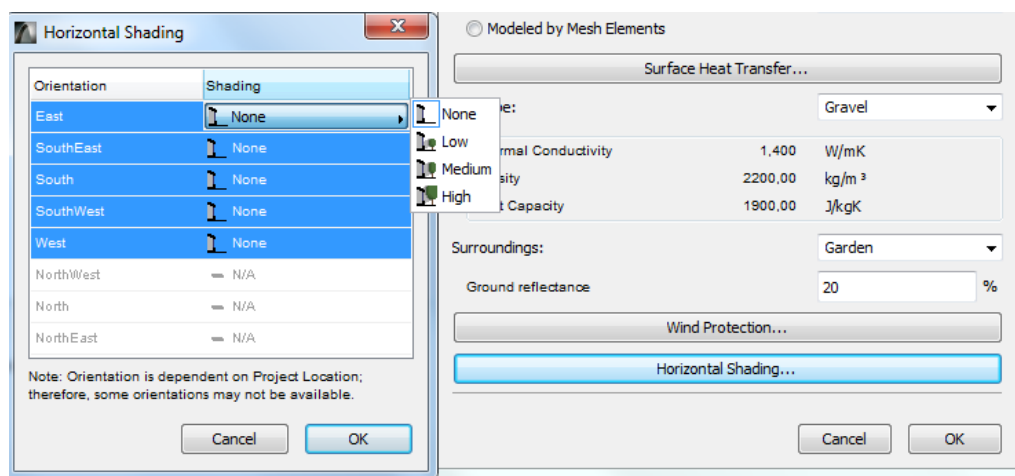
Slika 39: Nastavitve geografskih lastnosti modela v vtičniku Ecodesigner  
Figure 39: Location settings of the model in Ecodesigner

V nastavitvah okolja lahko določimo izpostavljenost stavbe vetru, kar je razvidno iz slike 40. Sicer pa ta parameter zanemarljivo vpliva na rabo energije. V manjšem deležu vpliva le na prezračevalne izgube obravnavane stavbe.



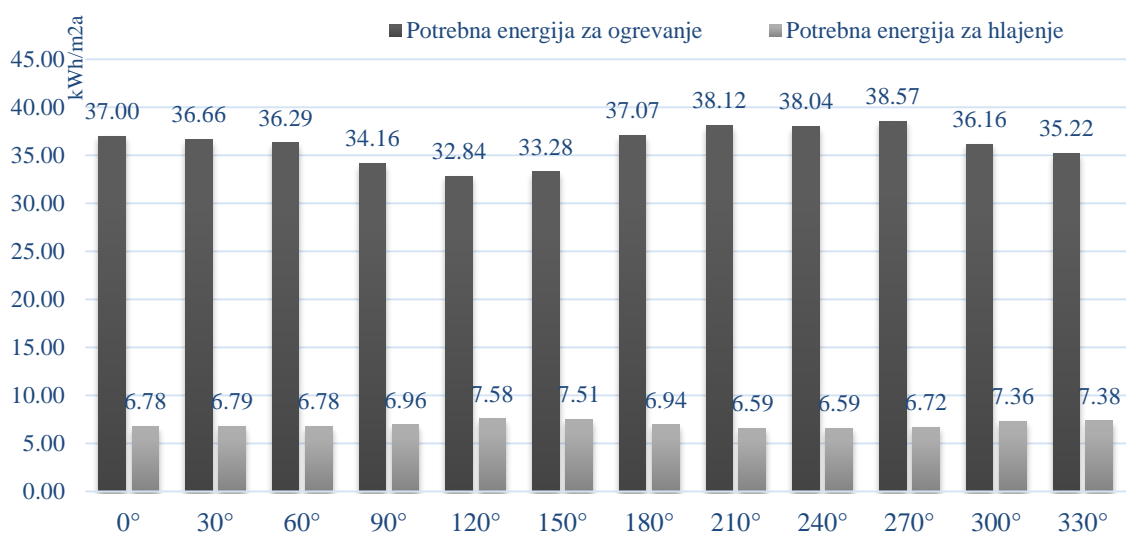
Slika 40: Nastavitve vetrne zaščite modela v vtičniku Ecodesigner  
Figure 40: Wind protection settings of the model in Ecodesigner

V nastavitvah okolja lahko tudi nastavimo senčenje stavbe z zunanjimi ovirami, kot so drevesa. Program naj bi upošteval odpadanje listja v zimski sezoni. Z nastavitvami naravnih ovir v okolici stavbe lahko vplivamo predvsem na prejete solarne dobitke stavbe. Modelirnik ArchiCAD pri analizi osenčenosti ne upošteva ročno modeliranih ovir v okolici modela, torej na senčenje objekta lahko zaenkrat vplivamo zgolj z nastavitvami na okencu, ki je razvidno na spodnji sliki 41.



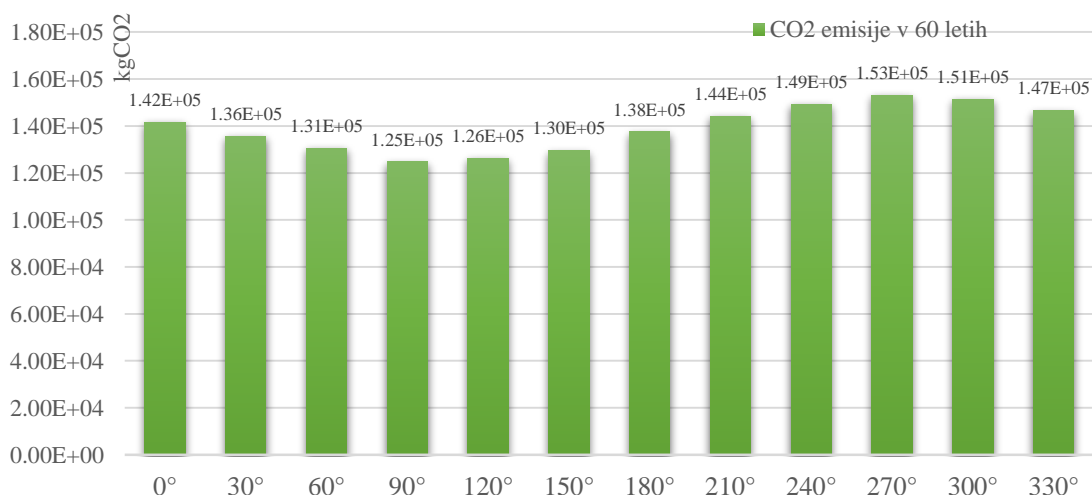
Slika 41 Nastavitve senčenja v vtičniku Ecodesigner  
Figure 41: Horizontal shading of the model in Ecodesigner

Spodnji grafikon 10 prikazuje potrebno energije za ogrevanje in hlajenje v odvisnosti od orientacije stavbe na izbrani lokaciji (Ljubljana). Pri izbrani orientaciji (90°) je stavba obrnjena z garažo proti jugu. Iz spodnjega grafa vidimo, da imamo z izbrano orientacijo stavbe skoraj najmanjšo porabo energije za ogrevanje.

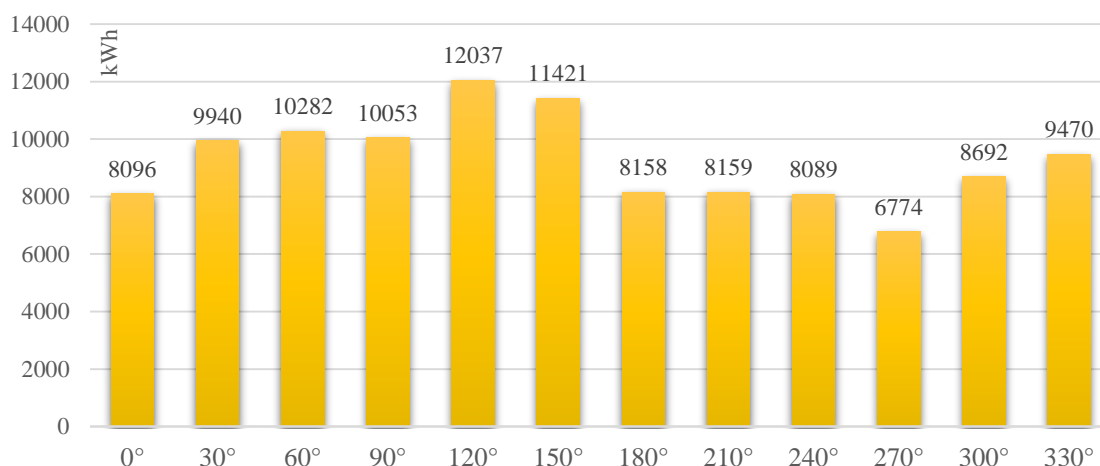


Grafikon 10: Potrebna energija za ogrevanje in hlajenje glede na orientacijo objekta  
Graph 10: Needed heating and cooling energy depending on orientation of the model

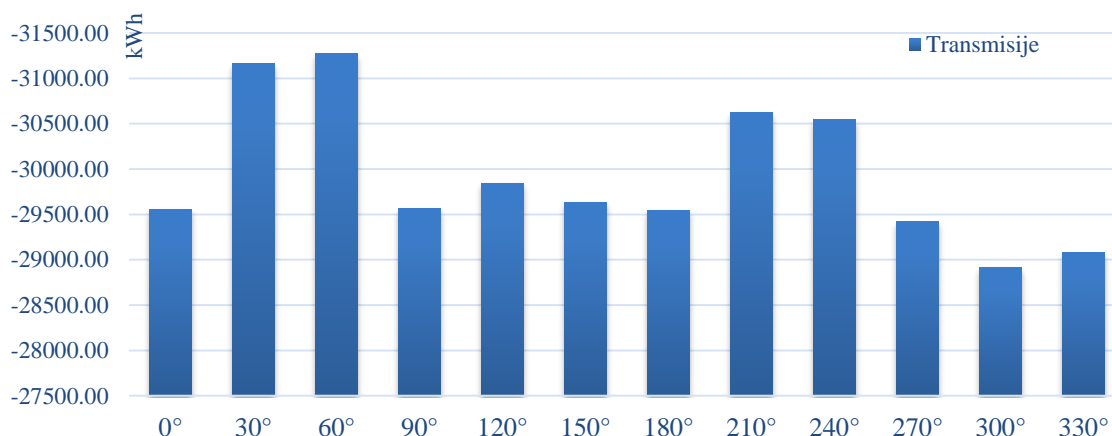
Na naslednjem grafu 11 vidimo sproščene emisije kgCO<sub>2</sub> v 60 letih obratovanja Hiše 1, ki spada v razred nizkoenergijskih objektov. Razvidno je, da z izbiro orientacije lahko vplivamo na porabo energije in posledično na ogljični odtis stavbe. Izbrana orientacija stavbe (90° od severa) doprinese k najmanjši porabi energije in izpustu emisij. Izpust emisij TGP je pri izbrani orientaciji stavbe manjši za celo 18 % od najbolj neugodne orientacije.



Grafikon 11: Sproščene emisije CO<sub>2</sub> v 60 letih objekta glede na orientacijo  
Graph 11: Released carbon emissions in 60 years depending on orientation



Grafikon 12: Prejeti solarni dobitki glede na orientacijo objekta  
Graph 12: Received solar gains of the building depending on orientation

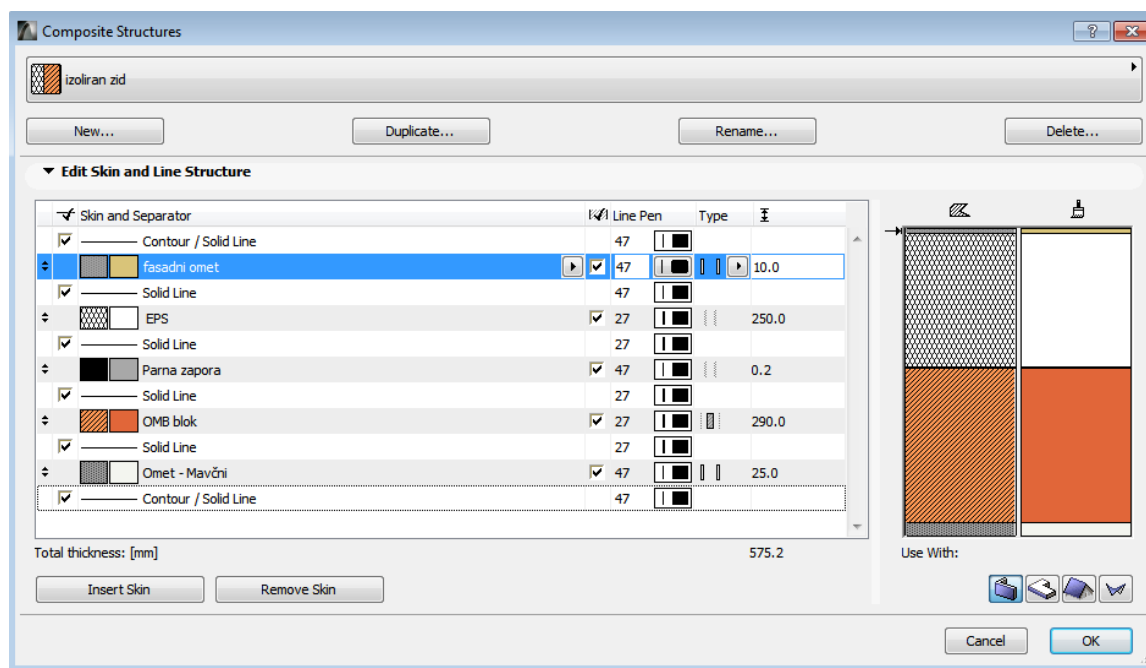


Grafikon 13: Transmisije izgube objekta glede na orientacijo  
Graph 13: Transmissions of the building depending on orientation

### 4.3 Netransparentni del ovoja stavbe

Primarna naloga zunanjega ovoja stavbe je ločiti notranje in zunanje okolje. Celotni fasadni ovoj predstavlja največji del stavbe in najpomembnejši parameter, ki vpliva na rabo energije v stavbi in s tem na samo okolje. Tudi z vidika uporabljenega materiala za fasadni ovoj, lahko pozitivno vplivamo na okolje tako, da izbiramo trajnostne in reciklirane materiale [60]. Zunanji ovoj stavbe ima tudi največji potencial za zmanjšanje vgrajene energije in vgrajenega CO<sub>2</sub> stavbe, z izbiro ustreznih trajnostnih materialov.

V BIM modelirniku ArchiCAD imamo enostaven dostop do definiranja materialov in konstrukcijskih sklopov, kot je prikazano na naslednji sliki 42.



Slika 42: Določanje konstrukcijskih sklopov modela v vtičniku Ecodesigner  
Figure 42: Defining of structural assemblies of the model in Ecodesigner

Po spremembi lastnosti materialov ali konstrukcijskih sklopov, se samodejno osvežijo tudi  $U$ -faktorji, zrakotesnost in druge lastnosti konstrukcijskih sklopov. Na spodnji sliki 43 vidimo prikaz okna v vtičniku Ecodesigner STAR. Definiramo lahko tudi absorptivnost zunanje površine fasade, ki tudi vpliva na rezultate energetske analize. Z večanjem solarne absorptivnosti, ki je značilna za temne površine, bomo potrebovali več energije za hlajenje v poletnih mesecih.

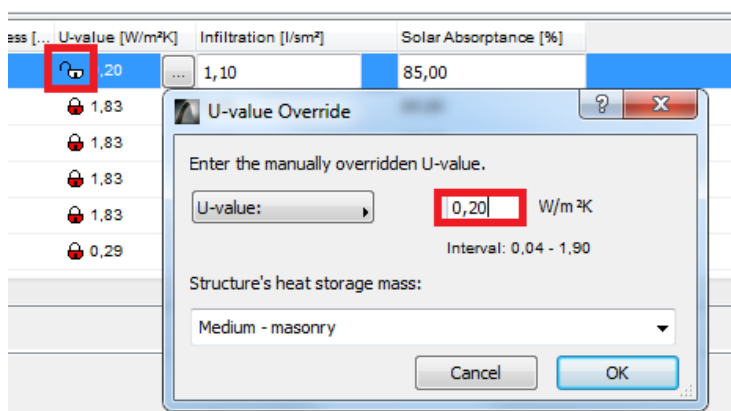
Na spodnji sliki so z rdečo obrobo označeni parametri, ki jih lahko ročno nastavimo.

Type	Orientation	C...	Thermal Block	Name	Area [m <sup>2</sup> ]	Thickness [mm]	U-value [W/m <sup>2</sup> K]	Infiltration [l/sm <sup>2</sup> ]	Solar Absorbance [%]
Roof	Upward	001	Osnovni termaln...	neizolirana streha	80,11	0,252	0,20	1,10	85,00
Wall	North	001	Osnovni termaln...	NZ-OMB 1.5/20/1.5 omet	60,35	0,230	1,83	1,10	85,00
Wall	East	001	Osnovni termaln...	NZ-OMB 1.5/20/1.5 omet	50,37	0,230	1,83	1,10	85,00
Wall	South	001	Osnovni termaln...	NZ-OMB 1.5/20/1.5 omet	36,35	0,230	1,83	1,10	85,00
Wall	West	001	Osnovni termaln...	NZ-OMB 1.5/20/1.5 omet	44,29	0,230	1,83	1,10	85,00
Slab	Slab on grade	001	Osnovni termaln...	TP-AB 1/6/10/1/10/30 keramika	48,00	0,580	0,29	----	----
Slab	Slab on grade	001	Osnovni termaln...	TP-AB 1/6/10/1/10/30 keramika	32,00	0,580	0,29	----	----
Slab	Inner (001 Osn...	001	Osnovni termaln...	SP-AB 1/1/5/8/20/1.5 keramika	80,00	0,360	0,45	----	----

Slika 43: Prikaz KS-jev modela v vtičniku Ecodesigner  
Figure 43: Structural assemblies prikazom of the model in Ecodesigner

Ob kliku na simbol ključavnice na meniju (slika 44), se nam odpre okno, kjer lahko samodejno nastavimo  $U$ -faktor konstrukcijskega sklopa ne glede na sestavo. Določimo lahko tudi toplotno kapaciteto oziroma maso nosilne konstrukcije. Namreč nosilna konstrukcija je pomemben parameter,

saj vpliva na akumulacijo toplote v stavbi. Za stavbe v hladnem in zmernem podnebju je priporočljiva visoka masa oz. težka nosilna konstrukcija, saj podnevi sprejema toploto in jo ponoči oddaja.

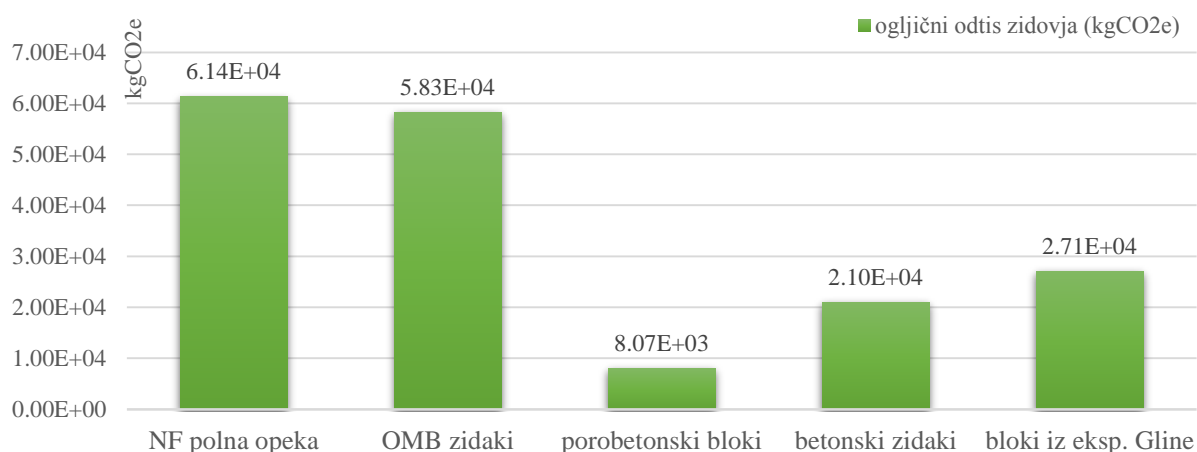


Slika 44: Okence za ročno nastavljanje U-faktorja posameznega KS

Figure 44: Window for manual U-factor defining of specific assembly

#### 4.3.1 Izbira materiala NK

V tem podpoglavju so prikazane primerjave, ki se nanašajo na vertikalno nosilno konstrukcijo stavbe (notranji in zunanji zidovi) Hiše 1. Primerjave so izvedene za stene enakih debelin in brez toplotne izolacije. Spodnji graf 14 prikazuje skupni ogljični odtis (EC) celotne vertikalne NK stavbe glede na izbiro materiala. Zavedati se moramo, da bi pri izbiri nekaterih materialov, pri projektiranju določili druge debeline sten, saj imajo različni tipi zidakov drugačno tlačno trdnost (nosilnost), posledično bi to vplivalo na ogljični odtis konstrukcije. Najnižji ogljični odtis zidane stavbe dosežemo z izbiro porobetonskih zidakov. Tudi zidovje iz betonskih blokov ima precej nižji ogljični odtis kot opečno zidovje.



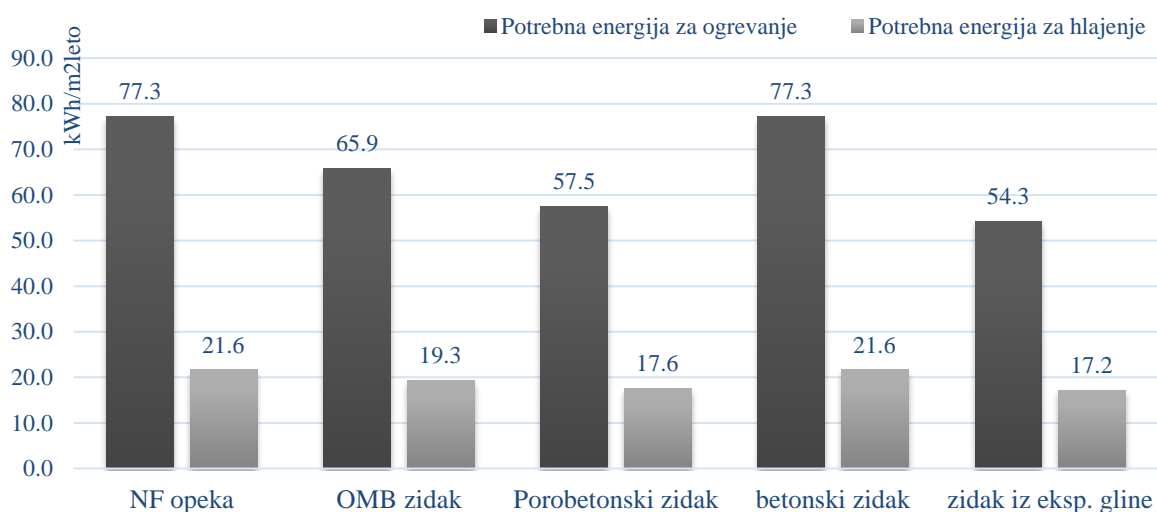
Grafikon 14: Ogljični odtis vertikalne nosilne konstrukcije – Hiša 1

Graph 14: Carbon footprint of vertical bearing structure – House 1

Material NK lahko precej prispeva k energijski učinkovitosti stavbe, v primeru, ko ta ni toplotno izolirana. Naslednji grafikon 15 prikazuje porabo energije za ogrevanje in hlajenje energijsko potratne Hiše 1, v primeru uporabe različnih različnih zidakov za NK. Model hiše, ki je v tej primerjavi ima

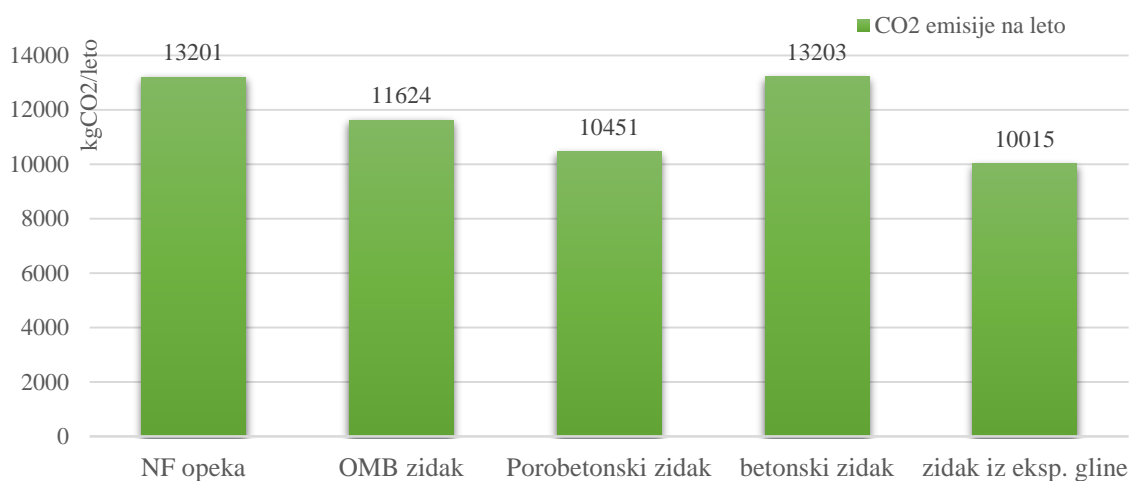


toplotno izolirano samo streho in temeljenje. Najbolj ugodno z energetskega vidika se obnese blok iz ekspandirane gline in porobetonski blok, predvsem zaradi nizke toplotne prehodnosti materiala.



Grafikon 15: Potrebna energija za ogrevanje in hlajenje pri izbiri različnih materialov NK – Hiša 1  
Graph 15: Needed energy usage by different building materials of bearing structure – House 1

Porobetonski zidaki in zidaki iz ekspandirane gline imajo precej nižji faktor toplotne prevodnosti ( $\lambda$ ), kot ga imajo drugi prikazani primeri. Zaradi boljše učinkovitosti objekta so temu primerno nižji izpusti letnih emisij CO<sub>2</sub> (grafikon 16). Vrednosti veljajo za model brez izoliranega fasadnega ovoja in drugih ukrepov URE.

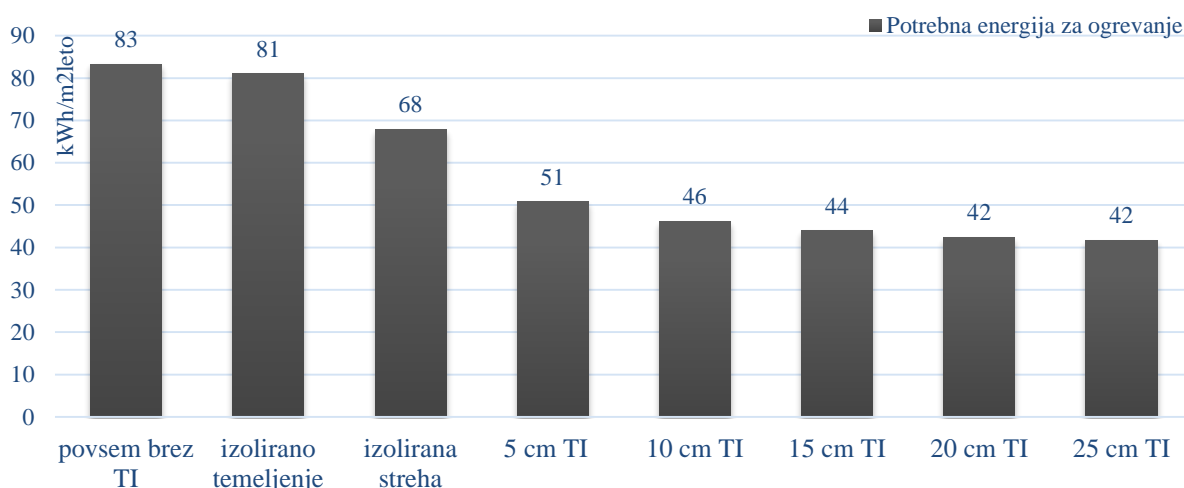


Grafikon 16: Letne ogljične emisije stavbe glede na različni material NK – Hiša 1  
Graph 16: Annual carbon emissions by different bearing structure material – House 1

### 4.3.2 Toplotna izolacija stavbe

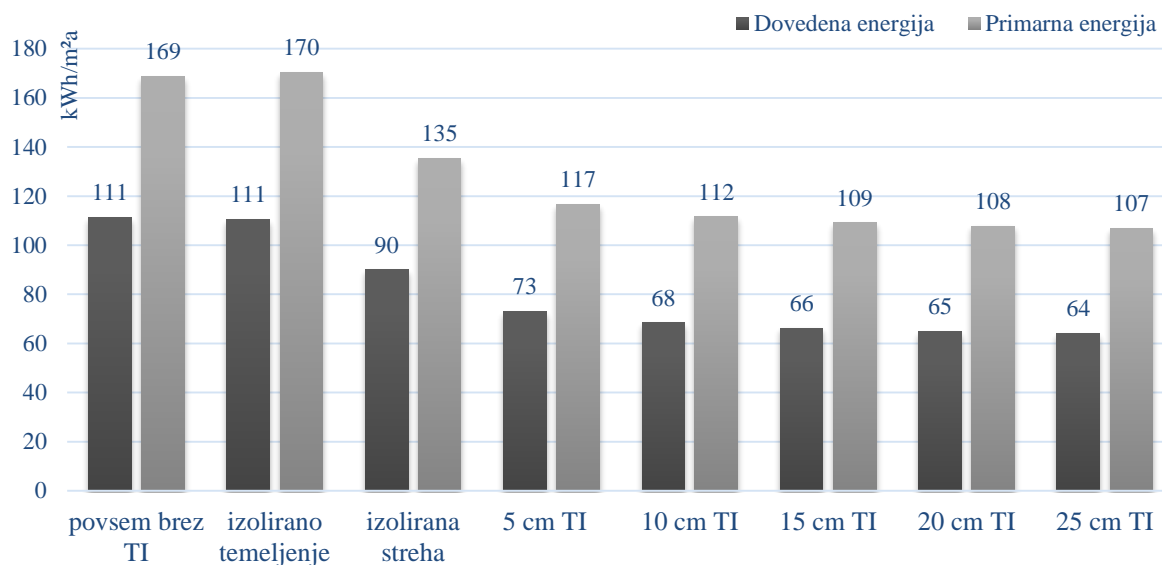
Namen TI je zmanjšanje potrebe po toploti za kondicioniranje prostorov v zgradbi, istočasno pa zagotavljanje visokega toplotnega ugodja in preprečevanje nastajanja poškodb stavbe [62]. Izoliran fasadni ovoj stavbe igra pomembno vlogo pri bistvenem zmanjšanju transmisivnih izgub toplote in s tem zmanjšanjem rabe energije. Preden vgrajujemo v stavbo varčne sisteme za ogrevanje, hlajenje in prezračevanje, je potrebno zagotoviti primeren fasadni ovoj, ki ima ustrezen faktor toplotne prehodnosti. Pred investiranjem v fasadni ovoj in stavbno pohištvo, je smiselno toplotno izolirati ostrežje stavbe. Prav tako je potrebna debelejša plast TI pod izvedbo temeljne plošče. Z zagotavljanjem primerne  $U$ -faktorja konstrukcijskih sklopov po PURES-u, lahko precej zmanjšamo rabo energije, posledično tudi stroške in vpliv na okolje. S toplotnim izoliranjem stavbe lahko zmanjšamo vpliv stavbe na okolje in globalno segrevanje.

Na grafu 17 vidimo, da z debelino TI do 10 cm prispevamo največ k zmanjšanju rabe energije za ogrevanje. Pri velikih debelinah toplotne izolacije je vedno manjši prispevek k zmanjšanju toplotne prehodnosti fasadne stene, saj ni linearne odvisnosti med toplotno prehodnostjo gradbene konstrukcije in debelino toplotne izolacije. Kar pomeni, da podvojena debelina toplotne izolacije ne zmanjša toplotno prehodnost gradbene konstrukcije za polovico.



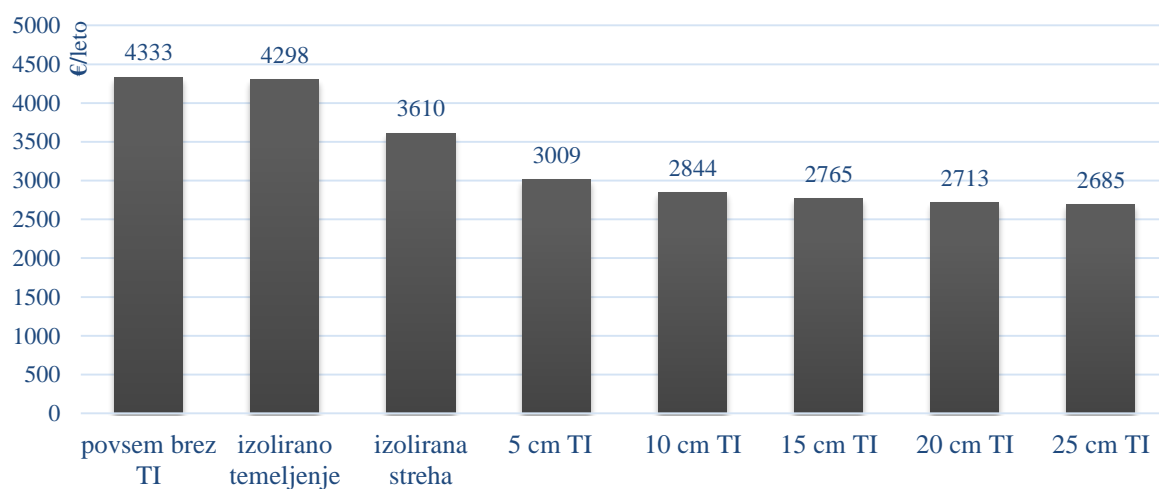
Grafikon 17: Potrebna energija za ogrevanje pri izoliranju Hiše 1  
Graph 17: Heating energy by insulating House 1

Na grafikonu 18 je razvidno zmanjšanje letne primarne in dovedene energije pri toplotnem izoliranju Hiše 1.



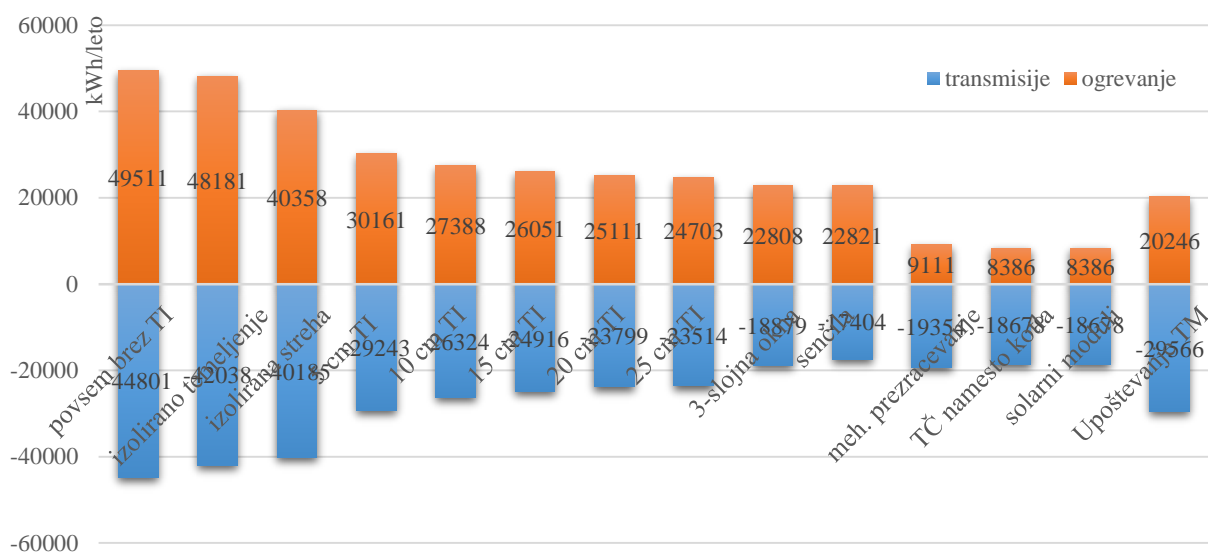
Grafikon 18: Primarna in dovedena energija pri izoliranju Hiše 1  
Graph 18: Primary energy and consumed energy by insulating House 1

Na grafikonu 19 je prikazano zmanjšanje letnih stroškov obratovanja stavbe. Vrednosti so pridobljene na osnovi vnešenih cen energentov v orodju Ecodesigner. Sodeč po grafu 19 lahko s toplotnim izoliranjem objekta privarčujemo 38 % finančnih sredstev.



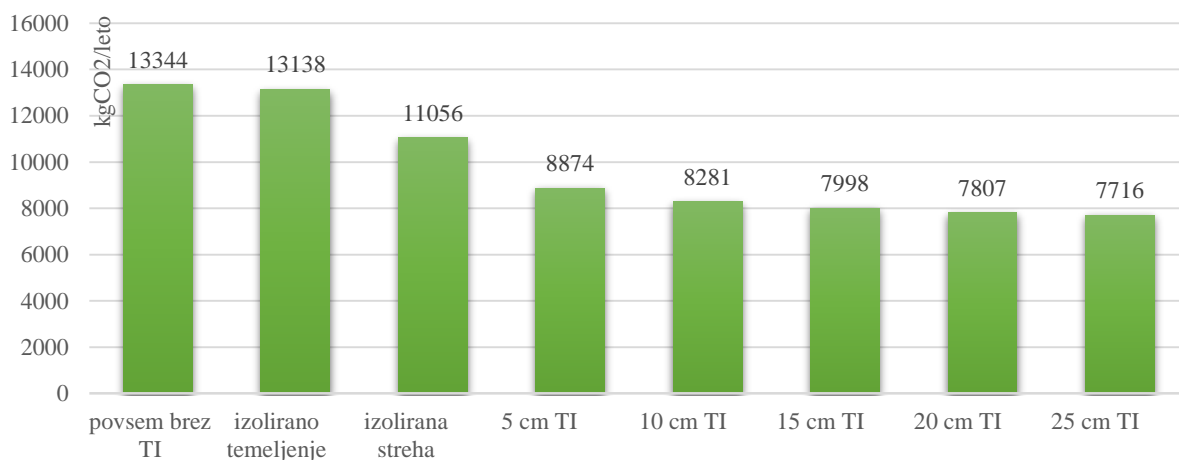
Grafikon 19: Letni stroški pri izoliranju Hiše 1  
Graph 19: Annual cost of operating by insulating House 1

Grafikon 20 prikazuje transmissijske izgube in potrebo po ogrevanju. Tudi tovrstne podatke dobimo iz Excel-ovih izpisov, ki jih lahko preuredimo v obliko grafikonov.



Grafikon 20: Letne transmisije izgube in ogrevanje stavbe po ukrepih URE  
Graph 20: Annual transmissions and heating of the building by energy efficiency measures

Na naslednjem grafu 21 vidimo, da na obravnavani stavbi z izoliranjem strehe, temeljne plošče in zunanjih sten, zmanjšamo letne emisije CO<sub>2</sub> za 42 %.



Grafikon 21: Letni ogljični odtis po izoliranju stavbe – Hiša 1  
Graph 21: Annual operational carbon after thermal insulation – House 1

Da bi čimbolj zmanjšali emisije CO<sub>2</sub>, države podpirajo toplotno izolacijo objektov, s čemer želijo doseči energijsko pasivnost objektov. Ker pa se ogromno energije porabi (sprosti CO<sub>2</sub>) pri proizvodnji izolacijskih materialov (gradiv), je potrebno pri sanaciji uporabiti takšne materiale, ki imajo najnižji ogljični odtis [7].

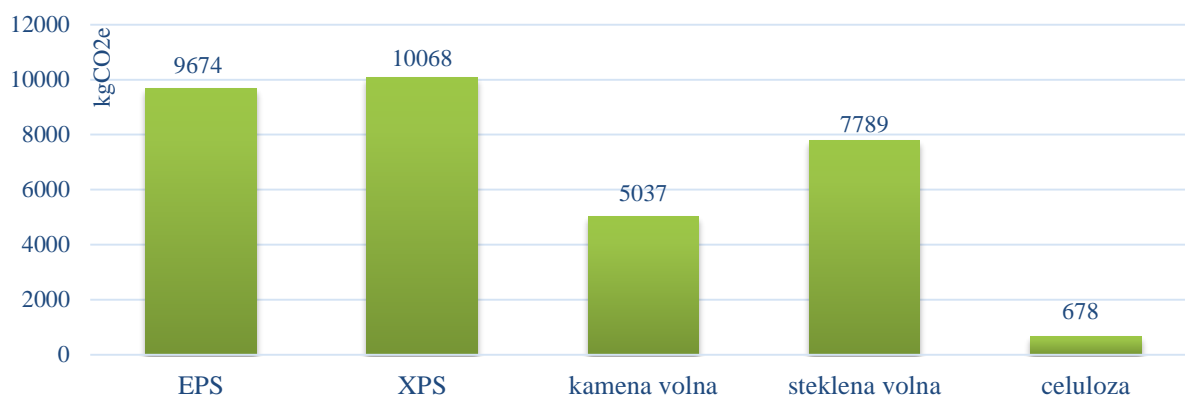
Za namene izoliranja stavbe zunanjega ovoja stavbe, se uporabljajo različni toplotnoizolacijski materiali, ki se razlikujejo po kemijski sestavi (organski, anorganski), po izvoru (pridobljeni iz novih surovin, z delnim ali popolnim recikliranjem), po različni specifični teži, po različni toplotni prevodnosti ( $\lambda$ ), po odpornosti proti fizikalnim kemijskim vplivom [74].

Na spodnjem grafu 22 je razvidna primerjava ogljičnega odtisa različne toplotne izolacije na zunanjih stenah hiše, ki bi morala biti uporabljena za doseganje enakega  $U$ -faktorja zunanje stene. Analiza je izvedena na opečni različici stavbe (Hiša 1). Podatki o materialih so uporabljeni iz knjižnice materialov v programu ArchiCAD, z izjemo celuloznih vlaken Zimicell, ki so slovenskega porekla.

Iz grafa 22 je razvidno, da je celulozna izolacija z vidika ogljičnega odtisa in vgrajene energije najboljša izbira. Ekstrudirani polistiren (XPS) je pričakovano material z najvišjim ogljičnim odtisom, kar predstavlja najmanj okolju prijazno toplotno izolacijo med obravnavanimi primeri. V Sloveniji bi bile vrednosti vgrajenih emisij za nekatere materiale (EPS in XPS) še višje. Umetni oziroma plastični materiali so očitno manj okolju sprejemljivi. Vendar imajo umetni materiali za razliko od naravnih izolativnih materialov kar nekaj prednosti. Umetni materiali so bolj obstojni, kompaktni, vgradljivi, čvrsti in imajo kljub nizki gostoti manjšo toplotno prehodnost [74].

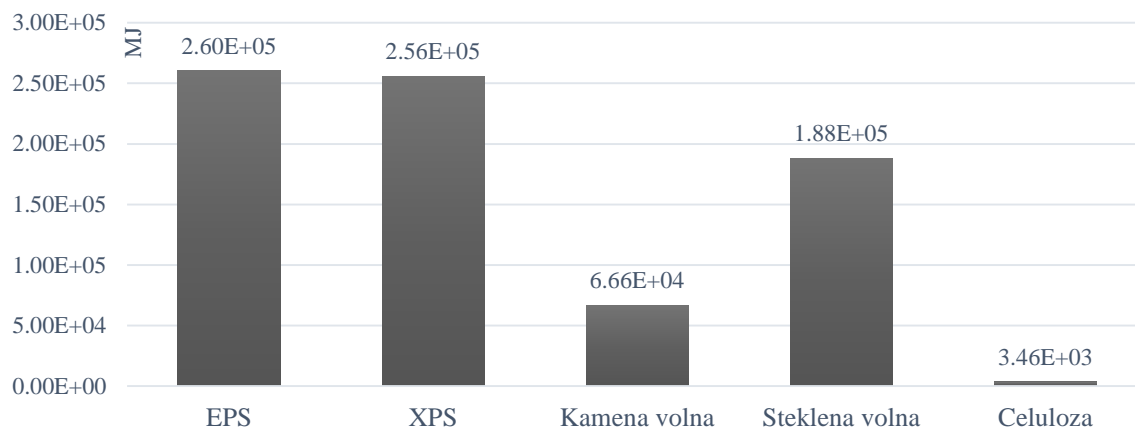
Preglednica 30: Primerjava toplotne izolacije na modelu  
Table 30: Thermal insulation comparison on the model

Material	d(cm)	V(m <sup>3</sup> )	U stene	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\Lambda$ [W/(mK)]	kgCO <sub>2e</sub>
EPS	25	117,6	0,12	25	0,036	9674
XPS	23	105,1	0,12	28	0,032	10068
Kamena volna	25,5	116,4	0,12	40	0,037	5037
Steklena volna	23,5	107,4	0,12	50	0,033	7789
Celuloza	27	123,5	0,12	28	0,039	678



Grafikon 22: Primerjava ogljičnega odtisa toplotne izolacije na Hiši 1 (podatki iz ArchiCAD-a)  
Graph 22: Comparison of the building's insulation carbon footprint (data from ArchiCAD)

Graf 23 prikazuje primerjavo vgrajene energije za skupno TI na objektu. Kamena volna ima 4-krat nižjo vgrajeno energijo od EPS in XPS izolacije. Slednja imata skoraj enako vrednost vgrajene energije, ki je precej visoka. EPS in XPS sta torej ekološko manj sprejemljiva, a imata tudi svoje prednosti v primerjavi z drugimi izolacijami.



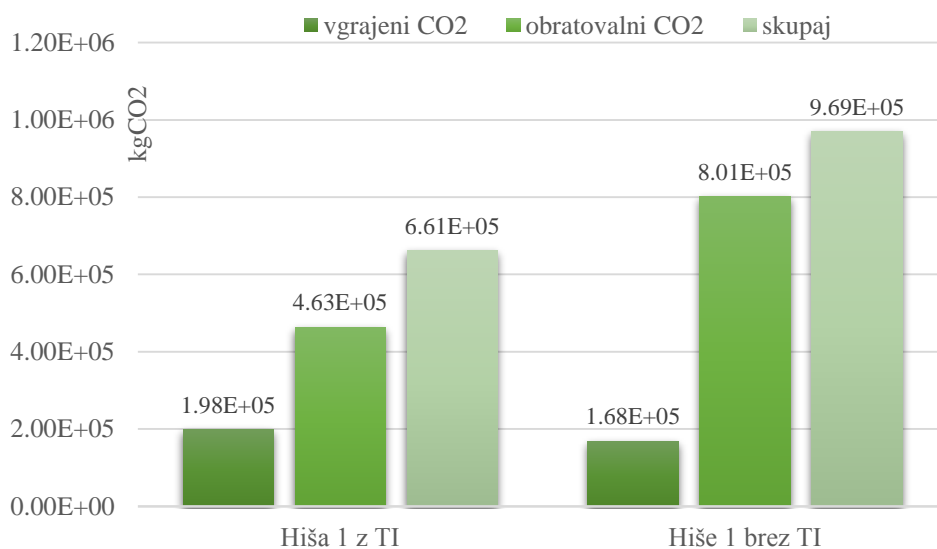
Grafikon 23: Primerjava vgrajene energije toplotne izolacije na Hiši 1 (podatki iz ArchiCAD-a)  
Graph 23: Comparison of the building's insulation embodied energy (data from ArchiCAD)

Vpliva na okolje nima samo potencial globalnega segrevanja določenega toplotnoizolacijskega materiala, izraženega v  $\text{kgCO}_2\text{-e}$  na kilogram izolacijskega materiala ali njegova debelina, temveč je močno odvisen tudi od gostote materiala. Za določen učinek toplotne izolativnosti, torej za doseganje iste vrednosti toplotne prehodnosti, potrebujemo različno količino določenega materiala. Iz tega razloga ogljični odtis na enoto mase ( $\text{kgCO}_2\text{-e/kg}$ ) ne more služiti kot merilo pri odločanju za toplotnoizolacijski material z najnižjim vplivom na okolje, temveč je bolj pomemben podatek o ogljičnem odtisu na enoto prostornine ( $\text{kgCO}_2\text{-e/m}^3$ ) [74].

Ne glede na izvor izolativnega materiala ali na njegov ogljični odtis, z njegovo uporabo ogromno zmanjšamo emisije TGP pri obratovanju stavbe in s tem naredimo veliko uslugo okolju. Kilogram izolativnega materiala ima ogljični odtis, ki je ekvivalenten vožnji z osebnim avtomobilom srednjega razreda, ki znaša od 1,4 do 87 km [74].

Na spodnjem grafu 24 je prikazana primerjava stanja stavbe s TI in brez TI, kjer lahko vidimo vpliv same TI na zmanjšanje emisij TGP. Torej z dodatnimi 28000  $\text{kgCO}_2\text{-e}$  zaradi TI na Hiši 1, na dolgi rok zaradi boljše energijske učinkovitosti stavbe zmanjšamo emisije stavbe v 60 letih za 33 %. Torej količina sproščenih emisij stavbe v daljšem časovnem obdobju znaša neprimerljivo več kot same vgrajene emisije v primeru katerekoli toplotne izolacije. Omenjenih 28000  $\text{kgCO}_2\text{-e}$ , ki jih doprinese TI, je ekvivalentna ogljičnemu odtisu 83  $\text{m}^3$  OMB zidakov, ki sestavljajo približno polovico vseh nosilnih sten Hiše 1. Ogljični odtis, ki ga prispeva toplotna izolacija, je prav tako ekvivalentna ogljičnemu odtisu dveh medetažnih AB plošč pri Hiši 1.

Na spodnjem grafu je razvidno, da vgrajeni  $\text{CO}_2$  oziroma ogljični odtis nizkoenergijske Hiše 1 znaša 43 % obratovalnih emisij, ki nastajajo v fazi obratovanja stavbe, in sicer v 60 letih. V primeru neizolirane energijsko potratne Hiše 1 je to razmerje izraženo z deležom 21 %.



Grafikon 24: Zmanjšanje CO2 emisij v 60 letih z toplotnim izoliranjem stavbe  
Graph 24: Reducement of CO2 emissions in 60 years due to the building's thermal insulation

Za opombo prikazujem preglednico 31, saj so rezultati takšnih analiz precej odvisni od uporabljenih podatkov o ogljičnem odtisu materialov. Na preglednici 31 sta prikazana ogljični odtis in vgrajena energija ekspaniranega polisitrena v različnih podatkovnih bazah.

Preglednica 31: Vrednosti EC in EE EPS-a pri različnih podatkovnih bazah [47]  
Table 31: Values of o EC in EE of EPS by different databases [47]

Expanded polystyrene (EPS)			
Database	Embodied energy (MJ/kg)	Emissions (kgCO <sub>2</sub> /kg)	Energy mix
Base Carbone	-	2.824	-
BEDEC	117.00	17.27	-
Ecoinvent	106.00	4.20	92.20% fossil 6.83% nuclear
GaBi	72.50	2.11	96.59% fossil 3.01% nuclear
ELCD	85.40	3.38	96.37% fossil 3.20% nuclear
PlasticsEurope	93.30	3.39	95.71% fossil 2.93% nuclear 1.24% hydroelectric

#### 4.4 Transparentni del ovoja stavbe - okna in senčila

Na osvetljenost in distribucijo svetlobe v prostoru je možno vplivati z velikostjo in orientacijo oken. Pri difuzni svetlobi (CIE standardno oblačno nebo) je orientacija nepomembna. Pri vplivu direktne svetlobe pa je orientiranost prostora izjemno pomembna tudi za rabo energije stavbe in energetsko bilanco objekta. Orientacija objekta, pozicija oken in senčil igrajo pomembno vlogo pri osvetljenosti prostora. Izbirati moramo optimalne deleže zastekljenosti ovoja, saj majhen delež zasteklitve, ne prispeva veliko na osvetljenost v globini prostora, prevelik delež pa lahko povzroča težave (preveč svetlobe, bleščanje). Okna so predvsem pomembna zaradi njihove osnovne funkcije t.j. komunikacija z zunanjim okoljem [36].

##### 4.4.1 Izbira oken

Pri izbiri oken moramo v obzir vzeti lastnosti oken, kot je  $U$ -faktor zasteklitve in okvirja, transmisivnost zasteklitve ter  $g$ -faktor. Okna so zaradi svoje večje toplotne prehodnosti in toplotnih mostov, precej šibka točka toplotne zaščite stavbe, zato je ji moramo nameniti nemalo pozornosti. Manjša okna imajo povzročajo več toplotnih izgub kot velika okna, saj imajo večji delež okenskega okvirja, ki velja za toplotni most samega okna, saj ima višjo toplotno prehodnost kot zasteklitev.

Zamenjava oken lahko povzroči težave, če uporabnik s stavbo ne zna pravilno ravnati. Stara in slabša okna imajo manjšo tesnost vgrajevanja, in tako je omogočeno nenadzorovano naravno prezračevanje. Nasprotno je pri novo vgrajenih oknih, ki imajo visoko zrakotesnost, saj ta naravno prezračevanje skozi špranje preprečujemo. Posledično moramo omogočiti primerno mehansko prezračevanje, saj se lahko v nasprotnem primeru pojavi plesen in kondenz. Za zmanjšanje potrebne letne energije za hlajenje z zmanjšanjem solarnih dobitkov poleti, potrebujemo zunanja senčila na oknih.

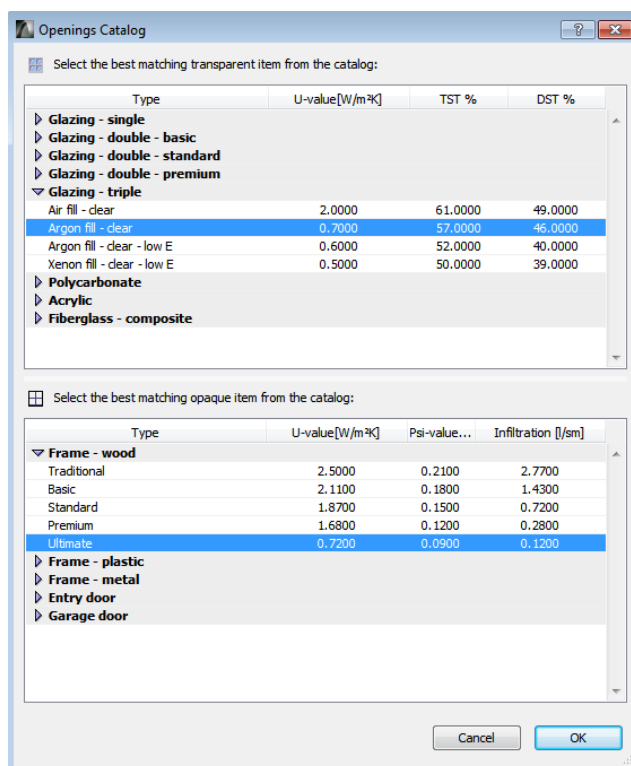
Na spodnji sliki 45 vidimo okence, ki nam v programu prikazuje lastnosti izbranega stavbnega pohištva. Na skrajno desni strani okenca lahko izbiramo tudi tip senčila, vendar moramo prvo pognati analizo dnevne svetlobe, ta je po zagonu na okencu označena z zeleno kljukico.

Type	Orientation	Thermal Block	Opaque Area [m <sup>2</sup> ]	Glazed Area [m <sup>2</sup> ]	Total Area [m <sup>2</sup> ]	TST%	DST%	Solar Analysis	Perimeter [mm]	Opaque U-value [W/m <sup>2</sup> K]	Glazing U-value [W/m <sup>2</sup> K]	Overall U-value [W/m <sup>2</sup> K]	Perimeter Psi-value [W/mK]	Infiltration [l/sm]	Shading Device
Skylight	North Up	002 hodniki	1.37	14.99	16.36	57.00	40.00	✓ Done	15488.0	0.72	0.70	0.79	0.09	0.12	External Blind
Window	South	001 bivaline zone	1.43	5.45	6.88	57.00	46.00	✓ Done	22000.0	0.72	0.70	0.95	0.09	0.12	External Blind
Window	North	002 hodniki	1.14	5.45	6.60	57.00	48.00	✓ Done	22000.0	0.72	0.70	1.00	0.09	0.12	External Blind
Door	East	002 hodniki	2.36	3.57	5.93	36.00	28.00	✓ Done	28120.0	1.42	1.30	1.92	0.12	0.22	None
Door	East	001 bivaline zone	1.40	3.90	5.30	36.00	28.00	✓ Done	19872.0	1.42	1.30	1.78	0.12	0.22	None
Door	South	003 manj ogrevane z.	4.43	0.82	5.25	36.00	28.00	✓ Done	13744.0	1.42	1.30	1.72	0.12	0.22	None
Window	West	004 sanitarije	3.73	1.19	4.92	57.00	46.00	✓ Done	32678.2	0.72	0.70	1.31	0.09	0.12	External Blind

Slika 45: Prikaz stavbnega pohištva v modelu v Ecodesigner-ju  
Figure 45: Windows and doors of the model in Ecodesigner

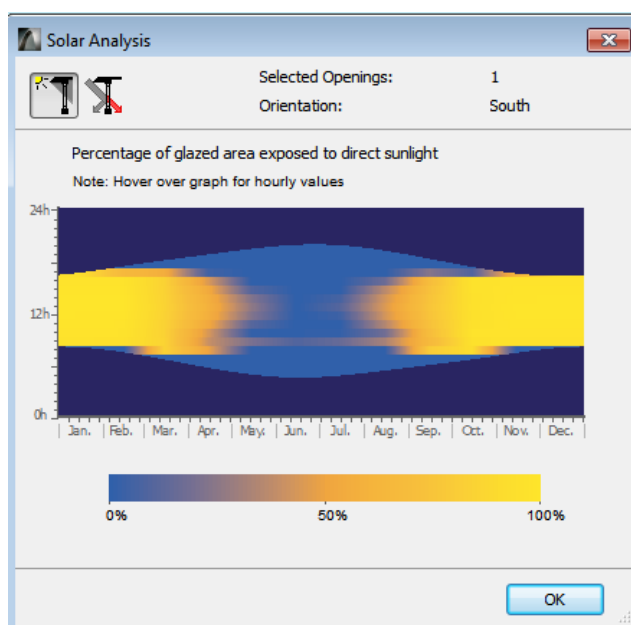
Z dvojnim klikom na določeno stavbno pohištvo v okencu na sliki 45, lahko dostopamo do baze različnega stavbnega pohištva (slika 46), kjer izberemo različne tipe zasteklitve in okvirjev.



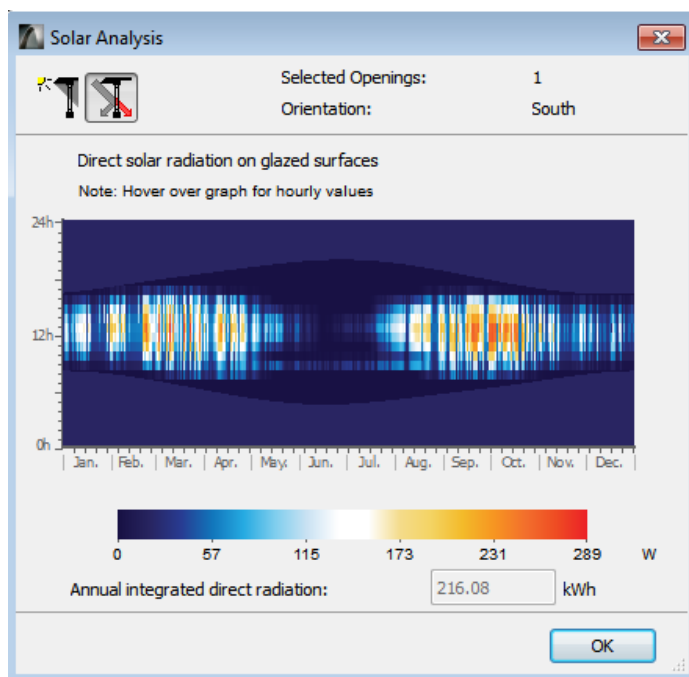


Slika 46: Katalog stavbnega pohištva  
Figure 46: Openings catalog

Po dodajanju oken na BIM modelu je treba pognati račun dnevne svetlobe na okencu, ki je prikazano na sliki 45. Zagon simulacije svetlobe je potreben zgolj enkrat in ga po ponovnem zagonu datoteke ni potrebno več izvesti. Po zagonu omenjene simulacije okenskih odprtih lahko vidimo diagrame, kot sta prikazana na slikah 47 in 48.



Slika 47: Prikaz izpostavljenosti sončni svetlobi na izbranem oknu  
Figure 47: Percentage of glazed area exposed to direct sunlight



Slika 48: Prikaz prejetega sončnega sevanja na izbranem oknu  
Figure 48: Direct solar radiation on glazed surfaces

Na obravnavanem modelu sem primerjal osem različnih zasteklitev. S pomočjo Ecodesigner-ja so analizirane zasteklitve razvidne iz preglednice 32.

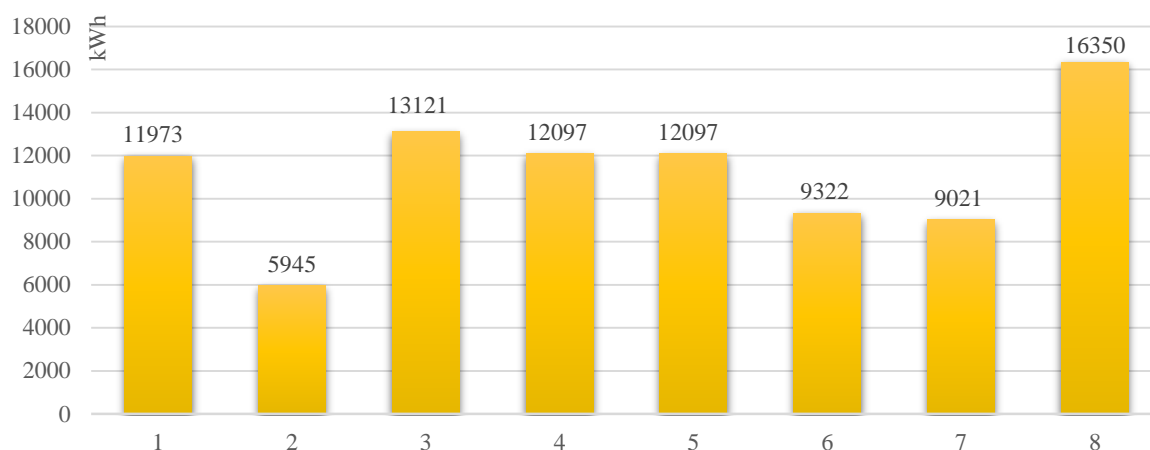
Preglednica 32: Primejani primeri različnih oken na stavbi  
Table 32: Compared types of windows on the building

Primer	1	2	3	4	5	6	7	8
DST	57 %	20 %	61 %	57 %	46 %	40 %	39 %	76 %
TST	70 %	27 %	77 %	70 %	57 %	52 %	50 %	87 %
Polnilo	argon	argon	zrak	zrak	argon	argon	ksenon	/
U-faktor zasteklitve	1,2	1,3	1,7	1,4	0,7	0,6	0,5	5,8
Premaz	/	Low-e, temno	/	/	/	Low-e	Low-e	/
Št. stekel	2	2	2	2	3	3	3	1

Pri analizi so uporabljeni naslednji podatki:

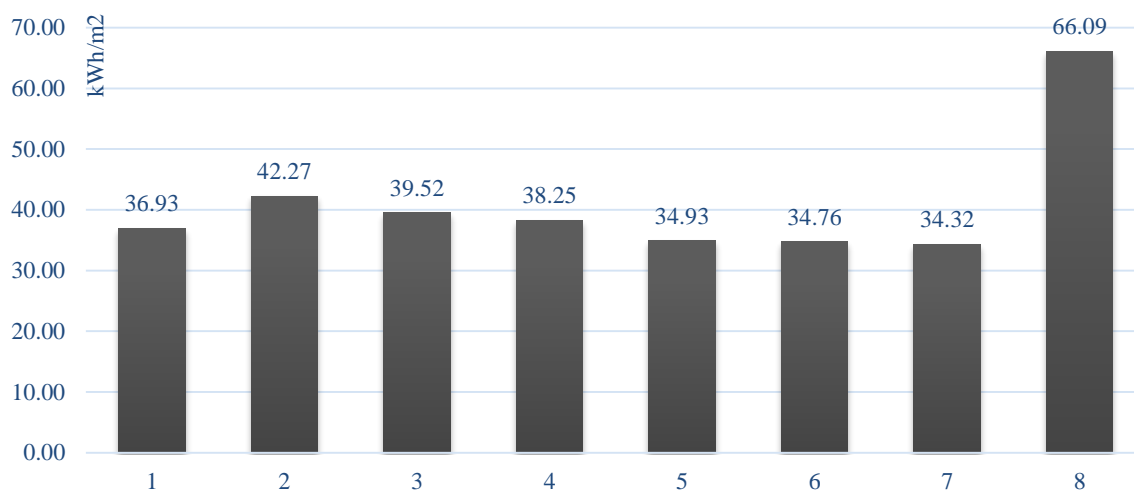
- končni nizkoenergijski model Hiše 1,
- lesen okvir  $U_f = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- $\Psi = 0,09 \text{ W/mK}$ ,
- zrakotesnost  $0,12 \text{ l/sm}$ ,
- zunanja senčila v obliki »krpank«.

Na grafu 25 je prikazana razlika v prejetih solarnih dobitkih stavbe za različne tipe zasteklitve (z upoštevanjem enakih senčil). Največ solarnih dobitkov prejmemo z manj slojnimi zasteklitvami, saj imajo višjo transparentnost, ki je izražena s  $T_V$  in  $g$ -faktorjem, ta sta v vtičniku Ecodesigner označena s  $TST$  in  $DST$ . Na koncu sem izbral zasteklitev označeno s številko 6.



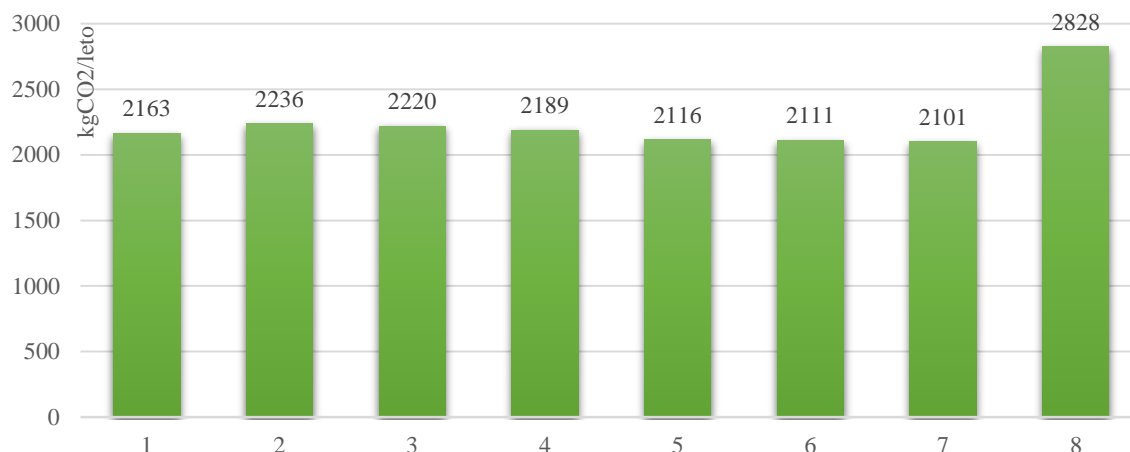
Grafikon 25: Solarni dobitki stavbe glede na tip zasteklitve  
Graph 25: Solar gains according to different types of window glazing

Na grafu 26 vidimo končno porabo energije za ogrevanje v primeru uporabe različnih zasteklitev. Primeri dvoslojnih zasteklitev od 1 do 4 terjajo rahlo višjo porabo energije za ogrevanje kot v primerih od 5 do 7, kjer gre za troslojne zasteklitve. Odstopanja v primeru troslojnih zasteklitev so minimalna. Poraba energije se lahko do 2-krat poveča v primeru vgraditve oken z enoslojno zasteklitvijo.



Grafikon 26: Potrebna energija za ogrevanje stavbe glede na tip zasteklitve  
Graph 26: Needed energy for heating according to different types of window glazing

Na grafu 27 vidimo letne količine sproščenih emisij CO<sub>2</sub> Hiše 1 glede na različne zasteklitve. Troslojna okna 5, 6 in 7 so v tem primeru najbolj ugodna.



Grafikon 27: Letne emisije CO<sub>2</sub> stavbe glede na različne zasteklitve  
Graph 27: Annual CO<sub>2</sub> emissions of the building according to different types of window glazing

Za nadaljnjo obravnavo stavbe izberem okna označena z številko 6, gre za 3-slojno zasteklitev, ki ima medprostor napolnjen z argonom. Zasteklitev ima delež transmisivnosti 57 % in  $g=0,46$ .

Glede na analizo vplivov posameznih senčil v programu Ecodesigner STAR sem za obravnavano stavbo izbral zunanja senčila *External blinds*, kjer gre za zunanje žaluzije pri nas znane kot »krpanke«. Senčila bistveno pripomorejo k nadzoru sončne svetlobe v stavbi in s tem k izboljšanju bivalnega udobja.

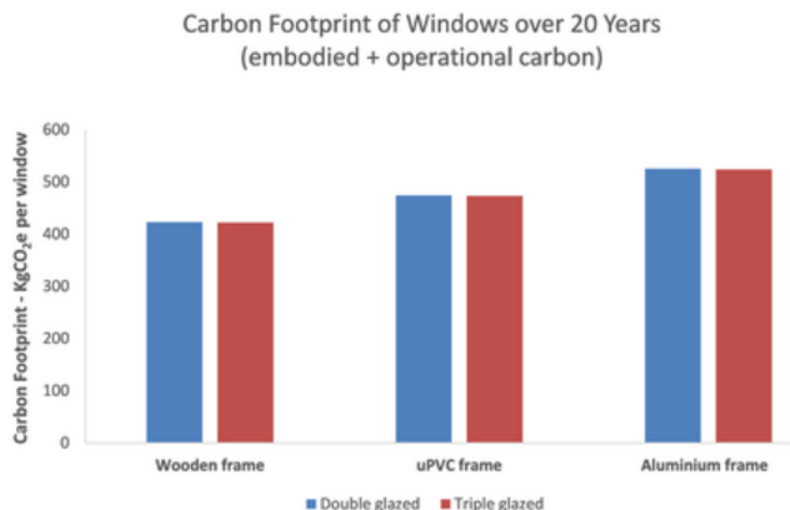
#### 4.4.2 Ogljični odtis oken

Na spodnji preglednici 33 vidimo povprečne vrednosti ogljičnega odtisa hišnih oken, vrednosti veljajo za 1 m<sup>2</sup> okna.

Preglednic 33: Ogljični odtis različnih oken [29]  
Table 33: Carbon footprint of different windows [29]

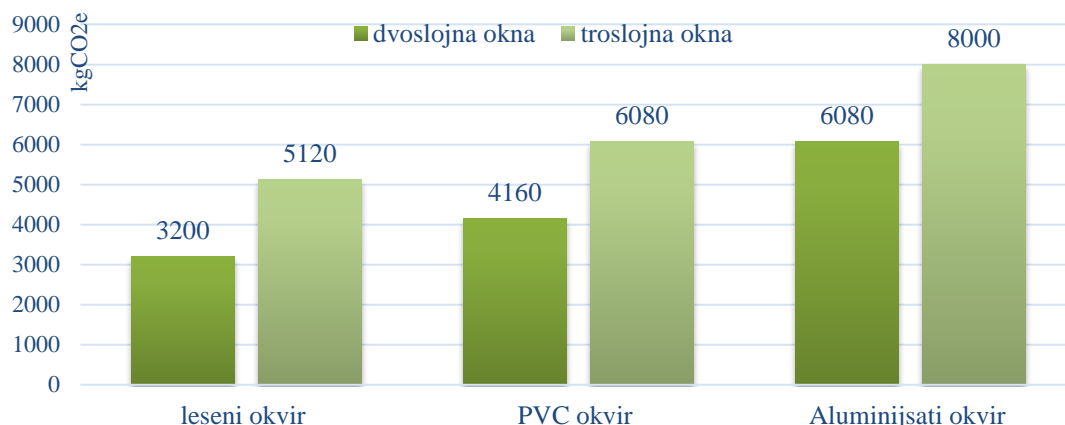
	Leseni okvir (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	PVC okvir (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	Alumin. okvir (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )
Dvoslojna okna	40	52	76
Troslojna okna	64	76	100

Lesena okna imajo najmanjši ogljični odtis, saj je pri proizvodnji porabljen manj energije kot pri PVC in aluminijastih okvirjih. Okna z dvoslojno zasteklitvijo manjši ogljični odtis kot okna s troslojno zasteklitvijo, vendar moramo razmišljati dolgoročno. Na spodnjem grafu 28 je prikazana primerjava ogljičnega odtisa stavbe z dvoslojnimi in troslojnimi okni, za obdobje 20 let. Razvidno je, da se z uporabo troslojnih oken, ki imajo sicer višji ogljični odtis, na dolgi rok delovanja stavbe vrednosti CO<sub>2</sub> izenačijo, in sicer že v 20 letih. S troslojnimi okni sicer dosežemo bolj energijsko učinkovito stavbo, ki sprosti manj obratovalnih emisij zaradi manjše porabe energije, a se pri izdelavi troslojnih oken sprosti več emisij kot v primeru dvoslojnih oken. Na trajnost oken oziroma z vidika nižjega ogljičnega odtisa bolj vpliva izbira okvirja oken, kjer so leseni okvirji oken najbolj trajnostna izbira. Glede izbire med dvoslojno in troslojno zasteklitvijo oken moramo vzeti v obzir tudi življenjsko dobo oken, ki pa je precej relativna. Okna morajo nuditi primerno toplotno in zvočno izolativnost ter imeti primerno transmisivnost.



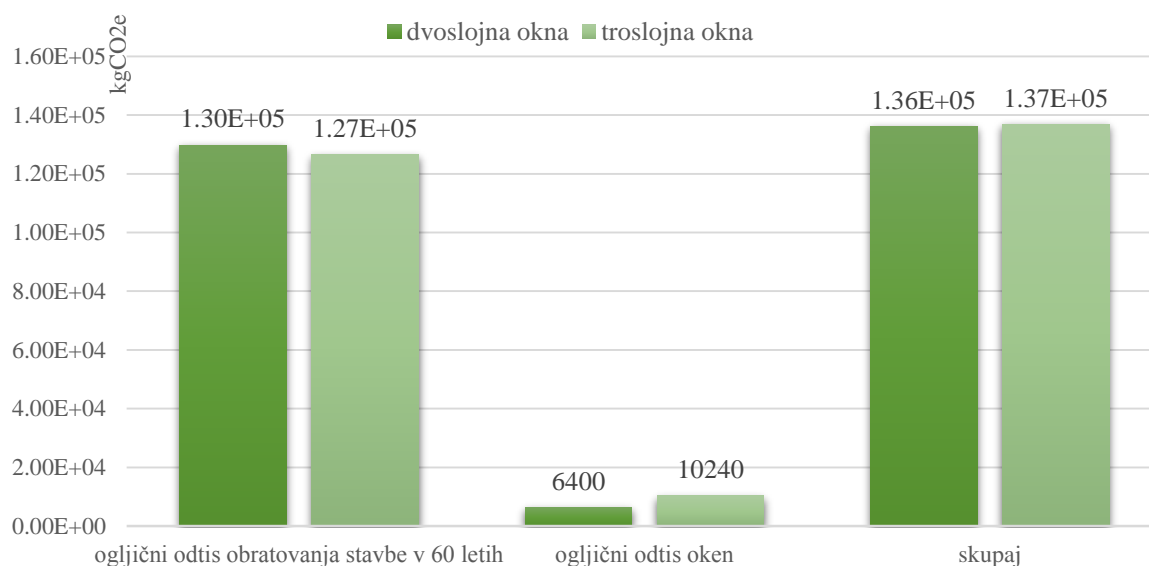
Grafikon 28: Primerjava ogljičnega odtisa stavbe z 2 in 3-slojnimi okni v 20 letih [30]  
Graph 28: Comparison of building's carbon footprint with 2 and 3 glazed windows in 20 years [30]

Obravnavana stavba v magistrski nalogi ima 80 m<sup>2</sup> zunanjih okenskih površin (brez zunanjih vrat in sten iz steklenih zidakov). Spodnji graf 29 prikazuje oceno skupnega ogljičnega odtisa (*Embodied Carbon*) različnih oken na obravnavani stavbi.



Grafikon 29: Primerjava skupnega ogljičnega odtisa oken na Hiši 1  
Graph 29: Comparison of carbon footprint of the windows on House 1

Na grafu 30 je razvidna primerjava po vzoru raziskave [30], ki pravi, da se dvoslojna okna v celotnem ŽC bolje obnesejo kot troslojna okna, saj je že po 20 letih izbira med troslojnim in dvoslojnim oknom nepomembna z vidika ogljičnega odtisa. V analizi sem primerjal končni model nizkoenergijske Hiše 1, prvič z dvoslojnimi in drugič s troslojnimi okni na stavbi. Upošteval sem tudi zamenjavo oken, ki bi bila potrebna zaradi njihove dotrajanosti. S troslojnimi okni stavba skozi svoj čas sicer sprostí manj emisij CO<sub>2</sub> zaradi boljše energijske učinkovitosti stavbe, vendar pa imajo ta okna višjo količino vgrajenega CO<sub>2</sub> kot dvoslojna okna. Čeprav govorimo zgolj o majhnih razlikah, kot vidimo na grafu 30, lahko zaključimo, da je z okoljskega vidika trajnosti, izbira kakovostnih lesenih oken z dvoslojno zasteklitvijo najbolj trajnostna izbira.



Grafikon 30: Primerjava skupnega CO<sub>2</sub> pri zasteklitvi oken na stavbi  
Graph 30: Comparison of total CO<sub>2</sub> for double and triple glazed windows on the building

## 4.5 Sistemi stavbe

### 4.5.1 Prezračevanje stavbe

Prezračevanje in ogrevanje stavbe sta odgovorna za največji del porabljene energije v stavbah, zato je tu največji potencial za privarčevanje energije in s tem zmanjšanje emisij TGP stavbe. Iz tega razloga vgrajujemo naprave z višjim izkoristkom in manjšo porabo energije. Naravno prezračevanje ima načeloma prednost pred mehanskim, vendar je energijsko manj učinkovito kot mehansko prezračevanje z rekuperativnim vračanjem toplote. Učinkovito rekuperacijo pri napravah za odvajanje in dovajanje zraka dosežemo z deležem več kot 75 %. Rekuperacija toplote in uporaba odpadne toplote je pomembna z vidika zmanjševanja uporabe fosilnih nosilcev energije. Ventilatorji pa morajo imeti skupni izkoristek 65 % [62].

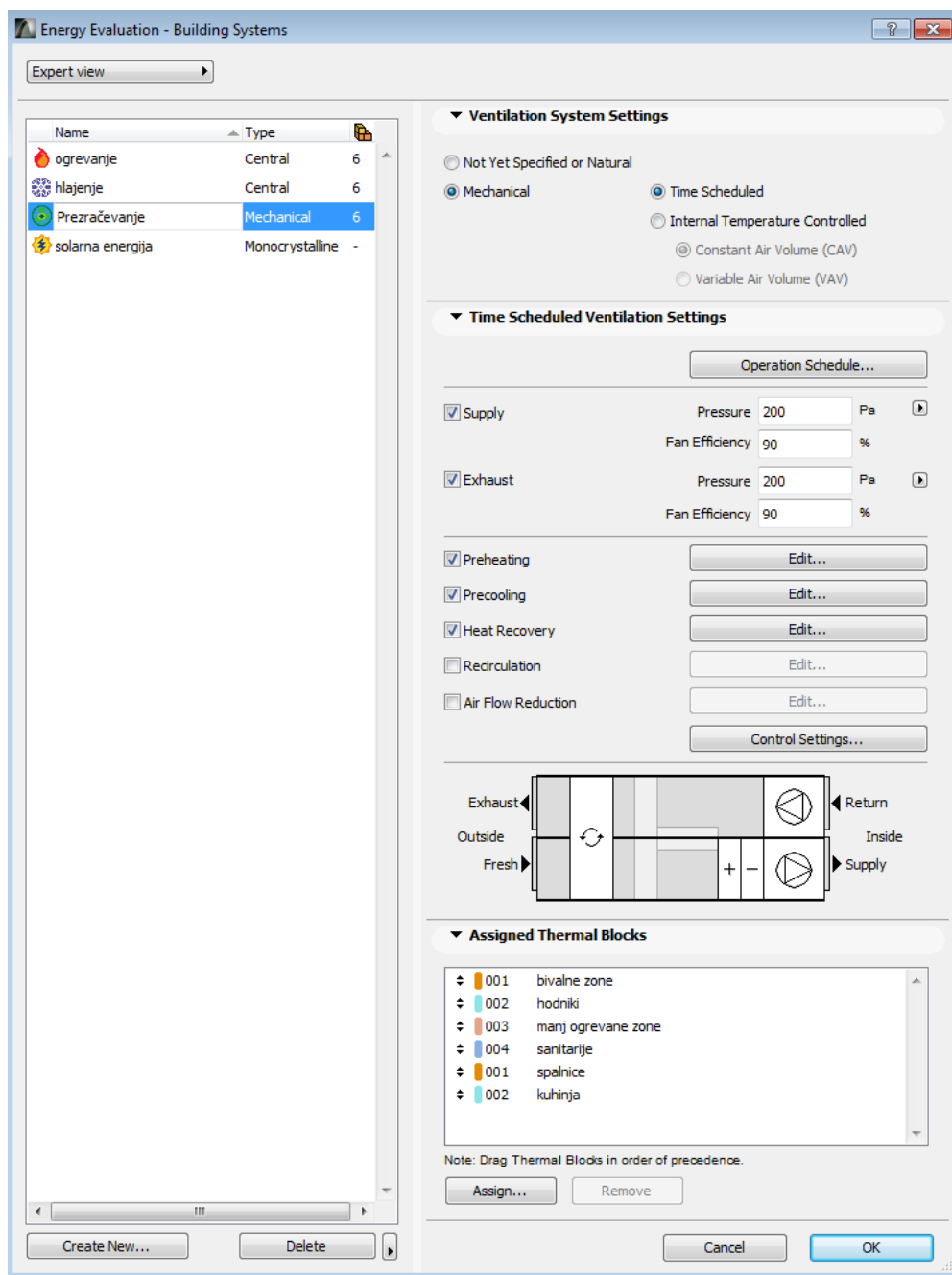
Pogosta napaka pri prenovah je, da niso celovite, kjer se denimo izvede toplotna zaščita stavbe in zamenjava oken, pozabi pa se na prezračevanje, ki je v tem primeru okrnjeno [38].

Z izkoristkom toplotne energije odpadnega zraka torej z rekuperacijskimi postopki v sistemih mehanskega prezračevanja, lahko dosežemo od osemkrat do dvanajstkrat manjšo trenutno potrošnjo energije za ogrevanje bivalnih in delovnih prostorov [74].

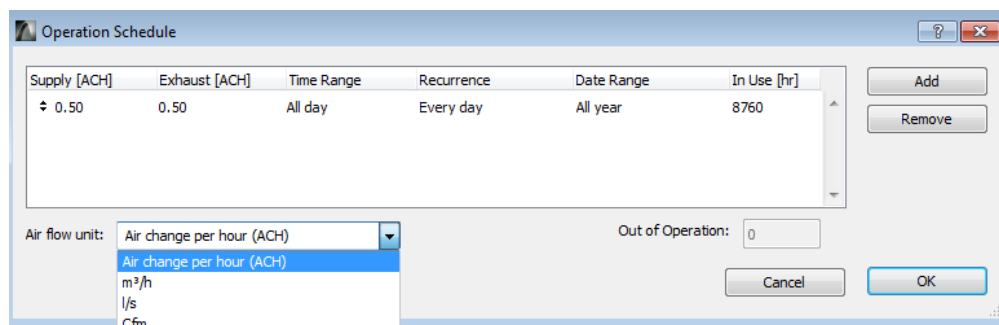
Vendar pa v obravnavanem primeru z uporabo mehanskega prezračevanja z rekuperacijo ne dosežemo tolikšnega zmanjšanja porabe energije, razlog je v tem, da sem pri naravnem prezračevanju upošteval minimalno stopnjo prezračevanja na uro, t.j.  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ . V realnosti pa so stopnje prezračevanja višje, s tem pa tudi izgube energije, saj moramo zamenjani zrak segrevati, da bi dosegli željeno udobje oziroma temperaturno stanje v stavbi.

Če je predvideno v stavbi mehansko prezračevanje, moramo predvideti količino zraka po DIN EN 15251 [62].

Na sliki 49 je prikazano okno v programu Ecodesigner STAR, kjer lahko določimo lastnosti izbranega prezračevanja. Ob kliku na gumb *Operation Schedule*, se odpre nastavitveno okno (slika 50) za določanje stopnje prezračevanja.

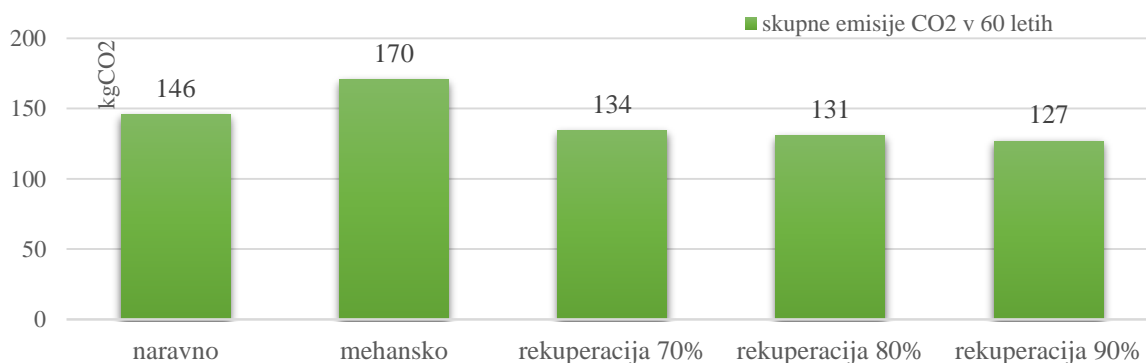


Slika 49: Okno za definiranje prezračevalnega sistema  
Figure 49: Window tab for defining of the ventilation system



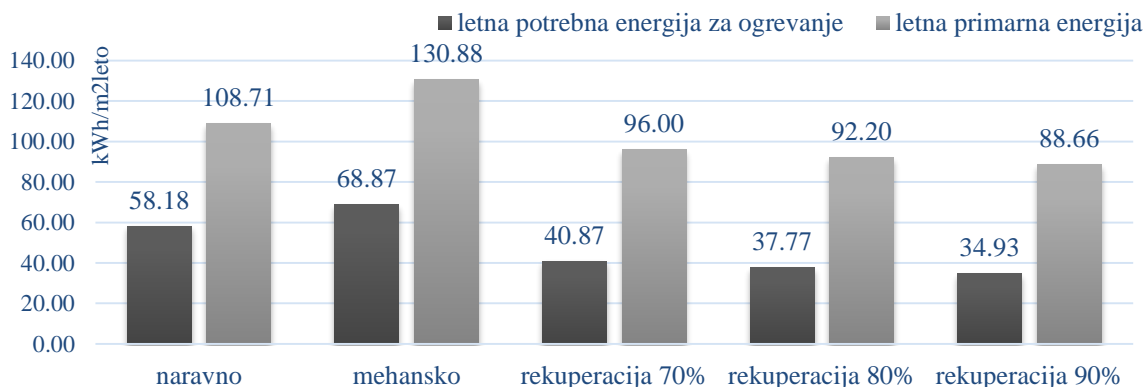
Slika 50: Nastavitve stopnje prezračevanja  
Figure 50: Settings of the of ventilation rates

Graf 31 prikazuje sproščene emisije CO<sub>2</sub> v tonah med življenjsko dobo stavbe. Prikazani so podatki analiz izvedenih s programom Ecodesigner na končnem modelu Hiše 1, kjer so upoštevani tudi toplotni mostovi stavbe. Vidimo lahko koliko prispeva rekuperacija odpadnega zraka k zmanjšanju rabe energije in posledično emisij. Prikazani tipi prezračevanja stavbe so upoštevani za stopnjo prezračevanja  $n=0,5$  h<sup>-1</sup>. Ker gre za minimalno stopnjo prezračevanja, je razlika med naravnim in rekuperativnim mehanskim prezračevanjem le 13 %.



Grafikon 31: Primerjava vseh obratovalnih emisij CO<sub>2</sub> v 60 letih, pri uporabi različnega prezračevanja  
Graph 31: Comparison of operational carbon in 60 years by use of different types of ventilation

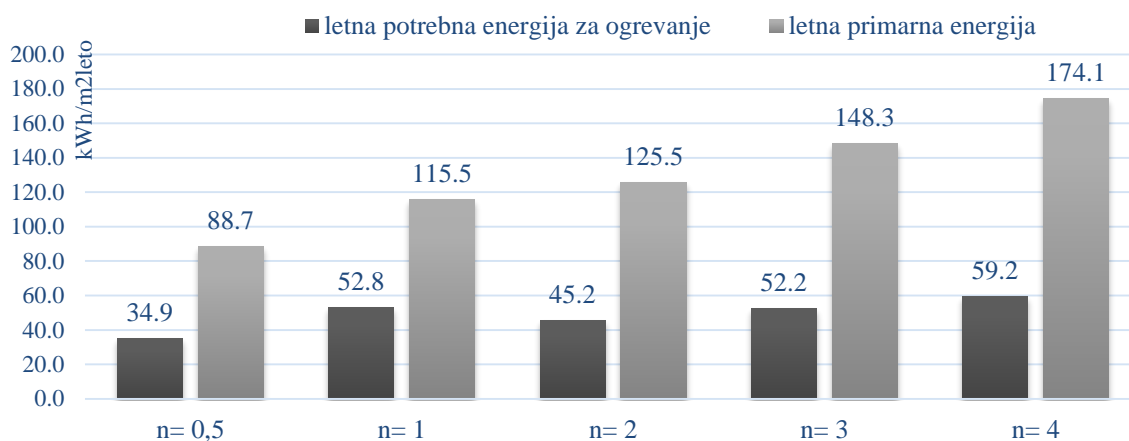
Graf 32 prikazuje odvisnost rabe energije glede na tip prezračevanja, ob enaki stopnji prezračevanja na uro ( $n=0,5$  h<sup>-1</sup>).



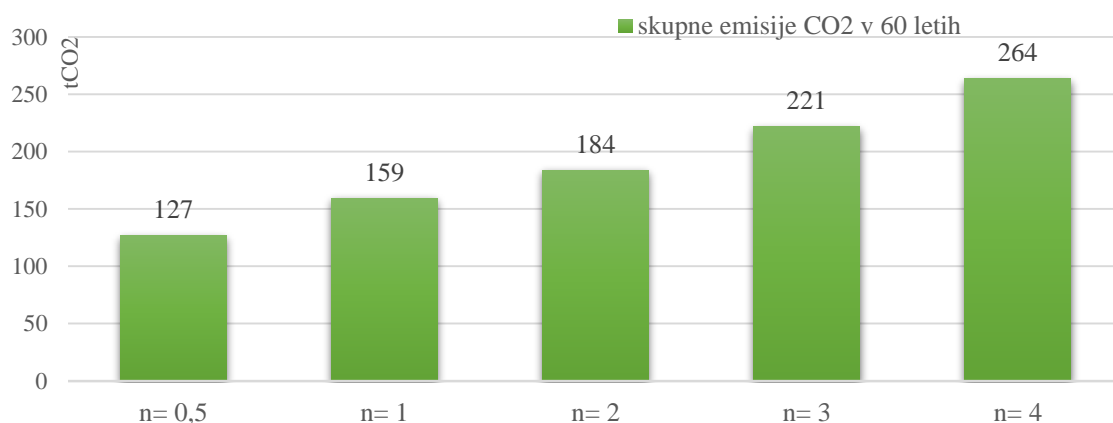
Grafikon 32: Vpliv tipa prezračevanja na letno porabo energije za ogrevanje in primarno energijo  
Graph 32: Influence of ventilation on annual use of primary energy and energy for heating



Na grafu 33 vidimo vpliv stopnje prezračevanja na rabo energije za ogrevanje in primarno energijo, v primeru mehanskega prezračevanja za 90 % rekuperativnim vračanjem toplote. Razvidno je, da stopnja prezračevanja precej vpliva na rabo energije in posledično na izpuste emisij, kar je razvidno na grafu 34.



Grafikon 33: Vpliv stopnje prezračevanja z rekuperacijo 90% na letno porabo energije za ogrevanje in primarno energijo  
Graph 33: Influence of ventilation rate on annual use of primary energy and energy for heating



Grafikon 34: Vpliv stopnje prezračevanja pri 90 % rekuperaciji na količine sproščenega CO2 v 60 letih  
Graph 34: Influence of ventilation rate on building's released carbon in case of 90 % heat recuperation

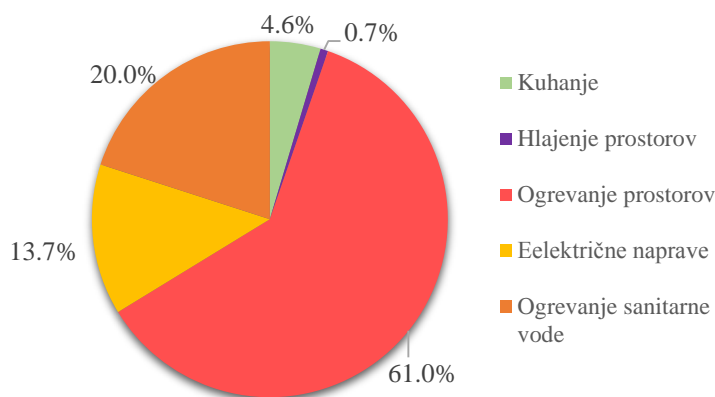
V nadaljevanju naloge sem upošteval, da ima obravnavana stavba mehansko prezračevanjem z 90 % rekuperativnim vračanjem toplote. Upoštevam, da ima prenosnik tudi funkcijo predogrevanja in predhlajenja. Za vse cone v stavbi sem izbral stopnjo prezračevanja je  $n=0.5 \text{ h}^{-1}$ , ki je minimalna zahteva po PURES-u. V realnosti so stopnje prezračevanja višje.

#### 4.5.2 Ogrevanje in hlajenje stavbe

Za ogrevanje in hlajenje prostorov se povprečno letno porabi tretjina energije porabljene v gospodinjstvih. Za gospodinjstva pa se v Sloveniji porabi četrtna skupne energije.

Graf 35 prikazuje porabo energije v gospodinjstvih po namenih, leta 2013 v Sloveniji [2].

Razvidno je, da se največ energije v gospodinjstvih pri nas porabi za ogrevanje prostorov (61 %) in ogrevanje sanitarne vode (20 %). Letni deleži porabljene energije na grafu 35 nihajo, saj sta ogrevanje in hlajenje odvisna od temperaturnih razmer, cene energentov ipd.



Grafikon 35: Poraba energije v gospodinjstvih po namenu, leto 2013, SURS [2]  
Graph 35: Energy usage by purpose in slovenian households, SURS [2]

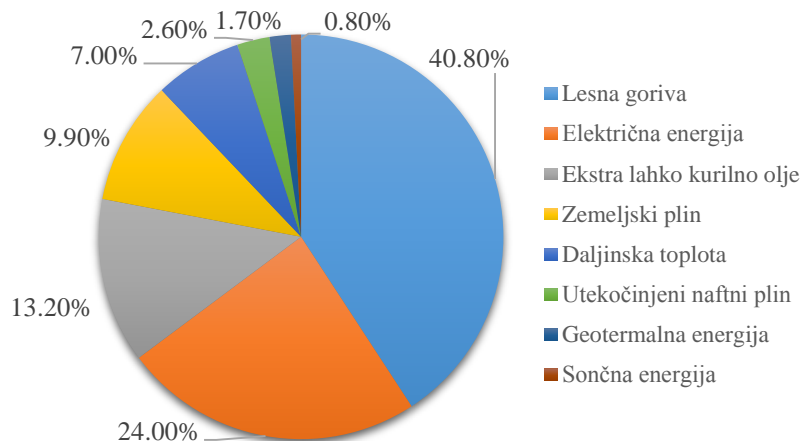
Preden v stavbi zamenjamo oziroma vgradimo nove in bolj varčne sisteme za ogrevanje in hlajenje, je smiselno ukrepati na zunanjem ovoju stavbe, torej s toplotnim izoliranjem stavbe in zamenjavo stavbnega pohištva. Grelne naprave je treba načrtovati glede na energetske izgube in jih je treba prilagoditi prostorskim pogojem ter uporabnikovim željam po ugodju. Zaželeni so nizkotemperaturni sistemi za ogrevanje. Generatorje toplote in črpalke za gretje je potrebno natančno dimenzionirati in uporabljati regulirane črpalke [62]. Dimenzioniranje naprav in ogreval opravi strokovnjak iz strojne stroke. Nominalno moč kotla oziroma toplotne črpalke sem za obravnavani primer odčital iz programa KI Energija, ki jo približno oceni na podlagi definiranega modela stavbe.

Za obravnavano stavbo sem v programih izbral:

- centralno ogrevanje
- na začetku: plinski kotel z nominalno močjo 22 kW
- po sanaciji: toplotna črpalka z nominalno močjo 11 kW

Ko je stavba toplotno izolirana, lahko v stavbi uporabljamo naprave in sisteme s približno polovico manjšo nominalno močjo, kot je bila prej. Pri obravnavanju BEM toplotno izoliranega modela v Ecodesigner STAR, izbira nazivne moči kurilne peči/kotla za rezultate ni relevantna. V vtičniku Ecodesigner lahko definiramo emisije energentov v  $\text{kgCO}_2 / \text{kWh}$ , ceno energentov in faktorje primarne energije. Privzeti podatki o energentih so v programu povzeti iz standarda DIN V 18599. Program nam omogoča izbiro in določanje definiranega ali privzetega energenta, ki se uporablja za ogrevanje oziroma hlajenje objekta. Nastaviti moramo tudi vrsto energenta za proizvodnjo električne energije. Veliko pozornosti moramo nameniti določanju faktorjev primarne energije in emisij energentov.

Spodnji graf 36 prikazuje porabo energije v gospodinjstvih po vrsti energenta v Sloveniji leta 2013. Prevladovala so lesna goriva, električna energija in ekstra lahko kurilno olje. Takrat so zabeležili padec uporabe kurilnih olj in utekočinjenega naftnega plina. Uporaba toplotnih črpalk je sicer znašala samo 1,7 %, a se je od leta 2009 povečala za 26 %.



Grafikon 36: Poraba energije v gospodinjstvih po vrsti energenta, leto 2013, SURS [2]  
Graph 36: Energy usage by energy source in slovenian households, SURS [2]

Preglednica 34 prikazuje uporabljene koeficiente izkoriščenosti primarne energije in CO<sub>2</sub> emisije, ki nastajajo pri izgorevanju določenega energenta. Program Ecodesigner STAR nam kot privzeto možnost ponudi vrednosti vidne na preglednici 34, ki so povzete po standardu DIN V 18599.

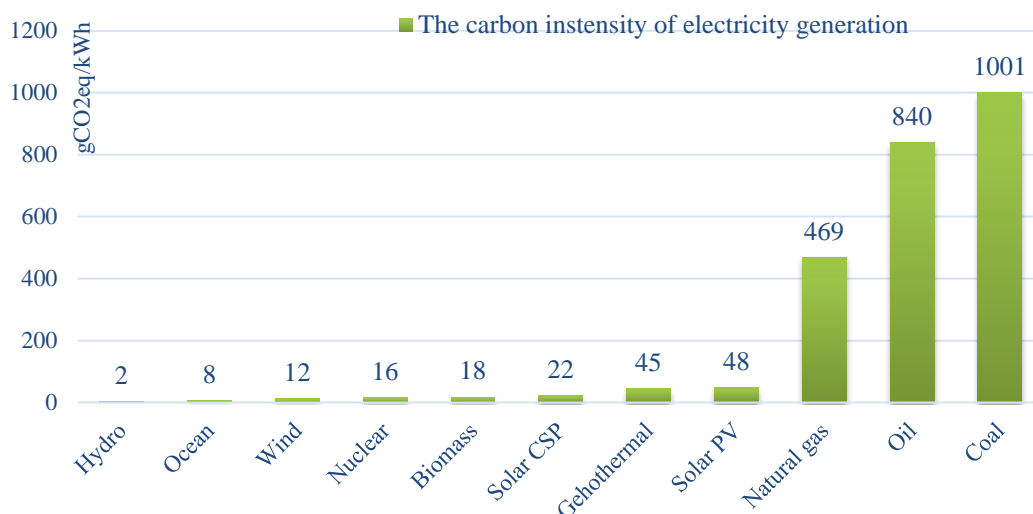
Preglednica 34: Privzete vrednosti energentov v ArchiCAD, ki so povzete po DIN V 18599  
Figure 34: Default values of energy sources in ArchiCAD, which are summarized from DIN V 18599

Energent	Faktor pretvorbe	CO <sub>2</sub> emisije (kg/kWh)
Les	1,2	0,03
Peleti	1,2	0,03
Sončna e.	1	0
Zem./geoter. e.	1	0
Zemeljski plin	1,1	0,22
Kurilno olje	1,1	0,3
Elektrika	3	0,22

Preglednica 35: Vrednosti energentov uporabljene v nalogi  
Table 35: Energy source values used in thesis

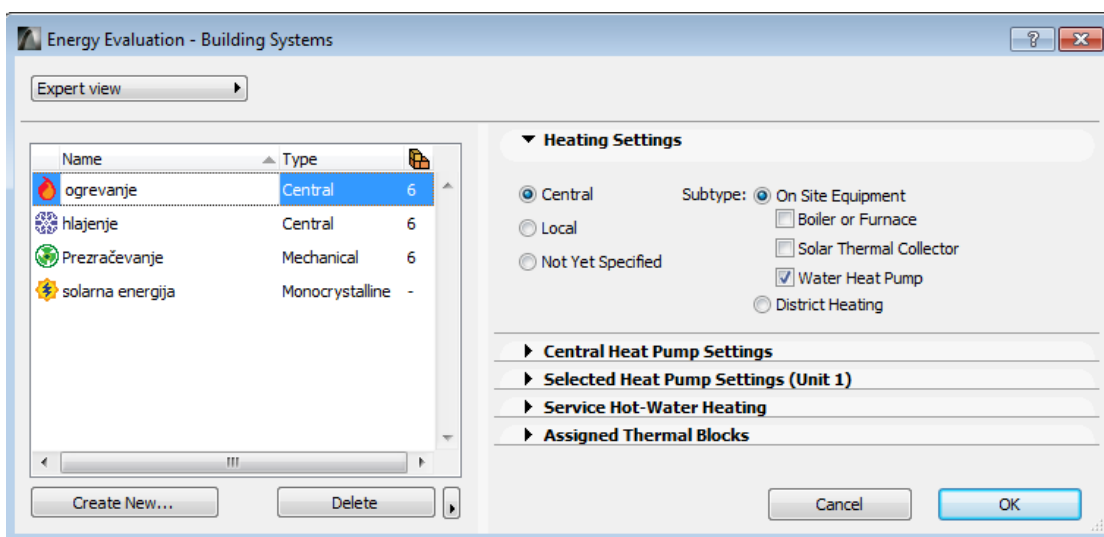
Energent	Faktor pretvorbe	CO <sub>2</sub> emisije (kg/kWh)
Les	1,2	0,03
Peleti	1,2	0,03
Sončna e.	1	0
Zem./ geoter. e.	1	0
Zemeljski plin	1,1	0,20
Kurilno olje	1,1	0,265
UNP	1,1	0,216
Elektrika	2,5	0,55

Iz grafa 37 je razvidno, zakaj stremimo k uporabi nefosilnih goriv, kot so vodna, vetrna in sončna energija. Najbolj zelena energija z vidika CO<sub>2</sub> emisij je tista, ki je pridobljena iz vodnih virov.



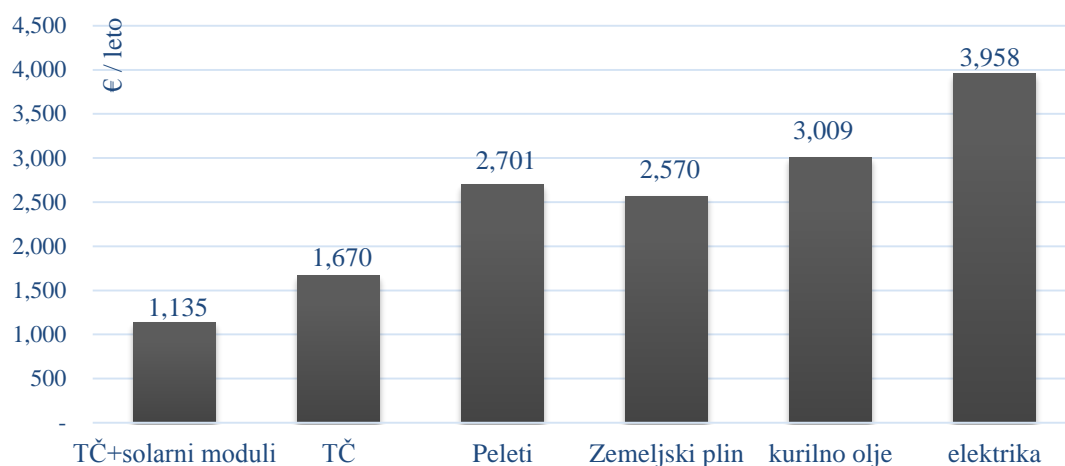
Grafikon 37: Graf prikazuje ogljični ekvivalent pri proizvodnji elektrike z različnimi energenti [9]  
Graph 37: The carbon intensity of electricity generation by various energy sources [9]

V Ecodesigner-ju lahko pri definiranju naprav in sistemov izbiramo med različnimi tipi ogrevanja objekta (slika 51). Obravnavana stavba je ogrevana s toplotno črpalko, v programu lahko definiramo več pomembnih karakteristik izbranega generatorja ogrevanja.



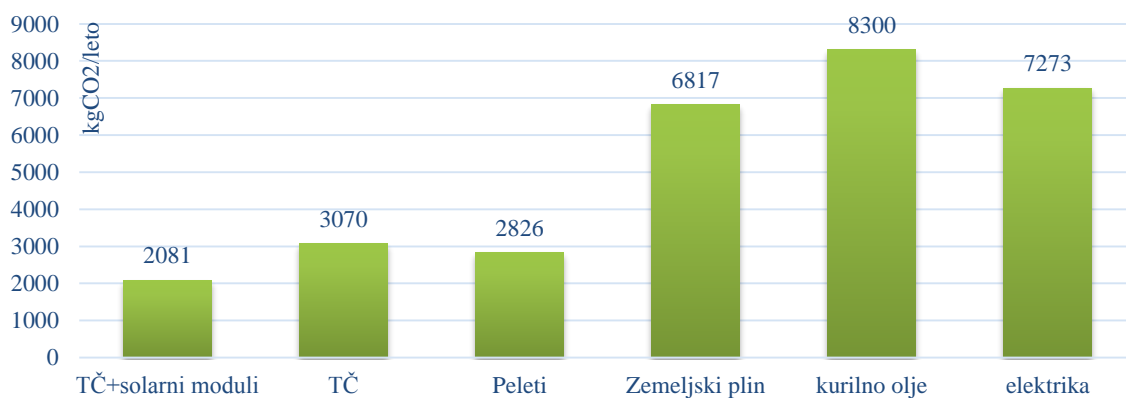
Slika 51: Nastavitveno okno za definiranje sistemov oziroma strojnih inštalacij  
Figure 51: Window tab for defining building systems

Na grafu 38 je razvidna primerjava letnih stroškov porabe energije končnega modela Hiše 1 (z upoštevanimi TM) za ogrevanje prostorov in sanitarne vode glede na vrsto energenta. Najcenejši način ogrevanja med obravnavanimi primeri je uporaba toplotne črpalke s solarnimi moduli. Ogrevanje s kurilnim oljem, ki je pri nas pogost način ogrevanja, je skoraj 3-krat dražje kot kombinacija TČ in solarnih modulov.

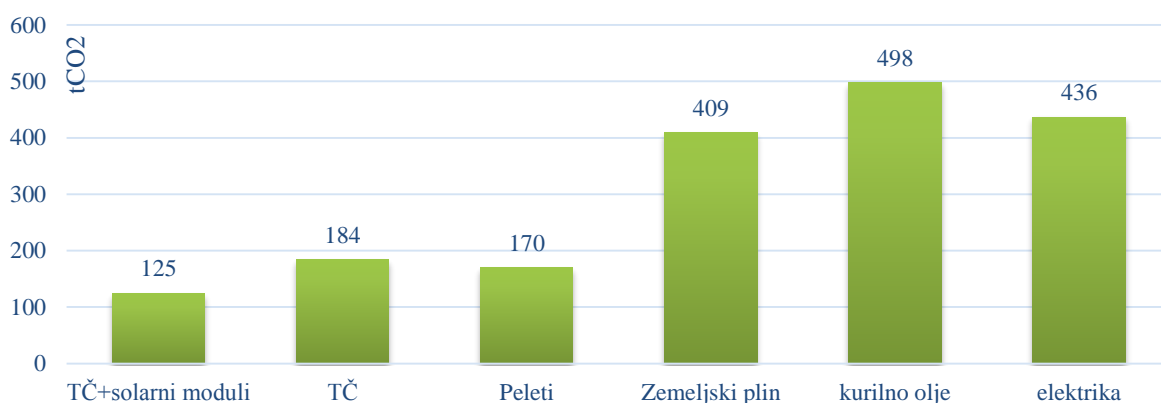


Grafikon 38: Stroški obratovanja nizkoenergijske Hiše 1 glede na vrsto energenta  
Graph 38: Operational costs of low energy House 1 relating to energy source

Spodnji graf 39 prikazuje sproščene letne emisije CO<sub>2</sub> pri uporabi različnih uporabljenih energentov. Najbolj prijazen okolju smo seveda, če uporabljamo OVE, torej z uporabo toplotne črpalke in solarnih modulov. Najbolj onesnažujemo okolje z uporabo fosilnih goriv, kot so kurilna olja.

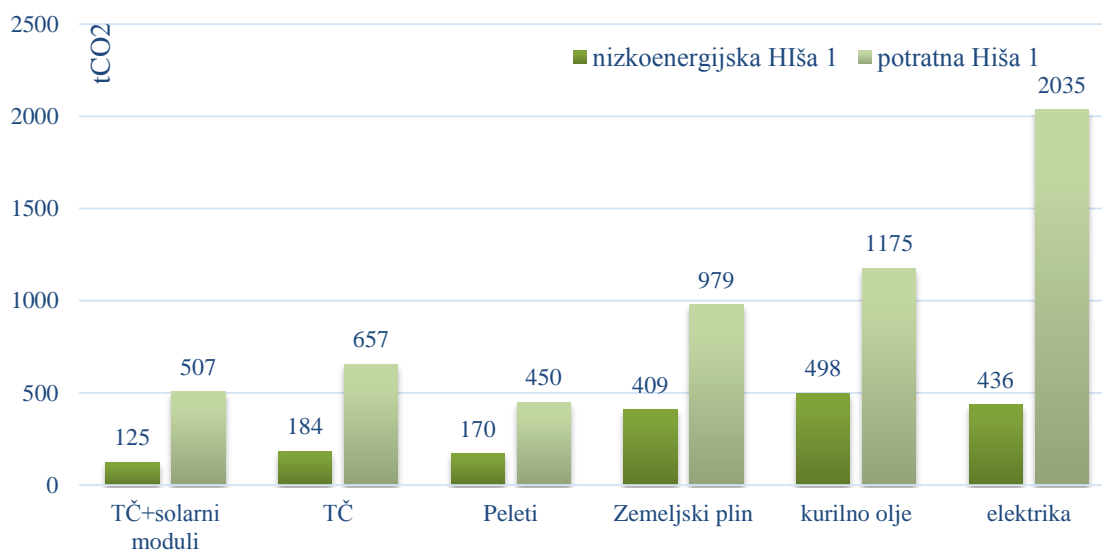


Grafikon 39: Letne emisije CO<sub>2</sub> Hiše 1 glede na vrsto uporabljenega energenta  
Graph 39: Annual carbon releases of House 1 by used energy source



Grafikon 40: Emisije CO<sub>2</sub> v 60 letih Hiše 1 glede na vrsto uporabljenega energenta  
Graph 40: Carbon releases of House 1 in 60 years by used energy source

Graf 41 prikazuje primerjavo sproščenih obratovalnih emisij nizkoenergijske in potratne Hiše 1 pri uporabi različnih energentov.



Grafikon 41: Primerjava emisij CO<sub>2</sub> v 60 letih potratne in nizkoenergijske Hiše 1 glede na vrsto uporabljenega energenta  
Graph 41: Carbon releases of wasteful and low-energy version of House 1 in 60 years by used energy source

Moč toplotne črpalke (TČ) in vrednost investicije sta odvisna od pravilnega dimenzioniranja samega sistema. Predimenzionirana TČ ne bo nikoli delovala optimalno, po nepotrebem pa bo višja tudi investicija. Prešibka TČ pa ne bo zadostila našim potrebam po toplotnim potrebam, zato bomo morali plačevati za dodatno ogrevanje. Moč toplotne črpalke izračunamo tako, da pomnožimo število m<sup>2</sup> ogrevane površine s porabo toplote na m<sup>2</sup>.

### 4.5.3 Uporaba obnovljivih virov energije (OVE)

*International Energy Agency* definira obnovljivo energijo kot energijo pridobljeno iz naravnih virov (npr. sonce in veter), ki so obnovljeni hitreje kot porabljeni. OVE so obravnavani kot čisti viri energije, njihova uporaba pa v večji meri zmanjša škodljiv vpliv na okolje in ustvarjanje odpadkov. OVE so v splošnem trajnostna izbira. V prihodnosti moramo imeti trajnosten, dobavljiv in okolju prijazen vir energije. Konvencionalna uporaba fosilnih energentov bo postopno zamenjana z obnovljivimi viri [50].

Najpogosteje uporabljeni obnovljivi viri za ogrevanje in proizvodnjo elektrike so solarna, geotermalna, vetrna, vodna energija in biomasa ter peleti. OVE prispevajo trajnostnemu razvoju, zmanjšujejo uvoz energije in odvisnost od tujih energijskih virov. Promoviranje OVE je uspešno in z leti se povečuje njihova uporaba, saj je cena fosilnih goriv vedno višja, ob tem pa narašča populacija, razvoj in industrializacija sveta.

Največ električne energije iz OVE se v Sloveniji proizvede v hidroelektrarnah, okoli 91 % leta 2013. Okoli 4 % je tega leta proizvedeno s fotovoltaiko, okoli 2 % iz lesa in druge trdne biomase, okoli 3 % pa iz ostalih OVE, kot so veter, deponijski plini in drugi bioplina [2]. Preden stavbi dodamo kakršnekoli sisteme OVE, mora biti stavba energijsko učinkovita, kar pomeni, da mora imeti stavba nizek faktor prehodnosti ovoja oziroma nizko porabo energije. Z uporabo energije za ogrevanje in hlajenje iz OVE se lahko približamo nič ogljičnim stavbam. Če nam bo v prihodnosti uspelo nadomestiti le del fosilnih goriv za ogrevanje prostorov, bo to velik prispevek k ohranjanju naravnih virov in varovanju okolja.

V Sloveniji se je od leta 2002 do leta 2013 količina OVE v oskrbi z energijo povečala za 57 %. Leta 2013 je bilo iz OVE proizvedeno 33,5 % vse električne energije [2].

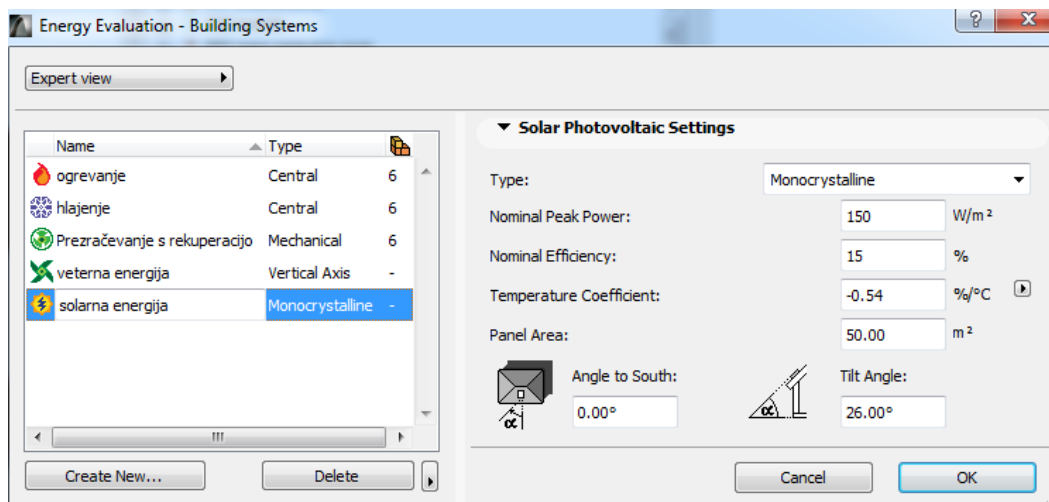
#### Sončna energija

Sončna energija je okolju prijazna brezplačna energija, ki je na voljo v neomejenih količinah. Količina električne energije proizvedene s fotovoltaiko se v zadnjih letih hitro povečuje, vendar je njen delež v letu 2013 znašal le približno 4 % [2]. Ta je še nerazširjena predvsem zaradi cene solarnih panelov, slabega vremena in težavnega shranjevanja solarne energije. V prihodnosti bodo solarni paneli izdelani iz cenejših materialov in z novejšo tehnologijo, ki bo omogočila boljšo absorpcijo in shranjevanje sončne energije.

Sončno energijo v stavbah izkoriščamo na več načinov, najpogostejša je pasivna raba sončne energije, kjer sonce neposredno greje prostore skozi prosojne površine, kot so okna in steklenjaki. Aktivno izkoriščanje sončne energije pri katerem uporabljamo sprejemnike sončne energije, se je najbolj uveljavilo za pripravo sanitarne vode. Pri aktivnem izkoriščanju sončne energije gre za pridobivanje električne energije s pomočjo solarnih modulov [4].

Pri nas sije sonce od 1600 do 2650 ur na leto, na 1 m<sup>2</sup> površine vpade letno med 1000 in 1400 kWh sončne energije. Večina sončne energije je na razpolago med aprilom in oktobrom, ko ogrevanje prostorov ni potrebno, v zimskem času pa je na voljo od 200 do 250 kWh [4].

Ecodesigner STAR ima možnost dodajanja sistemov OVE, kot so toplotna črpalka, solarni sistemi in vetrne turbine (slika 52). Solarni oz. fotovoltaični sistemi so primerni za pripravo sanitarne vode in ogrevanje prostorov. Z uporabo fotovoltaike na modelu zmanjšamo stroške delovanja stavbe, primarno energijo in izpuste TGP.



Slika 52: Nastavitveno okno za določanje solarnega sistema

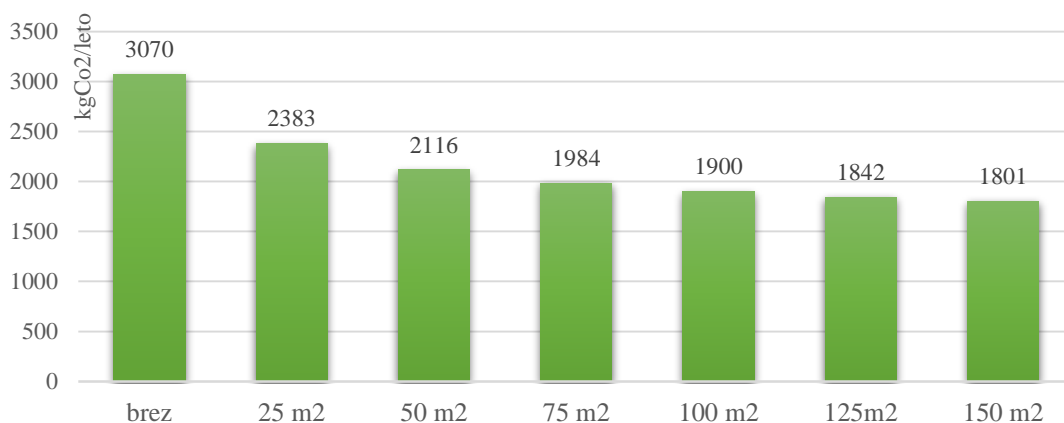
Figure 52: Solar photovoltaic settings

Lastnosti solarnih modulov pri obravnavanem primeru:

- Tip solarnih modulov: Suntech 190 W,
- Dimenzije modula; 1580 × 808 × 35mm,
- 72 sončnih celic v enem modulu,
- Monokristalna struktura,
- Ogrevanje prostorov s toplotno črpalko iz prejšnjega poglavja,
- Učinkovitost modulov 15 %,
- Kot strešine 26°,
- Moč 150 W/m<sup>2</sup>

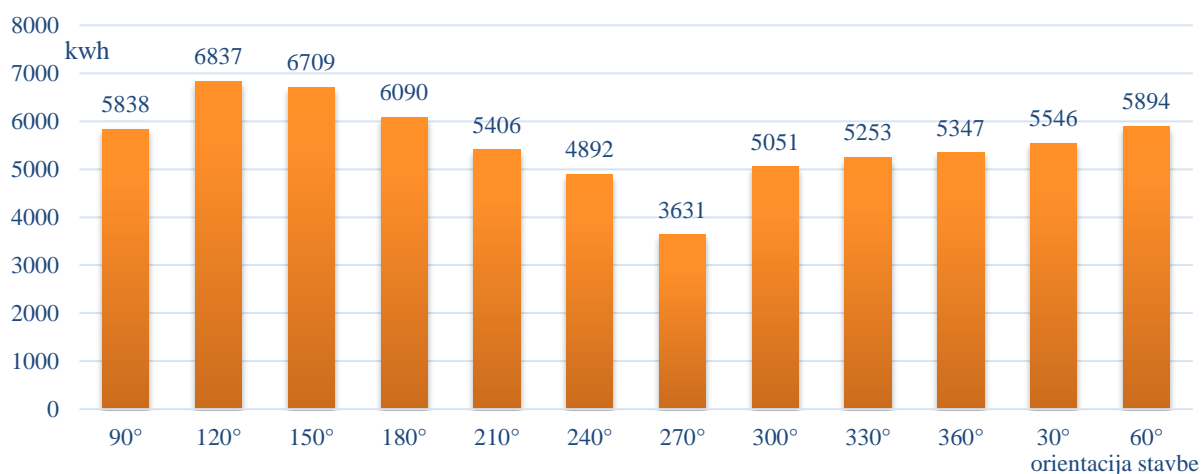
Na grafu 42 vidimo rezultate pridobljene z orodjem Ecodesigner, ki kažejo, da z investiranjem v fotovoltaične panele lahko že z 50 m<sup>2</sup> pokrite strešne površine dosežemo za tretjino manjše letne stroške porabe energije pri obravnavani stavbi. Pri uporabi več kot 100 m<sup>2</sup> fotovoltaičnih panelov investicija ni več upravičljiva, saj pridobljene energije brez primernih solarnih akumulatorjev ne moremo shraniti. Solarni akumulatorji nam omogočijo, da sistem shrani pridobljeno solarno energijo in jo oddaja takrat, ko jo rabimo. Obstaja možnost pridobivanja več sončne energije, kot jo potrebujemo, ki jo potem oddajamo v priključeno javno električno omrežje. V obravnavanem primeru upoštevam 50 m<sup>2</sup> za ogrevanje sanitarne vode in delovanje sistemov.





Grafikon 42: Zmanjšanje emisij CO<sub>2</sub> pri uporabi solarnih modulov  
Graph 42: Reducement of carbon emissions by use of solar modules

Iz grafa 43 je razvidna pridobljena solarna energija za različne orientacije stavbe. Pri orientaciji jug-sever (90°) imamo skoraj konstantno prejeta solarno energijo skozi celo leto. Pozimi pridobimo več energije, poleti pa manj energije v primerjavi z drugimi orientacijami stavbe.



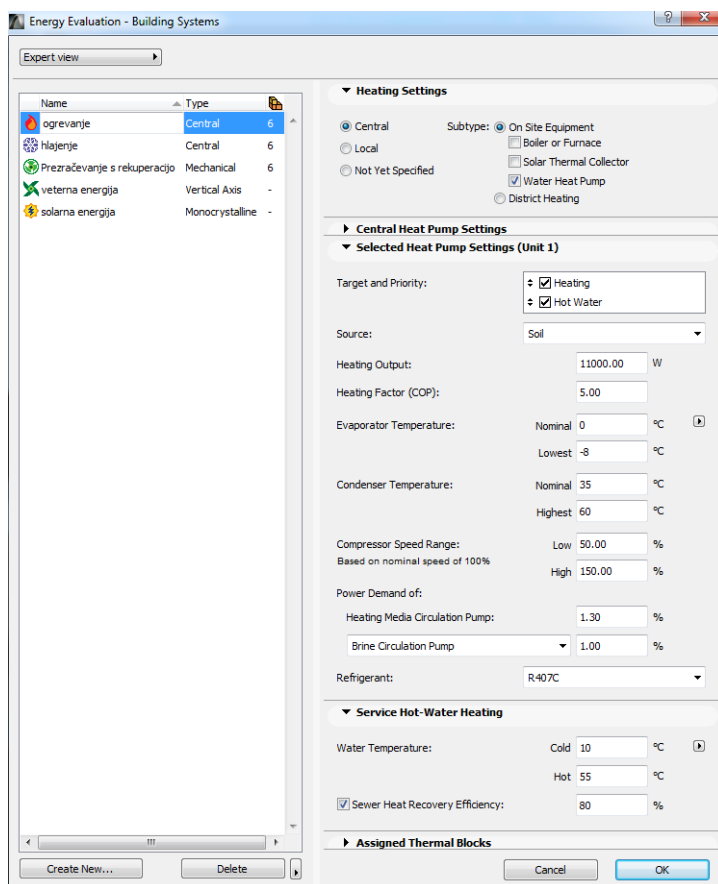
Grafikon 43: Prejeti solarni dobitki (kWh) glede na orientacijo stavbe  
Graph 43: Solar gains (kWh) by different building's orientation

Račun pridobivanja solarne energije skozi celotno leto v programu Ecodesigner STAR sem primerjal s programom Skelion, ki je vtičnik za program Sketchup. Program Skelion je namenjen oblikovanju solarnih sistemov in različnim izračunom, ki se nanašajo na solarne sisteme. Skelion poda izpise v katerih so razvidni samo podatki o potencialni proizvodnji solarne energije v določenem primeru. Ecodesigner Star pokaže v Excel izvoženi datoteki tudi podatek o potencialni proizvodnji solarnega Sistema, to je energija, ki bi jo lahko teoretično shranili. Rezultati dveh obravnavanih programov so sicer zelo podobni, posledično lahko sklepamo, da Ecodesigner na osnovi BIM modela izračuna primerno prejeta sončno energijo.

### Toplotna črpalka

Na spodnji sliki 53 je prikazano okno za določanje lastnosti toplotne črpalke. Izbrati moramo centralni način ogrevanja in izbrati vse prostore, ki uporabljajo ta sistem ogrevanja. Če izberemo lokalni sistem

ogrevanja, lahko dodamo samo eno cono oziroma prostor. V primeru TČ lahko nastavimo več parametrov, kot so na primer COP faktor, vhodna in izhodna temperatura, vrsta hladiva ipd.

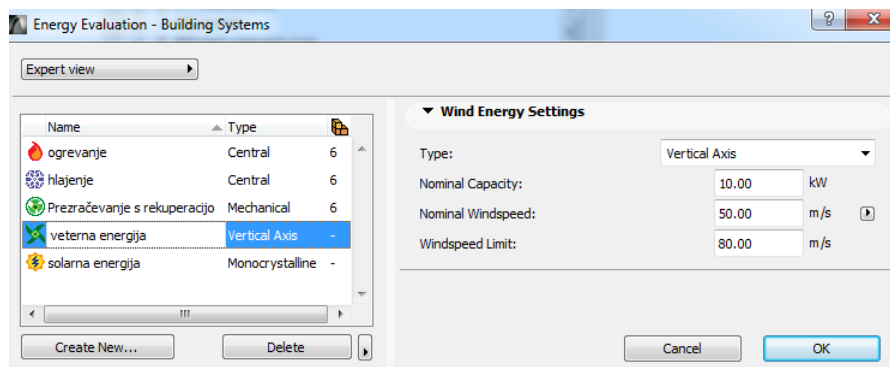


Slika 53: Nastavitve toplotne črpalke za ogrevanje objekta

*Figure 53: Heat pump settings*

## Vetrna energija

V ArchiCAD-u lahko s pomočjo orodja Ecodesigner STAR dodamo tudi sisteme za izkoriščanje vetrne energije. V obravnavanem primeru vetrne energije nisem upošteval, saj v Ljubljani ni vetrnega potenciala. Na spodnji sliki 54 je prikazano okno za definiranje vetrnih turbin.



Slika 54: Nastavitve za vetrno energijo

*Slika 54: Nastavitve za vetrno energijo*

## 4.6 Upoštevanje toplotnih mostov ovoja stavbe

### Toplotni mostovi

Toplotni mostovi so mesta v zunanjem ovoju stavbe, kjer je toplotni upor bistveno manjši od toplotnega upora na sosednjih mestih. Na mestih s toplotnimi mostovi je zato toplotni tok iz toplejšega notranjega prostora proti hladnejšem zunanjem okolju povečan, temperatura notranje površine pa znižana [5].

Definicija toplotnih mostov, povzeta po EN 10211: Toplotni mostovi so deli ovoja stavbe, kjer se sicer enakomerni toplotni upor spremeni zaradi:

- popolnega ali delnega preboja ovoja stavbe z materiali drugačne prevodnosti,
- spremembe v debelini gradbenega elementa,
- razlike v notranji in zunanji površini, ki nastane na stikih sten/tal/stropa.

Glede na vzrok nastanka delimo toplotne mostove na konstrukcijske, geometrijske, kombinacijske in konvekcijske toplotne mostove. Glede na prevladujočo dimenzijo delimo toplotne mostove na točkovne in linijske.

Najpomembnejši vplivi in posledice toplotnih mostov [11]:

- Povečan toplotni tok navzven, slabša toplotna bilanca stavbe, večja raba energije za obratovanje;
- ohladitev površine konstrukcije pod temperaturo rosišča, površinska kondenzacija vodne pare in razvoj plesni;
- madeži na zaključnih notranjih slojih zaradi povečanega odlaganja prahu;
- večja temperaturna asimetrija v prostoru in s tem slabše bivalno ugodje;
- gradbeno fizikalne in mehanske poškodbe materialov in konstrukcij, nepotrebni vzdrževalni stroški.

Zanemarjanje TM si nemoremo privoščiti pri računu energetske analize stavbe, saj se nam tako izkaže precej manjša poraba energije, posledično pa dobimo tudi izkaz o manjših emisijah CO<sub>2</sub>, kot so dejanske. Zatorej je upoštevanju toplotnih mostov potrebno nameniti posebno pozornost. Pri računu energetskih izkaznic, toplotne mostove nekateri upoštevajo le na poenostavljen način, posledično so njihovi izračuni na nevarni strani, rezultati pa izgledajo preveč idealni. TM lahko računamo po več metodah, pri nekaterih je vpliv TM velik, pri nekaterih pa majhen. Metode za izračun toplotnih mostov so različno stroge, nekatere nas celo pripeljejo na varno stran.

Toplotni mostovi vplivajo na toplotno bilanco stavbe, toplotno ugodje v prostoru ter v skrajni obliki na higienske in zdravstvene razmere v bivalnem okolju. Tudi v primeru, če toplotni mostovi povzročajo majhne toplotne izgube, še vedno vplivajo na znižanje notranje površinske temperature, kar povzroča poškodbe materiala, estetske in higienske težave na konstrukciji [5].

Za izračun pravilne energetske analize je torej potrebno upoštevati TM, ki pozimi povzročajo uhajanje toplote, poleti pa prispevajo pregrevanju stavbe.

V računalniških programih imamo možnost vnašanja vrednosti toplotnih mostov po poenostavljenih metodah ali pa vnašamo vrednosti toplotnih mostov iz katalogov in priročnikov. Vendar je večina omenjenih načinov nenatančna in precej na varni strani.

V mojem primeru sem vpliv vseh linijskih TM določil z orodjem Ecodesigner STAR, kjer izračunamo  $\Psi$  vrednosti in jih enostavno pomnožimo z njihovo dolžino  $L$  (m). Običajna verzija Ecodesigner, ki je vgrajena v ArchiCAD 19 ima možnost računa TM, vendar ne podaja rezultatov, zato moramo imeti verzijo STAR.

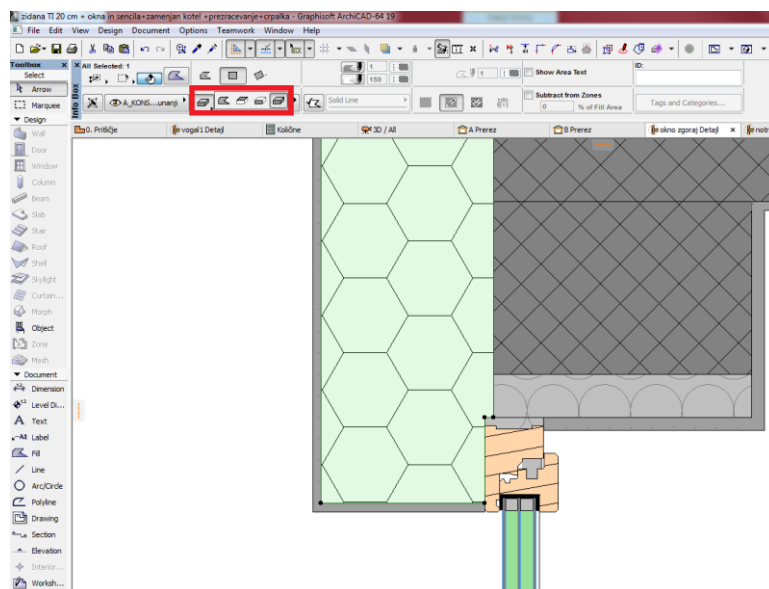
Na preglednici 36 so prikazane izračunane vrednosti  $\Psi$  (w/mK) toplotnih mostov za obravnavano zidano stavbo – Hiša 1. Zaželjene so čim manjše vrednosti  $\Psi$  (w/mK). V BIM-u lahko naš model zelo hitro in dinamično izboljšamo, s tem da popravljamo določene detajle in zmanjšamo  $\Psi$  (w/mK).

Preglednica 36:  $\Psi$  vrednosti toplotnih mostov v ArchiCAD-u  
Table 36:  $\Psi$  values of thermal bridges in ArchiCAD

Toplotni most – Hiša 1	$\Psi$ (w/mK)	$\Sigma L$ (m)
plošča - zunanja stena	0,155	78
Streha – zunanja stena	0,18	61
Zunanji temelj	0,16	88
Notranj temelj	0,19	48
Konzolna plošča	0,30	5
strešni špirovci	0,12	283
vogal navzven	0,19	38
vogal navznoter	0,09	33
T križanje sten	0,22	6
Okno	0,42	150

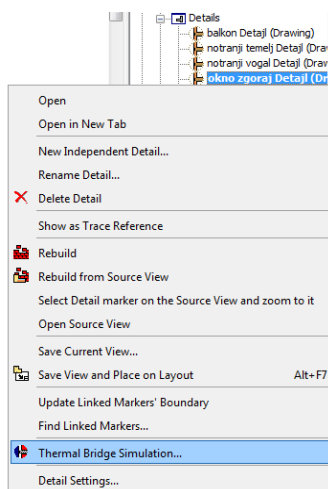
Vpliv TM na povečanje porabe energije v stavbi je odvisen od specifičnega primera stavbe. Vpliv posameznega TM lahko izračunamo. V programu Ecodesigner STAR lahko na BEM modelu izračunamo  $\Psi$  vrednosti toplotnih mostov in jih apliciramo na model stavbe. Program ima možnost dodajanja toplotnih mostov v pripadajoč termalni blok s pripadajočo dolžino toplotnega mostu.

Za izračun TM moramo sprva v tlorisu oziroma prerezu označiti določeni del stavbe kot detajl. V navigatorju odpremo omenjeni detajl, razstavimo poligone z ukazom *Edit > Grouping > Ungroup*. Nato za vsak poligon na detajlu določimo material (Slika 55) s pomočjo ukaza *Fill Material*, saj je treba posamezne poligone v detajlu definirati kot material in ne zgolj kot šrafuro. Detajl lahko z ukazom *Fill* dodatno dodelamo ali pa ga spremenimo.



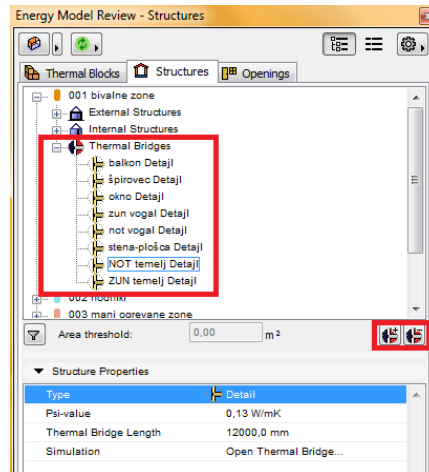
Slika 55: Detajl za račun toplotne mostu  
Figure 55: Detail for thermal bridge calculation

Ko je detajl po želji narisan, lahko poženemo račun toplotnega mostu (slika 56). Na sliki 57 so prikazani TM, ki so dodani na modelu.



Slika 56: Bližnjica do izračuna toplotnih mostov  
Figure 56: Shortcut to thermal bridge calculation

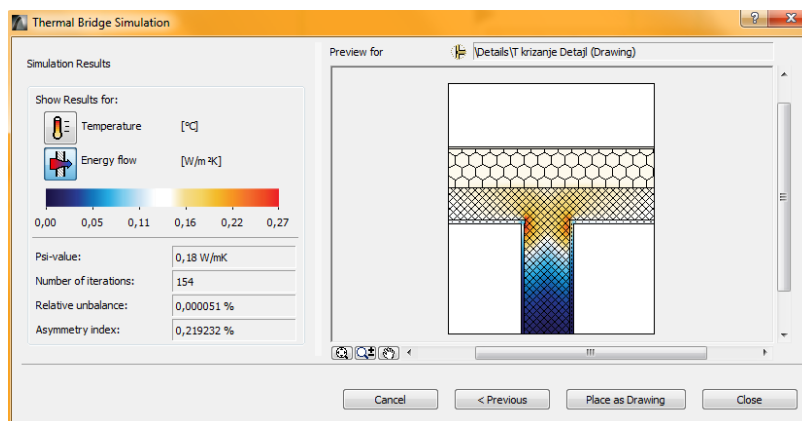
Ko apliciramo posamezne TM na modelu, nam program lahko v nekaterih primerih prepreči analizo energetskega modela, in sicer z javljanjem napake. Vzrok napake leži v enem izmed izračunanih TM. V primeru javljanja napake pri izračunu posameznega TM preverimo pravilnost narisane detailja in skušamo najti napako. Če ne najdemo napake tak detailj toplotnega mostu ustvarimo ponovno.



Slika 57: Prikaz dodanih toplotnih mostov v določeni coni

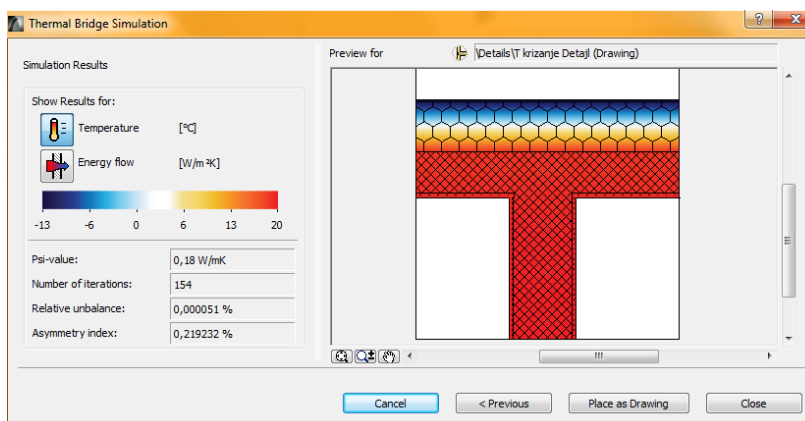
Figure 57: View of added thermal bridges in particular zone

Na spodnjih slikah je prikazan rezultat izračunanega toplotnega mostu. Na sliki 58 je razviden energijski tok skozi stik AB notranje in zunanje stene, na sliki 59 je razviden potek temperature. Vrednosti toplotnih mostov so po izračunu shranjeni v modelu in jih lahko dodajamo posameznim conam ter določimo dolžino določenega linijskega toplotnega mostu. Po izračunu toplotnih mostov lahko slike poteka energijskega toka ali poteka temperature skozi konstrukcijo dodamo k načrtom.



Slika 58: Energijski tok skozi T-križanje

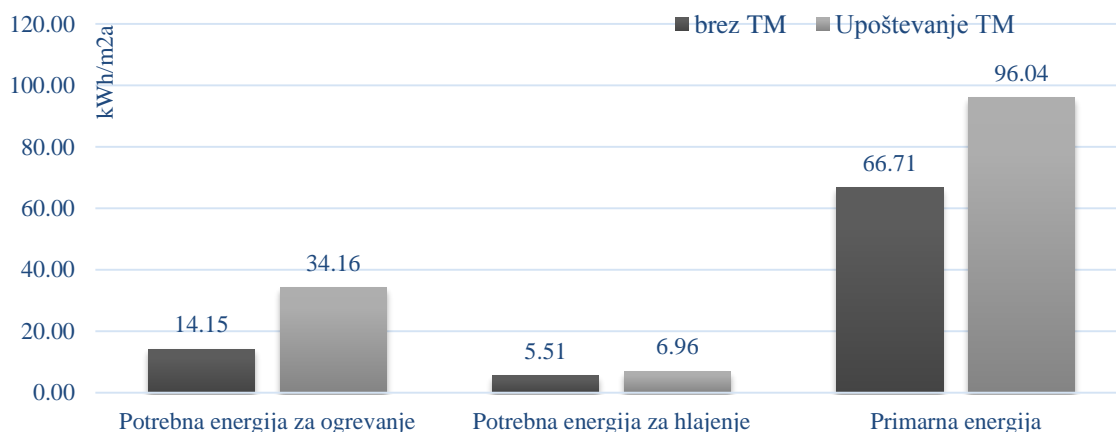
Figure 58: Energy flow through T-post detail



Slika 59: Potek temperature skozi T-križanje  
Figure 59: Temperature through T-post detail

Na spodnjem grafu 44 je prikazano povečanje rabe energije za ogrevanje in hlajenje ter primarne energije ob upoštevanju toplotnih mostov na Hiši 1. Z upoštevanjem TM pade stavba iz kategorije pasivnih hiš v kategorijo nizkoenergijskih hiš. Z izboljšanjem detajlov in zmanjšanjem TM lahko dosežemo boljšo energetske učinkovitost stavbe in temu primerno manjšo emisijo CO<sub>2</sub> pri delovanju stavbe. Na srečo je BIM pravo orodje za takšen način dela.

Poleg implementiranja dejanskih vrednosti TM lahko upoštevamo vpliv toplotnih mostov tako, da povečamo *U*-faktor vseh KS za 0,06 W/mK, kar je eden izmed poenostavljenih načinov za upoštevanje TM ovoja stavbe. V programu ArchiCAD lahko na srečo v nekaj sekundah ročno spremenimo *U*-faktor konstrukcijskih sklopov.



Grafikon 44: Vpliv toplotnih mostov na porabo energije  
Graph 44: Thermal bridges influence on energy usage

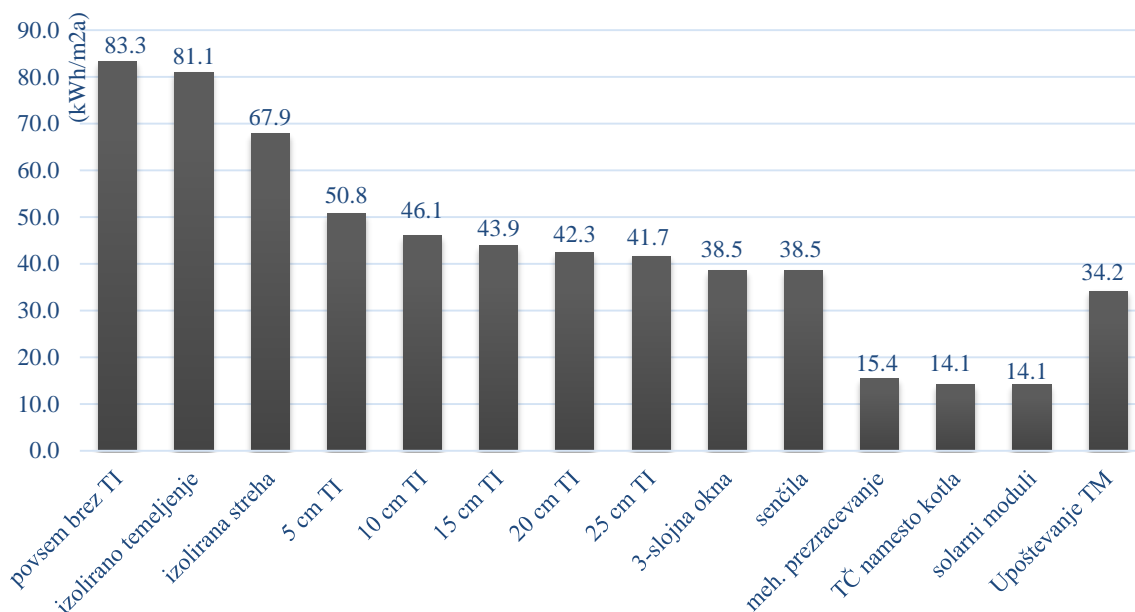
Na grafu 45 je razvidna razlika sproščenega CO<sub>2</sub> v primeru upoštevanja toplotnih mostov na Hiši 1. Vidimo, da z upoštevanjem TM zanemarimo 26,9 ton sproščenega CO<sub>2</sub> pri obratovanju stavbe v 60 letih. Z drugimi besedami, brez upoštevanja TM se izkaže kot, da bi stavba sprostila 22 % manj emisij ogljikovega dioksida.



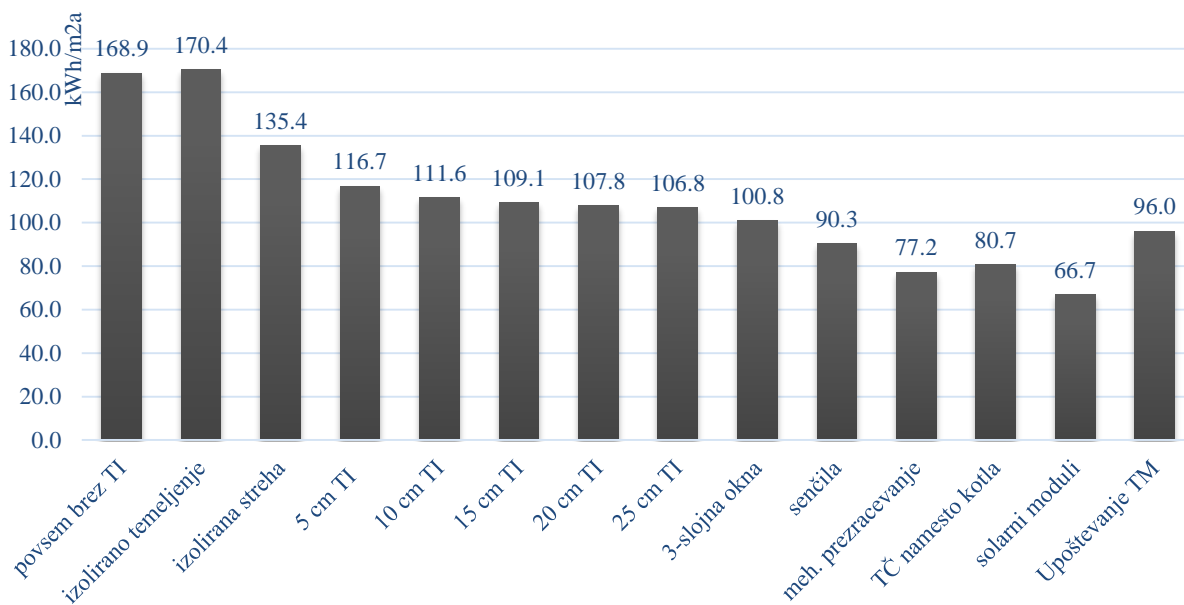
Grafikon 45: Vpliv toplotnih mostov na sproščanje emisij stavbe  
Graph 45: thermal bridges influence on carbon emissions of the building

#### 4.7 Energetska bilanca stavbe

Namen prejšnjih podpoglavij je bil prikazati delovanje vtičnika Ecodesigner STAR in možnosti za optimiziranje energetske učinkovitosti stavbe. V tem podpoglavju so prikazani skupni rezultati, ki so pomembni z energetskega vidika in se nanašajo na zidano stavbo t.i. Hiša 1. Iz naslednjih grafikonov je razvidno izboljšanje energetske učinkovitosti po omenjenih ukrepih URE. Končni model stavbe spada v razred nizkoenergijskih objektov.

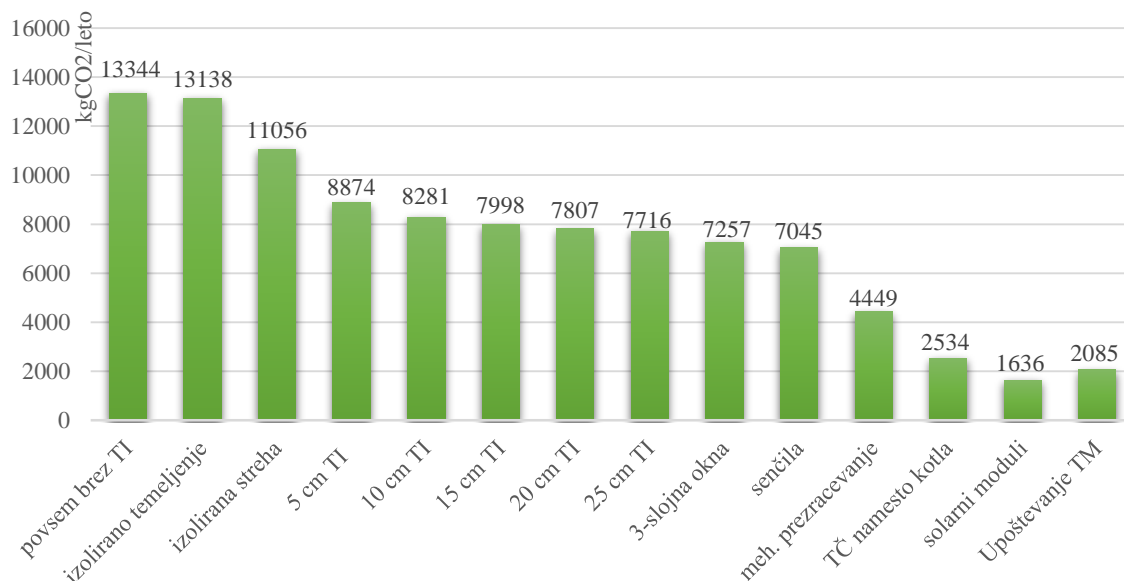


Grafikon 46: Poraba energije za ogrevanje stavbe, po ukrepih URE  
Graph 46: Heating energy usage by energy efficiency measures



Grafikon 47: Poraba primarne energije stavbe, po ukrepih URE  
Graph 47: Primary energy usage by energy efficiency measures

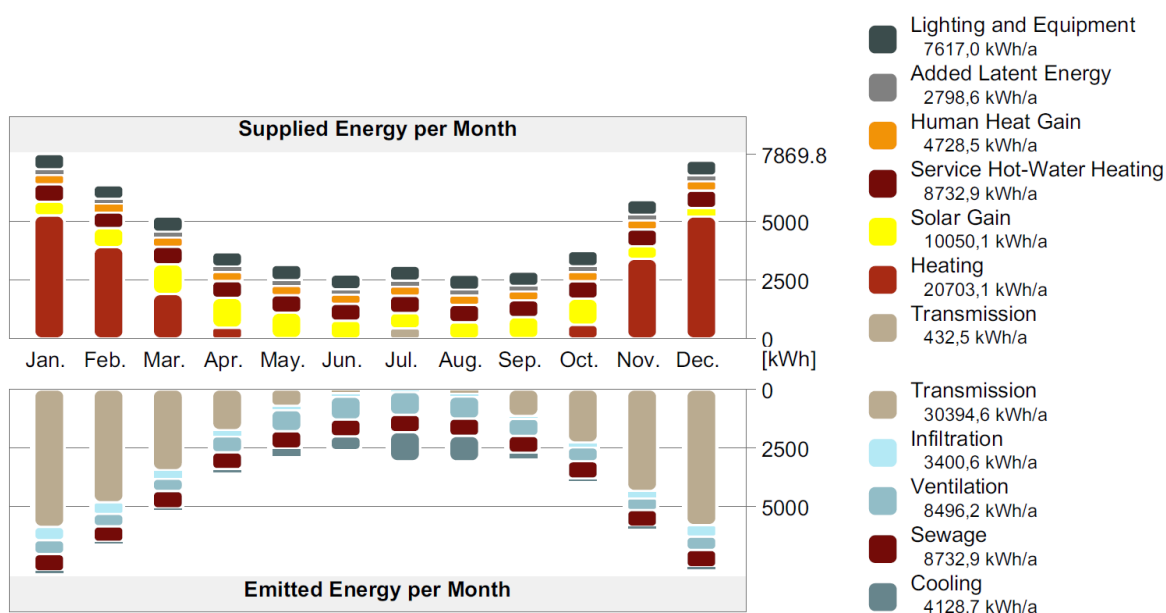




Grafikon 48: Letne emisije CO<sub>2</sub>, po ukrepih URE  
Graph 48: Annual carbon emissions by energy efficiency measures

Letna energijska bilanca predstavlja vsoto toplotnih izgub in toplotnih dobitkov stavbe skozi celo leto. Višje so toplotne izgube stavbe, več toplotnih dobitkov potrebujemo, te omogočimo z ogrevanjem prostorov. Analogno velja za previsoke toplotne dobitke, te moramo zmanjšati s hlajenjem prostorov stavbe. Pri energetski bilanci stavbe torej stremimo k izenačenju izgub in s tem zmanjšanju rabe energije pri stavbi.

Na spodnjem grafu 49 vidimo energijsko bilanco iz direktnega poročila programa Ecodesigner, ki prikazuje dobitke in izgube energije po mesecih.



Grafikon 49: Energetska bilanca Hiše 1 iz poročila Ecodesigner-ja  
Graph 49: Energy balance of House 1 from Ecodesigner report

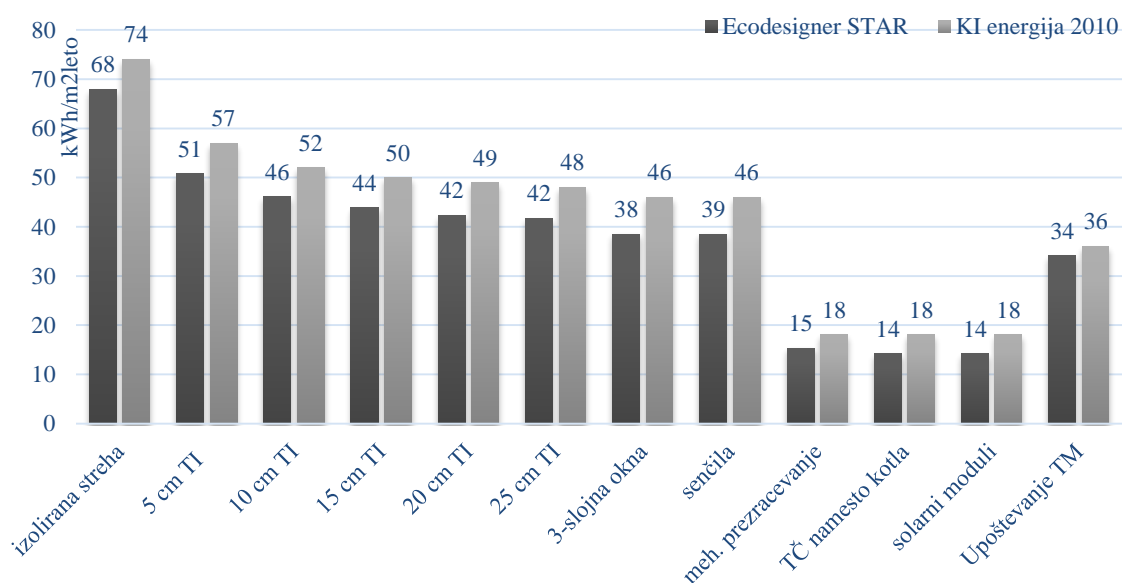
## Primerjava rezultatov energetske analize z drugimi računalniškimi programi

Na spodnjih grafih je prikazana primerjava rezultatov simulacije porabe energije pri uporabi Ecodesigner STAR in KI Energija 2010 za obravnavano Hišo 1, po posameznih ukrepih URE. Rezultate sem sicer primerjal tudi za manjše objekte, kjer je razmerje odstopanja podobno. Za manjše objekte sem primerjal rezultate v programih KI Energija 2010, TOST in URSA gradbena fizika, najmanjša odstopanja od rezultatov Ecodesigner-ja sem iz lastnih izkušenj dobil s programom KI Energija 2010. Program KI Energija je enostaven brezplačni program za izdelavo energetskih izkaznic in izdelavo energetskih elaboratov, vendar pa je v primeru večjih modelov delo v takšnih programih zamudno in nepregledno. V programu KI Energija ne moremo določiti natančne geometrije stavbe in posameznih con, določanje vseh parametrov pa je zelo zamudno.

Na spodnjih grafih vidimo, da so rezultati dobljeni s pomočjo Ecodesigner-ja in KI Energije 2010 kar precej podobni. Odstopanje rezultatov je največje pri primerjanju povzročenih emisij objekta. KI Energija 2010 in podobni programi iz neznanega razloga prikazujejo precej višje vrednosti emisij. Dodajanje OVE sistemov in naprednih sistemov ogrevanja v KI Energiji po lastnih izkušnjah nima vpliva na znižanje emisij CO<sub>2</sub>. Poraba energije pa je s programom KI Energija 2010 lahko precej natančno določena.

Ecodesigner STAR ima kot orodje v BIM modelirniku zelo veliko prednosti in velik potencial v prihodnosti. V primeru dela z BIM modelirnikom je tak način analiziranja energetske učinkovitosti zelo hiter, dinamičen in enostaven. Pri delu lahko zlahka iščemo najboljše rešitve, ki jih lahko neposredno zelo hitro apliciramo, preverimo in primerjamo. Ne moremo pa izdelati izkaza stavbe, elaborate URE in energetske izkaznice, ki bi ustrezala slovenskemu pravilniku o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb.

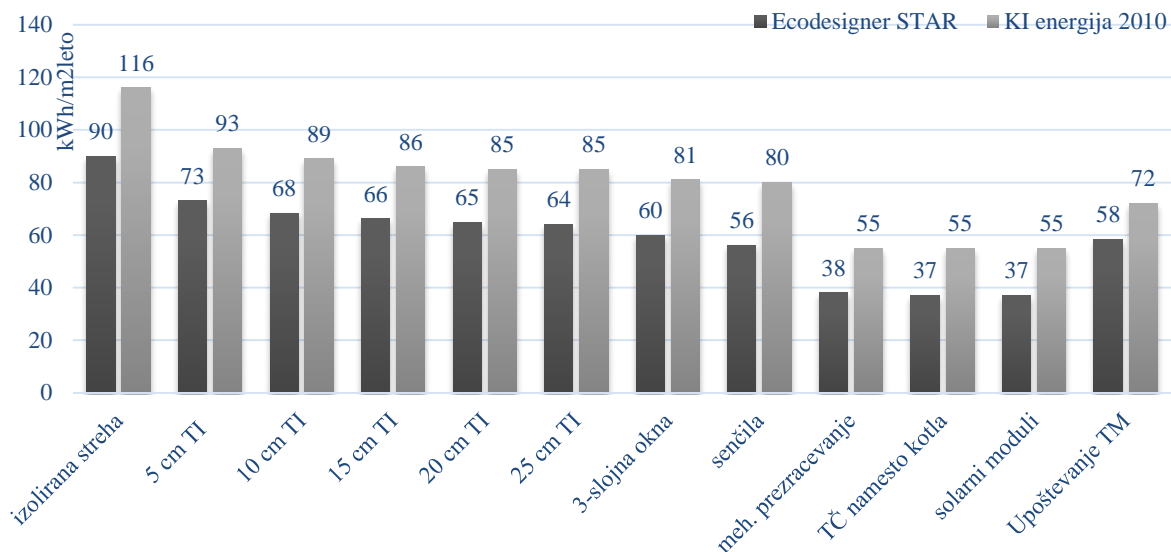
Na grafikonu 50 je primerjana energija potrebna za ogrevanje. Odstopanje rezultatov se pojavlja v deležu od 6 do 17 %.



Grafikon 50: Primerjava letne potrebne energije za ogrevanje (KI Energija 2010 in Ecodesigner STAR)

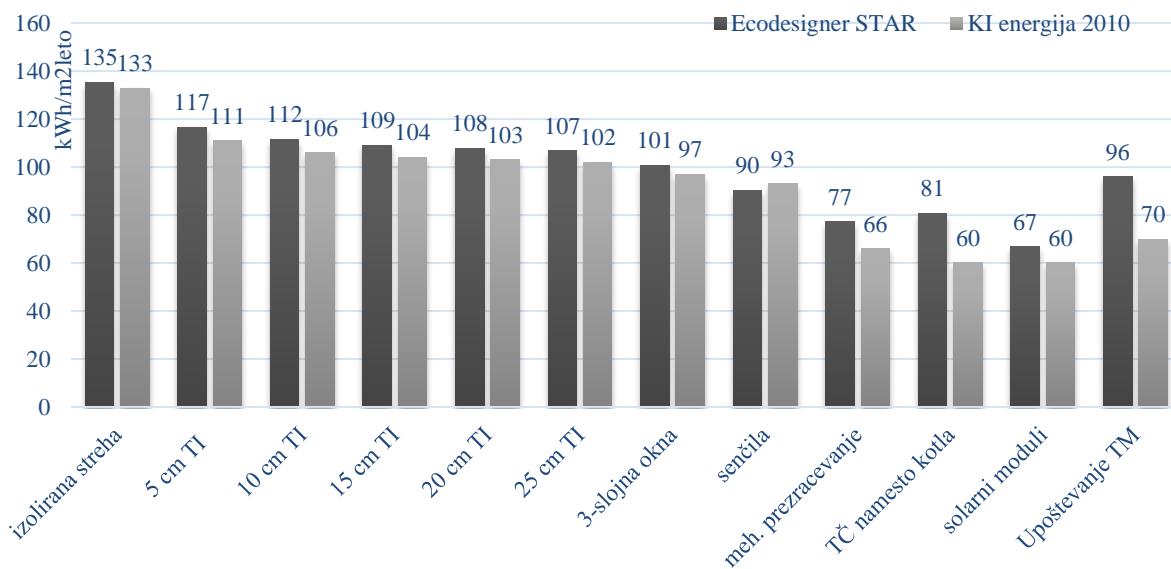
Graph 50: Comparison of heating energy (KI Energija 2010 and Ecodesigner STAR)

Malo višja odstopanja so pri letni dovedeni energiji, kar je razvidno na grafu 55.



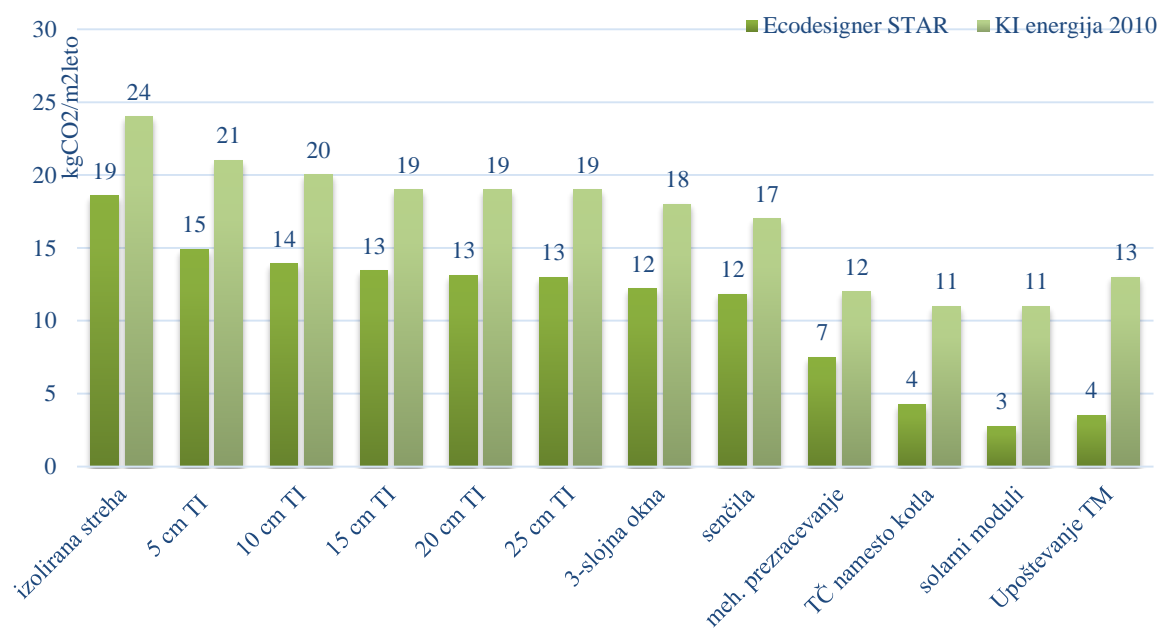
Grafikon 51: Primerjava letne dovedene energije (KI Energija 2010 in Ecodesigner STAR)  
Graph 51: Comparison of consumed energy (KI Energija 2010 and Ecodesigner STAR)

Na grafikonu 52 je prikazana primerjava letne primarne energije, kjer rezultati KI Energije večinoma malo odstopajo.



Grafikon 52: Primerjava letne primarne energije (KI Energija 2010 in Ecodesigner STAR)  
Graph 52: Comparison of primary energy (KI Energija 2010 and Ecodesigner STAR)

Na grafu 53 je prikazana primerjava letnih emisij stavbe. Odstopanja so precej velika, rezultati pa so precej bolj natančni z uporabo orodja Ecodesigner STAR.



Grafikon 53: Primerjava letnih emisij CO<sub>2</sub> na m<sup>2</sup> (KI Energija 2010 in Ecodesigner STAR)  
Graph 53: Comparison annual carbon emissions per m<sup>2</sup> (KI Energija 2010 and Ecodesigner STAR)

## 5 OGLJIČNI ODTIS RAZLIČNIH KONSTRUKCIJSKIH RAZLIČIC STAVBE

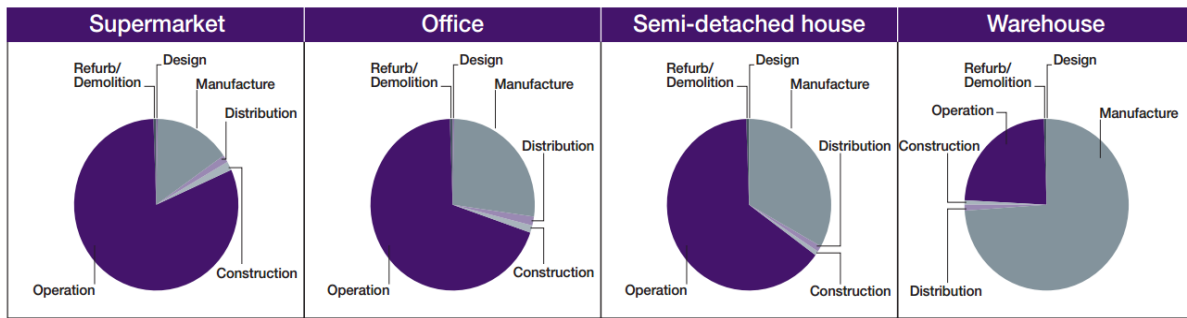
Namen tega poglavja je prikazati oceno skupnega ogljičnega odtisa v celotnem ŽC štirih različic obravnavane stavbe ter določiti najbolj neugodno oziroma ugodno izbiro izvedbe. Obravnavane različice stavbe imajo enako obliko, funkcijo, orientacijo, površino in prostornino. V analizo so vključeni izolacijski materiali, nosilna konstrukcija, zaključni sloji in okna. Opisi in sestave posameznih konstrukcij so prikazani v poglavju 3.2.

BIM model vsebuje vse potrebne informacije, ki so pomembne za vrednotenje trajnosti objekta. Parametri, kot so vgrajena energija in vgrajene emisije, so na osnovi geometrijskih podatkov izračunani v nekaj sekundah, kar bi po ročnem postopku trajalo neprimerljivo dlje. Vtičnik Ecodesigner STAR nam omogoča izračun porabe energije in letnih sproščenih emisijah pri obratovanju za izdelani BIM model. Po vzoru LCA metode sem izvedel primerjavo ogljičnega odtisa in vgrajene energije štirih konstrukcijskih različic obravnavane družinske. Sledeče analize v tem poglavju prikazujejo, kakšno obremenitev na okolje povzročajo različni tipi izvedbe stavbe. Takšni tipi analiz so že v številnih svetovnih znanstvenih člankih na spletnih straneh, kot je *Sicence Direct*. Eden izmed bolj zanimivih strokovnih člankov je »*Life Cycle Energy Consumption and Carbon Dioxide Emission of Residential Building Designs in Beijing*«, ki primerja ogljični odtis različnih izvedb stavbe v celotnem ŽC.

Izbira primernih materialov pri projektiranju lahko bistveno zmanjša ogljični odtis objekta. Emisije CO<sub>2</sub> pri obratovanju stavbe v njeni življenjski dobi 60 let (*operational carbon*) predstavljajo 74–80 % vseh emisij v življenjskem ciklu [31]. Tudi v znanstvenem članku [55] pravijo, da je približno 80 % porabe vse energije in sproščenih TGP emisij prav v fazi obratovanja stavbe (*Operation stage of building*). V slovenski literaturi [73] navajajo, da raba energije v življenjski dobi stavbe predstavlja v stavbah brez toplotne izolacije 80–85 % za delovanje sistemov v stavbi, v primeru stavbe z dobro toplotno izolacijo pa 40–60 %.

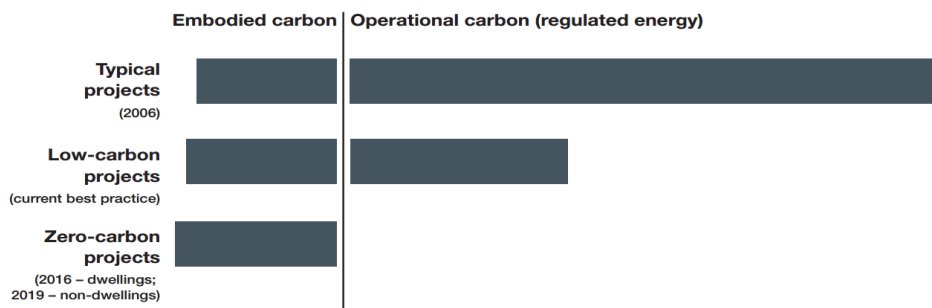
Poraba obratovalne energije stavb, ki je porabljena za ogrevanje, prezračevanje, hlajenje in delovanje naprav, predstavlja največji delež celotne porabe energije stavb v svojem življenju, prav zato ima največji vpliv na okolje. Posledično imajo dobra toplotna izolacija in ostali URE ukrepi izredno velik pomen pri zmanjšanju vpliva stavb na okolje. Zmanjšanje obratovalne energije bi morala biti glavna skrb arhitektov, ki želijo načrtovati »zelene« stavbe [58].

Običajno se 70–80 % celotnega CO<sub>2</sub> v objektih nanaša na fazo obratovanja oziroma uporabe in ostalo je v glavnem delež, ki se nanaša na začetno vgrajeni CO<sub>2</sub> v fazi proizvodnje. Razmerje porabljene energije oziroma sproščenih emisij v teh dveh fazah je odvisno od tipa objekta in namena uporabe. V objektu, ki porablja malo energije za obratovanje kot na primer skladišče, znašajo obratovalne emisije okoli 20 % v celotni življenjski dobi objekta (grafikon 54) [42].



Grafikon 54: Ogljični odtis v življenjskem ciklu različnih tipov stavb (v 30 letih) [42]  
Graph 54: Carbon footprint in life-cycle for different types of buildings (over 30 years) [42]

Naslednji grafikon 55 prikazuje razmerje vgrajenih in obratovalnih emisij glede na energijsko učinkovitost objekta. Torej pri energijsko učinkovitih objektih moramo nameniti več pozornosti vgrajenim emisijam CO<sub>2</sub>. S časom načrtovanje stavb stremi k nič ogljičnim stavbam, ki pri obratovanju ne povzročajo emisij TGP, imajo pa sicer višji delež vgrajenih emisij.

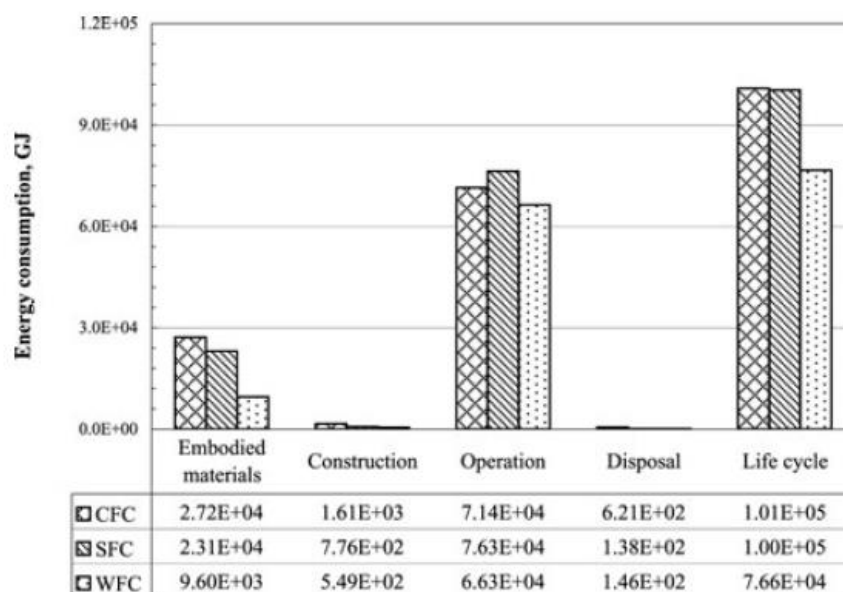


Grafikon 55: Sproščeni ogljikov dioksid glede na energetske učinkovitost objekta [42]  
Graph 55: Released carbon relating to the building's energy efficiency [42]

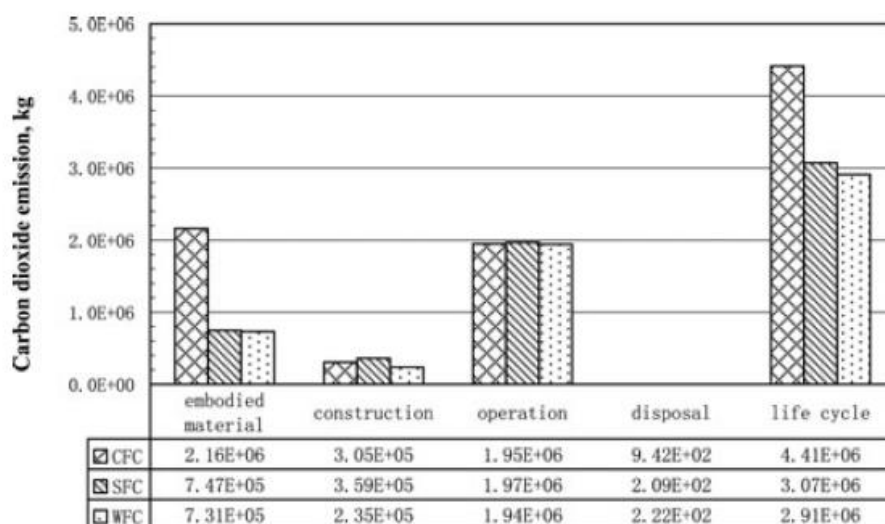
Ogljični odtis in vgrajena energija gradiv in izdelkov postaneta predvsem pomembna, ko stavbi zmanjšamo rabo energije tekom njene življenjske dobe [31].

Grafa 56 in 57 sta iz kitajske študije [45] in prikazujeta porabo energije in sproščanje CO<sub>2</sub> emisij lesene, betonske in jeklene stanovanjske stavbe po fazah ŽC. Opomniti velja, da je študija izvedena v Pekingu, kjer so drugačne okoliščine kot pri nas. V raziskavi [45] omenjajo, da energija v fazi gradnje in odstranitve stavbe, ne glede na tip gradnje, skupaj tvori le 2 % energije porabljene v ŽC. Sicer pa je najmanj energije porabljeno v fazi odstranitve objekta. Vgrajena energija obravnavanih stavb v omenjeni raziskavi obsega 13–27 % skupne porabljene energije v življenjskem ciklu oziroma 71–87 % skupne energije pa v fazi delovanja stavbe.

V raziskavi [49] omenjajo ugotovitve Sartori and Hestnes iz leta 2007, kjer so opravili statistiko na 60 stavbah in pri tem ugotovili, da vgrajene emisije TGP pri tradicionalno načrtovanih stavbah predstavljajo 2–38 % oziroma povprečno 20 % vseh emisij TGP.



Grafikon 56: Poraba energije v fazah življenjskega cikla [45]  
Graph 56: Energy consumption comparison for each phase of the building life cycle [45]



Grafikon 57: CO2 emisije v fazah življenjskega cikla [45]  
Graph 57: The carbon dioxide emissions across the building life cycle [45]

Naslednja analiza [63] primerja ogljični odtis večstanovanjske stavbe na Švedskem in predstavlja primerjavo dveh konstrukcijskih izvedb enakega objekta. Na preglednici 37 vidimo primerjavo ogljičnega odtisa iz študije [63], kjer je ogljični odtis okvirne armiranobetonske različice za 36 % višji od izvedbe z leseno okvirno konstrukcijo. Slednja raziskava je pokazala, da ima lesena izvedba tudi z upoštevanjem renoviranja konstrukcije nižji ogljični odtis od armiranobetonske okvirne izvedbe, ki sicer v dobi 100 let ne potrebuje renoviranja konstrukcije.

Preglednica 37: Primerjava ogljičnega odtisa dveh izvedb primera večstanovanjske stavbe [63]

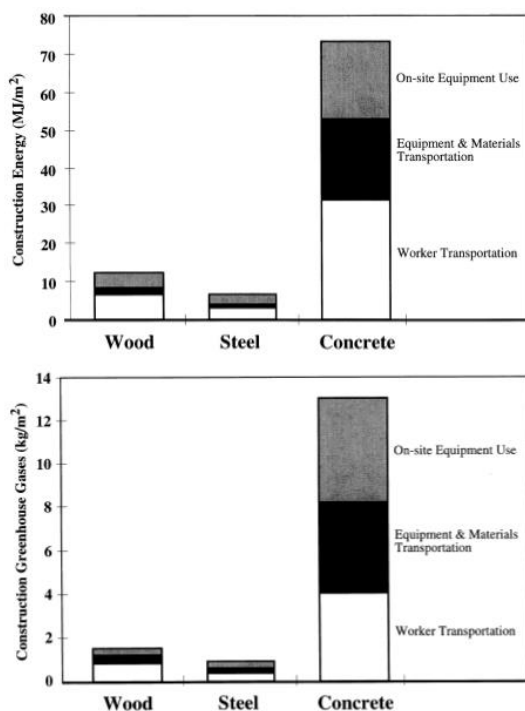
Table 37: Comparison of two variants of residential building [63]

Stage	Concrete frame (kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	Wooden frame (kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )
1: Extraction, production and transportation	308	190
2: On site construction	4	4
3: End of life	43	31
<b>Total</b>	<b>354</b>	<b>225</b>

V fazi gradnje in odstranitve je ocenjeno, da se sprosti manj kot 11 % vseh emisij CO<sub>2</sub> v življenjskem ciklu [45]. Sproščanje TGP med procesom gradnje je odvisno od načina izvedbe, namreč prefabricirana gradnja ima za razliko od konvencionalne gradnje manjšo porabo energije in posledično manjše sproščanje emisij TGP [55]. Čeprav po virih članka [55] faza gradnje objekta obsega le 0,4–12 % vseh emisij TGP, ji bomo morali posvetiti več pozornosti, saj v zadnjih letih poraba energije v stavbah pri obratovanju pada zaradi politike varčevanja z energijo in ukrepov energetske učinkovitosti. Emisije TGP v fazi gradnje lahko zmanjšamo do 30 % z pazljivo izbiro materialov, ki imajo manjši vpliv na okolje [55].

Energija porabljena v fazi gradnje je odvisna od tipa konstrukcije (les, beton ali jeklo), največji delež energije v tej fazi se porabi za transport delavcev in gradbenega materiala na gradbišče [57]. Običajna ocena za delež vgrajene energije v fazi gradnje je okoli 7–10 % celotne vgrajene energije. V resnici je ta delež za betonske konstrukcije višji, prav tako pa je za lesene in jeklene konstrukcije delež v resnici manjši kot običajna ocena [57].

Na grafu 58 so prikazane povprečne vrednosti vgrajene energije in emisij TGP pri procesu gradnje. Razvidno je, da je pri betonskih konstrukcijah potrebno precej več energije kot pri lesenih in jeklenih konstrukcijah.





*Grafikon 58: Povprečne vrednosti EC in EE pri procesu gradnje za različne tipe konstrukcij [57]*  
*Graph 58: Average construction energy and greenhouse emissions for wood, steel and concrete assemblies [57]*

Katere aktivnosti in procesi spadajo pod fazo gradnje ni jasno določeno, prav zagotovo pa lahko prištevamo izkop terena, transport opreme, materiala in delavcev ter obratovanje opreme in strojev med gradnjo. V glavnem lahko emisije ŽC stavbe razdelimo na dva dela; vgrajene (EC) in obratovalne (OC) emisije. Vgrajene emisije se navezuje na vse primarne emisije povezane z porabljeno energijo, direktno ali indirektno, skozi celotni ŽC. Obratovalne emisije se navezuje na emisije, ki nastajajo pri vzdrževanju notranjega okolja (ogrevanje, prezračevanje, hlajenje, razsvetljava in gospodinjski aparati) [56].

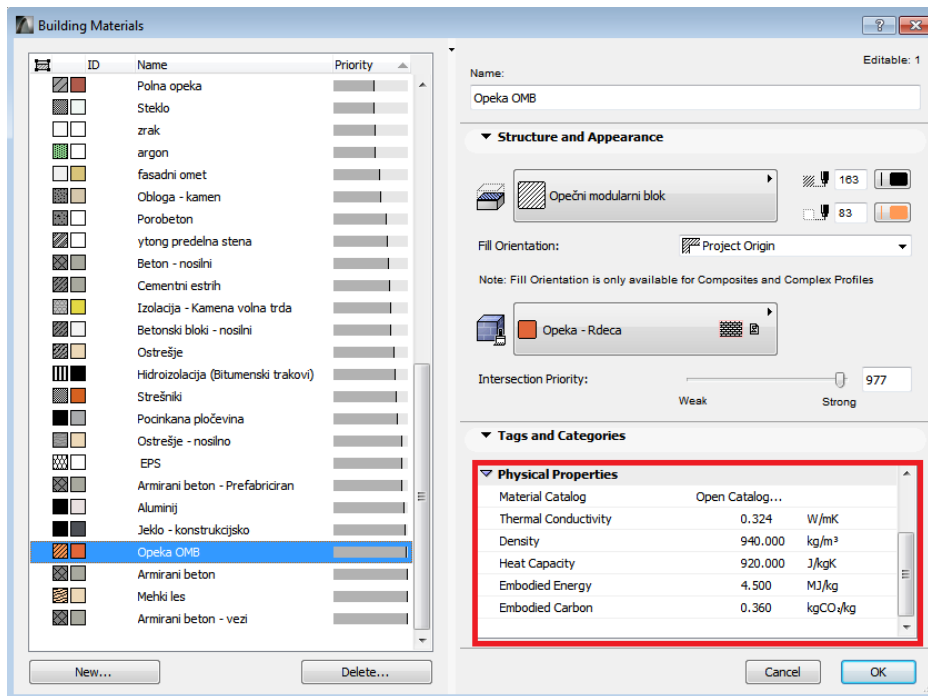
Stavbe vsebujejo ogromno elementov in opreme, a sem se v nalogi osredotočil samo na najbolj pomembne elemente. V nalogi obravnavam konstrukcijske sklope in okna, brez gospodinjskih aparatov, naprav, notranje opreme ter pohištva. Upoštevana je življenjska doba stavbe 60 let, čeprav lahko pri betonskih in zidanih objektih pričakujemo življenjsko dobo 100 let.

### **5.1 Ogljični odtis materialov**

V Sloveniji sicer (še) nimamo konkretne regulative, ki bi govorila o vgrajenih emisijah gradbenih materialov [75]. Preglednica 38 vsebuje podatke o fizikalnih lastnostih materialov, vgrajeni energiji ter ogljičnem odtisu (vgrajenih emisijah) materialov. Večina ocen ogljičnega odtisa stavb v svetovni strokovni literaturi obravnava vrednosti za fazo »od zibelke do vrat« (*Cradle to Gate*). Podatki nekaterih materialov se lahko nanašajo na fazo »od zibelke do groba« (*Cradle to Grave*), kjer se upošteva ogljični odtis v celotnem ŽC materiala oziroma izdelka.

Preglednica z vhodnimi podatki o materialih igra pomembno vlogo pri vrednotenju ogljičnega odtisa oziroma vgrajene energije različnih konstrukcijskih izvedbah. Pomniti je treba, da so omenjeni parametri materialov geografsko odvisni. Na primer v Sloveniji je vrednost ogljičnega odtisa lesa manjša kot v tujini, analogno so pri nas višje vrednosti za materiale, kot so EPS, XPS ipd.

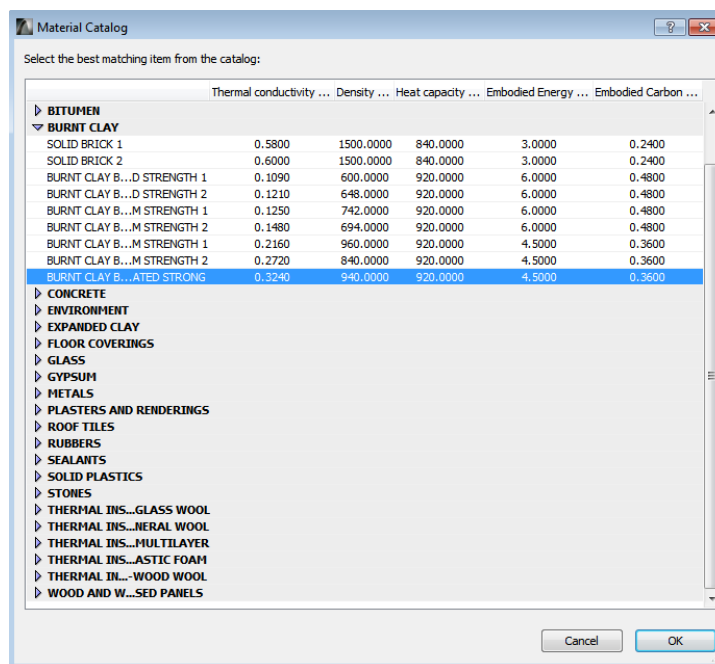
V modelirniku ArchiCAD lahko za posamezen material vpišemo tudi poljubne lastnosti materialov tako, da odpremo okno o stavbnih materialih (slika 60).



Slika 60: Nastavitve materialov v ArchiCAD 19

Figure 60: Building materials settings in ArchiCAD 19

Za posamezen material lahko izberemo karakteristike posameznega materiala z odpiranjem kataloga, kjer imamo dostop do izbire različnih materialov in njihovih privzetih lastnosti (slika 61).



Slika 61: Lastnosti materialov v katalogu materialov

Figure 61: Material properties in Material catalog

Podatki iz preglednice 38 so povzeti iz ArchiCAD-ove knjižnice materialov in iz podatkovne baze ICE (*Inventory of Carbon and Energy*), ki je delo Univerze Bath iz Velike Britanije (*Professor Geoff Hammond, University of Bath, and Dr Craig Jones, Circular Ecology*). Podatki v ArchiCAD-ovi knjižnici materialov so sicer precej podobni kot v ICE bazi materialov. ICE podatkovna baza je eden izmed vodilnih brezplačnih virov o vgrajeni energiji in vgrajenem CO<sub>2</sub> (ogljicnem odtisu) gradbenih materialov. ICE vsebuje preko 200 materialov razdeljenih v 30 kategorij. Ta podatkovna baza se lahko poleg v Veliki Britaniji uporablja tudi po celem svetu. Glede na lastna opažanja ima ICE baza podobne vrednosti kot Ecoinvent.

Podatki v ICE bazi v primeru lesenih izdelkov ne zajemajo sekvestracije oziroma shranjevanje CO<sub>2</sub> v lesu. Avtorji ICE baze opominjajo, da gre za kompleksno diskusijo, kjer večina avtorjev meni, da upoštevanje sekvestracije pri podatkih o lesenih izdelkih ni primerno za podatke o »Cradle to Gate«. Vrednosti materialov v spodnji preglednici veljajo v mejah »Cradle to Gate«.

Preglednica 38: Fizikalne lastnosti in vgrajena energija ter ogljični odtis uporabljenih materialov  
Table 38: Physical properties, embodied energy and carbon footprint of used materials

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\Lambda$ (W/mK)	E (MJ/kg)	kgCO <sub>2</sub> e/kg	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	Vir
Polna opeka (NF)	1500	0,60	3,0	0,24	360	ArchiCAD
Opečni bloki (OMB)	940	0,324	4,50	0,36	338	ArchiCAD
AB (100 % cementa)– plošče, stene	2400	2,50	1,03	0,163	391,2	ICE
AB (100 % cementa)– temelji, vezi	2400	2,50	0,95	0,148	355,2	ICE
AB (30 % pepela) – plošče, stene	2400	2,50	0,89	0,136	326,4	ICE
AB (30 % pepela) – temelji, vezi	2400	2,50	0,82	0,124	297,6	ICE
AB (50 % žlindre) – plošče, stene	2400	2,50	0,91	0,133	319,2	ICE
AB (50 % pžlindre)– temelji, vezi	2400	2,50	0,69	0,088	211,2	ICE
Prefabricirani AB	2300	2,30	1,92	0,198	455,4	ICE
Lahek beton / estrih	1800	1,15	0,74	0,107	193	ArchiCAD
Betonski bloki	1400	0,60	0,72	0,088	123	ArchiCAD
Porobetonski bloki	600	0,16	0,67	0,078	47	ArchiCAD
Bloki iz ekspandirane gline	330	0,13	6,50	0,48	158	ArchiCAD
Jeklo konstrukcijsko rečnik. (UK)	7800	45	21,5	1,53	11934	ICE
Žagan les	470	0,13	6,95	0,29	145	ArchiCAD
Steklo	2500	1,0	15,0	0,91	2275	ArchiCAD
Lesen pod	700	0,13	12,1	0,39	160	ArchiCAD
OSB plošča	650	0,13	15,0	0,9	585	ArchiCAD
Bitumenski trakovi HI	1100	0,23	2,66	0,56	616	ArchiCAD
Parna ovira PE	980	0,50	76,70	1,93	1891	ArchiCAD
Apnena (mavčna) malta	1000	0,40	1,60	0,11	110	ArchiCAD
Mavčno-kartonska plošča	900	0,25	6,75	0,39	351	ArchiCAD
Keramične ploščice - tla	2000	1,50	6,50	0,48	960	ArchiCAD

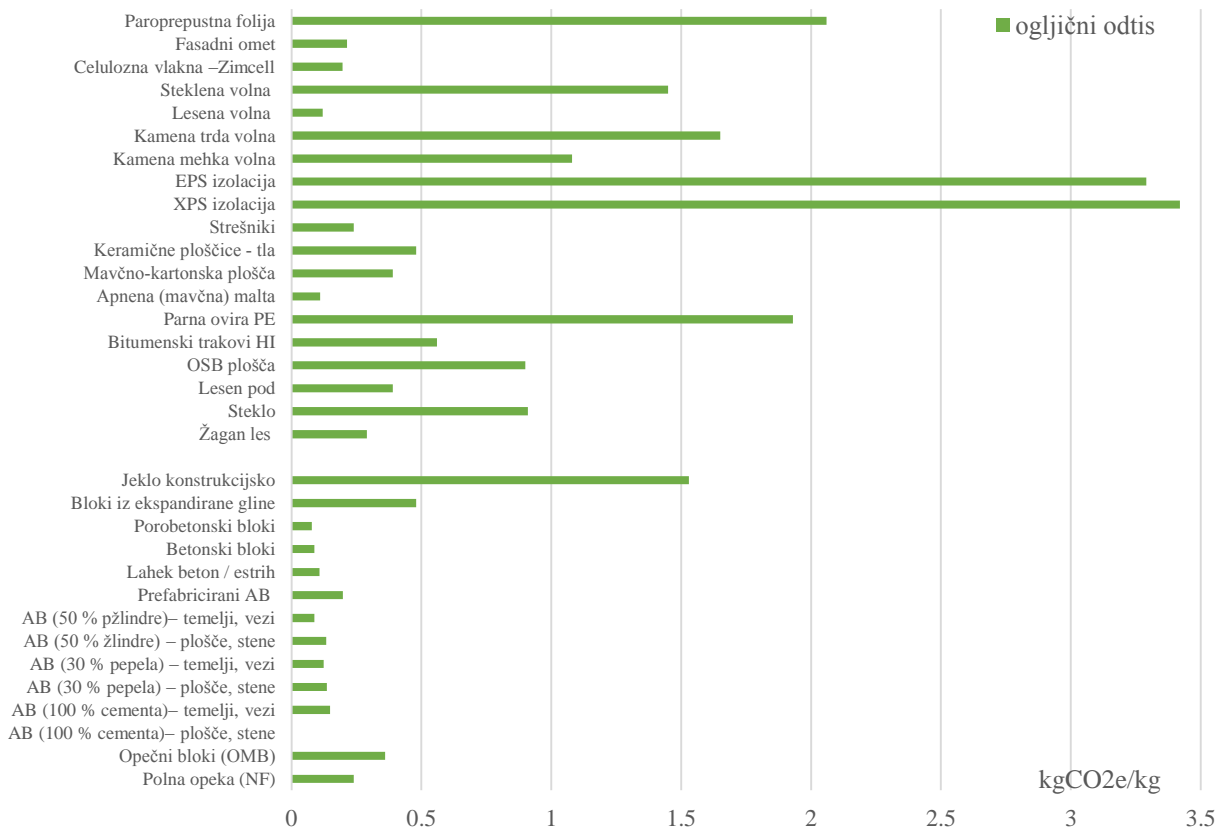
....se nadaljuje

...nadaljevanje preglednice 38

Strešniki	2000	1,0	3,0	0,24	480	ArchiCAD
XPS izolacija	28	0,032	87,0	3,42	96	ArchiCAD
EPS izolacija	25	0,036	88,60	3,29	82	ArchiCAD
Kamena mehka volna	40	0,037	14,30	1,08	66	ArchiCAD
Kamena trda volna	115	0,036	21,20	1,65	124	ArchiCAD
Lesena volna	200	0,075	10,80	0,12	24	ArchiCAD
Steklena volna	50	0,033	35,0	1,45	73	ArchiCAD
Celulozna vlakna –Zimcell	28	0,039	1,0**	0,196	10	Zimicell
Fasadni omet	1800	1,0	1,34	0,213	383	ArchiCAD
Paroprepustna folija	920	0,33	78,1	2,06	1895	ArchiCAD

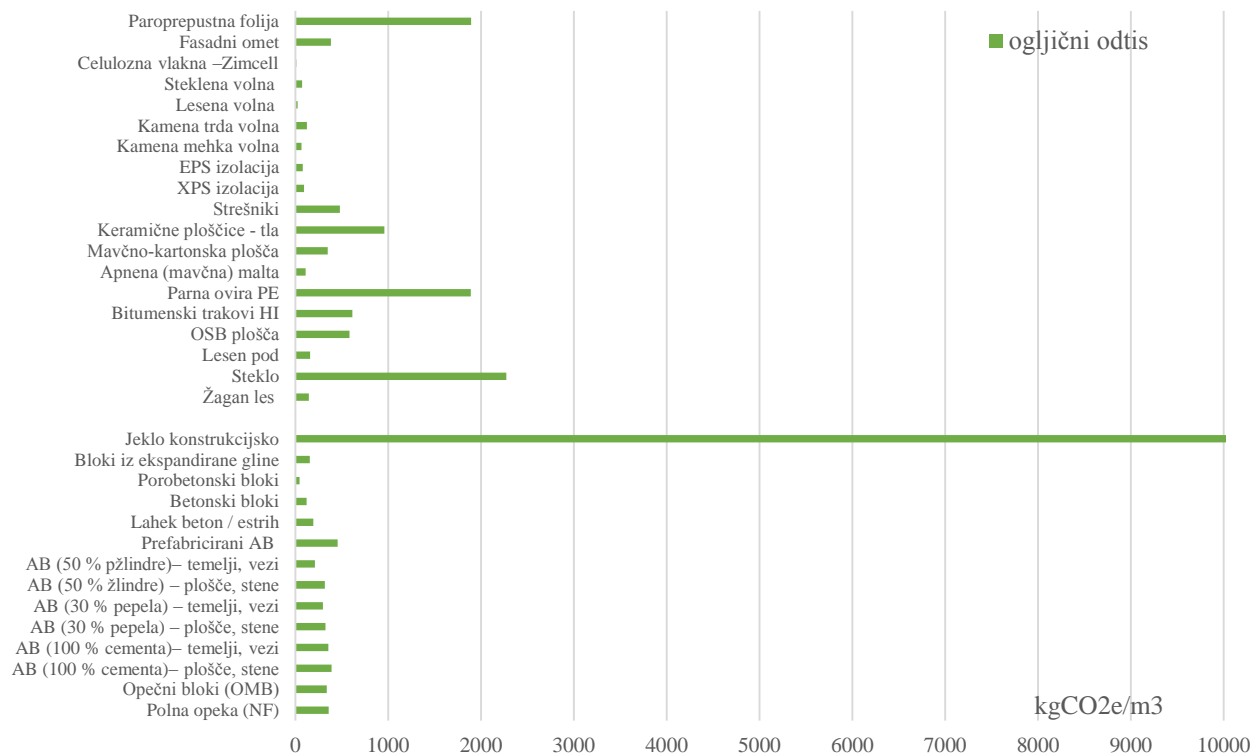
Podatki o celulozni izolaciji se nanašajo na slovenski izdelek Zimicell. Na grafu 59 vidimo grafično prikazane podatke o vgrajenih emisijah CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>-e/kg) materialov iz preglednice 38. Graf 61 analogno prikazuje podatke o vgrajeni energiji (MJ/kg) materialov.

Zavedati se je potrebno, da ocene vgrajenih emisij temeljijo na kompleksnih izračunih in se ne smemo povsem zanašati nanje. Glede na vir strokovnega članka [59] lahko opozorim, da so nekatere trditve o okoljski prijaznosti določenih materialov zgolj komercialne narave in običajno nimajo nobene analitične osnove.

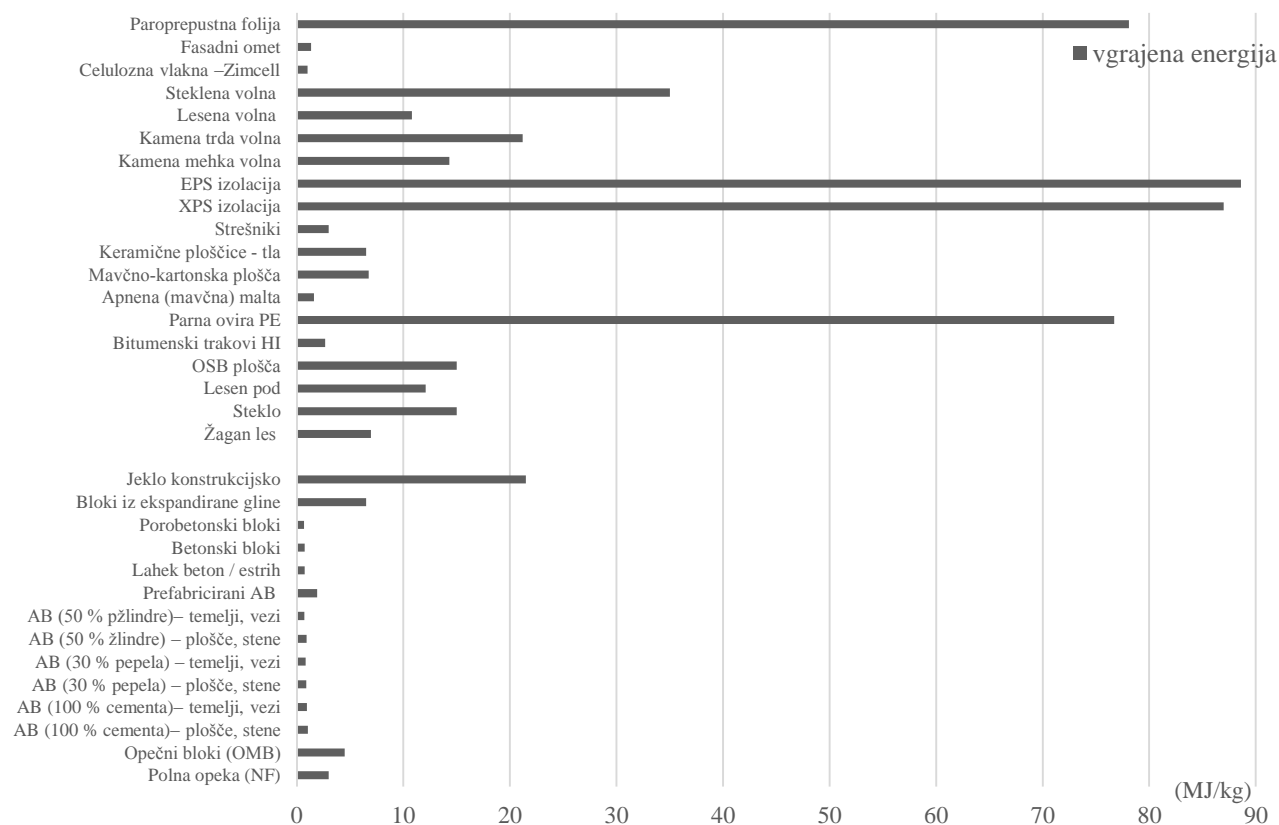


Grafikon 59: Graf ogljičnega odtisa materialov na osnovi preglednice 38

Graph 59: Graph of material carbon footprint based on table 38

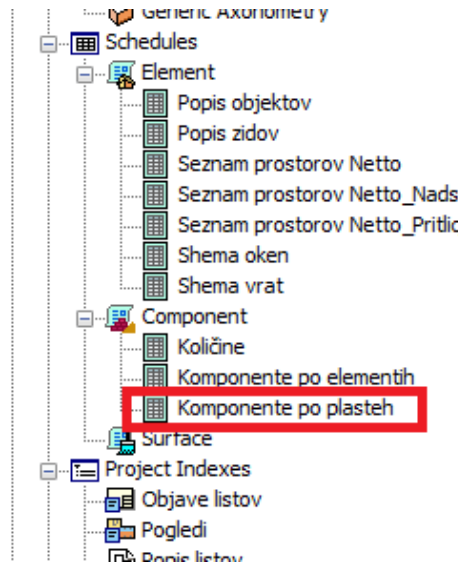


Grafikon 60: Graf ogljičnega odtisa materialov na osnovi preglednice 38  
Graph 60: Graph of material carbon footprint based on table 38



Grafikon 61: Graf vgrajene energije materialov na osnovi preglednice 38  
Graph 61: Graph of material embodied energy based on table 38

V programu ArchiCAD lahko dobimo podatke o vsoti posameznih parametrov za posamezno plast ipd. S pomočjo popisa elementov in količin, ki ga odpremo s klikom na mesto, ki je označeno na sliki 62, lahko na osnovi vnešenih podatkov o materialih, pridobimo podatke o vgrajeni energiji ali vgrajenih količinah CO<sub>2</sub>.



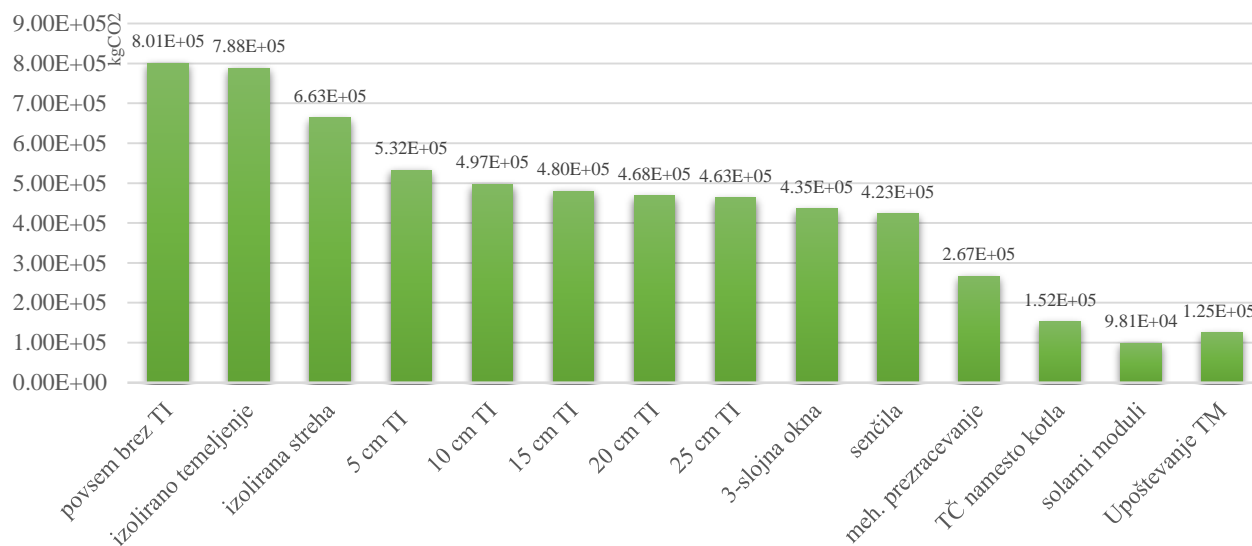
Slika 62: Dostop do popisa količin v ArchiCAD-u

Figure 62: Access to material calculations in ArchiCAD

Materiali, oprema in naprave imajo v življenjskem ciklusu enega objekta različno življenjsko dobo. Po določenem času je potrebno določene materiale in izdelke (keramika, stavbno pohištvo, izolacija, kurilne naprave, itd.) zamenjati, ko so dotrajani in ne služijo več svoji funkciji. Zatorej moramo izbrati materiale in izdelke, ki so bolj kakovostni in imajo daljšo življenjsko dobo, po uporabi pa jih je mogoče reciklirati.

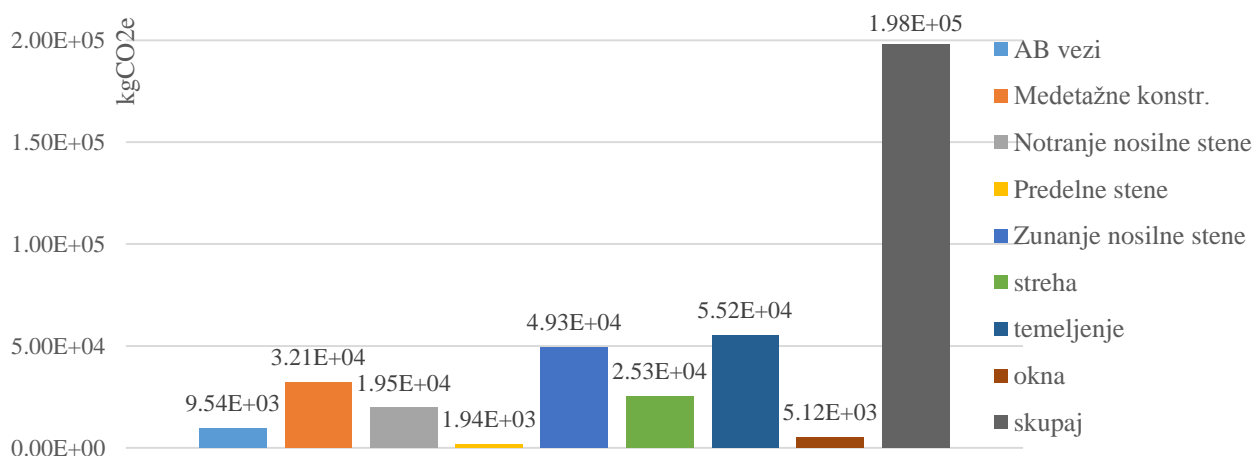
## 5.2 Hiša 1 – Zidana opečna NK

Na grafu 62 vidimo skupne količine obratovalnih emisij CO<sub>2</sub> obravnavane stavbe v njeni življenjski dobi, ki traja 60 let. Vidimo, da s prikazanimi ukrepi učinkovite rabe energije iz prejšnjih poglavij, lahko zmanjšamo ogljični odtis obravnavane stavbe za 85 %, glede na začetno energijsko potratno stanje stavbe. Z doseganjem nizkoenergijskega razreda Hiše 1 lahko v 60 letih preprečimo sprostitev dodatnih 676 tCO<sub>2</sub> v atmosfero.



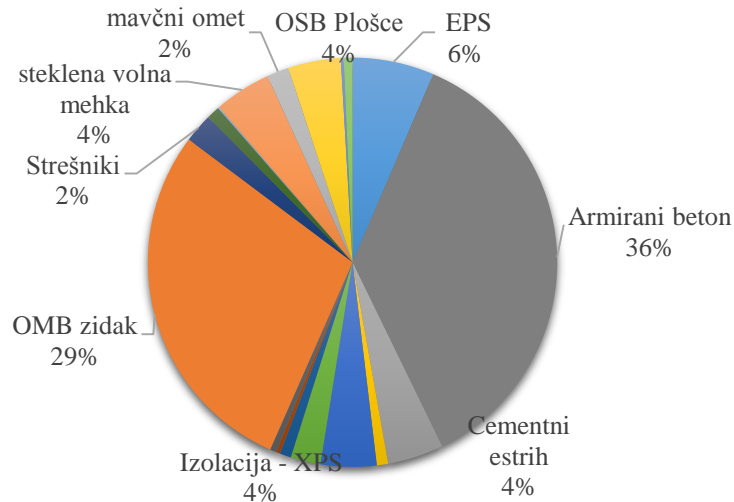
Grafikon 62: Obratovalne emisije CO<sub>2</sub> stavbe v obdobju 60 let, pri dodajanju ukrepov URE  
Graph 62: Operational carbon of the building in 60 years by adding energy efficiency measures

Na grafu 63 so prikazane vgrajene emisije oziroma ogljični odtis posameznih konstrukcijskih sklopov in skupna vrednost Hiše 1. K ogljičnemu odtisu obravnavane stavbe prispeva največ temeljenje. Veliko prispevajo tudi zunanje nosilne stene, medetažne plošče in streha. Stavbno pohištvo brez vrat predstavlja le slabe 3 % vgrajenih emisij CO<sub>2</sub> Hiše 1.



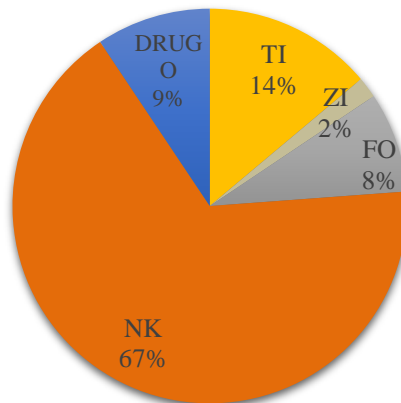
Grafikon 63: Ogljični odtis (kgCO<sub>2</sub>e) posameznih delov stavbe Hiša 1  
Graph 63: Carbon footprint (kgCO<sub>2</sub>e) of particular building's assembly – House 1

Spodnji graf 64 prikazuje deleže vgrajenih emisij ogljikovega dioksida (EC) glede na uporabljen gradbeni material. Čeprav gre za zidano opečno stavbo, zaseda armirani beton največji delež, in sicer 36 %. Opeka in opečni izdelki imajo v splošnem podoben ogljični odtis na 1 m<sup>3</sup> kot armirani beton, to je razvidno iz preglednice 39. Opečno zidovje pri Hiši 1 obsega 19 % celotne mase objekta. Zidovje je povezano s horizontalnimi in vertikalnimi vezmi iz AB, ki v danem primeru predstavljajo 8 % skupne mase objekta. Velika količina AB je tudi vgrajena v temeljni plošči.



Grafikon 64: Delež ogljičnega odtisa posameznih uporabljenih gradbenih materialov Hiše 1  
Graph 64: Proportion of building's carbon footprint by building material

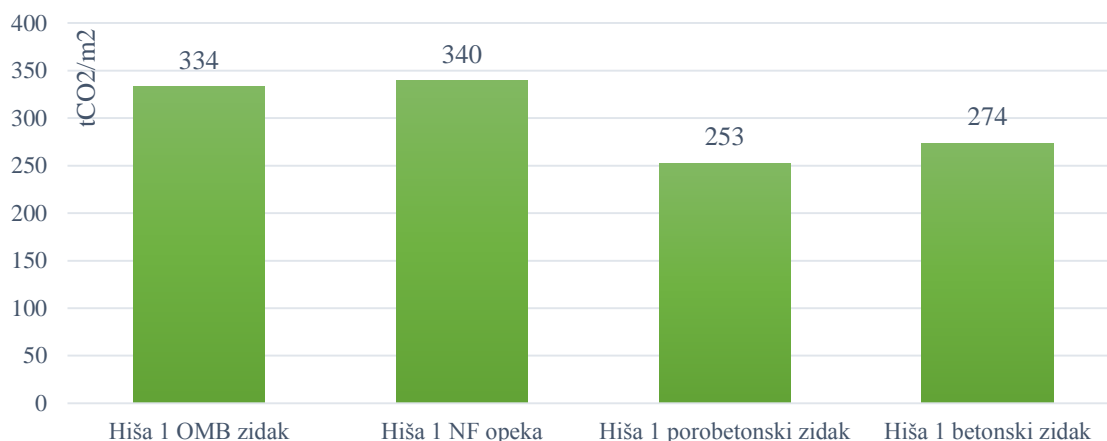
Graf 65 prikazuje, da material potreben za nosilno konstrukcijo Hiše 1 obsega 67 % vgrajenega CO<sub>2</sub>. Pod NK sem uvrstil OMB zidake, armirani beton (vezi, plošče in temeljna plošča), porobetonske zidake in leseno strešno konstrukcijo. Toplotna izolacija je v tem primeru deležna le 14 % vseh vgrajenih emisij. V tej analizi je pod TI upoštevano 25 cm fasadnega EPS-a, steklena volna na strešnem KS-ju ter 25 cm XPS izolacije pod temeljno ploščo. Finalne obloge oziroma zaključni sloji obsegajo delež v velikosti 8 %. Torej NK prispeva največ h količini vgrajenih emisij, zato bi morali izbrati material za NK, ki ima manjši ogljični odtis. Ogljični odtis Hiše 1 lahko zmanjšamo z uporabo drugih zidakov, kot so porobetonski zidaki in z uporabo betona, ki je bolj trajnosten, saj vsebuje manj cementa.



Grafikon 65: Delež ogljičnega odtisa posameznih gradbenih materialov Hiše 1 glede na funkcijo materiala  
Graph 65: Proportion of building's carbon footprint by material's function

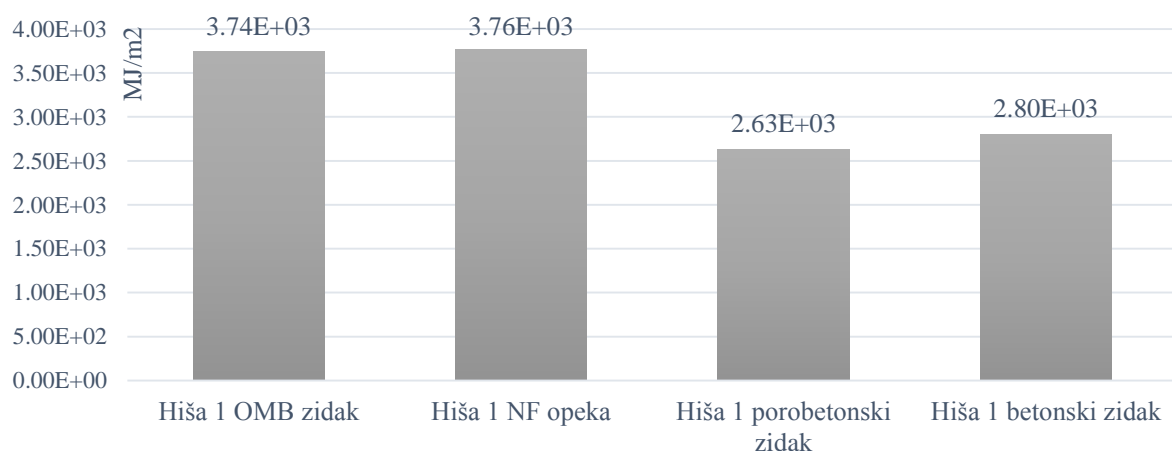


Spodnji graf 66 prikazuje skupni ogljični odtis Hiše 1 pri uporabi drugih blokov oziroma zidakov za NK. Ogljični odtis zidane hiše lahko zmanjšamo za 25 %, če za zidove uporabimo porobetonske zidake znane kot Syporeks. Pri gradnji z OMB zidaki ali z NF polno opeko ni velike razlike v ogljičnem odtisu. NF polna opeka ima nižji ogljični odtis na težo materiala od OMB zidaka, a ima višjo gostoto, tako je vrednost  $\text{kgCO}_2\text{-e/m}^3$  obeh materialov precej podobna in se razlikuje le za približno 6 % (preglednica 38 v poglavju 5.1). Tu lahko zaključimo, da je stavba v primeru uporabe betonskih in porobetonskih blokov bolj okolju prijazna kot izvedba z opečni izdelki.



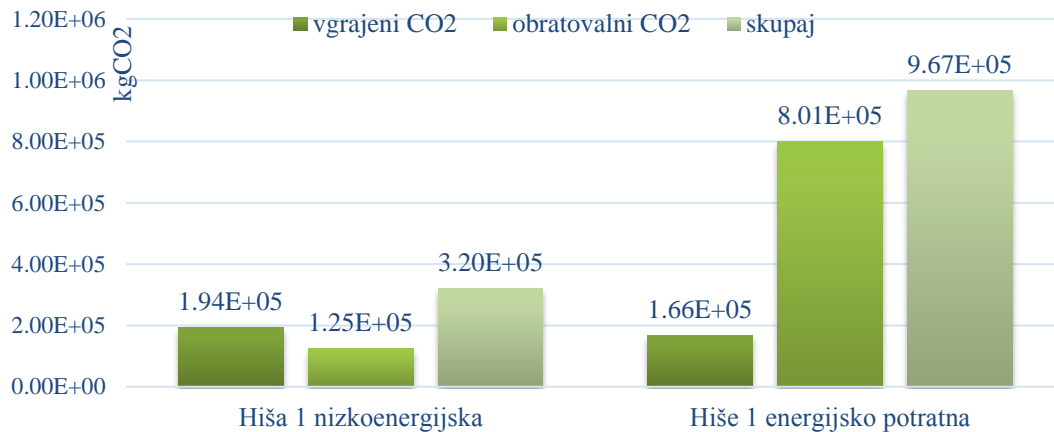
Grafikon 66: Primerjava skupnega ogljičnega odtisa Hiše 1 z različnimi zidaki  
Graph 66: Comparison of total carbon footprint for House 1 in case of using different blocks

Podobno razmerje kot pri ogljičnem odtisu velja tudi pri vgrajeni energiji. Na grafu vidimo, da ima Hiša 1 z NK iz polne NF opeke največ vgrajene energije. Najbolj ugodne rezultate dosežemo z uporabo porobetonskih in navadnih betonskih zidakov. Ta analiza potrjuje dognanja iz raziskave [67], kjer so bile primerjane vrednosti vgrajene energije stavbe pri uporabi AB, polne opeke in betonskih blokov. V raziskavi [67] je bila najvišje vgrajene energije deležna izvedba s polno opeko, najmanj vgrajene energije je pokazala konstrukcija iz betonskih blokov. V mojem primeru sem ugotovil, da z uporabo porobetonskih zidakov pri NK, lahko zmanjšamo skupno vgrajeno energijo obravnavane stavbe za 30 %.



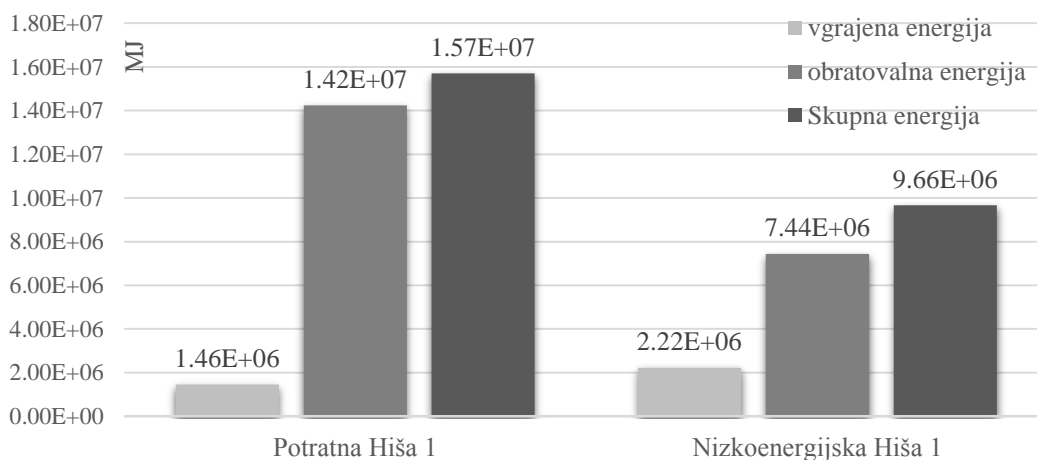
Grafikon 67: Primerjava vgrajene energije (MJ/m<sup>2</sup>) Hiše 1 z različnimi zidaki  
Graph 67: Comparison of House 1's embodied energy (MJ/m<sup>2</sup>) with different wall materials

Na grafu 68 je prikazano razmerje vgrajenega in obratovalnega CO<sub>2</sub> za nizkoenergijsko in energijsko potratno Hišo 1. Pri energijsko potratni Hiši 1 brez ukrepov učinkovite rabe energije znaša vgrajeni CO<sub>2</sub> okoli 17 % vseh emisij v ŽC stavbe. To se približno sklada s trditvijo omenjeno v raziskavi [49], ki pravi, da po virih raziskave Williams s sod. količina vgrajenih emisij TGP predstavlja eno petino (20 %) vseh emisij ŽC. Na istem grafu vidimo, da v primeru nizkoenergijske različice Hiša 1 vgrajene emisije CO<sub>2</sub> predstavljajo okoli 60 % vseh emisij v ŽC.



Grafikon 68: Primerjava vgrajenih in obratovalnih emisij (kgCO<sub>2</sub>) - Hiša 1  
Graph 68: Comparison of embodied and operational carbon (kgCO<sub>2</sub>) - House 1

Spodnji graf 69 prikazuje razmerje med začetno vgrajeno energijo in obratovalno energijo stavbe, in sicer za primera energijsko potratne ter nizkoenergijske različice enake stavbe. Obratovalna energija na grafu 69 je prikazana kot skupna porabljena dovedena energija stavbe v 60 letih. V primeru nizkoenergijske Hiše 1 predstavlja vgrajena energija okoli 23 % celotne energije v ŽC oziroma 30 % obratovalne energije. V primeru energijsko potratne različice predstavlja vgrajena energija samo 10 % obratovalne energije. Vgrajena energija ima vedno večji pomen s tem, ko je stavba bolj energijsko učinkovita in ima manjšo porabo dovedene energije. V primeru krajše življenjske dobe stavbe pa je seveda delež vgrajene energije še večji glede na obratovalno energijo.

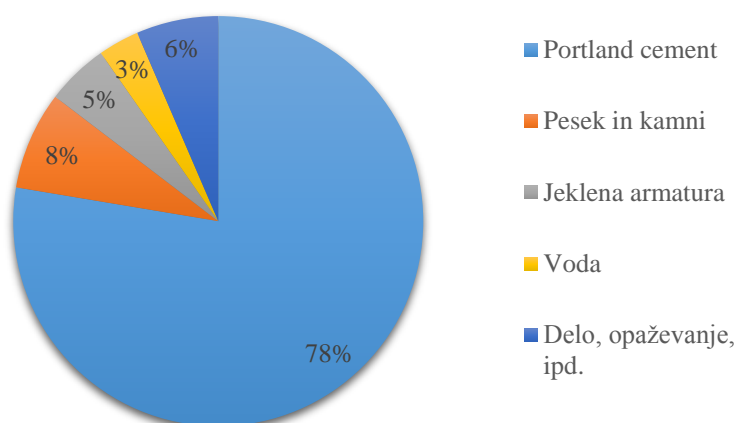


Grafikon 69: Začetna vgrajena in obratovalna energije - Hiša 1  
Graph 69: Initial embodied and operational energy - House 1

### 5.3 Hiša 2 – Armiranobetonska NK

Beton je izredno pomemben in trajen gradbeni material, od katerega zavisi celotna svetovna ekonomija, saj je večina infrastrukturnih objektov (pristanišča, letališča, ceste, mostovi, tuneli, itd.) zgrajenih prav iz betona. Beton je precej problematičen material glede onesnaževanja, zaradi njegove pomembnosti pa se skuša izboljšati trajnost tega gradiva. Pri proizvodnji in transportu betona se sprostijo precej emisij TGP, za to je odgovoren predvsem cement, ki zaradi njegove proizvodnje prispeva veliko k sproščanju emisij CO<sub>2</sub>. Cement je tudi najdražja sestavina betona, saj lahko znaša do 60 % celotne cene stroškov tega materiala. Povišanje trajnosti betona in zmanjšanje njegovega ogljičnega odtisa, lahko dosežemo z zmanjšano uporabo količine cementa, z uporabo alternativnih energentov pri proizvodnji cementa, z uporabo drugih veziv, pravilnim vzdrževanjem naprav in mešalcev za pripravo betona, nadzorovanjem temperature betona ter vključiti vse ostale procese, ki zmanjšajo porabo energije za izdelavo in transport betonske mešanice [44].

Cementna industrija prispeva 5 % vseh globalnih emisij, kar je precej veliko. Beton je po vodi druga najbolj uporabljena substanca na svetu. Proizvodnja cementa narašča letno za 2,5 % in se pričakuje, da bo narasla z 2,55 milijard ton v letu 2006 na 3,7–4,4 milijard ton do leta 2050. Ogljikov dioksid pri proizvodnji cementa nastaja zaradi kemijskega procesa imenovanega kalcinacija ter zaradi uporabe fosilnih goriv za žganje sestavin in pridobivanje klinkerja [78].



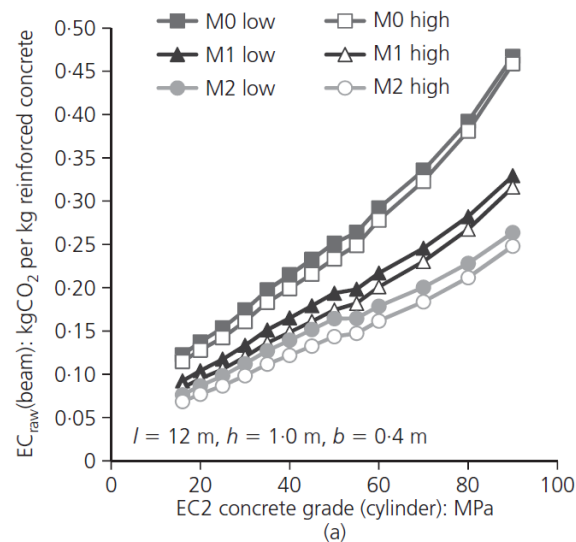
Grafikon 70: Deleži CO<sub>2</sub> emisij pri konvencionalni proizvodnji betona [68]  
Graph 70: Proportional carbon emissions from Conventional concrete work [68]

AB je material s precejšnjim ogljičnim odtisom, predvsem zaradi vsebnosti cementa in jekla. Ogljični odtis betona se lahko zmanjša z nadomestitvijo cementa s pepelom ali žlindro. Betoni armirani z višjim deležem jekla in boljšim oziroma višjim deležem cementa imajo višje vrednosti ogljičnega odtisa.

Račun vrednosti ogljičnega odtisa armiranega betona je manj kontroverzen kot v primeru lesa, a je precej bolj kompleksen. Namreč ogljični odtis armiranega betona je odvisen od količine armiranega jekla, cementa, agregata, vode in dodatkov ter od trdnostnega razreda [59]. Armirani beton ima v resnici precej majhen ogljični odtis glede na nosilnost, ki jo ta material nudi. Betonski konstrukcijski elementi trdnostnega razreda C50 imajo nižji ogljični odtis v konstrukcijskem smislu (kgCO<sub>2</sub>/kNm<sup>2</sup>) kot leseni ali jekleni elementi.

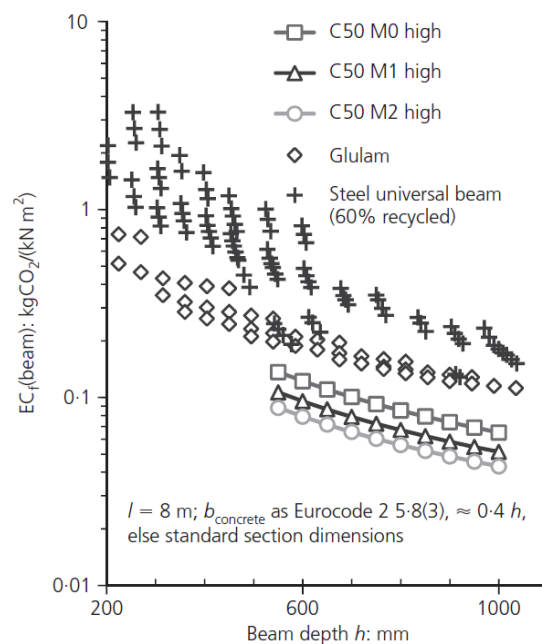
Na grafu 71 so prikazane vrednosti ogljičnega odtisa različnih mešanic armiranega betona iz raziskave [59], kjer so obravnavali tri različne betone (M0, M1, M2) za 13 trdnostnih razredov med C16 in C90,

kar znaša 39 različnih betonov. Beton M0 predstavlja mešanico za navadno uporabo, M2 in M1 sta optimizirani mešanici, ki imajo nižji ogljični odtis. Mešanica betona M2, ki ima glede na sliko 71 najmanjši ogljični odtis, vsebuje 40 % elektrofiltrskega pepela. Na grafu je vidno tudi, da z naraščanjem trdnostnega razreda precej narašča ogljični odtis armiranega betona. V omenjeni raziskavi [59] se ogljični odtis AB giblje 0,07–0,5 kgCO<sub>2</sub>/kg.



Grafikon 71: Vgrajeni CO<sub>2</sub> v odvisnosti od trdnostnega razred betona [59]  
Graph 71: EC plotted against concrete strength grade for beams [59]

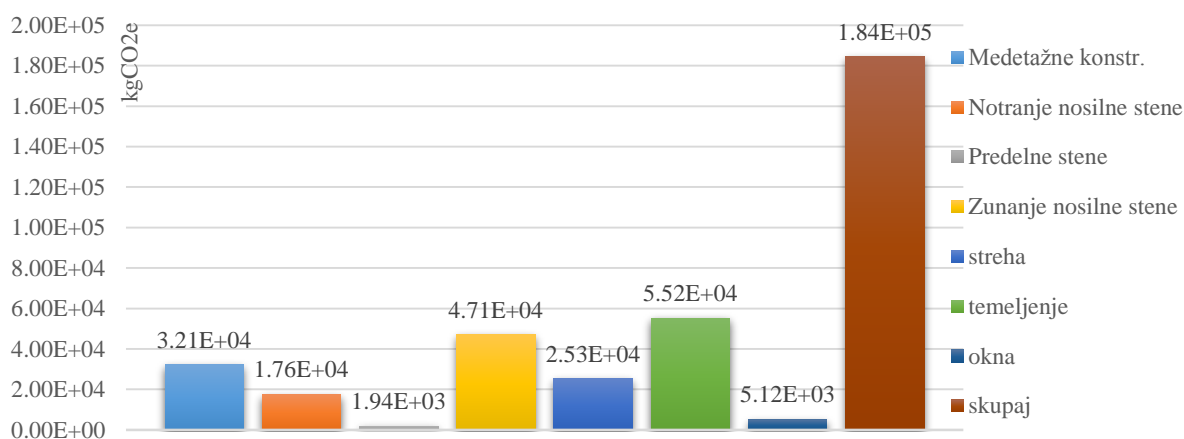
Graf 72 iz raziskave [59] prikazuje razmerje ogljičnega odtisa in nosilnosti glede na višino nosilca. Vidimo, da imajo AB nosilci precej nižji ogljični odtis glede na nosilnost materialov, kot so jekleni in lepljeni leseni nosilci.



Grafikon 72: Vgrajeni CO<sub>2</sub> nosilca v odvisnosti od velikosti prereza različnih materialov [59]  
Graph 72: EC of beam plotted against beam section depth for various structural materials [59]

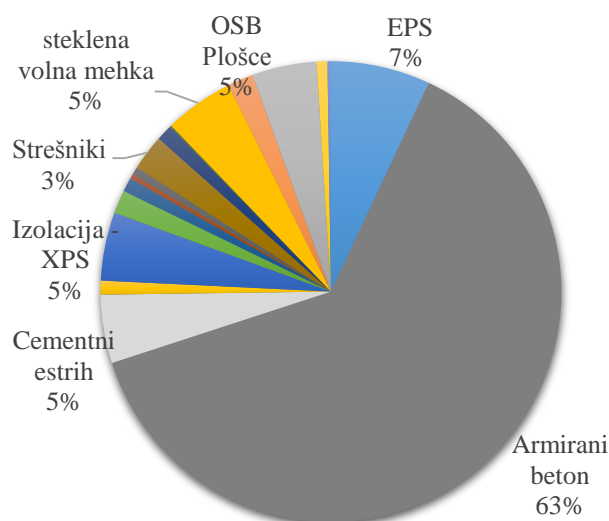
Betonske konstrukcije, betonirane na licu mesta pri procesu gradnje terjajo večjo porabo energije kot lesene in jeklene konstrukcije (od 20–120 MJ/m<sup>2</sup>) in posledično imajo visoko sproščanje emisij med gradnjo (5– 20 kg/m<sup>2</sup>). Prefabricirani beton ima pri procesu gradnje precej manjšo porabo energije (20– 35 MJ/m<sup>2</sup>) in emisivnost TGP (4– 5 kg/m<sup>2</sup>) [57].

Graf 73 prikazuje vrednosti vgrajenega CO<sub>2</sub> (ogljirnega odtisa) posameznih konstrukcijskih sklopov Hiše 2. K ogljirnemu odtisu obravnavane različice stavbe prispeva največ temeljni konstrukcijski sklop. Sledi KS zunanjih sten, nato medetažni KS in strešni KS. Ostali konstrukcijski sklopi imajo precej nižji ogljirni odtis.

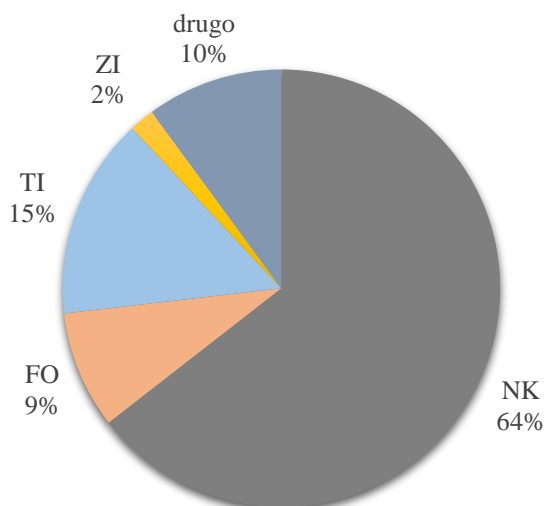


Grafikon 73: Ogljirni odtis (kgCO<sub>2</sub>e) posameznih delov stavbe Hiša 2  
Graph 73: Carbon footprint (kgCO<sub>2</sub>e) of particular building's assembly – House 2

V primeru Hiše 2 največji delež vgrajenih emisij prispeva armirani beton (graf 74), in sicer 63 % skupnega ogljirnega odtisa.

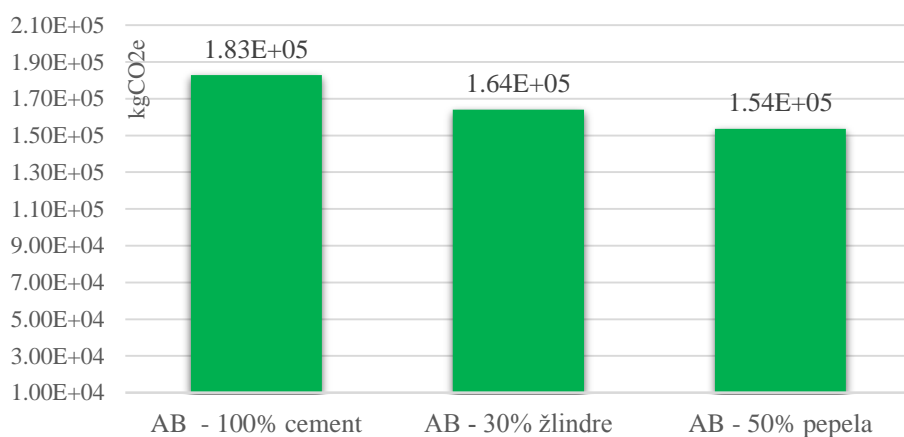


Grafikon 74: Delež ogljirnega odtisa posameznih uporabljenih gradbenih materialov Hiše 2  
Graph 74: Proportion of building's carbon footprint by building material



Grafikon 75: Delež ogljičnega odtisa posameznih gradbenih materialov Hiše 2 glede na funkcijo materiala  
Graph 75: Proportion of building's carbon footprint by material's function

Spodnji graf 76 prikazuje skupne vgrajene emisije oz. ogljični odtis Hiše 2 pri uporabi različnih betonov za NK. Betoni, ki uporabljajo nadomestke cementa so bolj trajnostni. Nadomestki cementa (žindra in el. pepel) so stranski produkti, ki nastanejo pri proizvodnji nekaterih gradiv. Najpogosteje se cement nadomešča z elektrofilterskim pepelom in žindro. Glede na spodnji graf lahko z uporabo betona z dodatkom pepela, zmanjšamo ogljični odtis celotne obravnavane stavbe za približno 15 %.

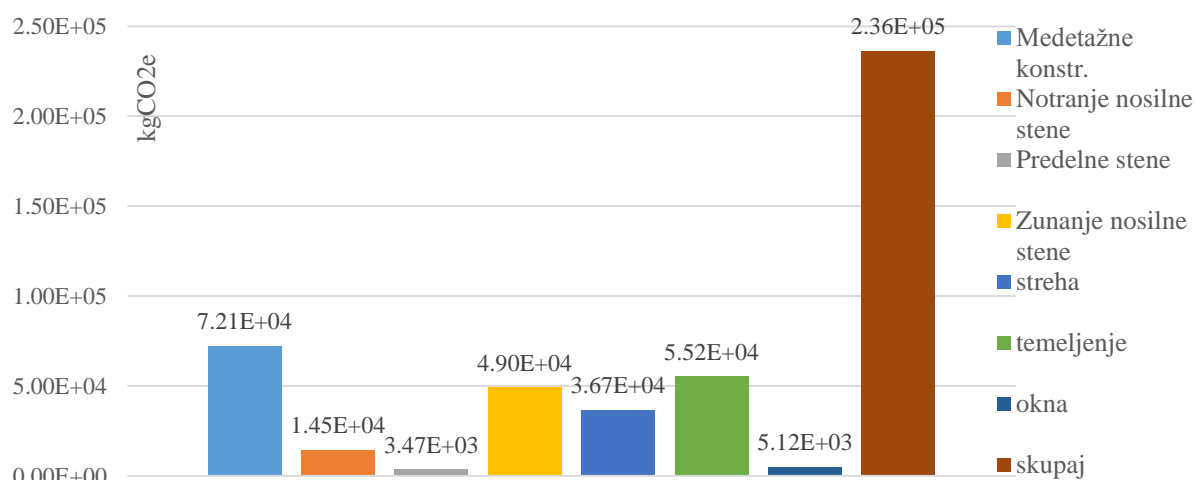


Grafikon 76: Ogljični odtis Hiše 2 pri uporabi nadomestka cementa  
Graph 76: Carbon footprint of House 2 with different cement substitutes

#### 5.4 Hiša 3 – Jeklena okvirna NK

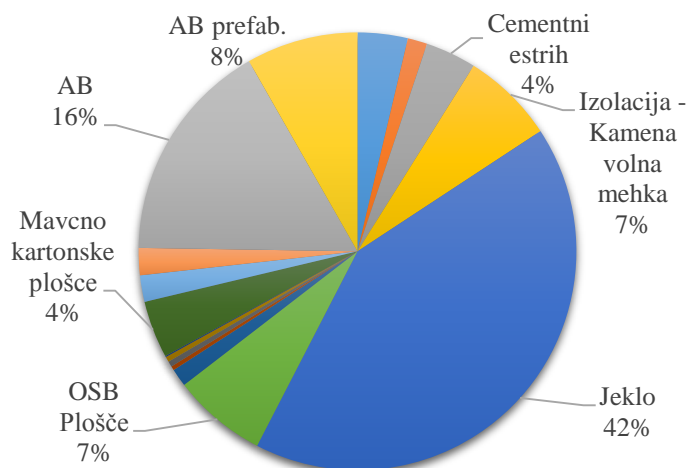
Konstruktivsko jeklo postaja z leti vedno bolj trajnostno, saj je reciklirano v velikem deležu. V industriji jekla je danes 90 % recikliranega jekla. Jeklene konstrukcije imajo prednost pred drugimi izvedbami zaradi enostavne in hitre montaže, na gradbišču pa ne nastaja veliko odpadkov. Zaradi hitre in enostavne postavitve jeklenih konstrukcij je potrebno manj delavcev, poleg tega je na gradbišču sproščeno manj emisij TGP kot pri drugih izvedbah, gradbišče je čisto in bolj varno. Z leti se povečuje tudi kvaliteta jekla, po virih [70] se je od leta 1990 nosilnost jekla povišala za 40 %. Jeklene okvirne konstrukcije so zelo prilagodljive, ko pride do spremembe namembnosti objekta ali nadgradnje. Pri demontaži ali odstranitvi objekta pa lahko nosilce in stebre uporabimo za druge objekte [70]. Jeklo je material z visoko nosilnostjo glede na lastno težo. Jeklo je trajen material, ki v ŽC objekta zahteva malo ali nič vzdrževanja. Jeklo je 100 % reciklabilno, po koncu življenjskega ciklusa je lahko reciklirano neomejeno krat, in to brez izgube kvalitete [71]. Profili iz konstrukcijskega jekla so običajno reciklirani približno v deležu 60 %, jeklo za armiranje pa je običajno reciklirano v deležu 90–100 % [59].

Spodnji graf 77 prikazuje ogljični odtis konstrukcijskih sklopov Hiše 3. V analizi niso upoštevani jekleni spoji, kar bi sicer vplivalo na višje vrednosti ogljičnega odtisa. Jeklene konstrukcije imajo pri nas večje prereze nosilnih elementov zaradi projektiranja po Evrokodu 8, ki obravnava potresno varnost stavb. V drugih delih sveta pri projektiranju stavb ne uporabljajo Evrokod predpisov, ponekod pa ni potresne nevarnosti, posledično imajo lahko v tujih študijah stavbe z jekleno konstrukcijo manjši ogljični odtis. Spodnji graf prikazuje, da ima medetažni KS najvišji delež ogljičnega odtisa.



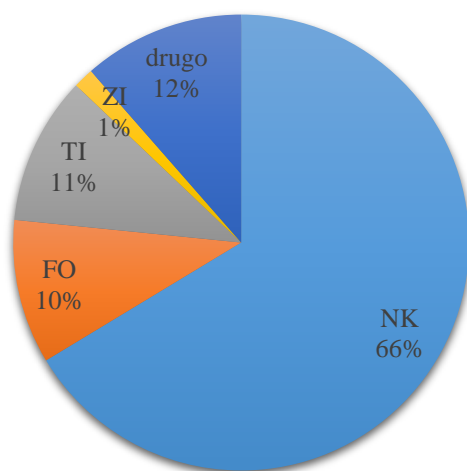
Grafikon 77: Ogljični odtis (kgCO<sub>2</sub>e) posameznih delov stavbe - Hiša 3  
Graph 77: Carbon footprint (kgCO<sub>2</sub>e) of particular building's assembly – House 3

Na grafu 78 je razvidno, da jeklena NK tvori skoraj polovico ogljičnega odtisa celotne stavbe, gre za primer srednje težke jeklene NK (primer 2 na preglednici 39). AB uporabljen za temeljno ploščo predstavlja 18 % ogljičnega odtisa, AB uporabljen za sovprežno prefabricirano konstrukcijo predstavlja 8 % skupne vrednosti.



Grafikon 78: Delež ogljičnega odtisa posameznih uporabljenih gradbenih materialov Hiše 3  
Graph 78: Proportion of building's carbon footprint by building material

Naslednji graf 79 prikazuje deleže ogljičnega odtisa materialov glede na njihovo funkcijo. Nosilni materiali (AB, jeklo) predstavljajo dve tretjini skupnega ogljičnega odtisa stavbe. Finalne obloge (opečna fasadna obloga, parketi, keramika, mavčne plošče itd.) predstavljajo 10 %. Izolacijski materiali pa tvorijo skupaj 12 % skupne vrednosti.



Grafikon 79: Delež ogljičnega odtisa posameznih gradbenih materialov Hiše 3 glede na funkcijo materiala  
Graph 79: Proportion of building's carbon footprint by material's function

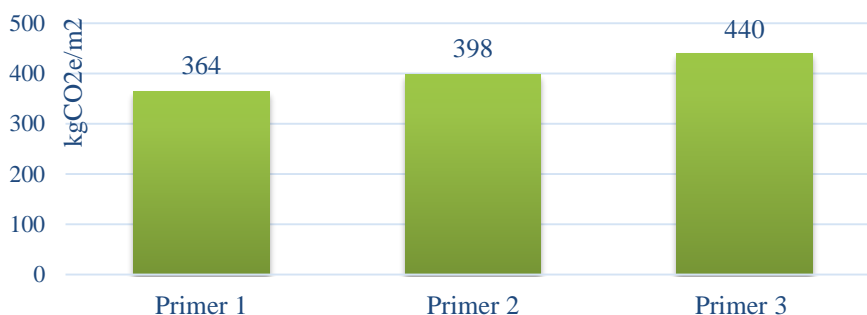
Preglednica 39: Primerjane različice jeklene stavbe  
Table 39: Compared variants of steel building

	Nosilni Stebri	Primarni nosilci	sovprežni nosilci	Strešni nosilci	podkonstrukcija pred. sten	Sekundarni stebri
Primer 1	HEA280	IPE360	IPE200	IPE180	U100	C280
Primer 2	HEB280	IPE400	IPE240	IPE180	U100	C280
Primer 3	HEM280	IPE450	IPE270	IPE180	U100	C280

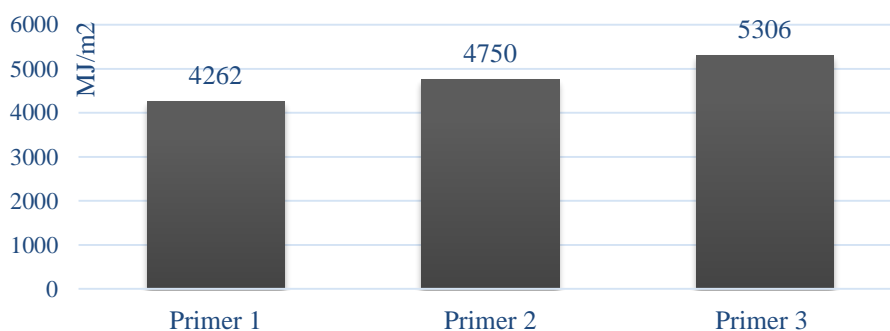


Spodnja grafa 80 in 81 prikazujeta ogljični odtis in vgrajeno energijo Hiše 3 pri različni NK, ki je prikazana na preglednici 39. Primerjal sem stanje za lahko, srednjo in težko jekleno konstrukcijo. V nalogi je kot izhodiščna Hiša 3 obravnavana izvedba z stebri HEB280, prečnimi nosilci IPE400 in sekundarnimi sovprežnimi nosilci IPE240 (preglednica 39, 2. primer).

Na spodnjih grafih vidimo razlike v velikosti 10 % med posameznimi primeri nosilne konstrukcije (preglednica 39). Prereze jeklenih elementov določimo pri projektiranju, kjer upoštevamo vse obtežbe po Evrokod predpisih, v naših krajih pa pride v poštev tudi potresna obremenitev, ki zahteva močnejše prereze elementov.



*Grafikon 80: Ogljični odtis Hiše 3 za različno jekleno NK*  
*Graph 80: Carbon footprint of House 3 for different steel bearing structure*



*Grafikon 81: Vgrajena energija Hiše 3 za različno jekleno NK*  
*Graph 81: Embodied energy of House 3 for different steel bearing structure*

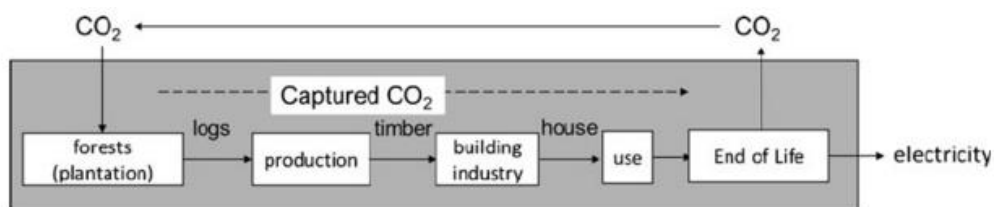
## 5.5 Hiša 4 – Lesena okvirna NK

Les je naravni material, s katerim lahko omogočimo kvalitetno, zdravo in udobno bivanje. Les je trajnostni material, saj je obnovljiv naravni vir, poleg tega je energetsko najbolj varčen material, saj raste v naravi s pomočjo CO<sub>2</sub> in sonca. Les kot material ustreza načelom trajnostnega razvoja, kar pomeni, da z uporabo lesa najmanj škodljivo vplivamo na okolje. Poleg tega pa pri gradnji in postavitvi lesenih konstrukcij porabimo bistveno manj energije kot pri armiranobetonskih in zidanih konstrukcijah. Delež lesenih hiš v zadnjih letih raste, vendar pa se pojavlja težava, saj se stavbno pohištvo in ostala hišna oprema proizvajajo iz okolju neprijaznih materialov, kot sta PVC in aluminij [27].

Lesene stavbe v Sloveniji se vse bolj uveljavljajo in zamenjujejo tradicionalne masivne in zidane stavbe. Lesena gradnja se hitro razvija in je že možno graditi večnadstropne lesene stavbe. Les ima kot gradbeni material prednost pri okoljski prijaznosti, saj je za razliko od materialov mineralnega izvora obnovljiv, če pametno gospodarimo z gozdovi [79].

Drevesa med rastjo absorbirajo ogljikov dioksid iz atmosfere in sproščajo nazaj kisik. Drevesa s pomočjo fotosinteze uporabljajo ogljikov dioksid in pri tem nastaja les. Les tako skladišči CO<sub>2</sub> iz ozračja, ta pojav se imenuje sekvestracija (*Carbon Sequestration*). Drevo uporablja ogljik za nastajanje lesa in listja, skozi ta proces drevesa shranijo velike količine ogljikovega dioksida iz atmosfere. Iz tega razloga, naj bi lesene gradnje prispevale več k preprečevanju podnebnih sprememb, kot drugi gradbeni materiali. Dejstvo pa je, da se po koncu ŽC oziroma po sežigu odpadnega lesa, uskladiščeni CO<sub>2</sub> sprosti nazaj v atmosfero. Zatorej je les izredno okolju prijazen, a le, če ga recikliramo in uporabimo za nadaljnjo uporabo.

Pripisovanje vgrajenega CO<sub>2</sub> lesu je kontroveržno. Po virih članka [59] nekateri raziskovalci (npr. Labbe, 2007) vztrajajo, da bi lesu morala biti pripisana negativna vrednost ogljičnega odtisa, z drugimi besedami, da les odvzema globalni CO<sub>2</sub> [59]. Po dolgih debatah med letoma 2006 in 2009 glede vprašanja kako obravnavati CO<sub>2</sub> lesa v obravnavanju ŽC se je večina raziskovalcev odločila, da je najboljši pristop v LCA brez upoštevanja shranjenega CO<sub>2</sub> v lesu (biogenic CO<sub>2</sub>) [64]. Začasno shranjevanje ogljikovega dioksida v lesenih izdelkih (slika 63) trenutno ni obravnavano v LCA, potekajo pa debate o ponovnem uvajanju tega pojma. Tudi v nekaterih prebranih raziskavah, kot je [46], shranjenega CO<sub>2</sub> v lesu ne upoštevajo pri analizi ogljičnega odtisa lesene stavbe, saj naj bi se količina absorbiranega CO<sub>2</sub> izničila s sproščenim CO<sub>2</sub>, ki nastane pri uničenju lesenih izdelkov.



Slika 63: Shema shranjenega CO<sub>2</sub> v lesu (biogenic CO<sub>2</sub>) [64]

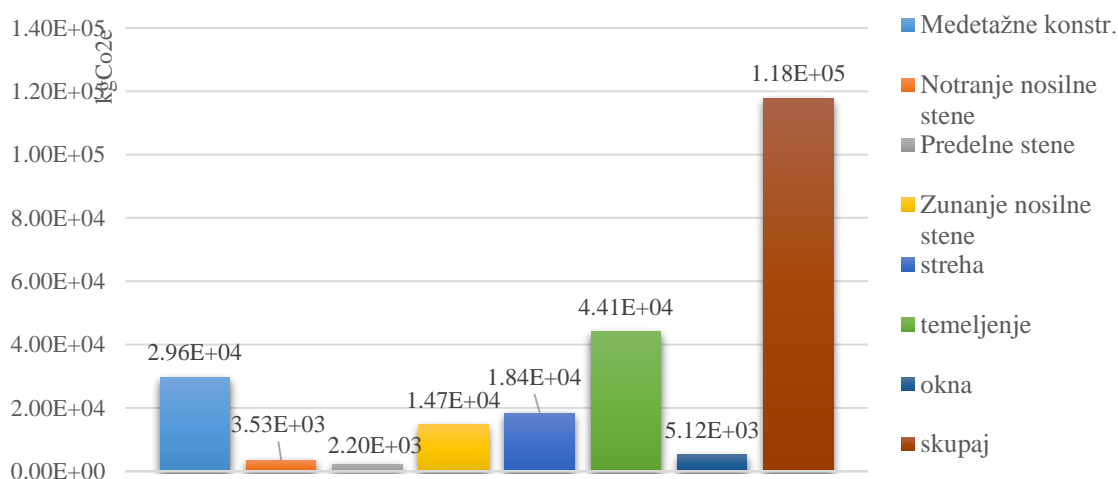
Figure 63: Scheme of stored carbon in wood (biogenic CO<sub>2</sub>) [64]

V podatkovni bazi ICE kot tudi v drugih podatkovnih bazah ni odštevanja shranjenega deleža CO<sub>2</sub> pri lesenih izdelkih. V najnovejši verziji ICE baze prikazujejo delež, s katerimi eneregenti je lesen izdelek proizveden (z biomaso ali fosilnimi gorivi). Na primer za OSB ploščo je ogljični odtis (*Cradle to Gate*)

prikazan takole;  $EC = 0.45fos + 0.54bio = 0.99 \text{ CO}_2\text{e/kg}$ . Delež ogljičnega odtisa zaradi biomase lahko zanemarimo, če obravnavamo biomaso kot ogljično nevtralen energent, ki je pridobljen iz trajnostnih gozdov.

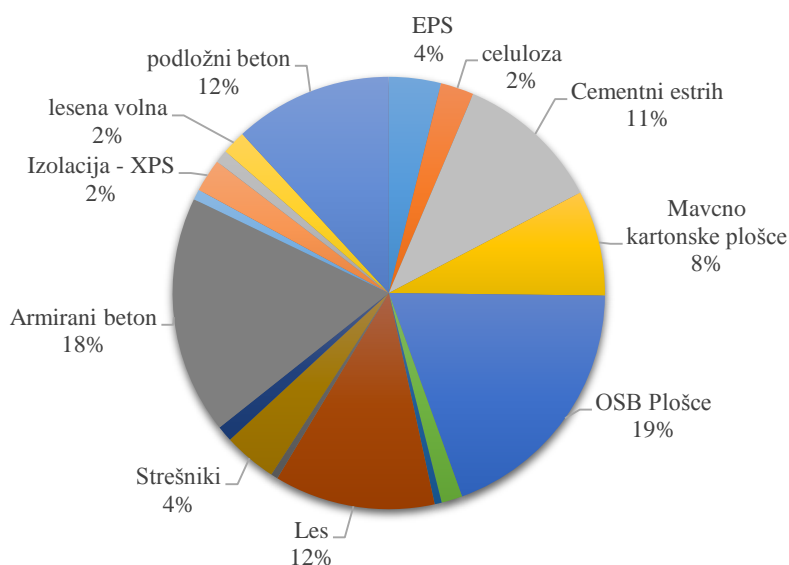
Slovenski les ima nižji ogljični odtis kot les v drugih držav zaradi specifične sečnje, spravila in kratkih transportnih razdalj. Prav to je prednost uporabe slovenskega žaganega lesa, ki ga lahko pri nas uporabljamo za gradnjo stavb. Pri pridelavi  $1 \text{ m}^3$  žaganega lesa iglavcev iz slovenskih gozdov se sprosti  $39,8 \text{ kgCO}_2\text{-e}$ . Od tega 40 % emisij povzroča razrez hlodovine, transport pa samo 15 % [13].

Graf 82 prikazuje, da temeljenje tvori najvišji delež ogljičnega odtisa Hiše 4, in sicer 42 % skupne vrednosti. Temeljenje v tem primeru tvorijo AB pasovni temelji in KS tal na terenu. Ogljični odtis dveh medetažnih konstrukcij tvori skoraj polovico ogljičnega odtisa temeljenja. Konstrukcijski sklopi notranjih in predelnih sten tvorita zelo majhen delež, ki predstavlja vrednost manjšo, kot je ogljični odtis vseh skupnih oken na stavbi.



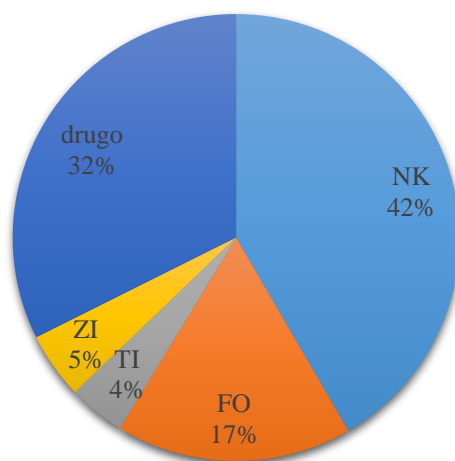
Grafikon 82: Ogljični odtis (kgCO<sub>2</sub>e) posameznih delov stavbe - Hiša 4  
Graph 82: Carbon footprint (kgCO<sub>2</sub>e) of particular building's assembly – House 4

Na grafu 83 vidimo deleže ogljičnega odtisa lesene stavbe, ki jih prispevajo posamezni materiali. Zanimivo je, da lesena NK tvori samo 12 %, kar je malo več kot vrednost, ki jo prispeva cementni estrih na medetažnih konstrukcijah. Armirani beton, ki je uporabljen za pasovne temelje predstavlja 18 % skupnega deleža. Zelo visok delež (19 %) imajo OSB plošče, ki bi jih sicer lahko nadomestili z alternativnimi izdelki in tako dosegli manjši skupni ogljični odtis lesene hiše.



Grafikon 83: Delež ogljičnega odtisa posameznih uporabljenih gradbenih materialov Hiše 4  
Graph 83: Proportion of building's carbon footprint by building material

Graf 84 prikazuje deleže ogljičnega odtisa posameznih gradbenih materialov Hiše 4 glede na njihovo funkcijo. Pod NK so obravnavani temelji in lesena konstrukcija, skupaj pa predstavljata več kot tretjino skupnega ogljičnega odtisa Hiše 4. Pod rubriko »drugo« so všteti estrihi, OSB plošče, folije in vsi drugi materiali, kar prav tako predstavlja več kot tretjino skupne vrednosti.



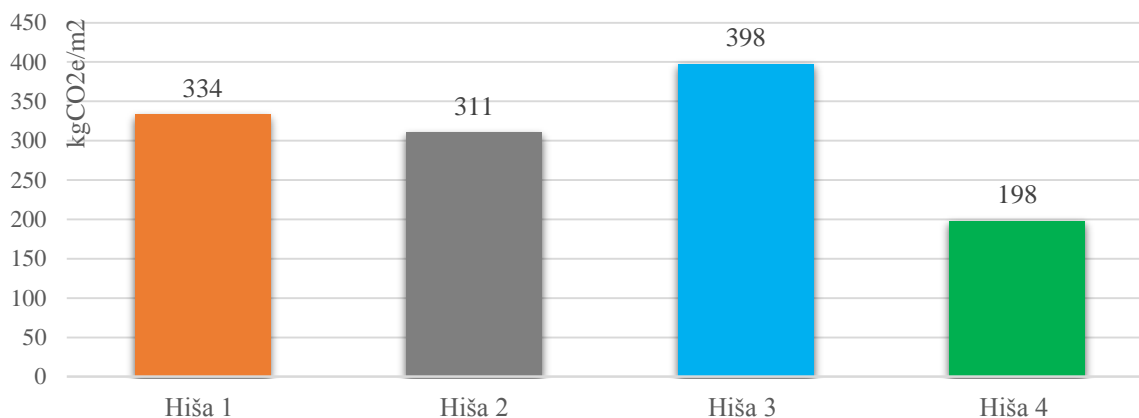
Grafikon 84: Delež ogljičnega odtisa posameznih gradbenih materialov Hiše 4 glede na funkcijo materiala  
Graph 84: Proportion of building's carbon footprint by material's function

## 5.6 Skupne primerjave in razlaga rezultatov

Pri razlaganju rezultatov je treba posebno pozornost posvetiti konsistentnosti predpostavk, uporabljenim metodam merjenja, uporabljenim modelom in kakovosti podatkov. Pri ocenjevanju življenjskih ciklusov različnih izdelkov namreč lahko pride do razlik, kot so (SIST EN ISO 14043) [72]:

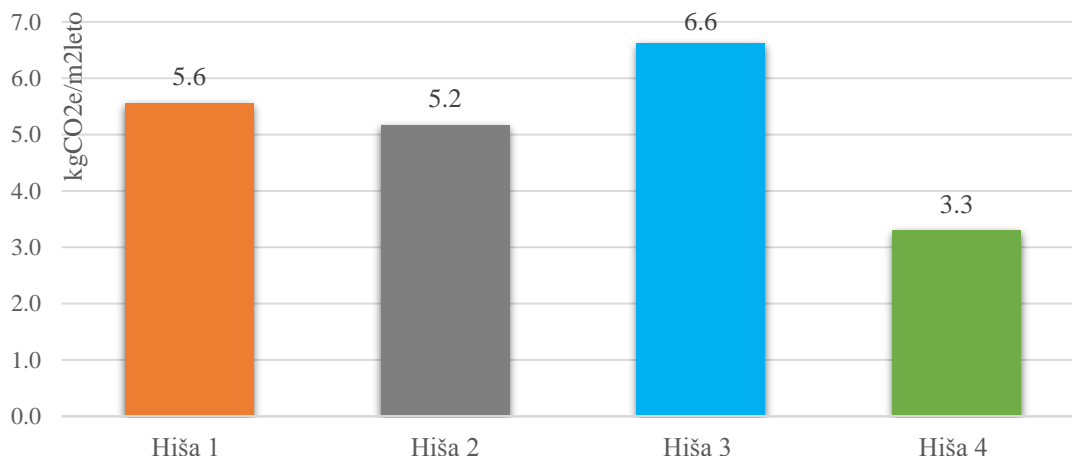
- razlike v viru podatkov (podatki za izdelek A so povzeti iz literature, podatki za izdelek B pa so direktno izmerjeni),
- razlike v kvaliteti podatkov (podatki o inputih in outputih so pri izdelku A podani za vsako snov posebej, medtem ko so za izdelek B podane samo količine skupnih emisij),
- razlike v natančnosti podatkov (proizvodni proces izdelka A je zelo natančno prikazan, dosegljiv pa je tudi natančen opis procesa, medtem ko je proces izdelka B predstavljen le kot sistem črne škatle),
- razlike v tehnološki opremljenosti (podatki za izdelek A so izmerjeni z zelo natančno merilno tehnologijo, medtem ko so podatki za izdelek B izmerjeni s starejšo, manj natančno tehnologijo),
- razlike v starosti podatkov (podatki za izdelek A so bili izmerjeni pred petimi leti, podatki za izdelek B pa so bili pravkar zbrani),
- razlike v geografskem pokritju (podatki za izdelek A so zbrani na področju širšega Evropskega prostora, podatki za izdelek B pa so zbrani na ožjem področju npr. Nemčije, kjer je okoljska zakonodaja zelo stroga),
- razlike v zajemanju sestavnih delov (pri izdelku A so izključeni sestavni deli, ki predstavljajo manj kot 1 % končne mase izdelka, pri izdelku B pa so vključeni vsi sestavni deli) itn.

Na spodnjem grafu 85 je prikazana primerjava skupnih vgrajenih emisij oz. ogljičnega odtisa ( $\text{kgCO}_2\text{-e/m}^2$ ) različnih izvedb stavbe, graf vključuje vrednosti konstrukcijskih sklopov in stavbnega pohištva, brez naprav in sistemov. Razvidno je, da je lesena različica obravnavane stavbe (Hiša 4) najbolj prijazna okolju, če ocenjujemo na osnovi ogljičnega odtisa. Jeklena izvedba ima najvišji ogljični odtis, ki je za 55 % višji kot pri leseni različici stavbe. Zanimivo je, da je ogljični odtis armiranobetonske različice (Hiša 2) nižji od opečne zidane različice (Hiša 1), in sicer za 7 %. Namreč po kitajskih študijah sodeč bi morala armiranobetonska stavba imeti najvišji ogljični odtis, vendar moramo upoštevati, da so tam drugačne okoliščine in med drugim ima beton na Kitajskem višji ogljični odtis, kot je v Evropi.



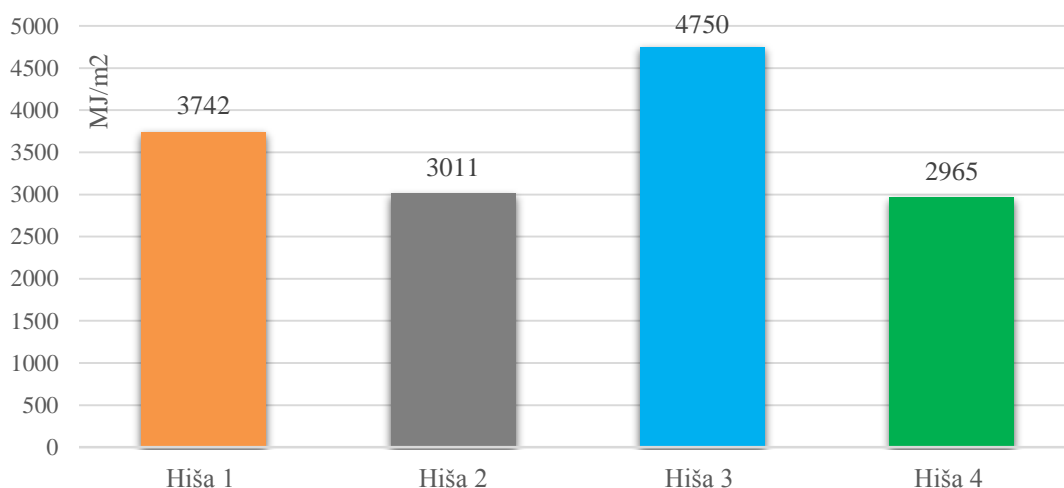
Grafikon 85: Skupne vgrajene emisije (EC) na  $\text{m}^2$  uporabne površine za posamezno različico stavbe ( $\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$ )  
Graph 85: Total embodied carbon (EC) per  $\text{m}^2$  of used area for particular building ( $\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$ )

Na grafu 86 so prikazane vrednosti ogljičnega odtisa oziroma vgrajenih emisij za posamezno različico objekta v enoti ( $\text{kgCO}_2\text{-e/m}^2\text{leto}$ ) glede na to, da ima objekt predvideno življenjsko dobo 60 let. V slovenskem članku [75] omenjajo, da je tipičen ogljični odtis sodobne stavbe reda velikosti  $5\text{-}7 \text{ kgCO}_2\text{-e/m}^2\text{leto}$ . Sodeč po [75] so rezultati na grafu 86 primernih vrednosti. Velja opomniti, da je v obravnavani magistrski nalogi ogljični odtis obratovanja nizkoenergijskega objekta (Hiša 1)  $3,5 \text{ kgCO}_2\text{-e/m}^2\text{leto}$ . Tako je očitno, da vgrajene emisije prevladajo nad emisijami, ki jih povzroča obratovanje stavbe.



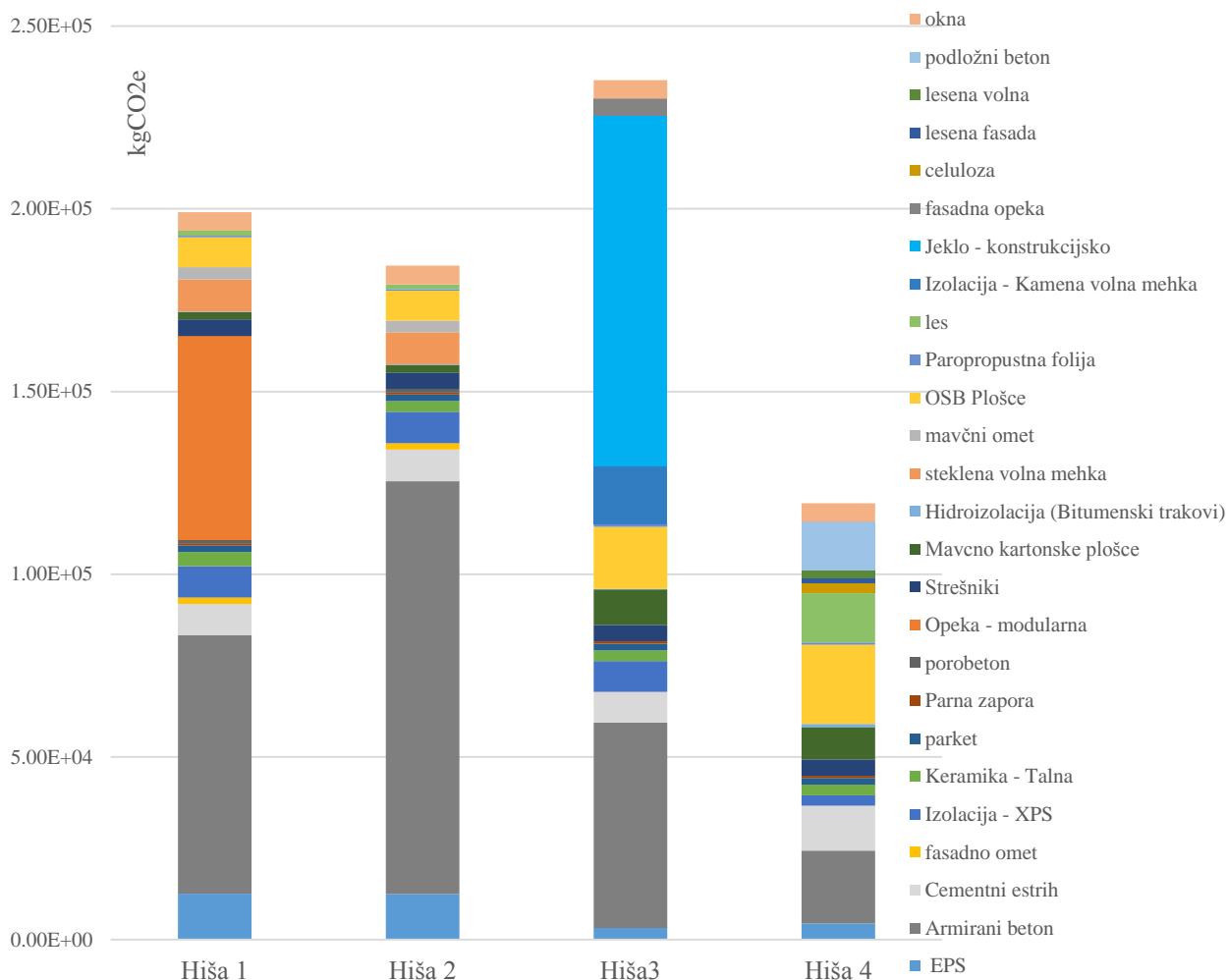
Grafikon 86: Letna vrednost skupnih vgrajenih emisij (EC) na  $\text{m}^2$  uporabne površine za posamezno različico stavbe ( $\text{kgCO}_2\text{/m}^2\text{leto}$ )  
Graph 86: Annual value of total embodied carbon (EC) per  $\text{m}^2$  of used area for particular building ( $\text{kgCO}_2\text{/m}^2\text{a}$ )

Podobno razmerje kot pri grafu 85 velja za vgrajeno energijo stavbe, ki je prikazana na grafu 87. Najvišjo začetno vgrajeno energijo ima jeklena izvedba, ki je za 38 % višja kot v primeru lesene izvedbe. Jekleni različici sledi opečna zidana, nato AB in nazadnje lesena različica kot najbolj ugodna rešitev. Pri konstrukcijskem lesu je upoštevana vgrajena energija lesa z vrednostjo  $7 \text{ MJ/kg}$ , ta vrednost je tudi približno povprečna svetovna vrednost za les.



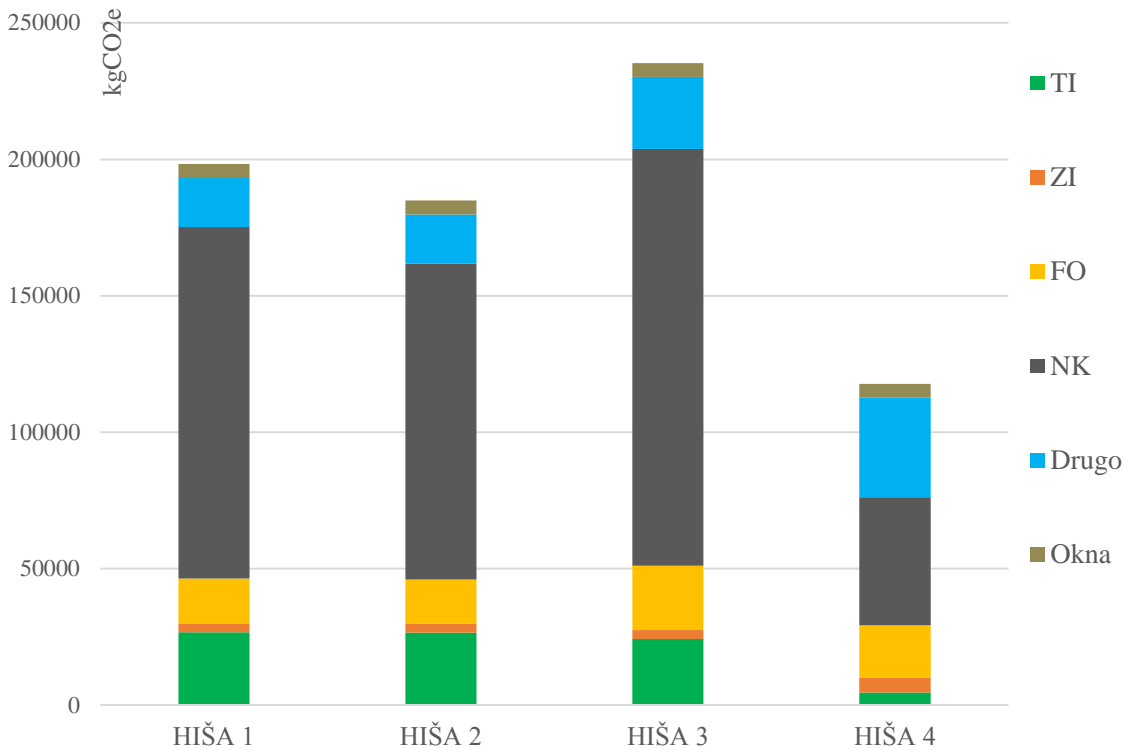
Grafikon 87: Vgrajena energija na  $\text{m}^2$  uporabne površine različnih izvedb hiše ( $\text{MJ/m}^2$ )  
Graph 87: Embodied energy per  $\text{m}^2$  of used area for particular building ( $\text{MJ/m}^2$ )

Na grafu 88 je prikazana primerjava vseh širih različic stavbe s prikazanimi deleži vgrajenih emisij CO<sub>2</sub> posameznih gradbenih materialov. Graf je sestavljen na osnovi podatkov iz tortnih diagramov, ki so prikazani v prejšnjih podpoglavjih.



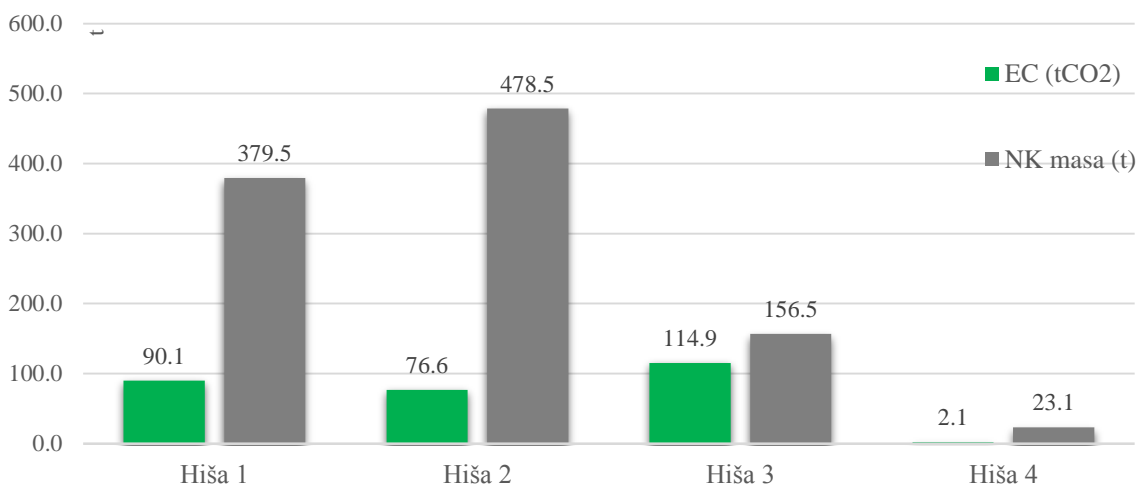
Grafikon 88: Skupna primerjava ogljičnega odtisa različic z prikazom prispevka različnih materialov  
Graph 88: Comparison of carbon footprint of buildings with demonstrated shares of particular materials

Na grafu 89 je s sivo barvo označen delež, ki ga prispeva NK. Razvidno je, da NK prispeva največji delež ogljičnemu odtisu pri vseh različicah stavbe. TI in ZI sta v osnovi iz enakih materialov, vendar imata drugo funkcijo, skupaj pa tvorita majhen delež ogljičnega odtisa, in sicer 9–17 %. Še malce manjšo vrednost ogljičnega odtisa imajo finalne obdelave in zaključni sloji konstrukcijskih sklopov. Pod rubriko »drugo« so obravnavani sekundarni nosilni sloji, kot so estrihi, OSB plošče in folije.



Grafikon 89: Skupna primerjava ogljičnega odtisa različic stavbe in materialov glede na njihovo funkcijo  
Graph 89: Carbon footprint comparison of building variants and materials relating to their function

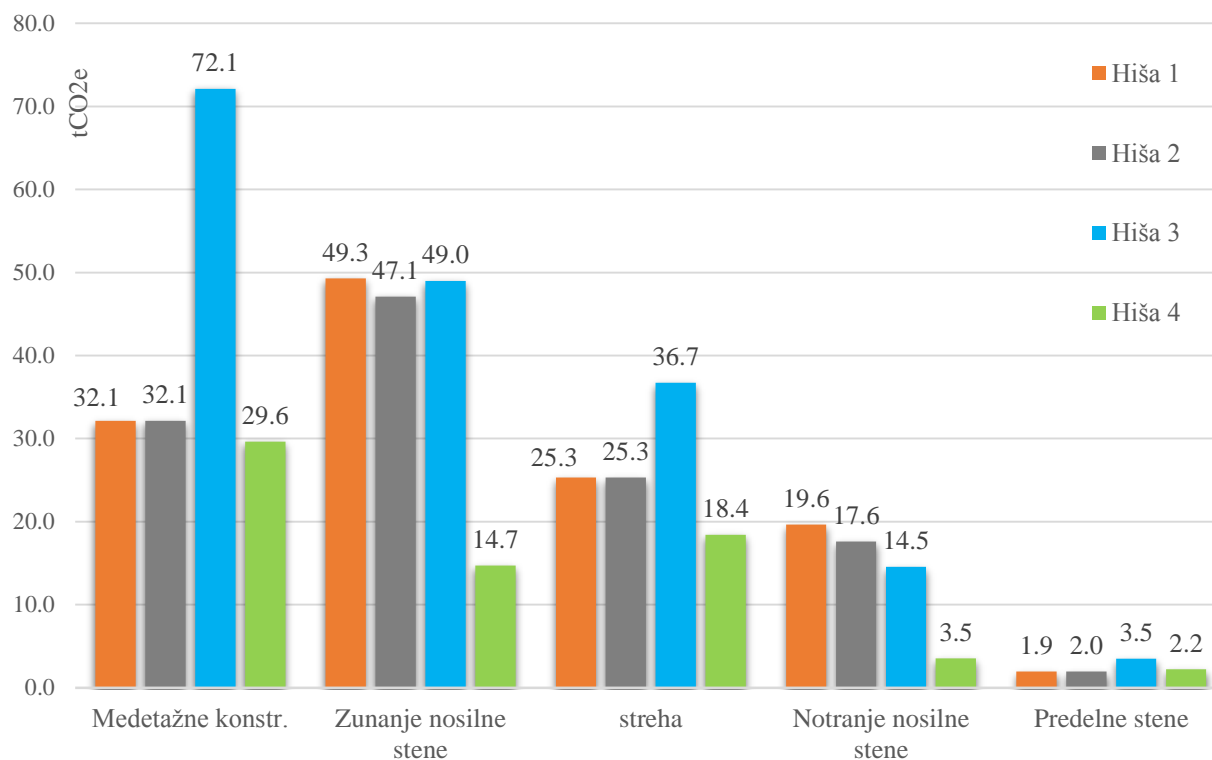
Na grafu 90 je prikazana primerjava vgrajenih emisij (tCO<sub>2</sub>) in mase (t) za NK vseh konstrukcijskih izvedb, in sicer brez temeljenja. Lesena NK ima izredno majhen ogljični odtis, jeklena nosilna konstrukcija pa ima najvišji ogljični odtis med vsemi NK. Hiša 1, kjer je NK iz opečnih zidov povezanih z AB vezmi, zaseda drugo mesto glede ogljičnega odtisa. Lesena in jeklena NK sta precej lahki zaradi lahke endoskeletne konstrukcije. Na grafu 90 vidimo, da ima AB nosilna konstrukcija najnižji ogljični odtis glede na maso konstrukcije. Jeklena NK ima zelo visok ogljični odtis glede na svojo lahko težo.



Grafikon 90: Ogljični odtis NK (tCO<sub>2</sub>) in teža NK (t), (brez temeljenja)  
Graph 90: Carbon footprint (tCO<sub>2</sub>) and mass (t) of load bearing structure (without foundation structure)



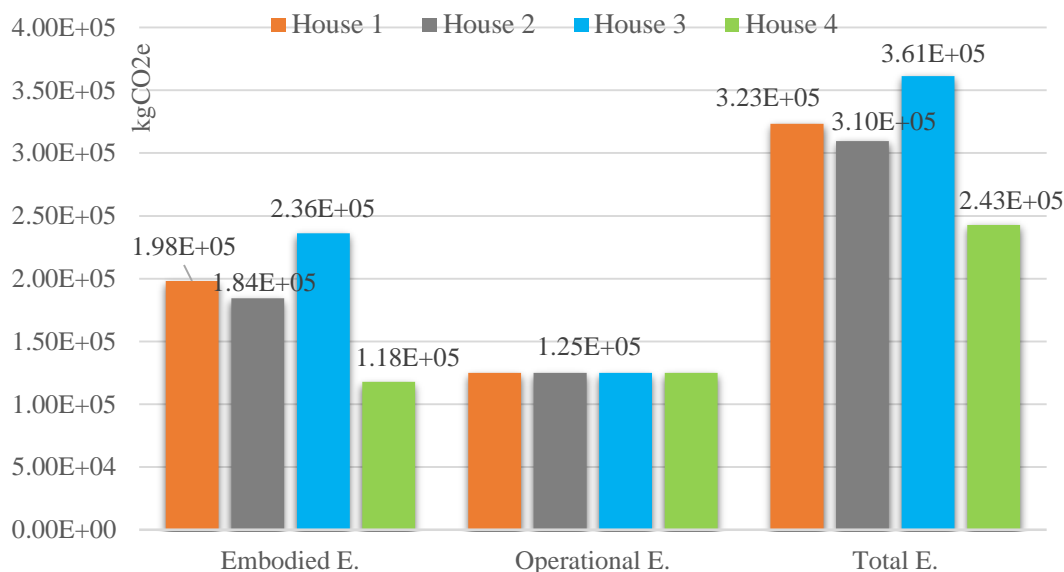
Graf 91 prikazuje ogljični odtis določenih konstrukcijskih sklopov vseh obravnavanih različic hiše. Opazimo, da ima lesena hiša (Hiša 4) pri vseh KS-jih najnižji ogljični odtis in s tem najmanj obremenjuje učinek na okolje. Medetažni KS jeklene izvedbe ima precej visok ogljični odtis, saj gre za sovprežno ploščo s prečnimi jeklenimi nosilci, upoštevani so tudi nosilci nosilnega okvirja. Hiša 1 in Hiša 2 imata enak ogljični odtis medetažne in strešne konstrukcije, saj gre za enak KS.



Grafikon 91: Ogljični odtis pomembnih KS-jev obravnavanih različic stavbe.  
Graph 91: Carbon footprint of important construction assemblies

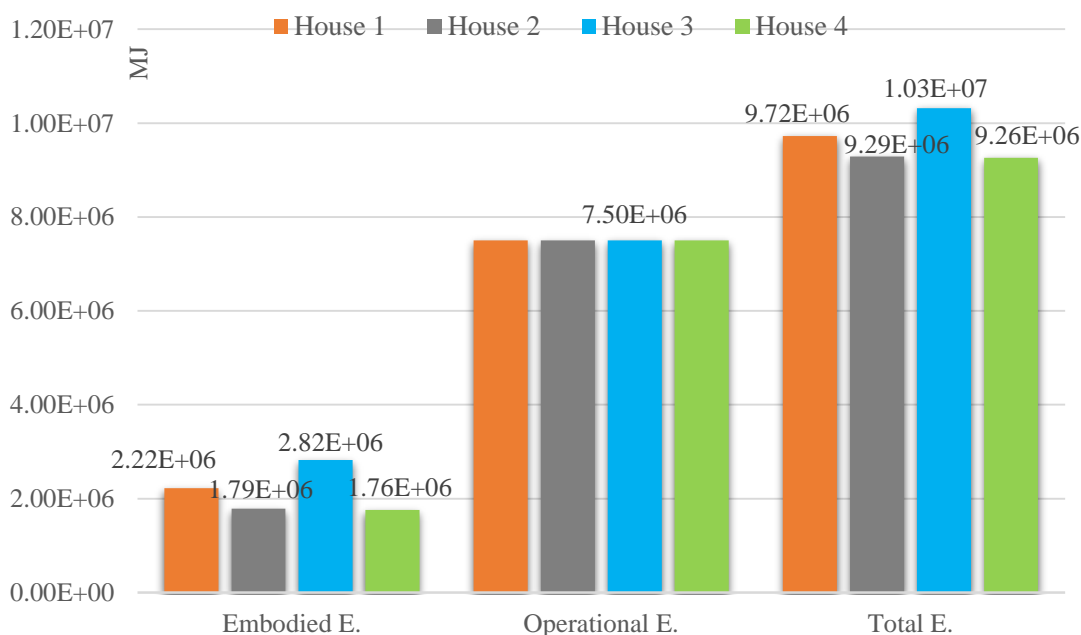
Graf 92 prikazuje oceno skupnega ogljičnega odtisa stavbe v celotnem ŽC, ki traja 60 let. Rezultati spodnjega grafa zajemajo dve najpomembnejši fazi ŽC, in sicer vgrajeno fazo ter fazo obratovanja. Emisije v fazi obratovanja stavbe sem v nalogi poenostavil delo in predpostavil enako porabo energije ter sproščanje emisij za vsako različico. Vgrajene emisije stavbe so precej natančno določene s pomočjo BIM modelirnika na osnovi podatkov, ki so prikazani v prejšnjih poglavjih. Obratovalne emisije so določene na osnovi energijske analize, v BIM modelirniku s pomočjo orodja Ecodesigner STAR.

Graf 92 prikazuje končno oceno raziskave, kjer je razvidno, da ima opečna zidana različica rahlo višji ogljični odtis kot armiranobetonska izvedba. Lesena različica Hiša 4 ima najnižji ogljični odtis, jeklena različica Hiša 3 pa ima najvišji ogljični odtis. Glede na graf 92 lahko sklepamo, da vgrajene emisije pri jekleni stavbi predstavljajo okoli 65 % vseh emisij v ŽC. Vgrajene emisije lesene endoskeletne različice stavbe predstavljajo okoli 50 % vseh emisij v ŽC. Posledično obratovalne emisije CO<sub>2</sub> znašajo pri leseni različici 50 % vseh skupnih emisij, pri jekleni različici pa okoli 35 % vseh skupnih emisij.



Grafikon 92: Ocena skupnega ogljičnega odtisa vseh različic stavbe v ŽC stavbe  
Graph 92: Assesement of total carbon footprint in building's life-cycle

Graf 93 prikazuje vgrajeno energijo v poenostavljenem ŽC štirih različic stavbe, ki so klasificirani kot nizkoenergijski objekti. Po nekaterih virih, kot je [45] energija v procesu gradnje in rušitve skupaj ne presega 2 % skupne energije, zato je lahko upravičeno zanemarjena v grafu 93. Podatek o obratovalni energiji, ki je porabljena v fazi rabe objekta, je pridobljena na osnovi dovedene energije iz 6. poglavja. Obratovalna energija predstavlja večji delež kot pri vgrajeni energiji. V obravnavani analizi se izkaže, da vgrajena energija predstavlja 23–37 % obratovalne energije oziroma 19–27 % skupne energije. Ta ocena je v skladu z ugotovitvami raziskav, kot sta [31] in [55], kjer poročajo, da obratovalna energija predstavlja okoli 80 % celotne energije. V primeru energetsko potratnih in manj učinkovitih stavb je delež obratovalne energije še večji.



Grafikon 93: Skupna vgrajena energija vseh različic stavbe v življenjskem ciklu stavbe  
Graph 93: Assesement of total embodied energy in building's life-cycle

## 6 DISKUSIJA IN ZAKLJUČKI

### 6.1 Rezultati

V BIM modelirniku ArchiCAD so izdelani modeli za štiri različice enake družinske stavbe. BIM modeli so v različnih materialnih in konstrukcijskih izvedbah.

Na osnovi modelov je izvedena ocena življenjskega cikla za vsako različico družinske hiše. Prikazan je vpliv stavbe na okolje na osnovi ogljičnega odtisa in vgrajene energije posamezne različice objekta v pomembnejših fazah ŽC.

Po vzoru svetovnih strokovnih člankov je primerjan vpliv različnih izvedb stavbe na okolje. Analiziranje porabe energije in povzročanja emisij stavbe je izvedeno s pomočjo BIM modelirnika ArchiCAD 19 in vtičnika Ecodesigner STAR. V prilogah so pripeti načrti obravnavane stavbe v zidani izvedbi.

### 6.2 Končne ugotovitve

Izvedeno delo zaključujem z naslednjimi ugotovitvami:

- Z ukrepi učinkovite rabe energije gradimo danes nizkoogljične stavbe, ki se približujejo ničogljičnim stavbam, posledično se pozornost strokovnjakov, arhitektov in gradbenikov premika k začetni fazi ŽC stavbe, torej izbiri trajnostnih materialov in načinu izvedbe objekta. Potrebno je zmanjšati vgrajene emisije oz. ogljični odtis materialov, ki jih uporabimo na objektu.
- S pomočjo BIM orodij lahko precej zanesljivo izvajamo različne analize in simulacije, ki se nanašajo na področje okoljskega vidika trajnosti.
- Največ emisij TGP nastaja v fazi uporabe oz. obratovanja stavbe. Z ukrepi učinkovite rabe energije na zidani različici stavbe (Hiša 1) sem zmanjšal ogljični odtis uporabe stavbe za 85 %, glede na začetno energijsko potratno stanje stavbe.
- Pri obravnavanih nizkoenergijskih različicah stavbe predstavljajo vgrajene emisije približno 60 % emisij CO<sub>2</sub> v celotnem ŽC, z izjemo lesene različice, kjer je ta delež za 20 % nižji.
- Vgrajena energija nizkoenergijske zidane Hiše 1 znaša 30 % obratovalne energije oziroma 23 % skupne energije v ŽC objekta.
- Natančnost tovrstnih analiz je predvsem odvisna od uporabljene podatkovne baze (Ecoinvent, ICE, itd.) in od uporabljenih predpostavk.
- Nosilna konstrukcija v primeru vseh različic prispeva največ vgrajenih emisij stavbe.
- Toplotna izolacija obsega majhen delež skupnega ogljičnega odtisa stavbe, povprečno manj kot 14 %. Vendar igra pomembno vlogo za doseganje visoke energijske učinkovitosti in s tem zmanjšanjem emisij in porabe energije pri uporabi stavbe. S samim toplotnim izoliranjem stavbe Hiše 1 zmanjšamo skupni CO<sub>2</sub> v ŽC stavbe najmanj za 33 %.
- Med toplotnimi izolatorji ima celulozna izolacija zagotovo najnižji ogljični odtis in vgrajeno energijo, nasprotno velja za plastične TI, kot sta XPS in EPS.
- Stavbno pohištvo (okna) tvori sicer majhen delež vgrajenih emisij oz. ogljičnega odtisa celotne stavbe. Najbolj trajnostna izbira pa so lesena dvoslojna okna.
- Vgrajene emisije oziroma ogljični odtis opečne različice stavbe (Hiša 1) je za približno 7 % višji kot v primeru AB različice (Hiša 2).

- Vgrajene emisije zidane stavbe lahko zmanjšamo za 25 %, če namesto OMB zidakov uporabimo porobetonske zidake. Vgrajena energija stavbe pa se v tem primeru izkaže nižja za 30 %. Betonski in porobetonski zidaki imajo nižji ogljični odtis od opečnih izdelkov.
- Vgrajene emisije oz. ogljični odtis armiranobetonske stavbe lahko zmanjšamo z nadomestki cementa, ki je sicer sestavina betona z najvišjim ogljičnim odtisom. V primeru, da 50 % cementa nadomestimo z 50 % elektro filterskega pepela, lahko dosežemo 15 % nižji ogljični odtis stavbe.
- Temeljenje stavbe v obliki temeljne plošče ali pasovnih temeljev obsega največji del ogljičnega odtisa stavbe. Torej v prihodnosti moramo posvetiti pozornost pri optimiziranju tega dela stavbe, da bi lahko zmanjšali ogljični odtis stavb.
- Najnižji skupni ogljični odtis ima lesena različica hiše, kar potrjuje, da so lesene stavbe najbolj prijazne okolju. Z gradnjo lesenih stavb lahko prispevamo k ohranjanju in varovanju našega planeta. Pri tem pa ima Slovenija prednost, saj ima veliko gozdov in kratke transportne povezave.
- Ogljični odtis lesene stavbe sicer ni tako nizek, kot nekateri avtorji omenjajo, saj LCA analiza lesu ne prišteva sekvestracije (shranjeni CO<sub>2</sub>).
- Sama lesena skeletna NK pri leseni različici (Hiša 4) znaša samo 12 % skupnih vgrajenih emisij, kar je zelo nizek delež. Velik delež ogljičnega odtisa (19 %) pa predstavljajo OSB plošče, kar je več kot delež, ki ga prispeva AB uporabljen za pasovne temelje pri tem objektu.
- Najvišji skupni ogljični odtis ima jeklena različica stavbe, ki je za 55 % višji kot v primeru lesene izvedbe.
- Izračun emisij TGP, ki nastajajo med gradnjo in odstranitvijo objekta je precej kompleksen. Količina teh emisij pa ne presega 10 % količine skupnih emisij v življenjskem ciklusu stavbe. Te emisije v nalogi sicer niso upoštevane.
- Izračun porabe energije med gradnjo in rušenjem objekta je kompleksen, glede na nekatere tuje raziskave delež teh dveh faz ne presega 2 % skupne energije v ŽC objekta.
- Pomemben parameter pri materialih uporabljenih za NK je razmerje ogljičnega odtisa glede na nosilnost materiala (kgCO<sub>2</sub>/kNm<sup>2</sup>), kjer ima AB prednost pred drugimi konstrukcijskimi materiali.

### 6.3 Zaključek

Stavbe so največji porabniki energije, saj na svetovni ravni porabijo 30–40 % skupne primarne energije in posledično so krive za 40–50% globalnih emisij TGP [76]. Z apliciranjem trajnostnega načrtovanja lahko veliko doprinesemo k zmanjšanju vpliva stavb na okolje.

Dandanes že pogosto načrtujemo objekte z uporabo BIM orodij, kjer lahko sproti analiziramo trajnostne parametre, med katerimi je tudi poraba energije in sproščanje emisij TGP. Na ta način lahko izvedemo različne LCA analize na osnovi podatkov, ki jih pridobimo iz LCI podatkovnih baz, kot je Ecoinvent. Obstajajo tudi brezplačne in zanesljive podatkovne LCI baze, kot sta ELCD in ICE.

Obnavljanje ogljičnega odtisa je pomemben indikator, s katerim lahko izrazimo vpliv na globalno segrevanje Zemlje. S preučevanjem ogljičnega odtisa lahko ocenimo in posledično zmanjšamo negativne vplive stavb na globalno segrevanje in porabo naravnih virov. Z uvajanjem ukrepov učinkovite rabe energije in s tem zmanjšanjem porabe energije pri uporabi stavbe, postaja zelo pomembna vgrajena energija, ki je porabljena za pridobivanje surovin in proizvodnjo gradiv oziroma izdelkov.

Torej pri trajnostnem načrtovanju moramo poleg implementiranja pasivne solarne arhitekture in ukrepov izboljšanja učinkovite rabe energije, nameniti pozornost tudi izvedbi gradnje in izbiri gradbenih materialov. Optimizirati je treba rabo gradbenega materiala in porabiti čim manj materiala. Po dotrajanosti pa ga ponovno uporabiti oziroma reciklirati. Priporočljiva je čim širša uporaba naravnih in recikliranih materialov, in sicer imajo prednost lokalni izdelki in materiali. Beton, opeka in jeklo so materiali zelo pogosti v gradbeništvu, zato mora industrija v prihodnosti znižati vgrajene emisije teh pomembnih gradiv. Zmanjšati moramo odpadni gradbeni material in čim več materiala reciklirati. V prihodnosti bi morali graditi z alternativnimi naravnimi materiali, ki imajo zelo nizko vgrajeno energijo in nizke vgrajene emisije (les, butana zemlja, zidaki iz konoplje, zidaki iz ekspanzirane gline ipd.).

**VIRI**

- [1] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Uradni list RS, št. 52/2010  
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=201052&stevilka=2856...>(Pridobljeno 1. 1. 2016.)
- [2] Rutar, T. 2014. Učinkovita raba energije v Sloveniji – Statistični pogled. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG
- [3] Deu, Ž., 2015. Poti trajnostnega sonaravnega razvoja v arhitekturi in gradbeništvu. Gradbenik 19, 6: 46-51.
- [4] Grobovšek, B., 2010. Fotovoltaični solarni sistem.  
<http://gcs.gizrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT41.htm...>(Pridobljeno 1. 1. 2016.)
- [5] Klevže, I. 2013. Ogrevanje: knjiga za ogrevalno tehniko. Maribor, Društvo instalaterjev energetikov
- [6] Hlede, I. 2014. Certificiranje stavb: jamstvo za kakovost v celotni življenjski dobi. Gradbenik 18, 5: 56-57.
- [7] Pohleven, F. Les - gradivo prihodnosti. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Oddelek za lesarstvo  
[http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/Medijsko\\_sredisce/2014/04\\_april/07\\_green/green2014\\_franc\\_pohleven.pdf...](http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/Medijsko_sredisce/2014/04_april/07_green/green2014_franc_pohleven.pdf...)(Pridobljeno 1.1.2016)
- [8] Zakon o varstvu okolja uradno prečiščeno besedilo. Uradni list RS, št.39/2006  
<https://www.uradni-list.si/1/content?id=72890...>(Pridobljeno 4. 1. 2016)
- [9] Wilson, L. 2014. What is the greenest source of electricity?  
<http://shrinkthatfootprint.com/greenest-electricity-source...>(Pridobljeno 7. 1. 2016)
- [10] Okoljska deklaracija proizvoda. 2014. Zavod za gradbeništvo Slovenije  
<http://www.zag.si/si/certifikati-soglasja/sluzba-za-tehnicne-ocene-in-soglasja/okoljska-deklaracija-proizvoda...>(Pridobljeno 8.1.2016)
- [11] Vse o energetska izkaznici na enem mestu. 2016.  
[www.energetskaizkaznica.si...](http://www.energetskaizkaznica.si...)(Pridobljeno 15. 12. 2015)
- [12] You, F. 2011. Carbon emissions in the life cycle of urban building system in China – A case study of residential buildings. Ecological Complexity 8(2):201-212.
- [13] Kutnar, A. idr. 2013. Ogljični odtis žaganega lesa iglavcev iz slovenskih gozdov. Les 65, 1/2.
- [14] Kjotski protokol o spremembi podnebja. EUR-Lex.  
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=URISERV%3A128060...>(Pridobljeno 22. 1. 2016)
- [15] Evropa 2020. 2010. Strategija za pametno, trajnostno in vključujočo rast.  
[http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-anutshell/index\\_sl.htm...](http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-anutshell/index_sl.htm...)(Pridobljeno 23. 1. 2016)
- [16] Podnebne spremembe. 2016. Ministrstvo za okolje in prostor.  
[http://www.mop.gov.si/si/delovna\\_podrocja/podnebne\\_spremembe/...](http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/podnebne_spremembe/...)(Pridobljeno 24. 1. 2016)
- [17] Ministrstvo za infrastrukturo. 2015. Akcijski načrt za energetska učinkovitost za 2014 – 2020
- [18] Embodied energy in construction  
[http://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Embodied\\_energy\\_in\\_construction...](http://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Embodied_energy_in_construction...)(Pridobljeno 24. 1. 2016)
- [19] Friedrich, J. 2014. The History of Carbon Dioxide Emissions.  
<http://www.wri.org/blog/2014/05/history-carbon-dioxide-emissions...>(Pridobljeno 5. 1. 2016)
- [20] What is Sustainability?  
<http://globalsherpa.org/sustainability/...>(Pridobljeno 2. 1. 2016)

- [21] U.S. Greenhouse Gas Inventory Report: 1990-2014. United States Environmental Protection Agency.  
<http://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/>... (Pridobljeno 5. 1. 2016)
- [22] Ponsioen, T. 2014. Updated Carbon Footprint Calculation Factors.  
<https://www.pre-sustainability.com/updated-carbon-footprint-calculation-factors>... (Pridobljeno 15. 2. 2016)
- [23] Brander, M. 2012. Greenhouse Gases, CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>e, and Carbon: What Do All These Terms Mean?, Ecometrica.
- [24] World Green Building Council.  
<http://www.worldgbc.org/index.php?cID=220>... (Pridobljeno 15. 3. 2016)
- [25] World Green Building Council Slovenia.  
<http://www.gbc-slovenia.si/dejavnosti/trajnostna-gradnja/>... (Pridobljeno 15. 3. 2016)
- [26] Graphisoft. 2014. EcoDesigner STAR™ User Manual
- [27] Pohleven, F. Hiše iz masivnega lesa so najbolj varčne. EGES 1/2014
- [28] Jui-Sheng Chou, idr. 2015. Life cycle carbon dioxide emissions simulation and environmental cost analysis for building construction. Journal of Cleaner Production 8, 101:137–147.
- [29] Jones, C. 2013. Choosing low-carbon windows.  
<http://www.building.co.uk/choosing-low-carbon-windows/5060079.article>... (Pridobljeno 22. 1. 2016)
- [30] Jones, C. 2014. Double or triple glazing? All pane and no gain?  
<http://www.circularecology.com/news/double-glazing-or-triple-glazing-all-pane-and-nogain>... (Pridobljeno 25. 1. 2016)
- [31] Christopher, R. idr. 2013. Embodied and operational energy for new-build housing: A case study of construction methods in the UK. Energy and Buildings 67: 479–488.
- [32] Sustainable development.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable\\_development](https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_development)... (Pridobljeno 24. 1. 2016)
- [33] Kriteriji za trajnostno gradnjo in zeleno javno naročanje. ZRMK.  
[http://www.gizrmk.si/media/uploads/public/document/70kriteriji\\_za\\_trajnostno\\_gradnjo\\_in\\_zeleno\\_javno\\_narocanje\\_gi\\_zrmk\\_sl.PDF](http://www.gizrmk.si/media/uploads/public/document/70kriteriji_za_trajnostno_gradnjo_in_zeleno_javno_narocanje_gi_zrmk_sl.PDF)... (Pridobljeno 26. 1. 2016)
- [34] <http://www.geosonda.com>... (Pridobljeno 3. 3. 2016)
- [35] Košir, M. 2015. Certificiranje. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG
- [36] Košir, M. 2015. Bioklimatsko načrtovanje in pasivno solarna arhitektura. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG
- [37] LEED Certification - Environment & Human Health, Inc. 2010. LEED certification Where Energy Efficiency Collides with Human Health
- [38] Bo trajnostna gradnja standard tudi v sloveniji?. Gradbenik 18, 3
- [39] Butala, V. 2010. Energija in stavbe – korak v smeri nizkoogljične družbe?. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
- [40] Anderson, J. 2011. Materials, products and carbon. CIRIA Carbon leader briefings RP958 - 12/11 - No 3.
- [41] Lequai, A. 2013. Tool to Assess the Improvement of the Sustainability.  
<http://www.eco-web.com/edi/06683-06.html>... (Pridobljeno 22. 3. 2016)
- [42] RICS Professional Information, 2012. Methodology to calculate embodied carbon of materials, RICS information paper IP 32/2012.

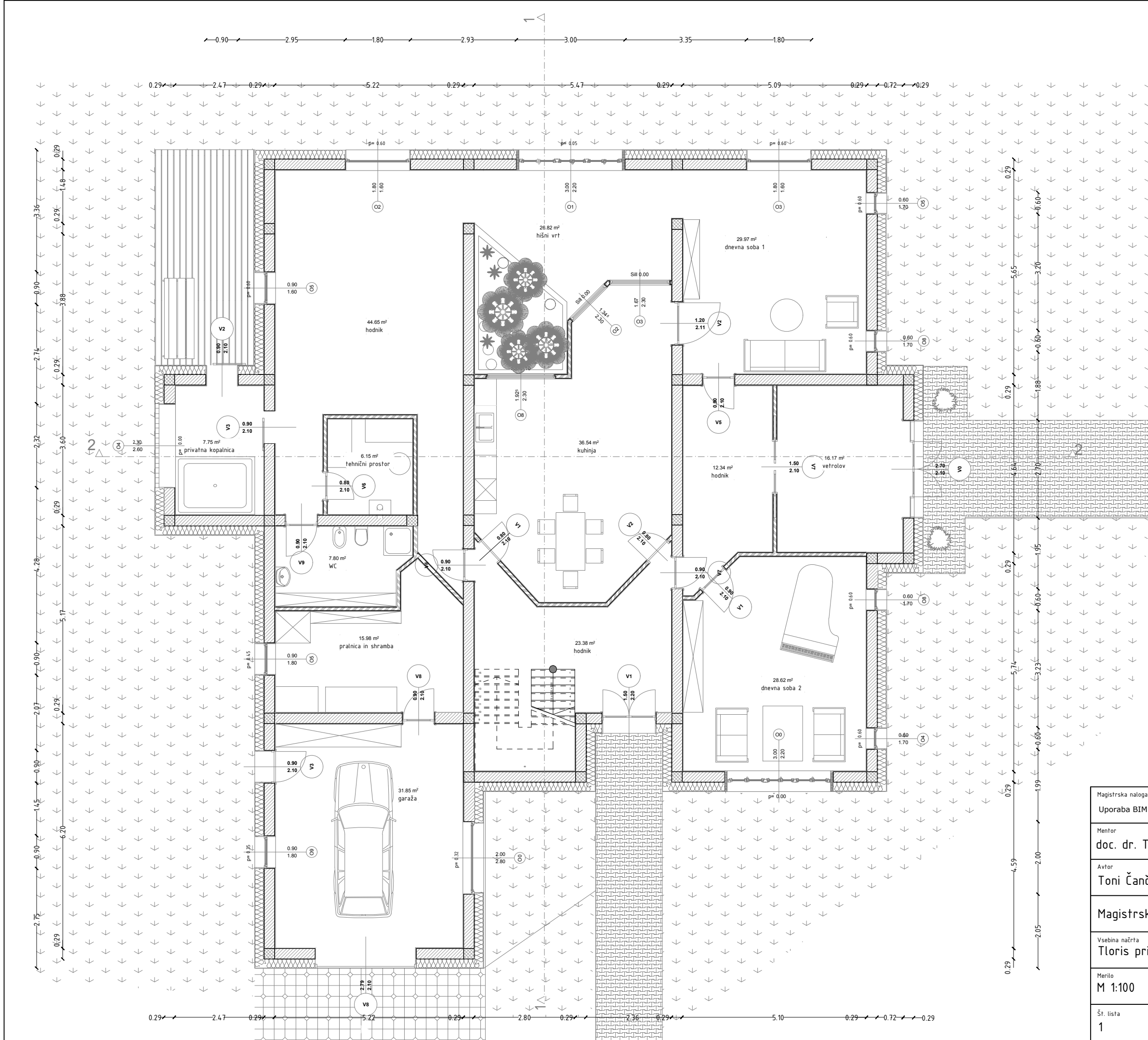
- [43] Buildings and Emissions: Making the Connection. Center for Climate and Energy Solutions. <http://www.c2es.org/technology/overview/buildings...>(Pridobljeno: 2. 2. 2016)
- [44] Kusuma, G. idr. 2015. Impact of concrete quality of concrete on sustainability. *Procedia Engineering* Volume 125:754–759.
- [45] Gong, X. idr. 2012. Life Cycle Consumption and carbon Dioxide Emission of Residential Building Designs in Beijing. *Journal of Industrial Ecology* 16, 4: 576–587.
- [46] 2006. ISO 14040
- [47] Martínez-Rocamora, A. 2016. LCA databases focused on construction materials: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58: 565–573.
- [48] Azhar, S. idr. 2010. Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. *Automation in Construction* 20, 2: 217-224.
- [49] Hong, J. idr. 2014. Greenhouse gas emissions during the construction phase of a building: a case study in China. *Journal of Cleaner Production* (Impact Factor: 3.84). 09/2015; 103.
- [50] Erdil, A. 2015. Renewable Energy Sources of Turkey and Assessment of Sustainability. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 207, 20: 669–679.
- [51] Uredba o zelenem javnem naročanju. 2011. Uradni list RS, št. 102/11, 18/12, 24/12, 64/12, 2/13, 89/14 in 91/15 – ZJN-3. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED5194> ... (Pridobljeno 3. 2. 2016)
- [52] Kovačič, J. 2013. Zeleno javno naročanje. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Pravna fakulteta
- [53] Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta - EUR-Lex. Uradni list Evropske Unije. <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:SL:PDF...> (Pridobljeno 2. 4. 2016)
- [54] Direktiva o energetske učinkovitosti stavb EPBD <http://0energijskehise.si/direktivaepbd...> (Pridobljeno 27. 3. 2016)
- [55] Chao, M. 2013. Comparative study of greenhouse gas emissions between off-siteprefabrication and conventional construction methods: Two casestudies of residential projects. *Energy and Buildings* 66: 165-176.
- [56] Nadoushani, M. idr. 2014. A Computational Framework for Estimating the Carbon Footprint of Construction. Pages 714-721. (2014 Proceedings of the 31st ISARC, Sydney, Australia).
- [57] Cole, R. 1998. Energy and greenhouse gas emissions associated with the construction of alternative structural systems. *Building and Environment* 34, 3: 335–348.
- [58] Shoubi, M. idr. 2014. Reducing the operational energy demand in buildings using building information modeling tools and sustainability approaches. *Ain Shams Engineering Journal* 6, 1: 41–55.
- [59] Purnell, P. 2013. The carbon footprint of reinforced concrete. *Advances in Cement Research* 25, 6: 362 – 368.
- [60] Lee, I., Tion, R. 2007. Examining the Role of Building Envelopes towards achieving Sustainable Buildings. International Conference on Whole Life Urban Sustainability and its Assessment
- [61] Krainer, A., Košir, M., Kristl, Ž., Dovjak, M. 2008. Pasivna hiša proti bioklimatski hiši. *Gradbeni vestnik* 57, 3: 58-68.
- [62] Smernica za trajnostno gradnjo. 2013. Zvezno ministrstvo za promet, gradbeništvo in razvoj mest (BMWBS). Berlin
- [63] Grönvall, S. idr. 2014. Embodied carbon for residential buildings. TVE 14 015
- [64] Vogtländer, J. idr. 2014, Carbon sequestration in LCA, a proposal for a new approach based on the global carbon cycle; cases on wood and on bamboo



- [65] Zbašnik Senegačnik, M. 2009. Arhitekturno načrtovanje pasivne hiše. *Gradbenik* 1: 24-26.
- [66] The LEED Categories Are Thoughtfully Assigned To Create And Understanding Our Impact On Our Environment.  
[http://westerndisposalservices.com/defining-leed-categories/...](http://westerndisposalservices.com/defining-leed-categories/) (Pridobljeno 9. 4. 2016)
- [67] Marín, C. idr. 2015. Embodied energy of conventional load-bearing walls versus naturalstabilized earth blocks. *Energy and Buildings* 97
- [68] <http://www.tahmahlah.com/project/materials/concrete...>(Pridobljeno 12. 4. 2016)
- [69] Rubenstein, M. 2012. Emissions from the Cement Industry.  
<http://blogs.ei.columbia.edu/2012/05/09/emissions-from-the-cement-industry...>(Pridobljeno 3. 3. 2016)
- [70] Weisenberger, G. Structural Steel & Sustainability. American institute of steel construction  
[http://www.usgbc-illinois.org/wp-content/uploads/2012/06/052212\\_1245\\_145\\_Sustainability-and-Steel.pdf...](http://www.usgbc-illinois.org/wp-content/uploads/2012/06/052212_1245_145_Sustainability-and-Steel.pdf...)(Pridobljeno 2. 4. 2016)
- [71] Gervasio, H. 2008. Sustainability of steel. Universidade de Coimbra, FCTUC Faculdade de ciencias e tecnologia
- [72] Lipušček, I. 2006. Metoda ocene življenjskega ciklusa izdelka. *Les* 58, 3: 61-68.
- [73] Državni svet Republike Slovenije, 2010. Gozd in les - Razvojna priložnost Slovenije. Zbornik referatov in razprav, št. 5
- [74] Kunič, R., Tavzes, Č., Kutnar, A. 2012. Ogljični odtis toplotnoizolacijskih materialov v toplotnem ovoju stavb. *Gradbeni vestnik* 61, 9: 206-214.
- [75] Knez, F. 2016. Trajnostni materiali za trajnostno stavbo. *Gradbenik* 20, 4.
- [76] Ramesh, T. idr. 2010. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings* 42, 10: 1592–1600.
- [77] Kunič, R. 2010. Pomembnost toplotnih izolacij v primerih novogradenj in obnov. *Gradbenik* 1 : 8-9.
- [78] <http://www.floorplans.com/house-plans/fp/styles/modern-home-plans-contemporary-modern-floor-plans/shed-style-floor-plans/aflfpw24344.html...>(Pridobljeno 1. 10. 2015)
- [79] Knez, F. 2013. Les – gradbeni material prihodnosti?. *Gradbenik* 17, 6: 22-23.
- [80] Smodiš, R. 2013. Trajnostna gradnja – oglaševalska poteza ali gradnja za 21. stoletje?. *Gradbenik* 17, 6: 46-47.

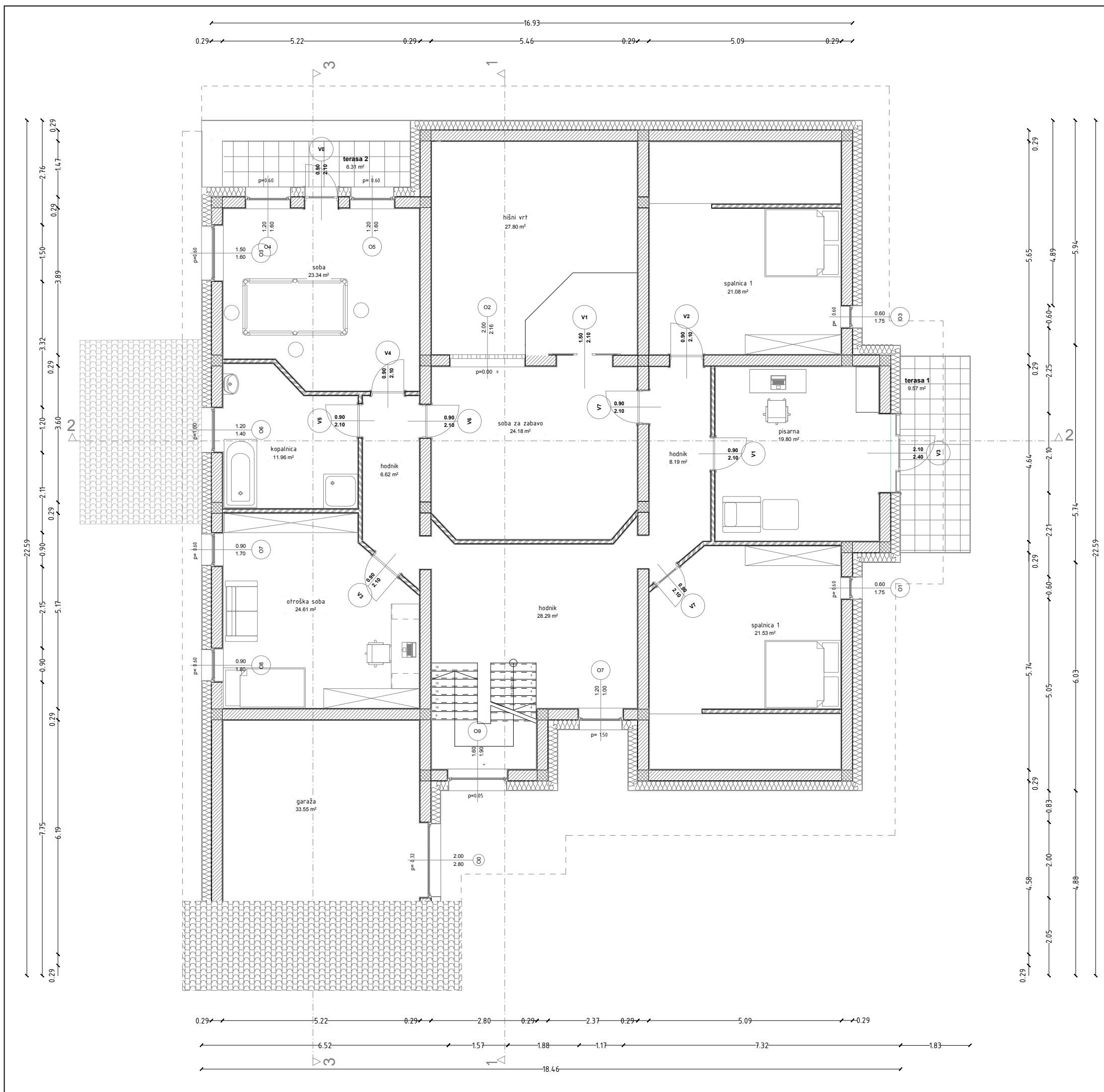
## **PRILOGE**

- A Tloris pritličja
- B Tloris prve etaže
- C Tloris strehe
- Č Vzdolžni prerez 1-1
- D Prečni prerez 2-2
- E Severna fasada
- F Južna fasada
- G Vzhodna fasada
- H Zahodna fasada



- LEGENDA MATERIALOV**
- OMB zidak
  - Armirani beton
  - Porobeton
  - EPS izolacija
  - Ozelenitev
  - Tlakovanje

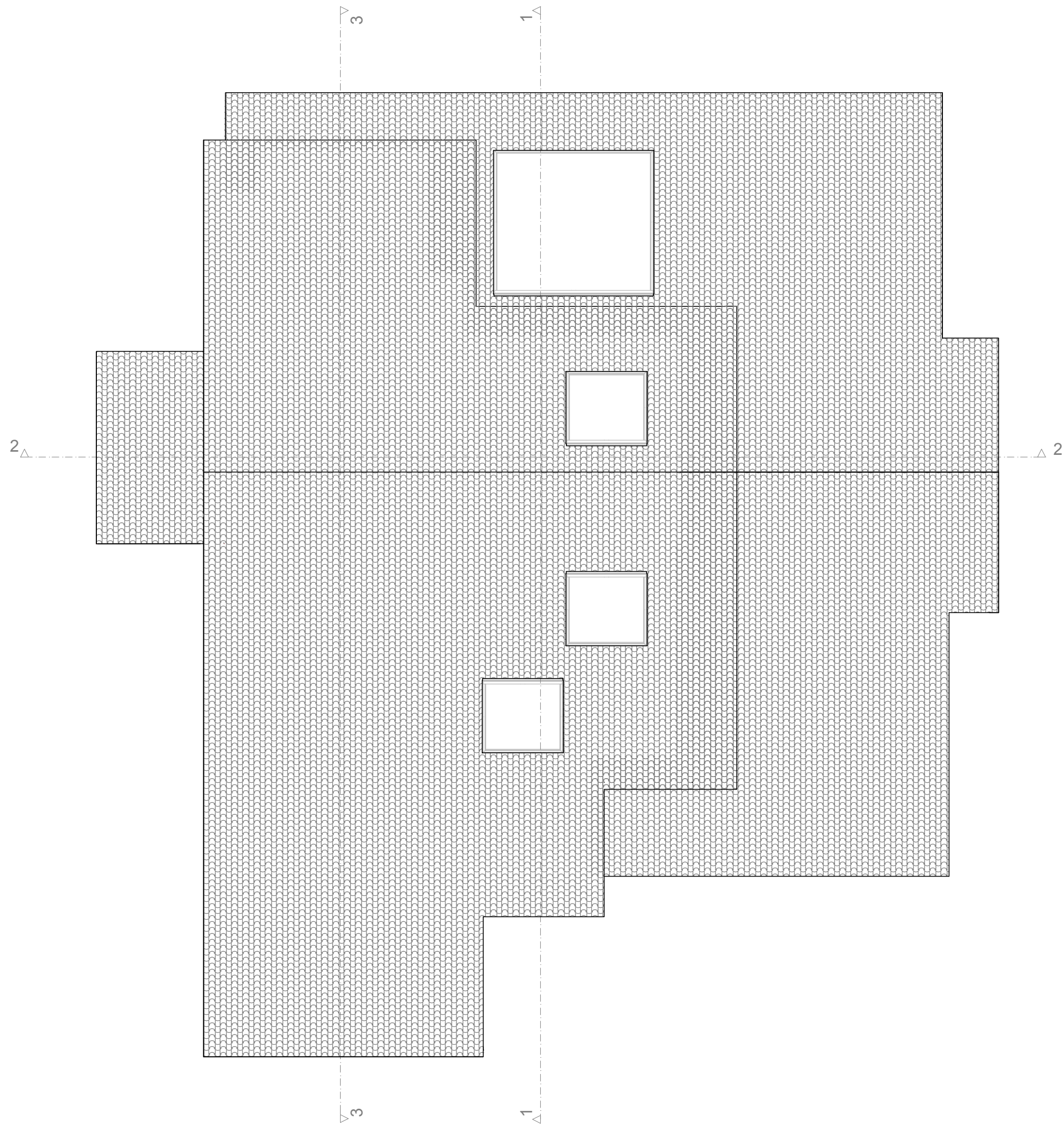
Magistrska naloga	
Uporaba BIM za parametrično analizo izbranih okoljskih trajnostnih vidikov stavb	
Mentor <b>doc. dr. Tomo Cerovšek</b>	
Avtor <b>Toni Čančar</b>	
Magistrski študij Stavbarstvo, UL FGG	
Vsebina načrta <b>Tloris pritličja</b>	
Merilo <b>M 1:100</b>	Datum <b>24.4.2016</b>
Št. lista <b>1</b>	Priloga A



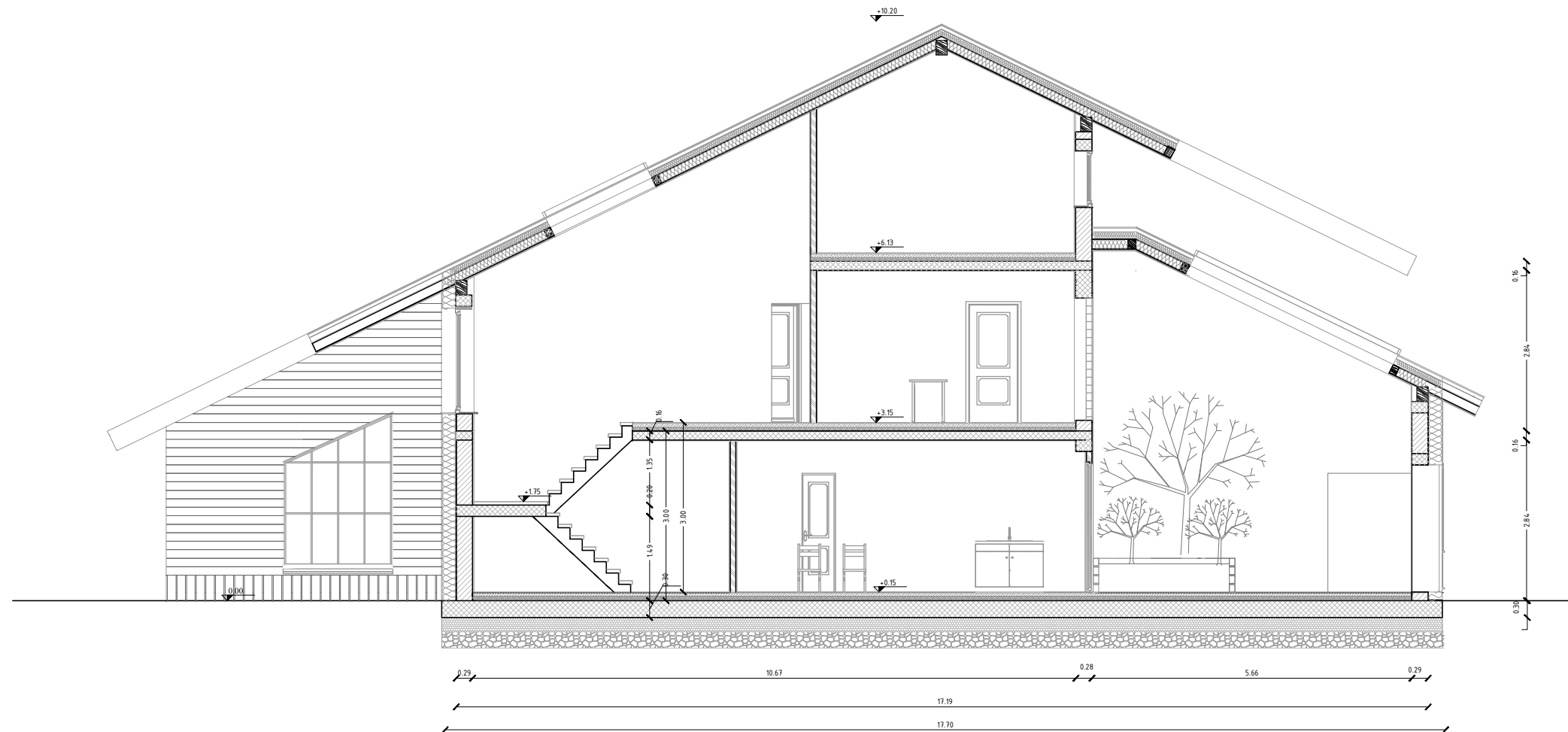
LEGENDA MATERIALOV

- OMB zidak
- Armirani beton
- Porobeton
- EPS izolacija
- strešniki

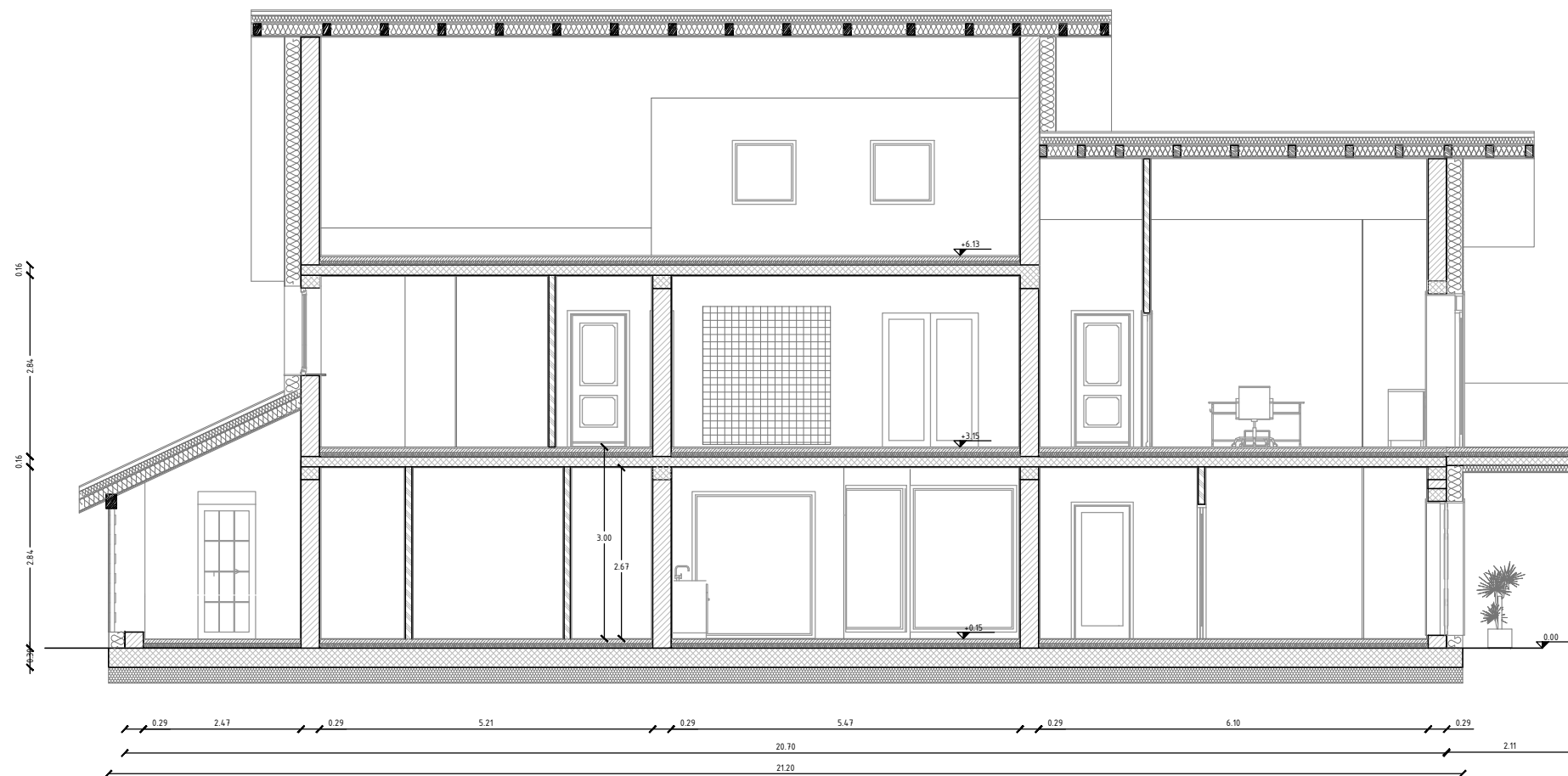
Magistrska naloga Uporaba BIM za parametrično analizo izbranih okoljskih trajnostnih vidikov stavb	
Mentor doc. dr. Tomo Cerovšek	
Avtor Toni Čančar	
Magistrski študij Stavbarstvo, UL FGG	
Vsebina načrta Tloris 1. nadstropja	
Merilo M 1:100	Datum 24.4.2016
Št. lista: 2	Priloga B



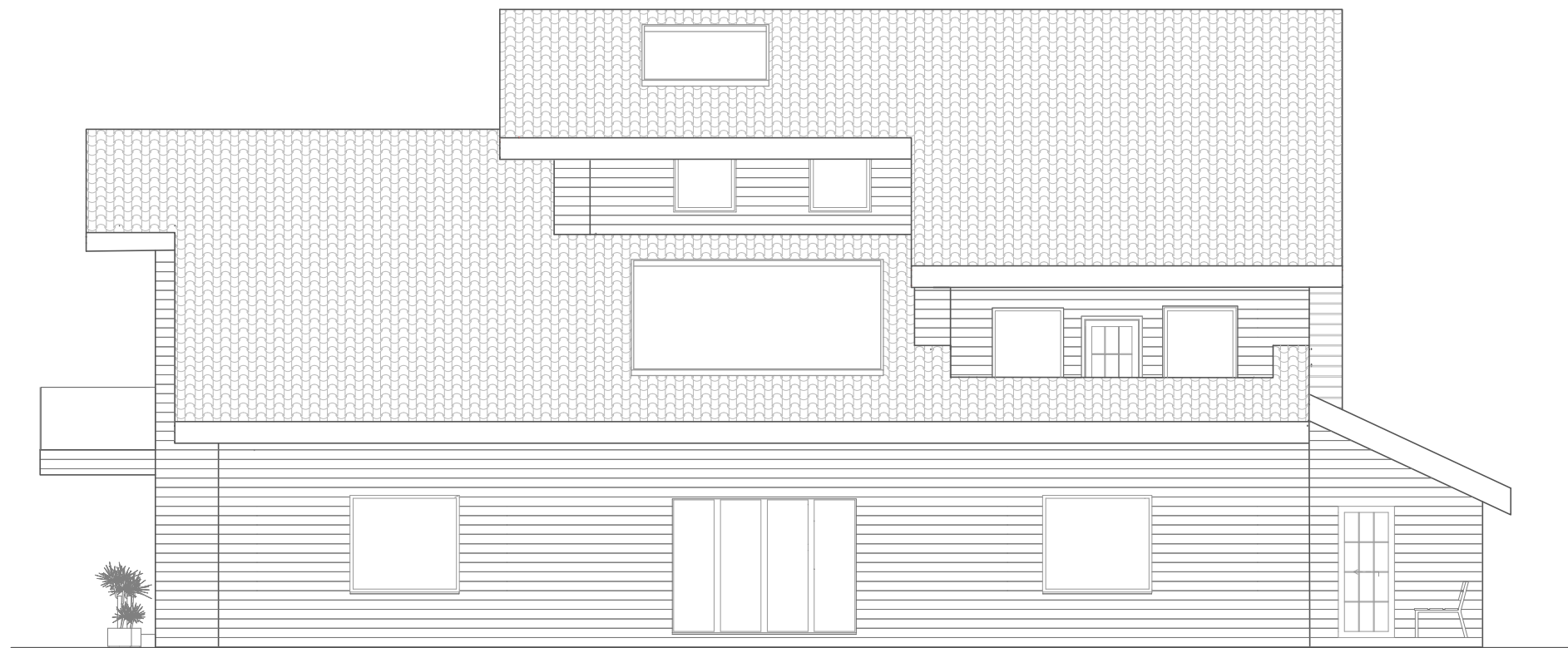
Magistrska naloga Uporaba BIM za parametrično analizo izbranih okoljskih trajnostnih vidikov stavb	
Mentor doc. dr. Tomo Cerovšek	
Avtor Toni Čančar	
Magistrski študij Stavbarstvo, UL FGG	
Vsebina načrta Tloris strehe	
Merilo M 1:100	Datum 24.4.2016
Št. lista: 3	Priloga C



Magistrska naloga	
Uporaba BIM za parametrično analizo izbranih okoljskih trajnostnih vidikov stavb	
Mentor	
doc. dr. Tomo Cerovšek	
Avtor	
Toni Čančar	
Magistrski študij Stavbarstvo, UL FGG	
Vsebina načrta	
Prerez 1-1	
Merilo	Datum
M 1:100	24.4.2016
Št. lista:	Priloga Č
4	

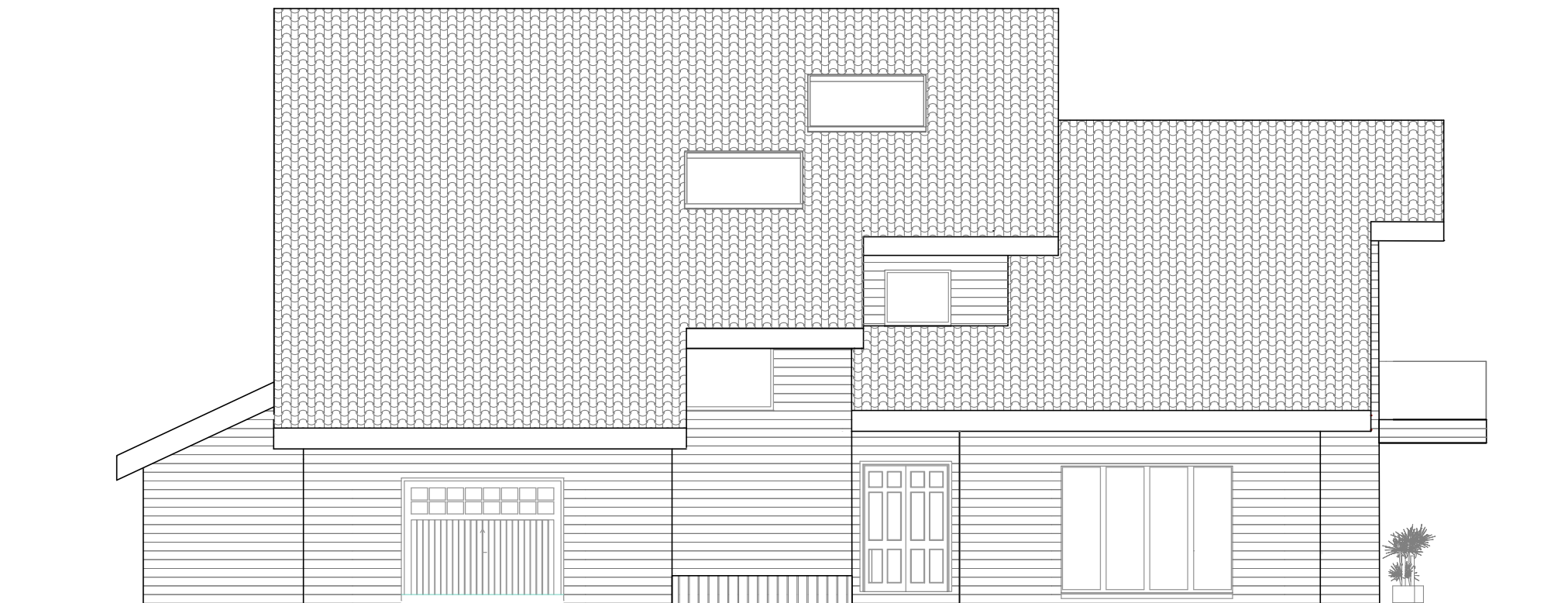


Magistrska naloga	
Uporaba BIM za parametrično analizo izbranih okoljskih trajnostnih vidikov stavb	
Mentor doc. dr. Tomo Cerovšek	
Avtor Toni Čančar	
Magistrski študij Stavbarstvo, UL FGG	
Vsebina načrta Prerez 2-2	
Merilo M 1:100	Datum 24.4.2016
Št. lista: 5	Priloga D



Magistrska naloga	
Uporaba BIM za parametrično analizo izbranih okoljskih trajnostnih vidikov stavb	
Mentor	
doc. dr. Tomo Cerovšek	
Avtor	
Toni Čančar	
Magistrski študij Stavbarstvo, UL FGG	
Vsebina načrta	
Severna fasada	
Merilo	Datum
M 1:100	24.4.2016
Št. lista:	Priloga E
6	





Magistrska naloga Uporaba BIM za parametrično analizo izbranih okoljskih trajnostnih vidikov stavb	
Mentor doc. dr. Tomo Cerovšek	
Avtor Toni Čančar	
Magistrski študij Stavbarstvo, UL FGG	
Vsebina načrta Južna fasada	
Merilo M 1:100	Datum 24.4.2016
Št. lista: 7	Priloga F



<small>Magistrska naloga</small> Uporaba BIM za parametrično analizo izbranih okoljskih trajnostnih vidikov stavb	
<small>Mentor</small> doc. dr. Tomo Cerovšek	
<small>Avtor</small> Toni Čančar	
Magistrski študij Stavbarstvo, UL FGG	
<small>Vsebina načrta</small> Vzhodna fasada	
<small>Merilo</small> M 1:100	<small>Datum</small> 24.4.2016
<small>Št. lista:</small> 8	Priloga G



Magistrska naloga	
Uporaba BIM za parametrično analizo izbranih okoljskih trajnostnih vidikov stavb	
Mentor	
doc. dr. Tomo Cerovšek	
Avtor	
Toni Čančar	
Magistrski študij Stavbarstvo, UL FGG	
Vsebina načrta	
Zahodna fasada	
Merilo	Datum
M 1:100	24.4.2016
Št. lista:	Priloga H
9	