

Obiteljska kuća kao zgrada nulte emisije

Choudhury, Karla

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:264712>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-13**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAĐEVINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Obiteljska kuća kao zgrada nulte emisije

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAĐEVINSKI FAKULTET



DIPLOMSKI RAD

Obiteljska kuća kao zgrada nulte emisije

Mentor:

izv.prof.dr.sc. Bojan Milovanović

Student:

Karla Choudhury

Zagreb, 2023.

UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING



MASTER'S THESIS

A single-family house as a zero emission building

Mentor:

izv.prof.dr.sc. Bojan Milovanović

Student:

Karla Choudhury

Zagreb, 2023.

IZJAVA O IZVORNOSTI

"Izjavljujem da je moj Diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni."

Zagreb, studeni 2023.

Karla Choudhury, univ.bacc.ing.aedif.

Sadržaj

I.	Popis slika	I
II.	Popis tablica.....	II
III.	Popis grafova	III
IV.	Sažetak.....	IV
V.	Abstract	IV
1	Uvod	1
1.1	Pregled stanja u Hrvatskoj – nZEB.....	1
1.2	Uvođenje ZEB standarda	2
2	Tehnički opis.....	5
2.1	Lokacija i namjena	5
2.2	Grijanje i hlađenje zgrade.....	5
2.3	Podaci o konstrukciji.....	5
2.4	Klimatološki podaci	10
3	Primjena BIM modela u Analizi toplinskih svojstava i Emisiji CO ₂ u životnom ciklusu zgrade	11
4	Proračun toplinske zaštite i racionalne uporabe energije.....	14
4.1	Karakteristike zone	14
4.2	Potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje	15
4.2.1	Građevni dijelovi.....	15
4.2.2	Proračun koeficijenta prolaska topline za građevne dijelove	22
4.2.3	Proračun koeficijenta prolaska topline za otvore.....	22
4.2.4	Rezultati proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje	23
4.3	Isporučena i primarna energija	25
4.4	Energija iz obnovljivih izvora	27
5	Utjecaj emisije CO ₂ eq plinova	28
5.1	Proračun emisije CO ₂ eq.....	29
5.2	Usporedba s Danskim kriterijem	47
6	Utjecaj toplinskih mostova	48
6.1	Proračun toplinskih mostova.....	48
6.1.1	Detalj 1	52
6.1.2	Detalj 2	56
6.1.3	Detalj 3	59
6.1.4	Detalj 4	62

6.1.5	Detalj 5	65
6.1.6	Detalj 6	68
6.2	Rekapitulacija rezultata	71
6.3	Usporedba rezultata s <i>Katalogom dobro riješenih toplinskih mostova</i>	72
7	Higrotermalno ponašanje.....	73
7.1	Proračun higrotermalnog ponašanja.....	73
7.1.1	Kosi krov	75
7.1.2	Vanjski zid	77
7.1.3	Pod na tlu.....	79
8	Zaključak.....	82
9	Popis literature	84

I. Popis slika

Slika 2.1 Tlocrt prizemlja	6
Slika 2.2 Tlocrt kata	7
Slika 2.3 Sjeverno pročelje	8
Slika 2.4 Južno pročelje	8
Slika 2.5 Istočno pročelje.....	9
Slika 2.6 Zapadno pročelje.....	9
Slika 3.1 Model zgrade - sjeverozapadno pročelje.....	12
Slika 3.2 Model zgrade - jugozapadno pročelje.....	12
Slika 4.1 Najveće dopuštene vrijednosti primarne energije	26
Slika 6.1 Detalji 1, 2 i 4.....	50
Slika 6.2 Detalj 3	50
Slika 6.3 Detalji 5 i 6.....	51
Slika 6.4 Detalj 1	52
Slika 6.5 Temperaturna raspodjela - Detalj 1	54
Slika 6.6 Detalji toplinskog mosta - Detalj 1	55
Slika 6.7 Detalj 2	56
Slika 6.8 Temperaturna raspodjela - Detalj 2	58
Slika 6.9 Detalj toplinskog mosta - Detalj 2.....	58
Slika 6.10 Detalj 3	59
Slika 6.11 Temperaturna raspodjela - Detalj 3	61
Slika 6.12 Detalj toplinskog mosta - Detalj 3.....	61
Slika 6.13 Detalj 4	62
Slika 6.14 Temperaturna raspodjela - Detalj 4	63
Slika 6.15 Detalj toplinskog mosta - Detalj 4.....	64
Slika 6.16 Detalj 5	65
Slika 6.17 Temperaturna raspodjela - Detalj 5	66
Slika 6.18 Detalj toplinskog mosta - Detalj 5.....	67
Slika 6.19 Detalj 6	68
Slika 6.20 Temperaturna raspodjela - Detalj 6	69
Slika 6.21 Detalj toplinskog mosta - Detalj 6.....	70
Slika 7.1 Klimatski uvjeti	74
Slika 7.2 Proračunski period	74
Slika 7.3 Ulazni podaci - kosi krov.....	75
Slika 7.4 Ukupni sadržaj vlage - kosi krov	75
Slika 7.5 Kontakt izolacije s podlogom - kosi krov.....	76
Slika 7.6 Izoplete na unutarnjoj površini - kosi krov.....	77
Slika 7.7 Ulazni podaci - vanjski zid	77
Slika 7.8 Ukupni sadržaj vode - vanjski zid	78
Slika 7.9 Kontakt izolacije s podlogom - vanjski zid.....	78
Slika 7.10 Izoplete na unutarnjoj površini - vanjski zid	79
Slika 7.11 Ulazni podaci - pod na tlu	79
Slika 7.12 Ukupni sadržaj vlage - pod na tlu.....	80
Slika 7.13 Kontakt izolacije s podlogom - pod na tlu.....	80
Slika 7.14 Izoplete na unutarnjoj površini - pod na tlu.....	81

II. Popis tablica

Tablica 2.1 Klimatološki podaci	10
Tablica 3.1 Geometrijske karakteristike	13
Tablica 4.1 Karakteristike zone.....	14
Tablica 4.2 Građevni dijelovi	15
Tablica 4.3 Vanjski zidovi 1 - Vanjski zid – GV	16
Tablica 4.4 Zidovi između grijanih dijelova 1 –Zid – GG – nosivi, suhi	16
Tablica 4.5 Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 2 - Zid - GG - nosivi, mokri	16
Tablica 4.6 Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 3 - Zid - GG - pregradni, suhi - 12-50 ...	16
Tablica 4.7 Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 4 - Zid - GG - pregradni, mokri 12-50 ..	17
Tablica 4.8 Stropovi između grijanih dijelova različitih korisnika 1 - Pod - GG - Ploča 1 kata	17
Tablica 4.9 Podovi na tlu 1 - Pod prema tlu - GT - garaža i strojnica.....	17
Tablica 4.10 Podovi na tlu 2 - Pod prema tlu - GT - boravak i sobe - površina umanjena za kuhinju ...	18
Tablica 4.11 Podovi na tlu 3 - Pod prema tlu - GT - kupaonica, kuhinja, izba	18
Tablica 4.12 Stropovi prema provjetravanom tavanu 1 - strop prema tavanu.....	19
Tablica 4.13 Kosi krovovi iznad grijanog prostora 1 - Kosi krov - GV - presjek kroz izolaciju	19
Tablica 4.14 Kosi krovovi iznad grijanog prostora 2 - Kosi krov - GV - presjek kroz rog.....	19
Tablica 4.15 Kosi krovovi iznad grijanog prostora 3 - Kosi krov - NV - presjek kroz izolaciju	20
Tablica 4.16 Kosi krovovi iznad grijanog prostora 4 - Kosi krov - NV - presjek kroz rog.....	20
Tablica 4.17 Ravni krovovi iznad grijanog prostora 1 - Ravni krov	21
Tablica 4.18 Koeficijenti prolaska topline za građevne dijelove	22
Tablica 4.19 Karakteristike otovra	23
Tablica 4.20 Godišnji toplinski dobitci i gubitci	24
Tablica 4.21 Potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje.....	25
Tablica 4.22 Godišnja isporučena i primarna energija	26
Tablica 4.23 Obnovljivi izvori energije.....	27
Tablica 5.1 Pod na tlu	31
Tablica 5.2 Vanjski zidovi.....	32
Tablica 5.3 Unutarnji zid.....	34
Tablica 5.4 Pregradni zidovi.....	35
Tablica 5.5 Međukatna konstrukcija	36
Tablica 5.6 Međukatna konstrukcija - tavan	37
Tablica 5.7 Ravni krov	38
Tablica 5.8 Kosi krov	39
Tablica 5.9 Serklaži	40
Tablica 5.10 Prozori i vrata	41
Tablica 5.11 Termotehnički sustavi	42
Tablica 5.12 Utjecaj fotonapona	46
Tablica 6.1 Ulazni podaci - Detalj 1.....	52
Tablica 6.2 Rubni uvjeti - Detalj 1.....	53
Tablica 6.3 Rezultati - Detalj 1.....	55
Tablica 6.4 Ulazni podaci - Detalj 2	56
Tablica 6.5 Rubni uvjeti - Detalj 2.....	57
Tablica 6.6 Rezultati - Detalj 2	59
Tablica 6.7 Ulazni podaci - Detalj 3	60
Tablica 6.8 Rubni uvjeti - Detalj 3.....	60
Tablica 6.9 Rezultati - Detalj 3	62

Tablica 6.10 Ulazni podaci - Detalj 4	62
Tablica 6.11 Rubni uvjeti - Detalj 4.....	63
Tablica 6.12 Rezultati - Detalj 4.....	64
Tablica 6.13 Ulazni podaci - Detalj 5	65
Tablica 6.14 Rubni uvjeti - Detalj 5.....	66
Tablica 6.15 Rezultati - Detalj 5	67
Tablica 6.16 Ulazni podaci - Detalj 6	68
Tablica 6.17 Rubni uvjeti - Detalj 6.....	69
Tablica 6.18 Rezultati - Detalj 6.....	70
Tablica 6.19 Karakteristične vrijednosti toplinskih mostova.....	71
Tablica 6.20 Usporedba rezultata toplinskih mostova.....	72

III. Popis grafova

Graf 4.1 Potrebne energije za grijanje, hlađenje i PTV	24
Graf 5.1 Pod na tlu: Ukupni modul A-C	31
Graf 6.2 Vanjski zidovi: Ukupni modul A-C.....	33
Graf 5.3 Unutarnji zidovi: Ukupni modul A-C.....	34
Graf 5.4 Pregradni zidovi: Ukupni modul A-C.....	35
Graf 5.5 Međukatna konstrukcija: : Ukupni modul A-C	36
Graf 5.6 Međukatna konstrukcija – tavan: Ukupni modul A-C	37
Graf 5.7 Ravni krov: : Ukupni modul A-C.....	38
Graf 5.8 Kosi krov: Ukupni modul A-C.....	39
Graf 5.9 Serklaži: Ukupni modul A-C	40
Graf 5.10 Prozori i vrata: Ukupni modul A-C.....	41
Graf 5.11 Termotehnički sustavi: Ukupni modul A-C.....	42
Graf 5.12 Faze životnog ciklusa A-D	44
Graf 5.13 Građevni elementi ukupno A-D.....	44
Graf 5.14 Utjecaj fotonapona	46

IV. Sažetak

U radu se istražuje potencijal gradnje zgrade nulte energije na primjeru obiteljske kuće. Iz postojećih nacrti zgrade i podloga za unos slojeva materijala, izradit će se BIM model korištenjem računalnog BIM programa. U cilju istaživanja zgrada nulte emisije, provede se četiri različita proračuna: i) potrebna energija za grijanje i hlađenje do razine zgrade gotovo nulte energije, ii) proračun emisije CO₂eq plinova tijekom cjelokupnog životnog vijeka zgrade, iii) utjecaj toplinskih mostova i iv) dugoročno higrotermalno ponašanje. Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje zgrade do razine zgrade gotovo nulte energije proveden je koristeći satnu metodu proračuna kako je definirano u Algoritmu za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora prema HRN EN ISO 13790. Kao rezultat proračuna dobije se količina potrebne energije u kWh po m² korisne površine zgrade. Proračun emisije CO₂eq plinova bazira se na količinama ugrađenog građevinskog materijala u predmetnu zgradu. Kao rezultat proračuna dobije se količina u kgCO₂eq emisije stakleničkih plinova po m² bruto površine zgrade. Za proračun vrijednosti toplinskih mostova korištene su numeričke metode. Kao rezultat proračuna dobije se duljinski koeficijent prolaska topline Ψ . Proračun dugoročnog transporta mase proveden je korištenjem numeričkih modela. Kao rezultat proračuna dobije se ukupni sadržaj vlage i vrijednosti relativne vlažnosti. Diplomski rad rezultirat će definiranom energetsom bilnacom zgrade te utjecajem na okoliš tijekom cijelog njezinog životnog vijeka.

Ključne riječi: zgrade nulte emisije, emisija CO₂eq plinova, toplinski mostovi, energetska učinkovitost

V. Abstract

The paper researches the potential of constructing a zero-energy building using a family house as a case study. From the existing blueprints of the building and the input information for layers of materials, a BIM model will be created using a computerized BIM program. Four different calculations will be conducted to investigate zero-emission buildings: i) required energy for heating and cooling to nearly zero energy building level, ii) calculation of CO₂eq gas emissions throughout the building's entire lifecycle, iii) impact of thermal bridges, and iv) long-term hygrothermal behavior. The calculation of required energy for heating and cooling is performed using the hourly calculation method as defined in the Algorithm for calculating the required energy for heating and cooling spaces according to HRN EN ISO 13790. The result provides the amount of required energy in kWh per square meter of the building's net area. The calculation of CO₂eq gas emissions is based on the quantities of embedded building materials in the building, resulting in the amount of kgCO₂eq greenhouse gas emissions per square meter of the building's gross area. Numerical methods are used for calculating thermal bridge values, resulting in the linear thermal heat transmittance Ψ . Long-term mass transport calculation is carried out using numerical models, resulting in values of total moisture content and relative humidity. The thesis will result in a defined energy balance for the building and its environmental impact throughout its entire lifecycle.

Keywords: zero-emission buildings, CO₂eq gas emissions, thermal bridges, energy efficiency

1 Uvod

Svaka zgrada, da bi bila projektirana, izgrađena i korištena, mora zadovoljiti temeljne zahtjeve za građevinu koji glase:

1. Mehanička otpornost i stabilnost
2. Sigurnost u slučaju požara
3. Higijena, zdravlje i okoliš
4. Sigurnost i pristupačnost tijekom uporabe
5. Zaštita od buke
6. Gospodarenje energijom i očuvanje topline
7. Održiva uporaba prirodnih izvora.

Tri od sedam zahtjeva odnose se na smanjenje štetnih utjecaja građevinske industrije na okoliš, od faze projekiranja do demoliranja.

Zahtjev *Higijena, zdravlje i okoliš* zahtijeva da zgrada „tijekom cijelog svog vijeka trajanja nema iznimno velik utjecaj na kvalitetu okoliša ili klimu, tijekom građenja, uporabe ili uklanjanja“.

Gospodarenje energijom i očuvanje topline zahtijeva da „Građevine također moraju biti energetske učinkovite, tako da koriste što je moguće manje energije tijekom građenja i razgradnje“ što uključuje njihovu potrošnju energije za grijanje, hlađenje, osvjetljenje i provjetravanje.

Održiva uporaba prirodnih izvora zahtijeva da građevine moraju zajamčiti „ponovnu uporabu ili mogućnost reciklaže građevine, njezinih materijala i dijelova nakon uklanjanja“ te „uporabu okolišu prihvatljivih sirovina i sekundarnih materijala u građevinama.“ [1]

1.1 Pregled stanja u Hrvatskoj – nZEB

Pregled stanja od 2014. do 2021. godine. Kako bi građevinska industrija u Hrvatskoj bila što usklađena s navedenim zahtjevima, Vlada Republike Hrvatske je 2014. godine donijela programe energetske obnove s ciljem smanjenja potrošnje energije u zgradama te smanjenja emisija CO₂ za zgrade različite namjene: Program energetske obnove obiteljskih kuća, Program energetske obnove višestambenih zgrada, Program energetske obnove nestambenih zgrada komercijalne namjene te Program energetske obnove zgrada javne namjene.

U navedenim programima vršila se analiza stanja postojećeg stambenog fonda i potrošnje energije u njemu, te iznio prijedlog za energetske obnovu i unaprijeđenje energetske učinkovitosti postojećih zgrada koji se provodio u razdoblju od 2014. do 2020. godine.

Zgrade u Hrvatskoj većinom su građene prije 1987. godine, što znači da otprilike troše 200-250 kWh/m² toplinske energije za grijanje ($Q''_{H,nd,ref}$) što odgovara energetskom razredu E.

Primjenom mjera povećanja energetske učinkovitosti, cilj je bio smanjiti potrošnju tih zgrada na 50 kWh/m², u razdoblju od 2014 do 2020. [2]

Mjere uključuju cjelovitu energetska obnovu zgrada što podrazumijeva povećanje toplinske zaštite vanjske ovojnice zgrade, zamjenu vanjskih prozora i vrata te zamjenu ili unaprijeđenje sustava grijanja i hlađenja, ali i mjere korištenja obnovljivih izvora energije. [3]

Takvim uredbama ostvareni su kriteriji za postizanje zgrada nZEB standarda. Prema definiciji, *zgrada gotovo nulte energije jest zgrada koja ima vrlo visoka energetska svojstva. Ta gotovo nulta odnosno veoma niska količina energije trebala bi se u vrlo značajnoj mjeri pokrivati energijom iz obnovljivih izvora, uključujući energiju iz obnovljivih izvora koja se proizvodi na zgradi ili u njezinoj blizini.* [4]

Prema Direktivi o energetske učinkovitosti zgrada 31/2010/EU (EPBD), donesenoj 2010 godine, odlučeno je da od 31.12.2020. godine sve zgrade moraju biti projektirane kao zgrade gotovo nulte energije, dok su zgrade javne uprave morale zadovoljiti te zahtjeve već 31.12.2018.

Da bi zgrada zadovoljila nZEB kriterije mora ispuniti četiri uvjeta: godišnja potrebna energija za grijanje i godišnja primarna energija ne smiju prijeći postavljene maksimalne dopuštene vrijednosti definirane u Tehničkom propisu, a minimalno 30% energije mora biti podmireno energijom iz obnovljivih izvora te ispunjavanjem zahtjeva o zrakopropusnosti koji se dokazuje ispitivanjem na zgradi prije tehničkog pregleda zgrade.

Ako se radi o samostojećoj stambenoj zgradi i nestambenoj zgradi čija je ploština korisne površine grijanog dijela zgrade manja ili jednaka 50 m² iznimno je potrebno ispuniti samo zahtjeve najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline U W/(m²K) pojedinih građevnih dijelova, prema Tehničkom propisu. [4]

1.2 Uvođenje ZEB standarda

Pregled stanja od 2021. do 2030. godine. Nakon 2021. godine, definiranih i provedenih mjera za postizanje prethodno navedenih uvjeta, ide se korak dalje u postizanju energetske učinkovitih zgrada. U novo donesenoj reviziji Direktive o energetske učinkovitosti zgrada (EPBD revision) iz prosinca 2021. godine naglasak više nije na potrošnji energije već se stavlja na snižavanje emisije stakleničkih plinova. Postavljeni cilj je smanjenje emisija stakleničkih plinova za 55% do 2030., a zatim doseganje primarnog cilja – zgrada s nultom emisijom do 2050.

Zahtjevi i mjere ove direktive trebale bi se primjenjivati od 1. siječnja 2030. na sve nove zgrade, a od 1. siječnja 2027. na sve nove zgrade koje koriste ili su u vlasništvu javnih tijela.

Za postojeći fond zgrada u Hrvatskoj to bi značilo:

- U razdoblju do 2030. godine trebalo obnoviti oko 6,3 milijuna m² u višestambenim zgradama. To bi na godišnjoj razini značilo obnovu prosječno oko 700.000 m² u razdoblju od 2022. do 2030. godine predviđa se smanjenje emisija CO₂eq od 74.981,32 tona. [5]

- U razdoblju do 2030. godine trebalo obnoviti preko 2,9 milijuna m² u zgradama javnog sektora. To bi na godišnjoj razini značilo obnovu prosječno oko 325.000 m² u razdoblju od 2022. do 2030. godine. Očekivano smanjenje emisija CO₂eq u promatranom razdoblju je 384,4 tona, što je doprinos od oko 1,2 %. [5]

Definicija nZEB zgrada proširuje se na nove ZEB zgrade - zero emission buildings tj. Zgrade s nultom emisijom. Iako definicija ZEB zgrada nije još u potpunosti određena, okviran prijedlog definicije prema Direktivi Europskog parlamenta i vijeća glasi: *zgrada s nultom emisijom definirana je kao zgrada s vrlo visokim energetske svojstvima, s vrlo malom količinom potrebne energije koja je u potpunosti pokrivena energijom iz obnovljivih izvora i bez emisija ugljika iz fosilnih goriva na licu mjesta.* [6]

Dok je prema Norveškom istraživačkom centru za zgrade s nultom emisijom (eng. The Norwegian Research Centre on Zero Emission Buildings): *Zgrada s nultom emisijom proizvodi dovoljno obnovljive energije da nadoknadi emisije stakleničkih plinova zgrade tijekom svog životnog vijeka, koji uključuje pet različitih faza.* [7]

Predložene definicije razlikuju se u jednoj bitnoj stavci: prva definicija implicira da zgrade proizvode 0 kgCO₂eq/m² stakleničkih plinova i svu potrebnu energiju generira iz obnovljivih izvora, dok druga definicija nalaže da je količina proizvedenih stakleničkih plinova jednaka količini energije generirane iz obnovljivih izvora. No, u sumi, obje definicije zahtijevaju nuliranje operativnih emisija stakleničkih plinova.

Koncept u postizanju ZEB zgrada uključuje definiranje granica sustava, granica bilance emisija, metode izračuna, pokazatelji i metrike te prostornu granicu.

Glavni korak prema ZEB definicijama je postavljanje granica sustava, koje predstavljaju sučelje između zgrade i njezine okoline. To podrazumijeva definiranje faza tijekom životnog vijeka zgrade koje su uključene u izračun emisija stakleničkih plinova. Obično se prvo rastavljanje vrši dijeljenjem granice sustava na dva glavna dijela: operativni - fokusiran je na fazu u kojoj se zgrada koristi te utjelovljeni - odnosi na faze prije i poslije samog korištenja zgrade, kao što je faza proizvodnja, proces izgradnje i kraj životnog vijeka. [8]

Operativni dio u procjeni životnog ciklusa temelji se na izračunu konačne energetske potrebe za korištenje zgrade. Korištenje energije u zgradi uključuje grijanje, hlađenje, PTV, ventilaciju ili klimatizaciju, pomoćnu energiju za crpke i rasvjetu. Također, na to se dodajte i energija potrebna za korištenje lifta, garažnih vrata, sigurnosnih sustava i drugih tehničkih sustava. U operativnu energiju spada i energija koja isključivo ovisi o navikama korisnika, kao na primjer energija koju potroše električni uređaji u kućanstvu i energija za svu korištenu vodu. Utjelovljena energija i emisija povezane su s fazama prije i nakon faze izgradnje zgrade. To uključuje energiju i emisiju prilikom vađenja i obrade sirovina, proizvodnju materijala, transport do gradilišta i na gradilištu, proces instalacije opreme te proces rušenja i odlaganja otpada. [8]

ZEB zgrade podrazumijevaju korištenje veće količine materijala, pogotovo izolacijskih te ugradnju složenijih i naprednijih tehničkih sustava što rezultira većim vrijednosti utjelovljenog ugljika.

Granica bilance emisije predstavlja granice u proračunu koje se odražavaju na razinu ZEB uvjeta. Predstavljene su dvije glavne mogućnosti. Neto nulta emisija podrazumijeva da je bilanca emisije nula tijekom određenog promatranog perioda. Takva zgrada proizvodi vlastitu energiju na licu mjesta, ali u nedostatku iste, uvozi ju iz mreže. Također, pri povećanoj proizvodnji vlastite obnovljive energije, izvozi ju nazad u mrežu što se smatra kao protuteža emisiji. Dok pristup apsolutne nulte emisije podrazumijeva zgrade koje imaju nultu emisiju povezanu s gorivom ili električnom energijom za pokrivanje potrošnje energije u fazi korištenja. Također, materijali i transport materijala te sam proces izgradnje trebali bi imati nulte emisije.

Treba imati na umu da s vremenom pristup *neto nultim emisija* neće biti održiv. Nakon što se mreža u potpunosti dekarbonizira, koncept kompenzacije bit će zastario bez koristi od energije proizvedene na licu mjesta i prodane u mrežu.

Za procjenu operativne energije i emisija, obično se koriste dvije vrste metoda proračuna: stacionarne (statičke) i dinamičke metode. Prvi se odnosi na stacionarni pristup koji zanemaruje stvarno dinamičko ponašanje zgrade, tretira sezone grijanja i hlađenja kao fiksna razdoblja. S druge strane, dinamičke metode uzimaju u obzir dinamičko ponašanje okoline, promjene u klimi i varijabilnost toplinskih dobitaka, stope ventilacije i infiltracije. Dinamički pristup uzima u obzir i promjenu intenziteta ugljika koji se mijenja tijekom godina. Korištenje faktora stakleničkih plinova omogućuje preciznije i pouzdanije obračunavanje emisija stakleničkih plinova. [8]

Izbor pokazatelja i metrike za prikazivanje performansi zgrada prije se temeljio na izračunu konačne energije, tj. iskorištavanju primarnih izvora energije. Dok se za postizanje novih ZEB zgrada uvodi dodatni pokazatelj emisije stakleničkih plinova. Koristeći koeficijente ugljika, podatke o konačnoj energiji moguće je pretvoriti u emisiju stakleničkih plinova. Međutim, veza između koeficijenata ugljika i faktora primarne energije uspostavljena je za obnovljive izvore energije kao što su fosilna goriva. Problematika nastaje kod postavljanja veze između obnovljivih izvora energije kao što su biomasa, nuklearne energija ili izgaranje otpadnih materijala.

Prostorne granice promatraju objekt iz geometrijske perspektive. Može se promatrati jedna zgrada, cijeli kompleks zgrada ili čak i cijeli fond zgrada na nacionalnoj razini. Nove zgrade mogu se modelirati testiranjem različite geometrije, orijentacije i ovojnice. Potreba za energijom može se zadovoljiti niskoenergetskim tehnologijama i obnovljivim izvorima. Za postojeće zgrade, razina energetske učinkovitosti podložna je tehnološkoj izvedivosti. Još jedna ključna razlika je primjena obnovljivih izvora energije, posebno u prenapučenim urbanim područjima gdje proizvodnja na licu mjesta može biti ograničena. [9]

U ovom radu proveden je proračun emisije stakleničkih plinova na primjeru obiteljske kuće građene klasičnim pristupom koji je uobičajen u Hrvatskoj, poštujući energetske zahtjeve nZEB zgrada. Računa se potencijal globalnog zagrijavanja (eng. Global - warming potential - GWP), koji se zatim uspoređuje s Danskim kriterijem, više opisanim u *poglavlju 5* ovog rada. Cilj je istažiti mogući napredak klasične gradnje u odnosu na gradnju kojoj treba težiti.

2 Tehnički opis

2.1 Lokacija i namjena

Predmetna građevina nalazi se u Donjostupničkoj ulici u Stupniku. Građevina je u funkciji obiteljske kuće stambene namjene.

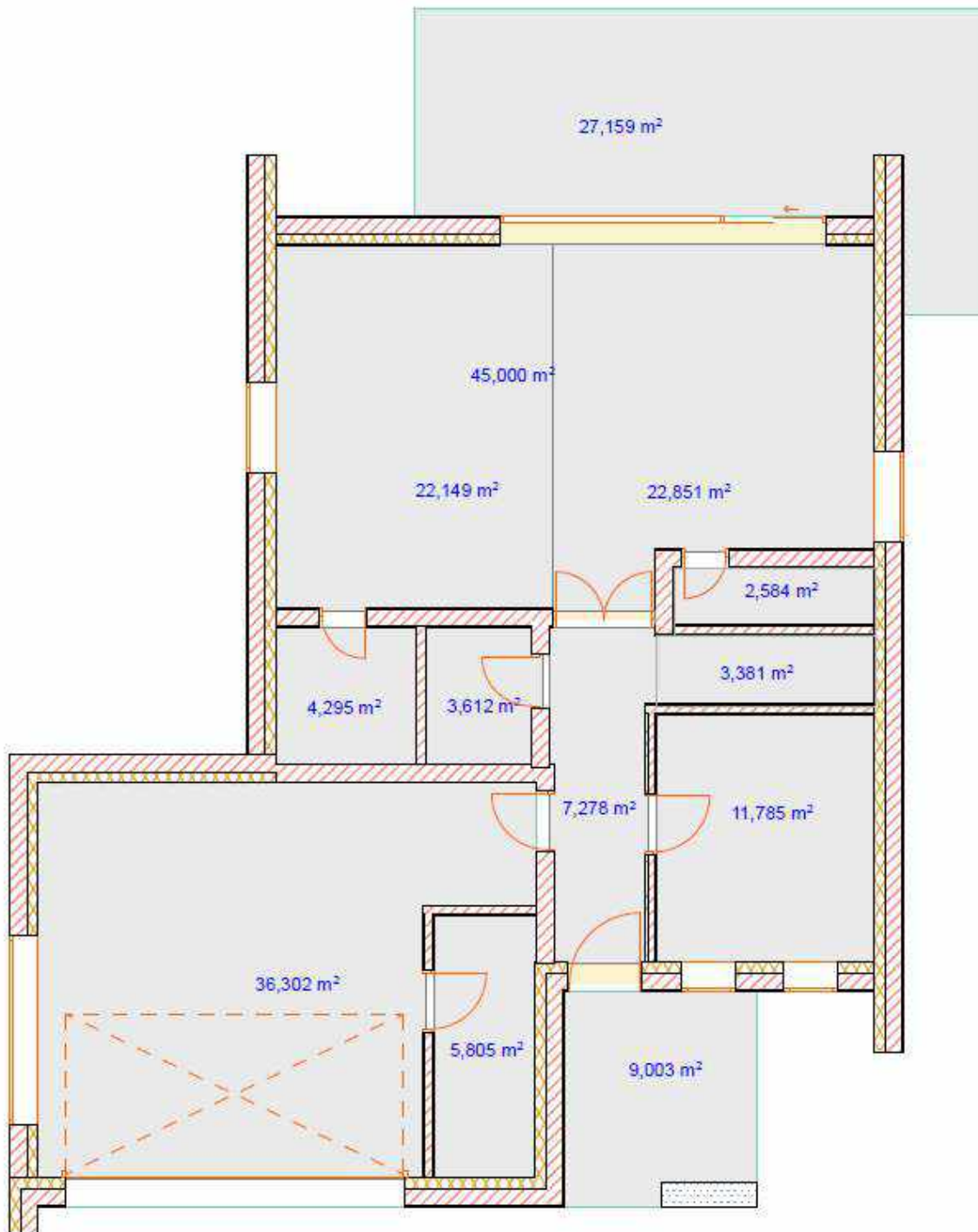
2.2 Grijanje i hlađenje zgrade

Obiteljska kuća se vodi kao stambena zgrada s jednom zonom. Cijela zgrada se vodi kao grijana zona, uključujući garažu i strojarnicu. Grijanje i hlađenje kuće te potrošnje tople vode je centralno uz prekide grijanja tijekom 8 sati po noći. Energija se generira preko toplinske dizalice uz korištenje solarne i električne energije. Zgrada je klimatizirana, unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja je 20°C, a u sezoni hlađenja 22°C.

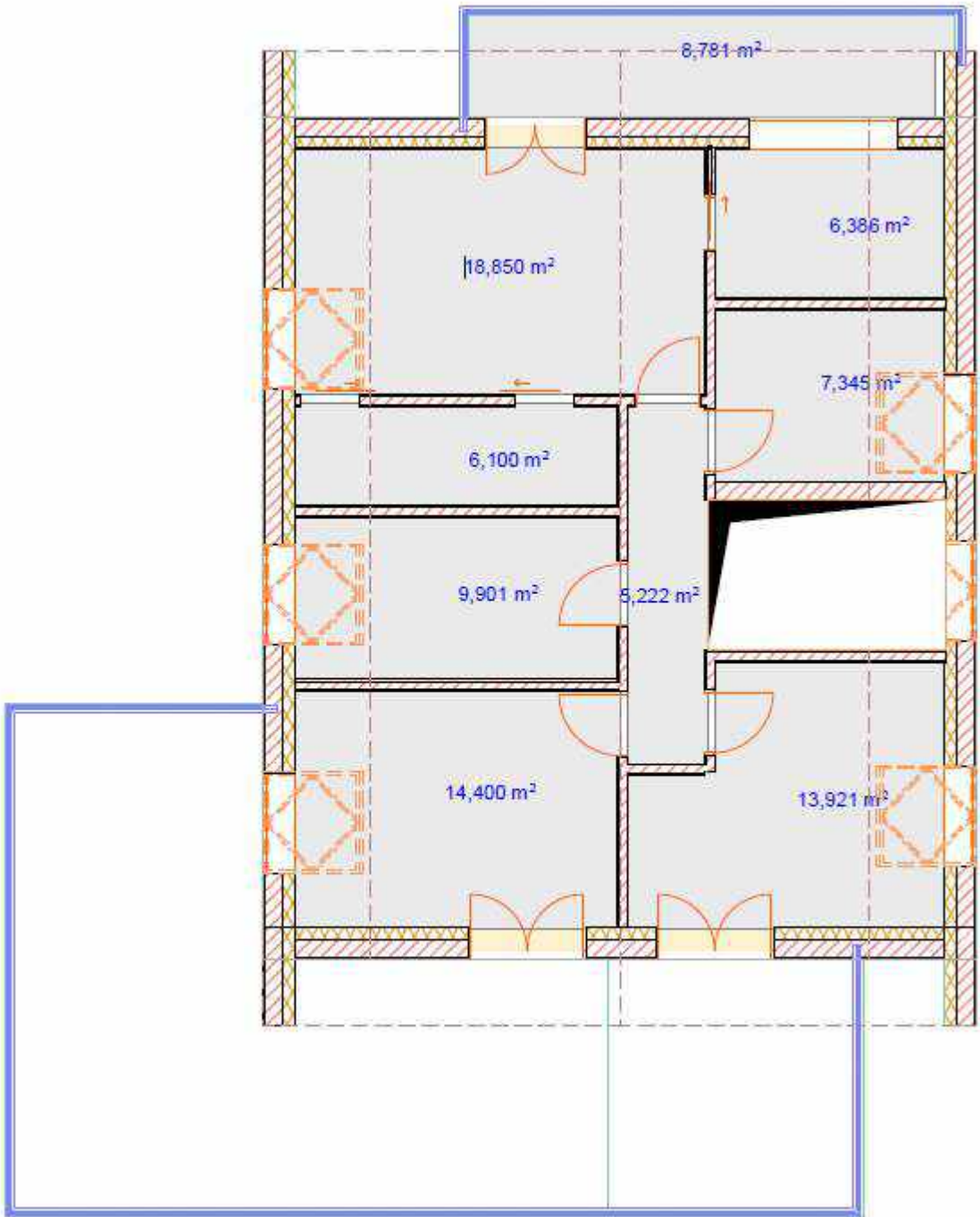
2.3 Podaci o konstrukciji

Zgrada ima tri etaže: prizemlje, kat i nestambeno potkrovlje. Prizemlje se sastoji od hodnika, radne sobe, kupaonice i izbe te dnevnog boravka i kuhinje koji su spojeni u jednoj prostoriji sveukupne površine 120,04 m². Na katu se nalazu hodnik, dvije kupaone, vešeraj i tri sobe ukupne površine 82,13 m². Sobe na katu imaju izlaz na balkon. Balkon sa sjeverne strane je ujedno i dio ravnog krova te mu površina iznosi površine 58 m², dok balkon s južne strane je 8,78 m². Teresa s prilazom iz dnevnog boravka je površine 27,16 m². Površina garaže je 36,30 m², a strojarnice je 5,81 m².

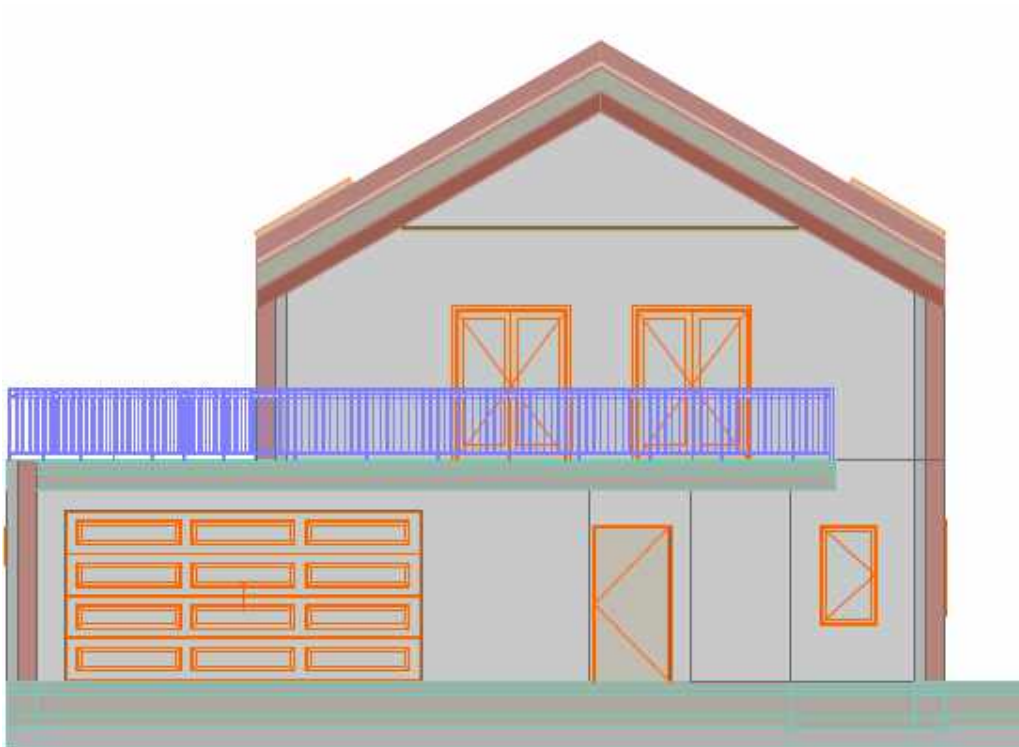
Temeljna ploča izvedena je kao armirano betonska ploča debljine 30 cm. Međukatna konstrukcija je izvedena kao Porotherm FERT strop s tlačnom pločom od 6 cm. Zid je omeđeno vertikalnim i horizontalnim serklažima debljine 25 cm. Vanjski zidovi zidani su Porotherm opekom debljine 25 cm, a pregradni zidovi od Porotherm opeke debljine 12 cm. Svijetla visine zidova je 2,77 m u prizemlju, a na katu 1,65 m te se nastavlja krovnište. Krovnište je dvostrešno sa zapadne i istočne strane. Sa svake strane nalaze se krovni prozori. Iznad razine krovnog prozora je međukatna konstrukcija koja dijeli etažu 1 kata od ostatka potkrovlja koje je u funkciji tavana. Svijetla visine 1. kata je 2,80 m. Krov je izveden kao drveni dvostrešni krov nagiba 30° s pokrovom od Tondach Planoton crijepa. Prozori su drveni sa trostrukim izolacijskim staklima. Ulazna vrata su drvena sa staklenim otvorom. Nacrti zgrade prikazani su na slikama: 2.1 – 2.6.



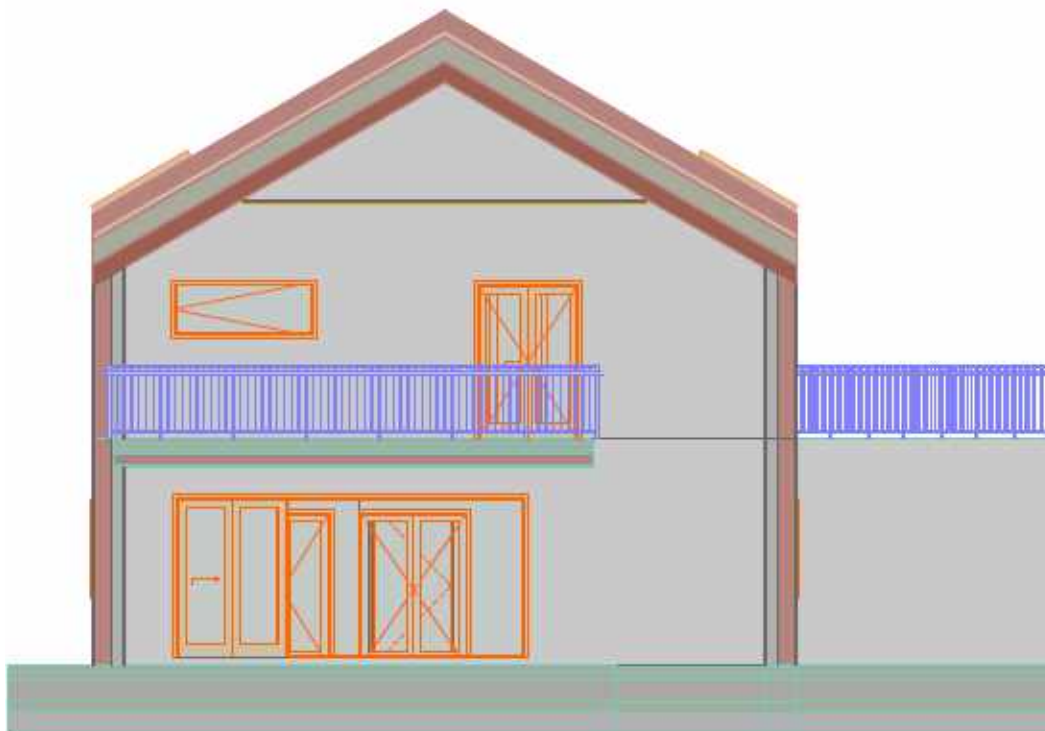
Slika 2.1 Tlocrt prizemlja



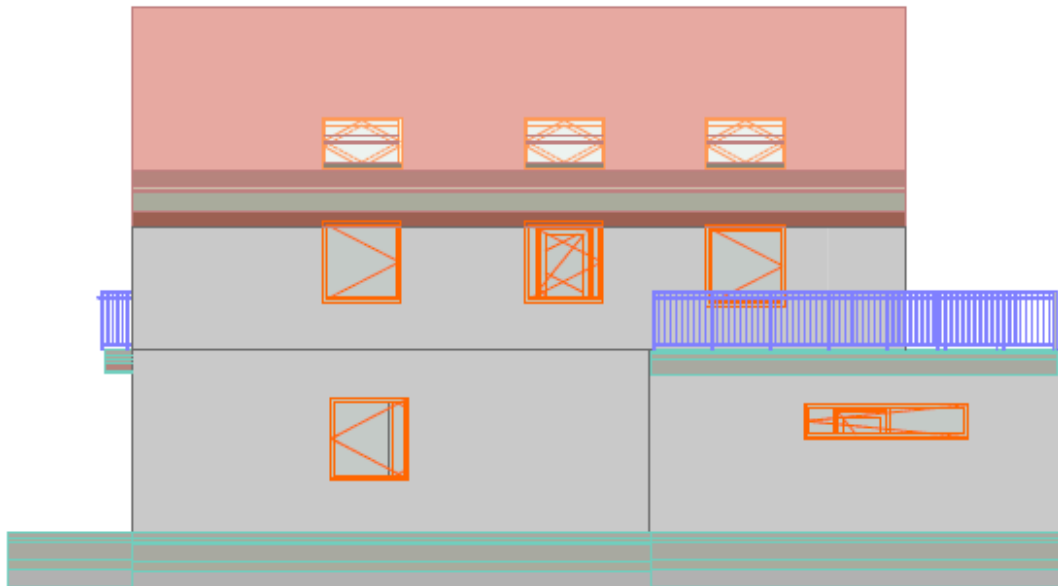
Slika 2.2 Tlocrt kata



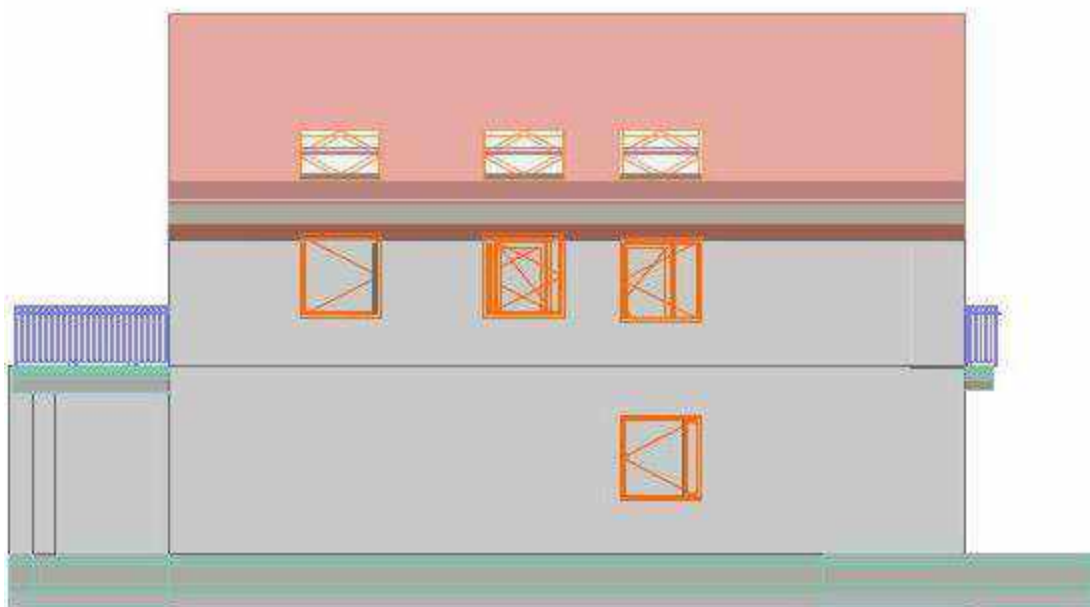
Slika 2.3 Sjeverno pročelje



Slika 2.4 Južno pročelje



Slika 2.5 Istočno pročelje



Slika 2.6 Zapadno pročelje

2.4 Klimatološki podaci

U obzir je uzeta prva najbliža meterološka postaja slične nadmorske visine.

Lokacija: Zagreb

Referentna postaja: Zagreb Maksimir

Tablica 2.1 Klimatološki podaci

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
	Temperature zraka (° C)												
m	-1,2	2,3	7,4	12,7	16,8	20,8	22,1	23,4	18,4	12,6	8,9	2	12,2
min	-12,8	-11,9	-8	0,6	6,5	10,5	13,4	10,8	7,3	0,2	-5,7	-12,4	-12,8
max	13,4	14,9	17,2	21,3	26,5	29,6	29,3	29,6	25	21	19,3	14,5	29,6

3 Primjena BIM modela u Analizi toplinskih svojstava i Emisiji CO₂ u životnom ciklusu zgrade

U ovom istraživanju izrađen je detaljni Building Information Modeling (BIM) model višestambene zgrade kao temelj za analizu energetske učinkovitosti i ekološkog otiska tijekom cijelog životnog ciklusa zgrade. Korištenjem BIM alata – ArchiCAD 25, omogućeno je precizno modeliranje građevinskih elemenata, omogućujući integraciju informacija o materijalima, strukturi, tehnologijama grijanja/hlađenja i ostalim relevantnim podacima.

- Analiza toplinskih svojstava:

Primjenom BIM modela omogućena je kvantitativna analiza toplinskih svojstava zgrade, uključujući termalnu provodljivost i gubitak topline kroz fasadu, krovove i prozore. Korištenjem količina iz modela, provedeni su proračuni potrebni za procjenu energetske učinkovitosti i identificiranje područja za potencijalna poboljšanja. Na temelju podataka o površinama, volumenima i količinama ugrađenih materijala, detaljno su analizirani elementi ovojnice zgrade te kritična mjesta na zgradi za pojavu toplinskih mostova. Analiza obuhvaća izračun koeficijenata toplinske provodljivosti građevnih elemenata i otvora - U, a zatim je proveden i izračun duljinskog koeficijenta prolaska topline - Ψ . Temeljem provedenih proračuna, postignuto je značajno smanjenje toka topline kroz ovojnicu, doprinoseći time poboljšanju ukupne energetske učinkovitosti zgrade. Detaljna toplinska analiza provedena je u *poglavlju 4*, dok se analiza toplinskih mostova nalazi u *poglavlju 6*.

- Procjena emisija CO₂eq u životnom ciklusu:

Osim toga, BIM model se koristio za procjenu ukupnih emisija CO₂eq tijekom životnog ciklusa zgrade. Modelirani su svi korišteni materijali s odgovarajućim debljinama omogućujući točan izvod količina ugrađenog materijala. Važnost pouzdanosti ulaznih podataka od velikog je značaja za uvid u točniju i realniju informaciju o emisijama stakleničkih plinova proizvedenih tijekom životnog vijeka zgrade. Uz vjerodostojnost ulaznih podataka - količina materijala i upotrebom odgovarajućih EPD-a, može se izračunati GWP za svaki pojedini element. Ova analiza obuhvatila je ne samo emisije tijekom faze izgradnje, već i one povezane s uporabom, održavanjem i konačnim zbrinjavanjem zgrade. Detaljna analiza provedena je u *poglavlju 5*.

BIM model ima veliku ulogu kako bi se osiguralo da su planiranje, projektiranje i izgradnja zgrada visoko učinkoviti i funkcionalni. Informacijski modeli koriste se u svim fazama životnog vijeka zgrade, od početka do kraja — pa čak i za renoviranje i obnove.

Za predmetnu zgradu, modelirani su svi konstruktivni i nekonstruktivni elementi: temeljna ploča, međukatna ploča, vanjski zidovi, unutarnji nosivi i pregradni zidovi, krov, zatim ploče terase i nadstrešnica kao i svi unutarnji i vanjski otvori: vrata i prozori, kako je prikazano na slikama 3.1 i 3.2:



Slika 3.1 Model zgrade - sjeverozapadno pročelje



Slika 3.2 Model zgrade - jugozapadno pročelje

U modelu su točno određene granice između elemenata grijano-grijano, grijano-negrijano, grijano-vani i negrijano-vani, dimenzije i veličine otvora te debljine i slojevi korištenih materijala.

Iz programa su izvučeni numerički podaci o ploštinama i volumenima potrebni za izračun potrebne energije za grijanje i hlađenje od kojih su najvažniji navedeni u tablici 3.1:

Tablica 3.1 Geometrijske karakteristike

Geometrijske karakteristike:	
Površina kondicionirane zone A_f	260,63 m ²
Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade A_k	170,04 m ²
Neto obujam grijanog zraka V	645,75 m ³
Bruto volumen V_e	854,85 m ³

Uz te podatke, izvučene su površine svih unutarnjih zidova, međukatne ploče i otvora.

4 Proračun toplinske zaštite i racionalne uporabe energije

Potrošnja energije u zgradi ovisi o karakteristikama zgrade (obliku i konstrukcijskim materijalima), tehničkim sustava u njoj (sustavi grijanja i hlađenja, način pripreme tople vode, prozračivanja i ventilacije, rasvjete), ali i o klimatskim uvjetima podneblja na kojem se nalazi.

Za predmetnu zgradu, proračun potrebne toplinske energije za grijanje, hlađenje i PTV, isporučene energija i primarne energije proveden je u programskom paketu KI Expert Plus. Program se koristi za proračun fizike zgrade, odnosno proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje u zgradama te izradu projekata u odnosu na toplinsku zaštitu i racionalnu uporabu energije i energetskih certifikata u Hrvatskoj. Korištena je verzija 7.11.4.0. - 24.09.2022. koja poštuje sve uredbe *Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* i *Algoritma za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790*.

U programu je potrebno definirati karakteristike zone: naziv i namjenu zone, klimatske podatke, vrstu prostora, vrijeme rada termotehničkog sustava i način grijanja te geometrijske karakteristike zone koji su dobiveni iz BIM modela. Zatim za potrebnu toplinsku energiju potrebno je definirati građevne dijelove i njihove slojeve, otvore, toplinske mostove, prijenos topline prema tlu i transmisivne gubitke. Za isporučenu i primarnu energiju potrebno je definirati termotehničke sustave, korištene energente i faktore primarne energije.

Kao rezultat proračuna dobiju se mjesečni podaci za definiranu zonu i ukupni sezonski podaci o transmisivnim toplinskim gubitcima, ventilacijskim toplinskim gubitci, unutarnjim toplinskim dobitcima (ljudi, rasvjeta, uređaji), toplinski dobitci od sunčeva zračenja, faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje i potrebna toplinska energija za grijanje, hlađenje i pripremu tople vode.

4.1 Karakteristike zone

Tablica 4.1 Karakteristike zone

Zgrada	
Namjena zgrade	Stambena zgrada
Podjela zgrade u toplinske zone	ne
Toplinska zona 1	
Namjena zone	Stambeni dio
Vrsta zgrade	Obiteljske kuće
Vrsta prostora	Obiteljske kuće
Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja	$\Theta_{int,set,H}$ [°C] 20,00
Unutarnja projektna temperatura u sezoni hlađenja	$\Theta_{int,set,C}$ [°C] 22,00
Vrijeme rada sustava	Sustavi s prekidom rada noću
Period korištenja sustava za grijanje/hlađenje	08:00 - 23:00
Period korištenja sustava za mehaničku ventilaciju	08:00 - 23:00

4.2 Potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje

Prema Pravilniku o energetsom pregledu zgrade i energetsom certificiranju zgrada, *godišnja potrebna toplinska energija za grijanje, hlađenje te pripremu tople vode* jest računski određena količina topline koju sustavom grijanja, odnosno hlađenja treba dovesti tijekom jedne godine u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi i pripremu potrošne tople vode tijekom razdoblja grijanja, odnosno hlađenja zgrade. [10] U sumi, te tri vrijednosti energija čine godišnju potrebnu toplinsku energiju, Q_H (kWh/a).

Proračun je proveden tako da se cijela zgrada tretira kao jedna toplinska zona.

4.2.1 Građevni dijelovi

Za potrebe proračuna definirani su svi građevni elementi koji se karakteriziraju prema vrsti građevnog dijela i prema tome jesu li dijelovi vanjske ovojnice ili ne, kako je prikazano u tablici 4.2:

Tablica 4.2 Građevni dijelovi

Vrsta	Dio ovojnice
Vanjski zidovi	Da
Pod na tlu	
Ravni krov	
Kosi krov	
Strop prema provjetravanom tavanu	
Strop između grijanih dijelova	Ne
Kosi krov iznad grijanog prostora	
Zidovi između grijanih dijelova	

Za svaki građevni element određeni su slojevi materijala navedeni u smjeru toplinskog toka, odnosno od unutarnje strane prema vanjskoj. U programu se već nalazi velika zbirka građevinskih materijala, no neke materijale je potrebno naknadno uvesti. Za svaki sloj materijala definirana je debljina d (cm), gustoća ρ (kg/m^3), specifični toplinski kapacitet c (J/kgK), koeficijent prolaska topline λ (W/mK) i faktor otpora difuzije vodene pare μ .

Sljedeće tablice prikazuju pregled slojeva materijala svakog građevnog elementa:

Tablica 4.3 Vanjski zidovi 1 - Vanjski zid – GV

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	3.03 Vapneno-cementna	1,500	1,000	20,00	0,30	1800,00
2	POROTHERM 25 PROFI	25,000	0,145	7,50	1,88	780,00
3	Knauf Insulation ploča za kontaktne fasade FKD-N	16,000	0,034	1,10	0,18	95,00
4	Polimerno-cementno ljepilo	0,500	0,900	14,00	0,07	1650,00
5	3.16 Silikatna žbuka	0,200	0,900	60,00	0,12	1800,00
Definirane ploštine [m ²]:					Istok	56,94
					Sjever	40,59
					Zapad	60,15
					Jug	49,70

Tablica 4.4 Zidovi između grijanih dijelova 1 –Zid – GG – nosivi, suhi

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	3.03 Vapneno-cementna	2,000	1,000	20,00	0,40	1800,00
2	POROTHERM 25 PROFI	25,000	0,145	7,50	1,88	780,00
3	3.03 Vapneno-cementna	2,000	1,000	20,00	0,40	1800,00
Definirana ploština [m ²]:						17,66

Tablica 4.5 Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 2 - Zid - GG - nosivi, mokri

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	4.03 Keramičke pločice	2,000	1,300	200,00	4,00	2300,00
2	POROTHERM 25 PROFI	25,000	0,145	7,50	1,88	780,00
3	3.03 Vapneno-cementna	2,000	1,000	20,00	0,40	1800,00
Definirana ploština [m ²]:						39,52

Tablica 4.6 Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 3 - Zid - GG - pregradni, suhi - 12-50

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	3.03 Vapneno-cementna	2,000	1,000	20,00	0,40	1800,00
2	Porotherm 11,5 profi	12,000	0,200	0,50	0,06	680,00
3	Knauf Insulation višenamjenska ploča	5,000	0,039	1,10	0,06	30,00
4	3.03 Vapneno-cementna	2,000	1,000	20,00	0,40	1800,00
Definirana ploština [m ²]:						103,89

Tablica 4.7 Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 4 - Zid - GG - pregradni, mokri 12-50

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	4.03 Keramičke pločice	2,000	1,300	200,00	4,00	2300,00
2	Porotherm 11,5 profi	12,000	0,200	0,50	0,06	680,00
3	Knauf Insulation višenamjenska ploča	5,000	0,039	1,10	0,06	30,00
4	3.03 Vapneno-cementna	2,000	1,000	20,00	0,40	1800,00
Definirana ploština [m ²]:					53,50	

Tablica 4.8 Stropovi između grijanih dijelova različitih korisnika 1 - Pod - GG - Ploča 1 kata

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	4.05 Drvo - meko -	2,200	0,130	50,00	1,10	500,00
2	3.18 Cementni mort	8,000	1,600	25,00	2,00	2000,00
3	PE - folija (pričvršćena metalnim spojnica)	0,020	0,600	54000,00	10,80	980,00
4	Knauf Insulation podna ploča NaturBoard TPT	6,000	0,036	1,10	0,07	130,00
5	Beton armiran (s 2% čelika)	6,000	2,300	130,00	7,80	2300,00
6	POROTHERM 20 S P+E	16,000	0,330	7,50	1,20	680,00
7	3.03 Vapneno-cementna	2,000	1,000	20,00	0,40	1800,00
Definirana ploština [m ²]:					105,33	

Tablica 4.9 Podovi na tlu 1 - Pod prema tlu - GT - garaža i strojnica

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	4.03 Keramičke pločice	1,000	1,300	200,00	2,00	2300,00
2	3.19 Cementni estrih	8,000	1,600	50,00	4,00	2000,00
3	PE - folija (pričvršćena metalnim spojnica)	0,020	0,600	54000,00	10,80	980,00
4	Knauf Insulation podna ploča NaturBoard TPT	8,000	0,036	1,10	0,09	130,00
5	Bitumenska ljepenka (traka)	1,000	0,230	50000,00	500,00	1100,00
6	Beton armiran (s 2% čelika)	30,000	2,300	130,00	39,00	2300,00
7	7.03 Ekstrudirana polistir.	16,000	0,034	140,00	22,40	30,00
8	6.04 Pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac)	30,000	0,810	3,00	0,90	1700,00
Definirana ploština [m ²]:					51,32	

Tablica 4.10 Podovi na tlu 2 - Pod prema tlu - GT - boravak i sobe - površina umanjena za kuhinju

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	4.05 Drvo - meko -	1,000	0,130	50,00	0,50	500,00
2	3.19 Cementni estrih	8,000	1,600	50,00	4,00	2000,00
3	PE - folija (pričvršćena metalnim spojnica)	0,020	0,600	54000,00	10,80	980,00
4	Knauf Insulation podna ploča NaturBoard TPT	8,000	0,036	1,10	0,09	130,00
5	Bitumenska ljepjenka (traka)	1,000	0,230	50000,00	500,00	1100,00
6	Beton armiran (s 2% čelika)	30,000	2,300	130,00	39,00	2300,00
7	7.03 Ekstrudirana polistir.	16,000	0,034	140,00	22,40	30,00
8	6.04 Pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac)	30,000	0,810	3,00	0,90	1700,00
Definirana ploština [m ²]:						67,32

Tablica 4.11 Podovi na tlu 3 - Pod prema tlu - GT - kupaonica, kuhinja, izba

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	4.03 Keramičke pločice	1,500	1,300	200,00	3,00	2300,00
2	Tekući hidroizolacijski	0,100	0,250	6000,00	6,00	1200,00
3	3.19 Cementni estrih	8,000	1,600	50,00	4,00	2000,00
4	PE - folija (pričvršćena metalnim spojnica)	0,020	0,600	54000,00	10,80	980,00
5	Knauf Insulation podna ploča NaturBoard TPT	8,000	0,036	1,10	0,09	130,00
6	Bitumenska ljepjenka (traka)	1,000	0,230	50000,00	500,00	1100,00
7	Beton armiran (s 2% čelika)	30,000	2,300	130,00	39,00	2300,00
8	7.03 Ekstrudirana polistir.	16,000	0,034	140,00	22,40	30,00
9	6.04 Pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac)	30,000	0,810	3,00	0,90	1700,00
Definirana ploština [m ²]:						30,06

Tablica 4.12 Stropovi prema provjetravanom tavanu 1 - strop prema tavanu

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Knauf gips-kartonska ploča	2,500	0,210	4,00	0,10	680,00
2	HOMESEAL LDS 35 parna	0,040	0,500	205000,00	40,00	520,00
3	Knauf Insulation filc za kose krovove UNIFIT 035	8,000	0,035	1,10	0,09	20,00
4	Knauf Insulation višenamjenska ploča	10,000	0,039	1,10	0,11	30,00
5	4.05 Drvo - meko -	1,500	0,130	50,00	0,75	500,00
Definirana ploština [m ²]:						63,71

Tablica 4.13 Kosi krovovi iznad grijanog prostora 1 - Kosi krov - GV - presjek kroz izolaciju

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Knauf gips-kartonska ploča	2,500	0,210	4,00	0,10	680,00
2	HOMESEAL LDS 35 parna	0,020	0,500	205000,00	20,00	520,00
3	Knauf Insulation filc za kose krovove UNIFIT 035	8,000	0,035	1,10	0,09	20,00
4	Knauf Insulation višenamjenska ploča	20,000	0,039	1,10	0,22	30,00
5	4.05 Drvo - meko -	1,500	0,130	50,00	0,75	500,00
6	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna-	0,020	0,200	52,00	0,01	240,00
7	Dobro provjetravan sloj	8,000	-	1,00	0,01	-
8	Crijep (krovni) glina	2,300	1,000	40,00	0,92	2000,00
Definirane ploštine [m ²]:					Istok	3,81
					Zapad	3,81

Tablica 4.14 Kosi krovovi iznad grijanog prostora 2 - Kosi krov - GV - presjek kroz rog

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Knauf gips-kartonska ploča	2,500	0,210	4,00	0,10	680,00
2	HOMESEAL LDS 35 parna	0,020	0,500	205000,00	20,00	520,00
3	Knauf Insulation filc za kose krovove UNIFIT 035	8,000	0,035	1,10	0,09	20,00
4	4.05 Drvo - meko -	20,000	0,130	50,00	10,00	500,00
5	4.05 Drvo - meko -	1,500	0,130	50,00	0,75	500,00
6	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna-	0,020	0,200	52,00	0,01	240,00
7	Dobro provjetravan sloj	8,000	-	1,00	0,01	-
8	Crijep (krovni) glina	2,300	1,000	40,00	0,92	2000,00
Definirane ploštine [m ²]:					Istok	15,23
					Zapad	15,23

Tablica 4.15 Kosi krovovi iznad grijanog prostora 3 - Kosi krov - NV - presjek kroz izolaciju

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Knauf gips-kartonska ploča	2,500	0,210	4,00	0,10	680,00
2	HOMESEAL LDS 35 parna	0,020	0,500	205000,00	20,00	520,00
3	Knauf Insulation filc za kose krovove UNIFIT 035	8,000	0,035	1,10	0,09	20,00
4	Knauf Insulation višenamjenska ploča	20,000	0,039	1,10	0,22	30,00
5	4.05 Drvo - meko -	1,500	0,130	50,00	0,75	500,00
6	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna-	0,020	0,200	52,00	0,01	240,00
7	Dobro provjetravan sloj	8,000	-	1,00	0,01	-
8	Crijep (krovni) glina	2,300	1,000	40,00	0,92	2000,00
Definirane ploštine [m ²]:				Istok	35,73	
				Zapad	35,78	

Tablica 4.16 Kosi krovovi iznad grijanog prostora 4 - Kosi krov - NV - presjek kroz rog

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Knauf gips-kartonska ploča	2,500	0,210	4,00	0,10	680,00
2	HOMESEAL LDS 35 parna	0,020	0,500	205000,00	20,00	520,00
3	Knauf Insulation filc za kose krovove UNIFIT 035	8,000	0,035	1,10	0,09	20,00
4	4.05 Drvo - meko -	20,000	0,130	50,00	10,00	500,00
5	4.05 Drvo - meko -	1,500	0,130	50,00	0,75	500,00
6	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna-	0,020	0,200	52,00	0,01	240,00
7	Dobro provjetravan sloj	8,000	-	1,00	0,01	-
8	Crijep (krovni) glina	2,300	1,000	40,00	0,92	2000,00
Definirane ploštine [m ²]:				Istok	8,93	
				Zapad	8,94	

Tablica 4.17 Ravni krovovi iznad grijanog prostora 1 - Ravni krov

R.b.	Materijal	d [cm]	λ	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Sedum-mix	4,000	1,500	50,00	2,00	1200,00
2	Urbanscape GreenRoof	4,000	0,035	1,10	0,04	110,00
3	Plastična drenaža (kadice)	0,200	0,250	10000,00	20,00	1700,00
4	URBANSCAPE zeleni filc	0,050	0,045	1,10	0,00	120,00
5	Geotekstil 150-200 g/m ²	0,500	0,200	1000,00	5,00	900,00
6	5.10 Polim. hidro. traka na bazi FPO/TPO	0,200	0,260	90000,00	180,00	1600,00
7	7.03 Ekstrudirana polistir.	10,000	0,033	80,00	8,00	28,00
8	HOMESEAL LDS 200 AluPlus parna brana za	0,270	0,500	1000000,00	270,00	500,00
9	2.03 Beton	4,000	2,000	100,00	4,00	2400,00
10	2.01 Armirani beton	20,000	2,600	110,00	22,00	2500,00
Definirana ploština [m ²]:					40,36	

4.2.2 Proračun koeficijenta prolaska topline za građevne dijelove

Temeljem definiranim građevnih dijelova, korekcija, ispravaka i unesenih slojeva, izračunava se koeficijent prolaska topline prema HRN EN ISO 6946. U tablici 4.18 prikazana je usporedba dobivenih rezultata i maksimalno dopuštenih vrijednosti koeficijenta prolaska topline. Svi elementi zadovoljavaju propisane vrijednosti.

Tablica 4.18 Koeficijenti prolaska topline za građevne dijelove

Naziv građevnog dijela	A [m ²]	U [W/m ² K]	U _{max} [W/m ² K]	
Vanjski zid - GV	207,38	0,15	0,30	✓
Zid - GG - nosivi, suhi	17,66	0,49	0,60	✓
Zid - GG - nosivi, mokri	39,52	0,50	0,60	✓
Zid - GG - pregradni, suhi - 12-50	103,89	0,46	0,60	✓
Zid - GG - pregradni, mokri 12-50	53,50	0,46	0,60	✓
Pod - GG - Ploča 1 kata	105,33	0,37	0,60	✓
Pod prema tlu - GT - garaža i strojnica	51,32	0,13	0,40	✓
Pod prema tlu - GT - boravak i sobe - površina umanjena za kuhinju	67,32	0,13	0,40	✓
Pod prema tlu - GT - kupaonica, kuhinja, izba	30,06	0,13	0,40	✓
strop prema tavanu	63,71	0,19	0,25	✓
Kosi krov - GV - presjek kroz izolaciju	7,62	0,13	0,25	✓
Kosi krov - GV - presjek kroz rog	30,46	0,23	0,25	✓
Kosi krov - NV - presjek kroz izolaciju	71,51	0,13	0,25	✓
Kosi krov - NV - presjek kroz rog	17,87	0,23	0,25	✓
Ravni krov	40,36	0,22	0,25	✓

4.2.3 Proračun koeficijenta prolaska topline za otvore

Otvori na predmetnoj građevini definirani su prema dimezijama, strani svijeta, materijalu okvira i tipu ostakljenja. Korišteni su drveni prozori s trostrukim izolirajućim staklom s low-e premazom. Proračun koeficijenta prolaska topline prozora i vrata izvršen je prema HRN EN ISO 10077-1, uz pomoć aplikacije Caluwin. U tablici 4.19 prikazane su karakteristike otvora i

rezultati proračuna u usporedbi s maksimalno dopuštenih vrijednostima koeficijenta prolaska topline. Dobiveni rezultati zadovoljavaju vrijednosti određene propisom.

Tablica 4.19 Karakteristike otvora

Naziv otvora	Broj otvora	W x H (m)	Uw	Umax	
			(W/m ² K)		
Prozor prizemlje	2	1,34 x 1,40	0,88	1,6	✓
Prozor - ulaz	2	0,80 x 1,40	0,96	1,6	✓
Prozor - kat	6	1,34 x 1,37	0,88	1,6	✓
Prozor - kat - terasa	1	2,0 x 0,8	0,93	1,6	✓
Prozor - krovni	6	1,34 x 1,49	0,87	1,6	✓
Prozor - garaža	1	2,80 x 0,60	1,00	1,6	✓
Garažna vrata	1	5,00 x 2,40	1,00	1,6	✓
Balkonska vrata - prizemlje	1	4,800x2,200	0,77	1,6	✓
Balkonska vrata - kat	3	1,400x2,100	0,96	1,6	✓
Ulazna vrata	1	1,100x2,200	0,87	1,0	✓

4.2.4 Rezultati proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje

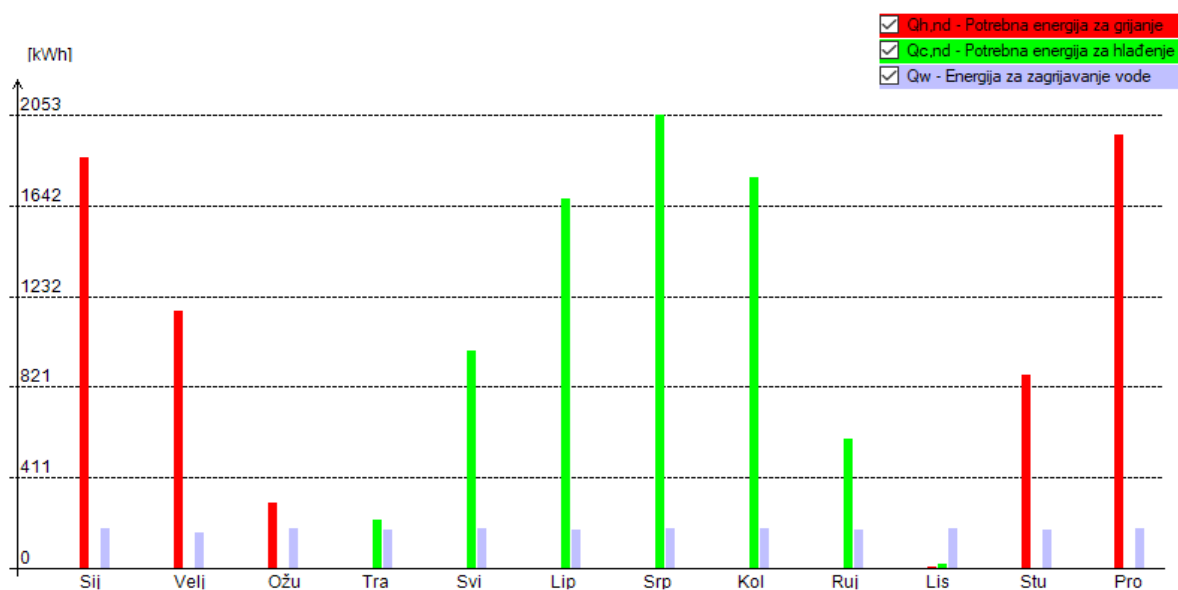
Uz pravilno definirane ulazne podatke za građevne elemente i otvore, godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$ (kWh/a) i hlađenje $Q_{C,nd}$ (kWh/a) zgrade, izračunava se prema Tehničkom propisu u skladu s normom HRN EN ISO 13790:2008.

Toplinska energija za grijanje i hlađenje podrazumijeva ukupni zbroj toplinskih gubitaka i dobitaka koji obuhvaćaju: transmisijske gubitke preko građevnih elemenata koji graniče s vanjskim prostorom, tlo, negrijanim prostorom te susjednim zgradama, ventilacijske gubitke (infiltracija i prozračivanje) te solarne dobitke i unutarnje dobitke zgrade (ljudi, uređaji i rasvjeta):

- Q_{int} – unutarnji toplinski dobitci zgrade: ljudi, rasvjeta i uređaji (kWh);
- Q_{sol} – toplinski dobitci od Sunčeva zračenja (kWh);
- Q_{Tr} – izmjenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu (kWh);
- Q_{Ve} – potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju za proračunsku zonu (kWh).

Tablica 4.20 Godišnji toplinski dobitci i gubitci

Godišnji toplinski dobitci [kWh]	
Unutarnji toplinski dobitci	7447,75
Solarni toplinski dobitci	13200,41
Ukupno	20648,16
Godišnji toplinski gubitci [kWh]	
Toplinski gubici u sezoni hlađenja	26117,10
Toplinski gubici u sezoni grijanja	16845,82
Ukupno	42962,92



Graf 4.1 Potrebne energije za grijanje, hlađenje i PTV

Na grafu 4.1 su prikazane potrebne toplinske energije za grijanje, hlađenje i pripremu tople vode kroz mjesece u godini. Prema očekivanom, tijekom zimskih mjeseci koristi se samo toplinska energija za grijanje, postičući svoj vrhunac u prosincu i siječnju s potrošnjom od 1965 kWh. Dok za vrijeme ljetnih mjeseci, energija se pretežno koristi za hlađenje sa najvećom potrošnjom u srpnju u iznosu od 2052 kWh. Toplinska energija za pripremu tople vode je kroz godinu podjednaka i iznosi 1164,66 kWh u sezoni grijanja i 960,84 kWh u sezoni hlađenja.

U tablici 4.21 je prikazana ukupna količina potrebne energije kroz godinu za grijanje $Q_{H,nd} = 6188,67$ kWh/a i hlađenje $Q_{C,nd} = 7321,99$ kWh/a. Dijeljenjem tih vrijednosti s ploštinom

korisne površine grijanog dijela zgrade koji iznosi $A_k=170,04 \text{ m}^2$ dobiju se konačni rezultati proračuna koji se uspoređuju s najvećim dopuštenim vrijednostima određenim u Tehničkom propisu.

Tablica 4.21 Potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje

Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$ [kWh/a]	6188,67	
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade $Q''_{H,nd}$ [kWh/(m ² a)]	<i>najveća dopuštena</i>	<i>izračunata</i>
	56,61	36,40
Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje $Q_{C,nd}$ [kWh/a]	7321,99	
Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade $Q''_{C,nd}$ [kWh/(m ² a)]	<i>najveća dopuštena</i>	<i>izračunata</i>
	50,00	43,06

Dobivene energije za grijanje i hlađenje zadovoljavaju uvjete iz Tehničkog propisa.

4.3 Isporučena i primarna energija

Prema Tehničkom propisu, *godišnja isporučena energija*, E_{del} [kWh/a], jest energija dovedena tehničkim sustavima zgrade tijekom jedne godine za pokrivanje energetske potrebe za grijanje, hlađenje, ventilaciju, potrošnu toplu vodu, rasvjetu i pogon pomoćnih sustava. [10] To je ona energija koja se dovodi iz vanjske jedinice do termotehničkih sustava u zgradi, u ovom slučaju koristila se električna energija dobivena preko solarnih panela i iz gradske mreže.

Preko isporučene energije, putem faktora primarne energije računa se količina primarne energije. *Godišnja primarna energija*, E_{prim} (kWh/a), jest računski određena količina energije za potrebe zgrade tijekom jedne godine koja nije podvrgnuta nijednom postupku pretvorbe. [10] To je ona energija koja je sadržana u prirodnom stanju energenta.

Primarna energija zgrade je parametar koji se koristi za dokazivanje zadovoljavanja minimalnih zahtjeva za energetske svojstvo prilikom projektiranja nove zgrade ili provođenja obnove, kao i kod određivanja energetske razreda zgrade kod njene energetske certifikacije. Prema Tehničkom propisu, određene su maksimalne vrijednosti primarne energije.

Prema provedenom proračunu, dobiveni rezultati prikazanu su u tablici 4.22:

Tablica 4.22 Godišnja isporučena i primarna energija

Godišnja isporučena energija E_{del} [kWh/a]	1578,38	
Godišnja primarna energija E_{prim} [kWh/a]	2547,51	
Godišnja primarna energija po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade E_{prim} [kWh/(m ² a)]	najveća dopuštena	izračunata
	45,00	14,98

U slučaju predmetne zgrade godišnja isporučena energija iznosi 1578,38 kWh, odnosno toliko električne energije je potrebno ostvariti za održavanje termotehničkih sustava zgrade. Izvori energije mogu biti obnovljivi i neobnovljivi, o čemu ovisi faktor primarne energije. Faktor primarne energije za električnu energiju iznosi $f_p = 1,614$, dok za sunčevu energiju $f_p = 0$.

Stoga, godišnja primarna energija iznosi: $1578,38 \cdot 1,614 + 1578,38 \cdot 0 = 2547,51 \text{ kWh/a}$.

Dijeljenjem ukupne godišnje isporučene energije s ploštinom korisne površine grijanog dijela zgrade dobije se vrijednost $E_{prim}=14,98 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ što zadovoljava uvjet iz Tehničkog propisa od maksimalno dopuštenih $45 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ prikazan na slici 4.1.

Tablica 8. – Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade i zgrade gotovo nulte energije zgrade grijane i/ili hladene na temperaturu 18 °C ili više

ZAHTEVI ZA NOVE ZGRADE I G0EZ	$Q_{t,rad}$ [kWh/(m ² ·a)]						E_{prim} [kWh/(m ² ·a)]			
	NOVA ZGRADA I G0EZ						NOVA		G0EZ	
	kontinuirni, $\theta_{m,iz} \leq 3 \text{ °C}$			primorje, $\theta_{m,iz} > 3 \text{ °C}$			kont. $\theta_{m,iz} \leq 3 \text{ °C}$	prim. $\theta_{m,iz} > 3 \text{ °C}$	kont. $\theta_{m,iz} \leq 3 \text{ °C}$	prim. $\theta_{m,iz} > 3 \text{ °C}$
VRSTA ZGRADE	$f_D \leq 0,20$	$0,20 < f_D < 1,05$	$f_D \geq 1,05$	$f_D \leq 0,20$	$0,20 < f_D < 1,05$	$f_D \geq 1,05$				
Višestambena	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_D$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_D$	45,99	120	90	80	50
Obiteljska kuća	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_D$	75,00	24,84	$17,16 + 38,42 \cdot f_D$	57,50	115	70	45	35
Uruška	16,94	$8,82 + 40,58 \cdot f_D$	51,43	16,19	$11,21 + 24,89 \cdot f_D$	37,34	70	70	35	25
Obrazovna	11,98	$3,86 + 40,58 \cdot f_D$	46,48	9,95	$4,97 + 24,91 \cdot f_D$	31,13	65	60	55	55
Bolnica	18,72	$10,61 + 40,58 \cdot f_D$	53,21	46,44	$41,46 + 24,89 \cdot f_D$	67,60	300	300	250	250
Hotel i restoran	35,48	$27,37 + 40,58 \cdot f_D$	69,98	11,50	$6,52 + 24,89 \cdot f_D$	32,65	130	80	90	70
Sportska dvorana	96,39	$88,28 + 40,58 \cdot f_D$	130,89	37,64	$32,66 + 24,91 \cdot f_D$	58,87	400	170	210	150
Trgovina	48,21	$40,79 + 40,58 \cdot f_D$	83,40	13,90	$8,92 + 24,91 \cdot f_D$	35,08	450	280	170	150
Ostale mestambene	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_D$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_D$	45,99	130	100	/	/

Slika 4.1 Najveće dopuštene vrijednosti primarne energije [11]

4.4 Energija iz obnovljivih izvora

Prema Tehničkom propisu, za zadovoljenje nZEB, odnosno ZEB kriterija, minimalno 30% energije mora biti podmireno energijom iz obnovljivih izvora.

Kao obnovljivi izvor energije, koristi se sunčeva energija te kao glavni generator toplinske energije koristi se toplinska dizalica na principu zrak-voda. Ugrađena je toplinska dizalica koja koristi toplinsku energiju vanjskog zraka da bi zagrijala vodu koja zatim preko cijevi prenosi toplinu u unutrašnjost zgrade. Dizalica topline veći dio energije crpi iz zraka, a ostatak energije podmiruje sunčevom ili električnom energijom. Sunčeva energija proizvodi se na zgradi - sa zapadne i istočne strane krova nalazi se po 10 m² solarnih panela, a u slučaju nedostatka sunčeve energije, potrebe se podmiruju električnom energijom iz gradske mreže.

Tablica 4.23 Obnovljivi izvori energije

POTREBNO ZA OSTVARENJE UVJETA	OSTVARENO %	ISPUNJENO (DA/NE)
Za nove zgrade najmanje 30 %, a kod rekonstrukcije /značajne obnove 10 % godišnje isporučene energije za rad tehničkih sustava u zgradi podmireno energijom iz obnovljivih izvora energije	83,57	DA
Godišnja proizvedena toplinska energija iz OIE na lokaciji zgrade $E_{HW, RES}$ [kWh/a]	8027,26	

5 Utjecaj emisije CO₂eq plinova

Veliki udio stakleničkih plinova proizvodi se upravo u građevinskom sektoru. Prema podacima Komisije, zgrade uzrokuju oko 36 % potrošnje energije i trećinu emisija stakleničkih plinova u Europskoj uniji. [6] Najzastupljeniji i najštetiji od njih je ugljikov dioksid, CO₂. Praćanje proizvodnje i emisije svih stakleničkih plinova, skraćeno - CO₂eq kroz životni ciklus građevnih materijala i građevine ima značajan utjecaj na regulaciju, a potom i smanjenje emisije.

Životni ciklus materijala obuhvaća procese od izdvajanja prirodnih resursa (sirovina), preko proizvodnje, transporta i upotrebe, do odlaganja i razgradnje. U svakoj fazi životnog ciklusa postoji potencijal za smanjenje potrošnje resursa i smanjenja negativnih utjecaja na okoliš. Kako bi se njihov ekološki otisak kvantificirao i unificirao, provodi se Procjena životnog ciklusa (eng. Life Cycle Assessment) prema normama HR EN ISO 14040 i HR EN ISO 14044.

Prva faza procjene je vađenje i prerada sirovina (A1-A3). Bez obzira na to koji je završni proizvod u pitanju, za njegovu proizvodnju potrebne su sirovine koje se dobivaju iz prirodnih resursa, zatim njihov transport do pogona i njihova prerada u završni proizvod.

Završni proizvod se pakira i prevozi od tvornice do gradilišta (A4), a ovisno o udaljenosti, troši se određena količina resursa u vidu nafte, plina ili električne energije. Ista vrsta energije koristi se i na gradilištu za ugradnju proizvoda na predviđeno mjesto (A5). Sve od ugradnje betona autopumpom do ugradnje vijka, troši određenu količinu energije.

Nakon što su svi proizvodi ugrađeni i građevina spremna za upotrebu, slijedi faza korištenja, održavanja, popravaka, zamjene i renovacije proizvoda te korištenja energije i vode unutar građevine (B1-B7). Ova faza je najkompleksnija za kvantificiranje jer ovisi o aktivnosima korisnika te načinu kojim se upravlja građevinom. U ovoj fazi, dijelovi poput toplinske izolacije imaju malu emisiju jer ne zahtijevaju učestale zamjene i popravke, dok neke vrste podnih obloga, kao što je parket skloni su trošenju što rezultira većem angažmanu održavanja, pa čak i zamjene tijekom životnog vijeka od 50 godina.

Zamjenom ili uklanjanjem nekog proizvoda, završava se njegov životni ciklus. Prema LCA metodologiji, ova faza naziva se faza završetka životnog ciklusa (C1-C4) i uključuje dekonstrukciju i rušenje, transport do odlagališta, obradu otpada i odlaganje.

Zadnji modul koji se promatra naziva se Potencijal za ponovnu upotrebu, obnovu ili recikliranje (D). Među proizvodima koji su deklarirani kao građevinski otpad, postoji puno potencijala za njihovo ponovno iskorištavanje. Ovisno o proizvodu, neki se mogu ponovo upotrijebiti za istu funkciju, dok neki poprimaju ulogu sirovine za neke druge proizvodne procese. Na primjer, staklo se može pretaliti bezbroj puta, a da pritom ne gubi na kvaliteti. Upotrebom 1 tone otpadnog stakla uštedi se 700 kg pijeska, 200 kg vapnenca, 200 kg sode. Dok se željezni otpad može iskoristiti kao sirovina za visoke peći koje upotrebljavaju cca 25% recikliranog željeza. [12]

Izračun emisije CO₂eq u zgradarstvu računa se prema europskim normama HRN EN 15804:2019

i HRN EN 15978:2011. Norma EN 15804+A2 iz 2019 godine donosi unaprijeđenje sadržaja Deklaracije o proizvodima za okoliš (EPD), gdje svi građevinski proizvodi trebaju imati deklarirane module A1-A3, B1-B7, C1-C4 i D.

Zatim se prema EN 15978-1 iz 2021. godine vrši izračun i određuju granice sustava za procjenu emisija stakleničkih plinova za sve faze životnog ciklusa zgrade.

Mjerenje emisije ugljika za jednu zgradu, prema EN 15978-1 dobije se množenjem dva parametra: *količina* svih materijala korištenih u izgradnji i upotrebi zgrade s odgovarajućim *faktorom ugljika* za svaki proizvod kako prikazuje sljedeći izraz:

$$\text{količina materijala (FU)} \times \text{faktor ugljika (FU)} = \text{ugrađeni ugljik (kgCO₂eq)}$$

Faktori ugljika deklarirani su u Deklaraciji o proizvodima za okoliš (EPD) za svaki proizvod i razlikuje se za svaki dio životnog ciklusa proizvoda, od A do D.

Tako dobiveni numerički podatak naziva se *potencijal globalnog zagrijavanja GWP* i izražava se kao kgCO₂eq/m² u prosjeku za jednu godinu referentnog razdoblja proučavanja od 50 godina. [6]

5.1 Proračun emisije CO₂eq

Proračun je napravljen u Microsoft Excel programu. Struktura proračuna sastoji se od toga da se svaki građevni element analizira posebno te je za svaki kreirana nova kartica s odgovarajućim imenom. Sukladno tome, zgrada je podijeljena na dijelove: Pod na tlu, Kosi krov, Ravni krov, Vanjski zidovi, Unutarnji nosivi zidovi, Unutarnji pregradni zidovi, Međukatna konstrukcija kata, Međukatna konstrukcija tavana, Prozori i vrata te Tehnički sustavi.

Za svaki dio unoseni su slojevi i količine ugrađenog materijala prema površini (m²), debljini (m), volumenu (m³), gustoći (kg/m³) i masi (kg).

U Deklaraciji o proizvodu (EPD) nalaze se informacije o faktoru ugljika za svaku fazu životnog procesa koji je izražen u kgCO₂eq po jedinici proizvoda. Sljedeći korak je upisivanje podataka iz EPD-a za svaki materijal. Zatim se ti podatci množe s odgovarajućom količinom materijala pri čemu treba paziti na funkcionalnu jedinicu određenu u EPD-u.

Na primjer, u EPD-u za parket se nalaze informacije o faktoru ugljika za točno 1 m² parketa kroz cijeli njegov životni vijek, stoga je potrebno pomnožiti faktor ugljika s ukupnom površinom ugrađenog parketa.

Nadalje, neki materijali, poput mineralne vune, deklarirani su za određenu debljinu. U ovom slučaju, funkcionalna jedinica za mineralnu kamenu vunu, NaturBoard TPT je 1 m² za debljinu od 20 mm. Na predmetnu zgradu ugrađeno je 80 mm stoga je potrebno podatke iz EPD-a prilagoditi ugrađenoj debljini na sljedeći način:

$$3,08E + 00 \text{ kgCO}_2\text{eq} \cdot 185,58\text{m}^2 \cdot \frac{0,08 \text{ m}^2}{0,02\text{m}^2} = 2,29E + 03 \text{ kgCO}_2\text{eq m}^2$$

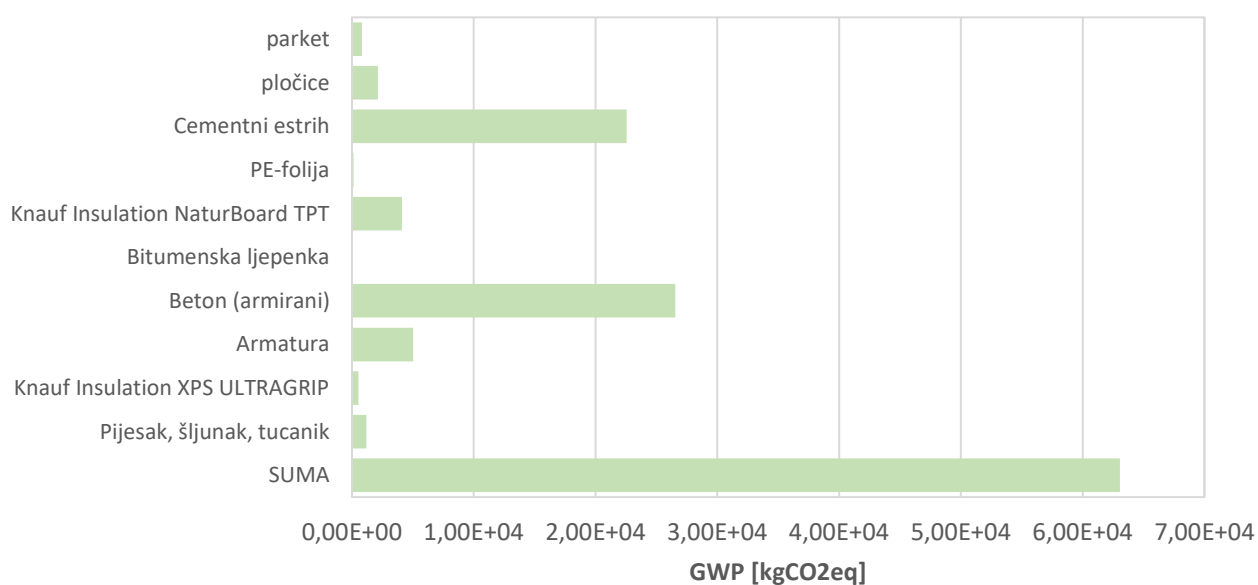
Prikazani su rezultati na način da je svaki građevni dio analiziran posebno, za svaki sloj upisani su odgovarajući podaci koji su zatim pomnoženi s odgovarajućim faktorima ugljika. Rezultati količine ugljika razvrstani su prema životnom ciklusu, odnosno prema fazama A, B, C i D.

Suma stakleničkih plinova faza A, B i C prikazuje ukupni ekološki otisak od početka proizvodnje A1 (od kolijevke) pa do odlaganja materijala nakon kraja životnog ciklusa C4 (do groba). Dok zbroj faza ABC i D uključuje i fazu ponovnog korištenja materijala nakon njegova životnog vijeka – od kolijevke do kolijevke.

Na sljedećim tablicama 5.1 – 5.11 nalaze se ulazni podaci za svaki element, a dobiveni rezultati emisije prikazanu su na grafovima 5.1 - 5.11:

Tablica 5.1 Pod na tlu

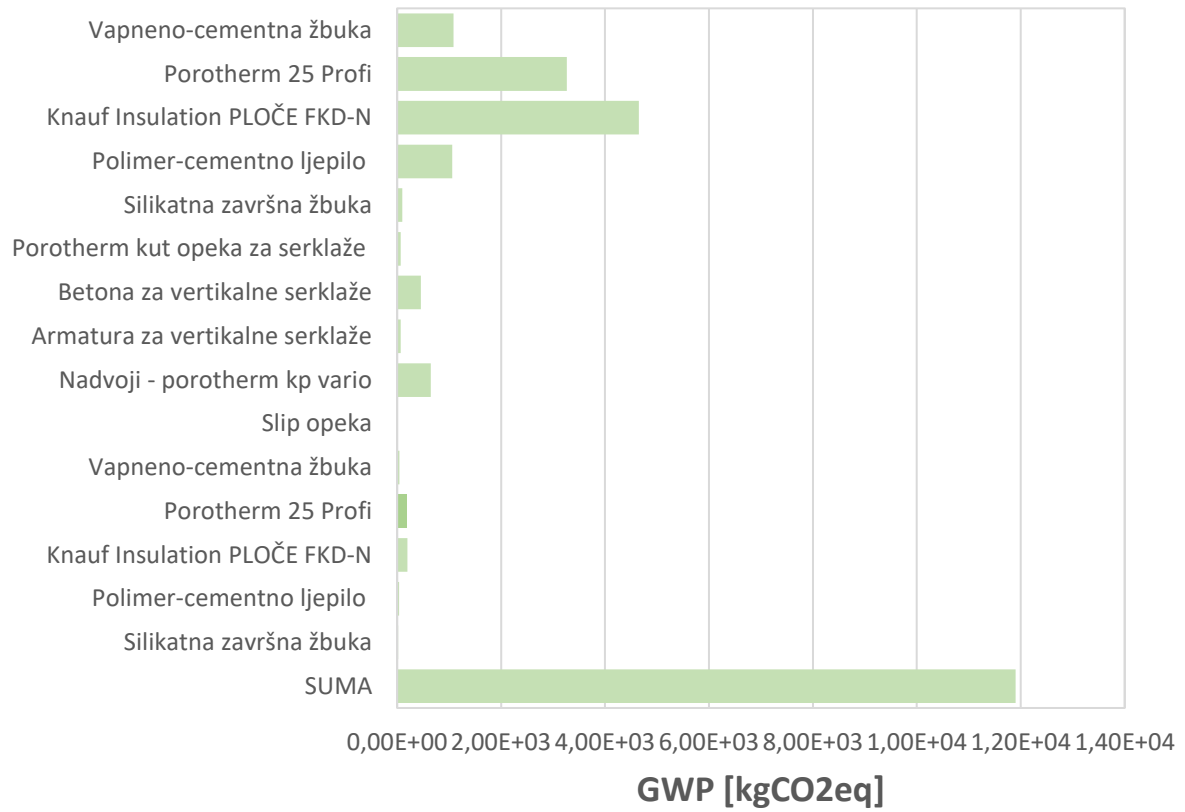
GRAĐEVNI ELEMENT	SLOJ / MATERIJAL	POVRŠIN A [m ²]	DEBLJINA [m]	VOLUME N [m ³]	GUSTOĆA [kg/m ³]	MASA [kg]
Pod na tlu - prizemlje (PP-GT-1,2) + terasa + ulaz	parket	98,16	0,02	2,16	500	1080
	pločice	87,42	0,02	0,87	2300	2001
	Cementni estrih	185,58	0,08	14,85	2000	29700
	PE-folija	185,58	0,0002	0,19	980	186,2
	Knauf Insulation NaturBoard TPT	185,58	0,08	14,84	130	1929,2
	Bitumenska ljepenka	185,58	0,01	1,84	1100	2024
	Beton (armirani)	185,58	0,3	55,69	2300	128087
	Armatura	-	-	-	7850	8817,5
	Knauf Insulation XPS ULTRAGRIP	185,58	0,16	29,69	30	890,7
	Pijesak, šljunak, tucanik	185,58	0,3	55,69	1700	94673
REZULTATI:						
	UKUPNO FAZA A	UKUPNO FAZA B	UKUPNO FAZA C	UKUPNO FAZA D	UKUPNO ABCD	
	5,72E+04	5,59E+01	5,87E+03	-1,53E+03	6,16E+04	4
	6,31E+04					



Graf 5.1 Pod na tlu: Ukupni modul A-C

Tablica 5.2 Vanjski zidovi

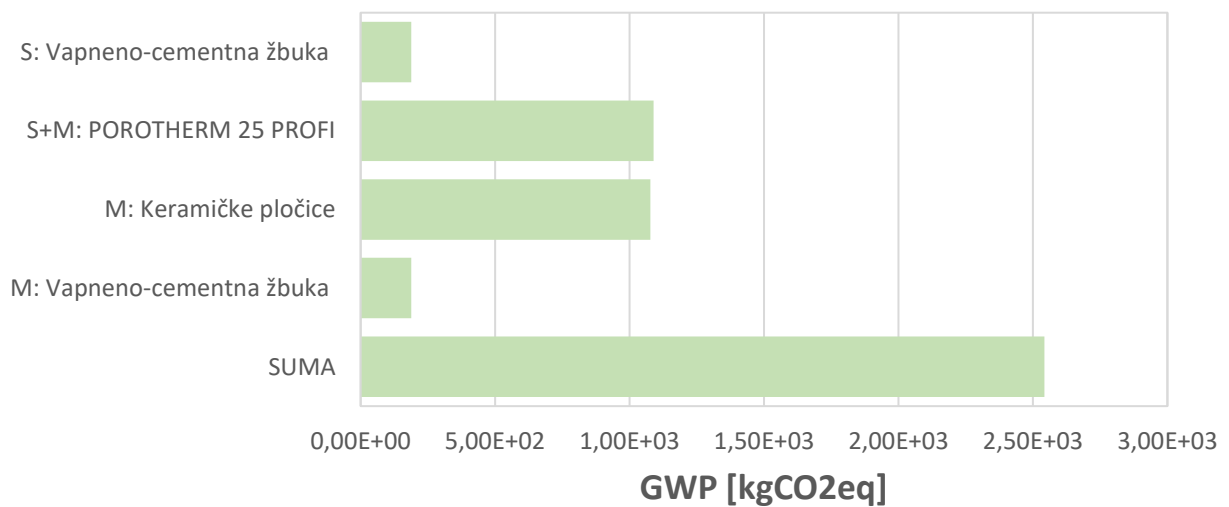
GRAĐEVNI ELEMENT	SLOJ / MATERIJAL	POVRŠINA [m2]	DEBLJINA [m]	VOLUME N [m3]	GUSTOĆA [kg/m3]	MASA [kg]
Vanjski OPEKA zid (grijano-vani)	Vapneno-cementna žbuka	232,58	0,0150	3,35	1800	6030
	Porotherm 25 Profi	230,93	0,2500	46,10	650	29965
	Knauf Insulation PLOČE FKD-N	232,3	0,1600	37,03	95	3517,85
	Polimer-cementno ljepilo	231,93	0,0100	1,15	1650	1897,5
	Silikatna završna žbuka	232,58	0,0020	0,45	1800	810
	Porotherm kut opeka za serklaže	-	0,25	1,04	600	624
	Betona za vertikalne serklaže	-	0,25	0,96	2300	2208
	Armatura za vertikalne serklaže	-	-	-	7850	120
	Nadvoji - 49,66m - porotherm kp vario	49,66	-	-	-	-
	Slip opeka	32,94	0,02	0,66	650	429
Vanjski OPEKA zid (negrijano-vani)	Vapneno-cementna žbuka	8,98	0,0150	0,14	1800	252,00
	Porotherm 25 Profi	8,98	0,2500	2,24	780	1747,20
	Knauf Insulation PLOČE FKD-N	9,98	0,1600	1,44	95	136,80
	Polimer-cementno ljepilo	8,98	0,0100	0,04	1650	66,00
	Silikatna završna žbuka	8,98	0,0020	0,02	1800	36,00
REZULTATI:						
		UKUPNO FAZA A	UKUPNO FAZA B	UKUPNO FAZA C	UKUPNO FAZA D	UKUPNO ABCD
		1,21E+04	- 6,78E+02	5,06E+02	- 7,00E+02	1,12E+04
		1,19E+04				



Graf 5.2 Vanjski zidovi: Ukupni modul A-C

Tablica 5.3 Unutarnji zid

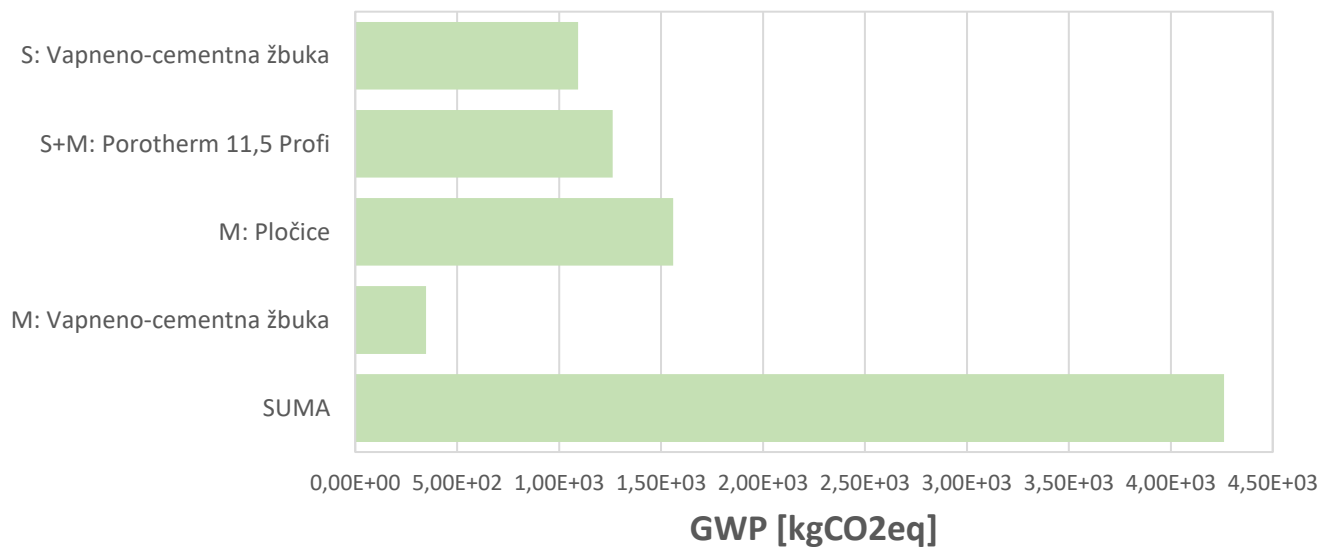
GRAĐEVNI ELEMENT	SLOJ / MATERIJAL	POVRŠIN A [m ²]	DEBLJIN A [m]	VOLUME N [m ³]	GUSTOĆ A [kg/m ³]	MASA [kg]
Unutarnji zid od opeke (grijano-grijano)	S: Vapneno-cementna žbuka	28,9	0,02	0,58	1800	1044,00
	S+M: POROTHERM 25 PROFI	51,31	0,25	12,81	780	9991,80
	M: Keramičke pločice	45,13	0,02	0,9	2300	2070,00
	M: Vapneno-cementna žbuka	28,9	0,02	0,58	1800	1044,00
REZULTATI:						
	UKUPNO FAZA A	UKUPNO FAZA B	UKUPNO FAZA C	UKUPNO FAZA D	UKUPNO ABCD	
	2,64E+03	-	1,31E+02	-	2,44E+03	
	2,54E+03					



Graf 5.3 Unutarnji zidovi: Ukupni modul A-C

Tablica 5.4 Pregradni zidovi

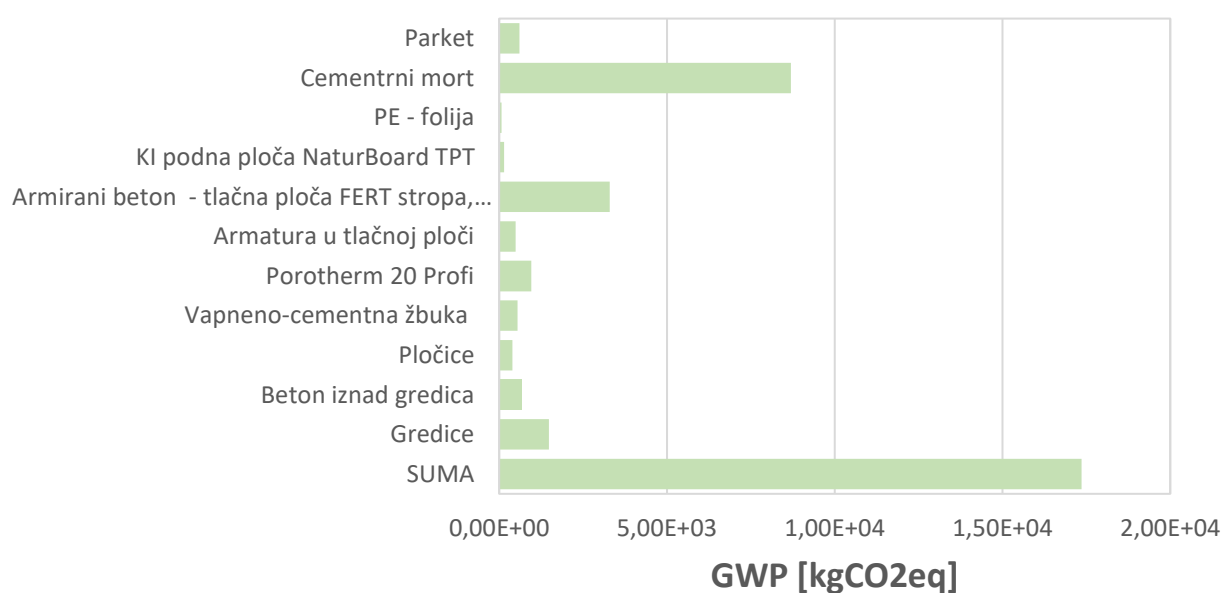
GRAĐEVNI ELEMENT	SLOJ / MATERIJAL	POVRŠIN A [m ²]	DEBLJIN A [m]	VOLUME N [m ³]	GUSTOĆ A [kg/m ³]	MASA [kg]	
Pregradni zid od opeke (grijano-grijano)	S: Vapneno-cementna žbuka	168,15	0,02	3,37	1800	6066,00	
	S+M: Porotherm 11,5 Profi	143,93	0,12	17,04	680	11587,20	
	M: Pločice	65,32	0,02	1,31	2300	3013,00	
	M: Vapneno-cementna žbuka	53,62	0,02	1,07	1800	1926,00	
REZULTATI:							
		UKUPNO FAZA A	UKUPNO FAZA B	UKUPNO FAZA C	UKUPNO FAZA D	UKUPNO ABCD	
		4,87E+03	8,63E+02	2,52E+02	2,19E+02	4,04E+03	
		4,26E+03					



Graf 5.4 Pregradni zidovi: Ukupni modul A-C

Tablica 5.5 Međukatna konstrukcija

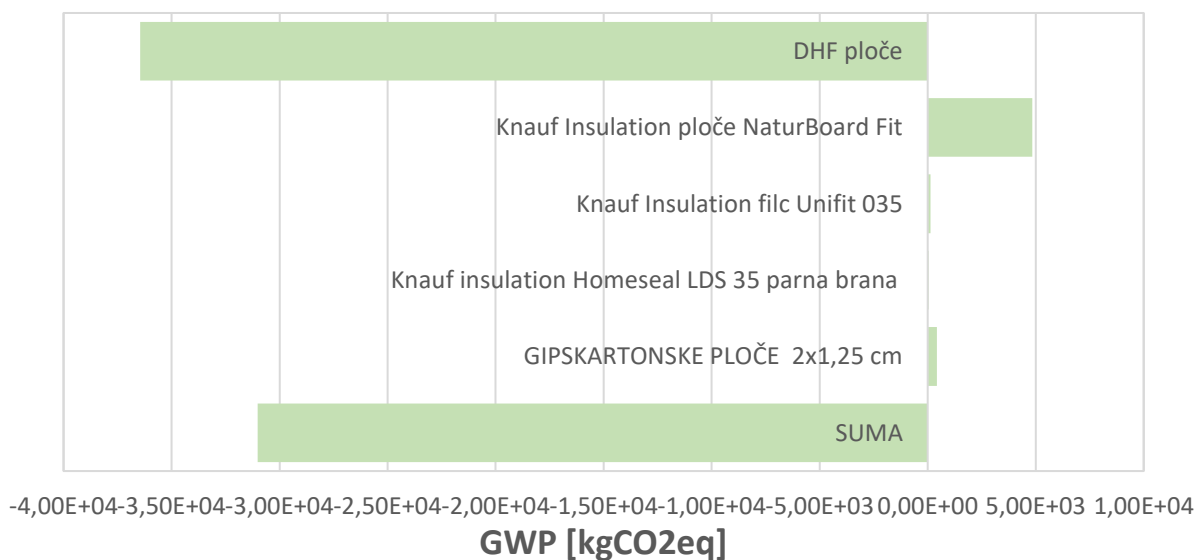
GRAĐEVNI ELEMENT	SLOJ / MATERIJAL	POVRŠI NA [m ²]	DEBLJINA [m]	VOLUMEN [m ³]	GUSTOĆA [kg/m ³]	MASA [kg]
Međukatna konstrukcija	Parket	73,66	0,0220	1,440	500	720,00
	Cementni mort	89,95	0,0800	7,200	2000	14400,00
	PE - folija	89,95	0,0002	0,090	980	88,20
	KI podna ploča NaturBoard TPT	89,95	0,0600	5,400	130	702,00
	Armirani beton - tlačna ploča FERT strop, hodnik	89,95	0,0600	6,900	2300	15870,00
	Armatura u tlačnoj ploči	-	-	0,110	7850	862,50
	Porotherm 20 Profi--- umanjeno za količinu betona	89,83	0,1600	12,965	680	8816,20
	Vapneno-cementna žbuka	83,95	0,0200	1,680	1800	3024,00
	Pločice	16,29	0,0200	0,320	2300	736,00
	Beton iznad gredica	-	0,095	1,405	2300	3231,50
	Gredice	113,89	-	-	-	-
REZULTATI:						
	UKUPNO FAZA A	UKUPNO FAZA B	UKUPNO FAZA C	UKUPNO FAZA D	UKUPNO ABCD	
	1,54E+04	3,20E+02	2,31E+03	-5,89E+02	1,68E+04	
	1,74E+04					



Graf 5.5 Međukatna konstrukcija: : Ukupni modul A-C

Tablica 5.6 Međukatna konstrukcija - tavan

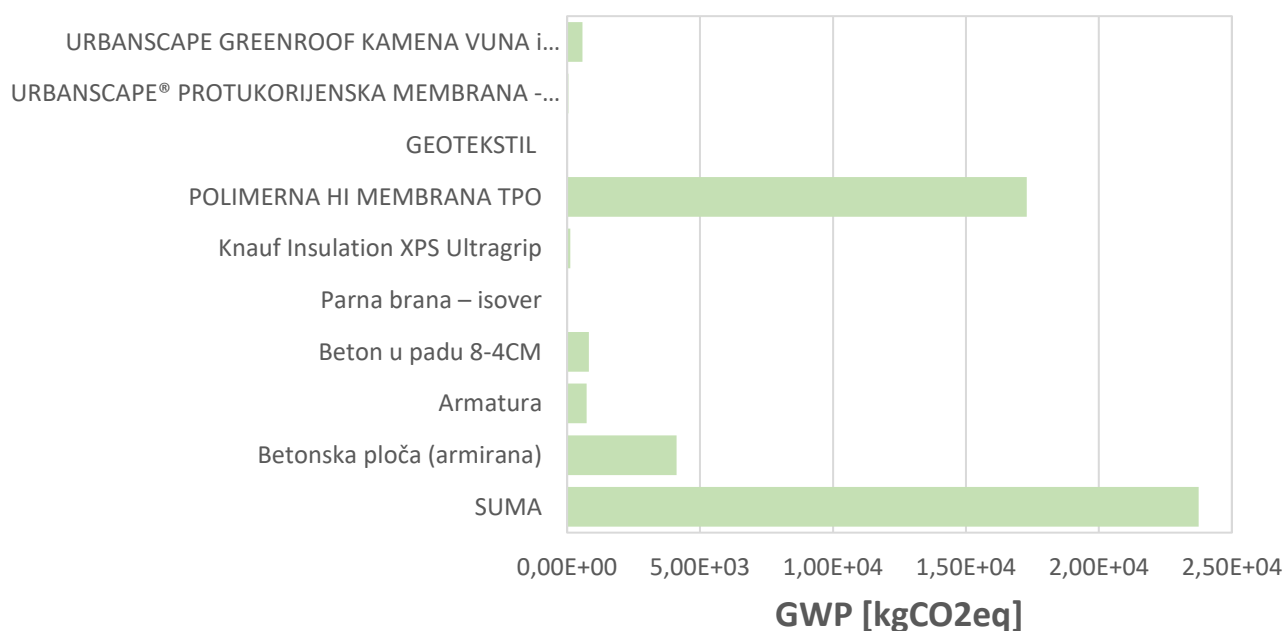
GRAĐEVNI ELEMENT	SLOJ / MATERIJAL	POVRŠIN A [m2]	DEBLJINA [m]	VOLUME N [m3]	GUSTOĆA [kg/m3]	MASA [kg]
Međukatna konstrukcija - tavan	DHF ploče	63,71	0,0150	1,4	680	952,00
	Knauf Insulation ploče NaturBoard Fit	63,71	0,1000	6,37	30	191,10
	Knauf Insulation filc Unifit 035	63,71	0,0800	5,09	20	101,80
	Knauf insulation Homeseal LDS 35 parna brana	63,71	0,0004	0,06	520	31,20
	GIPSKARTONSK E PLOČE 2x1,25 cm	63,71	0,0250	1,56	680	1060,80
REZULTATI:						
	UKUPNO FAZA A	UKUPNO FAZA B	UKUPNO FAZA C	UKUPNO FAZA D	UKUPNO ABCD	
	-3,19E+04	0,00E+00	8,64E+02	-2,26E+04	-5,36E+04	
	-3,10E+04					



Graf 5.6 Međukatna konstrukcija – tavan: Ukupni modul A-C

Tablica 5.7 Ravni krov

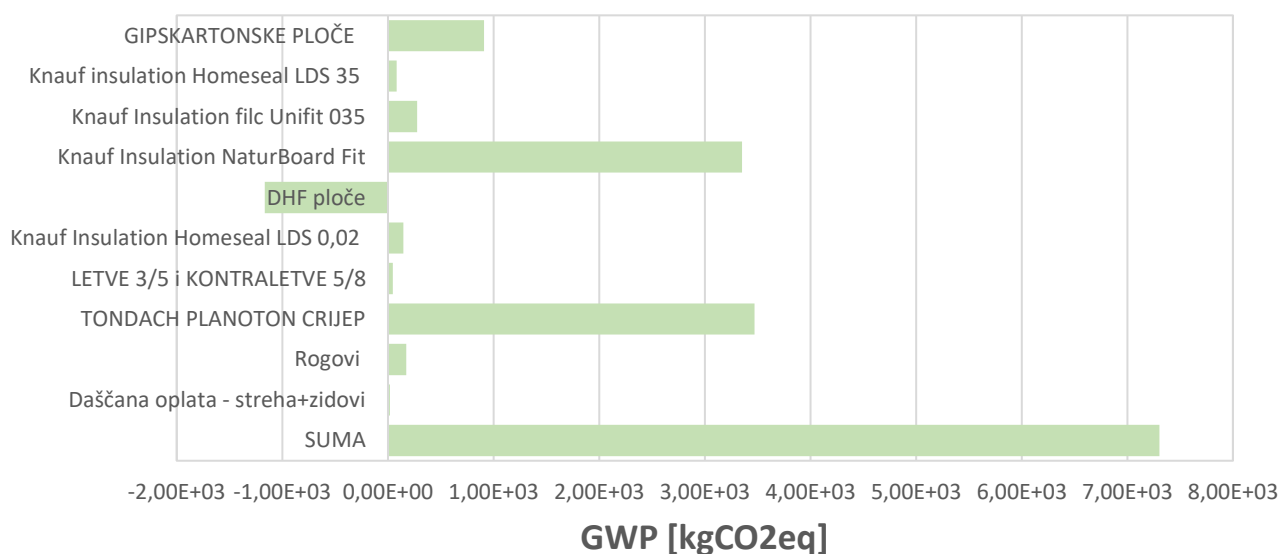
GRAĐEVNI ELEMENT	SLOJ / MATERIJAL	POVRŠIN A [m2]	DEBLJIN A [m]	VOLUME N [m3]	GUSTOĆ A [kg/m3]	MASA [kg]
Ravni krov (grijano-vani)	URBANSCAPE GREENROOF KAMENA VUNA i DRENAŽA	43,23	0,04200	1,81	197,000	260,40
	URBANSCAPE® PROTUKORIJENSKA MEMBRANA - zeleni filc	43,23	0,00050	0,03	980,000	29,40
	GEOTEKSTIL	43,23	0,00500	0,04	900,000	36,00
	POLIMERNA HI MEMBRANA TPO	43,23	0,00200	0,04	1600,000	64,00
	Knauf Insulation XPS Ultragrip	43,23	0,10000	4,33	28,000	121,24
	Parna brana – isover	43,23	0,00270	0,04	500,000	20,00
	Beton u padu 8-4CM	43,23	0,06000	1,73	2400,000	4152,00
	Armatura	-	-	0,17	7850	1296,25
	Betonska ploča (armirana)	43,23	0,20000	8,64	2500,000	21600,00
REZULTATI:						
	UKUPNO FAZA A	UKUPNO FAZA B	UKUPNO FAZA C	UKUPNO FAZA D	UKUPNO O ABCD	
	2,28E+04	- 2,64E+03	3,57E+03	- 1,63E+02	2,36E+04	
	2,38E+04					



Graf 5.7 Ravni krov: : Ukupni modul A-C

Tablica 5.8 Kosi krov

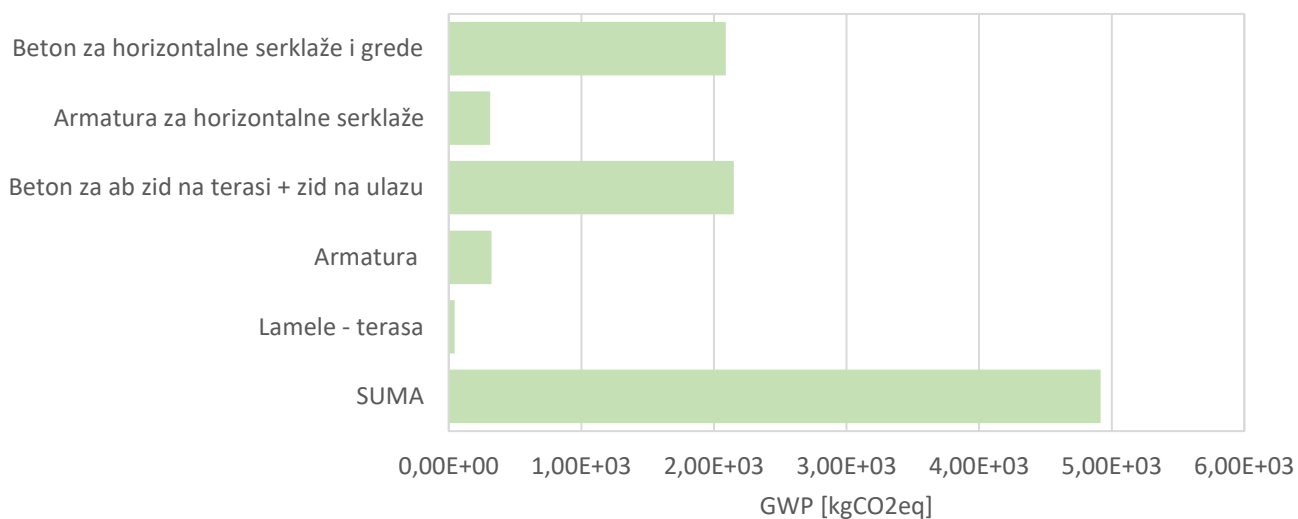
GRAĐEVNI ELEMENT	SLOJ / MATERIJAL	POVRŠIN A [m ²]	DEBLJIN A [m]	VOLUME N [m ³]	GUSTOĆA [kg/m ³]	MASA [kg]
Kosi krov	gipskartonske ploče	137,48	0,0250	32,7700	680,000	22283,60
	Knauf insulation Homeseal LDS 35	132,06	0,0002	0,1400	520,000	72,80
	Knauf Insulation filc Unifit 035	135,57	0,0800	10,6100	20,000	212,20
	Knauf Insulation NaturBoard Fit	140,3	0,2000	26,8800	30,000	806,40
	DHF ploče	135,03	0,0150	2,0400	500,000	1020,00
	Knauf Insulation Homeseal LDS 0,02	134,66	0,0002	0,1400	240,000	33,60
	letve 3/5 i kontraletve 5/8	30,1812	0,0800	1,1685	489,000	571,38
	Tondach crijep	142,13	0,0230	30,9900	2000,000	61980,0
	Rogovi	23,0146	0,2000	4,6029	489,000	2250,83
	Daščana oplata - streha+zidovi	20,23	0,0250	0,5058	489,000	247,31
REZULTATI:						
	UKUPNO FAZA A	UKUPNO FAZA B	UKUPNO FAZA C	UKUPNO FAZA D	UKUPNO ABCD	
	1,86E+03	0,00E+00	5,44E+03	-1,79E+03	5,52E+03	
	7,31E+03					



Graf 5.8 Kosi krov: Ukupni modul A-C

Tablica 5.9 Serklaži

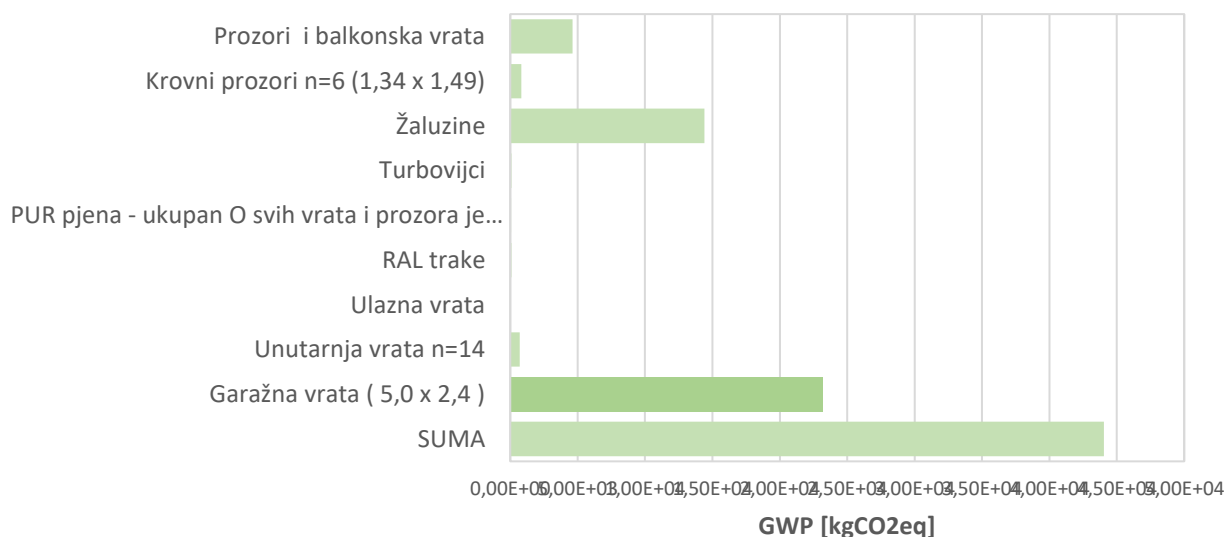
GRAĐEVNI ELEMENT	SLOJ / MATERIJAL	POVRŠIN A [m ²]	DEBLJINA [m]	VOLUME N [m ³]	GUSTOĆA [kg/m ³]	MASA [kg]
Serklaži	Beton za horizontalne serklaže i grede	13,81	0,2500	4,38	2300	10074,0
	Armatura za horizontalne serklaže	-	-	-	7850	547,50
	Beton za ab zid na terasi + zid na ulazu	16,32		4,51	2300	10373,0
	Armatura	-	-	-	7850	563,75
	Lamele - terasa	9,97	0,12	1,20	489,000	586,80
REZULTATI:						
	UKUPNO FAZA A	UKUPNO FAZA B	UKUPNO FAZA C	UKUPNO FAZA D	UKUPNO ABCD	
	3,62E+03	0,00E+00	1,30E+03	-	2,66E+02	4,65E+03
	4,92E+03					



Graf 5.9 Serklaži: Ukupni modul A-C

Tablica 5.10 Prozori i vrata

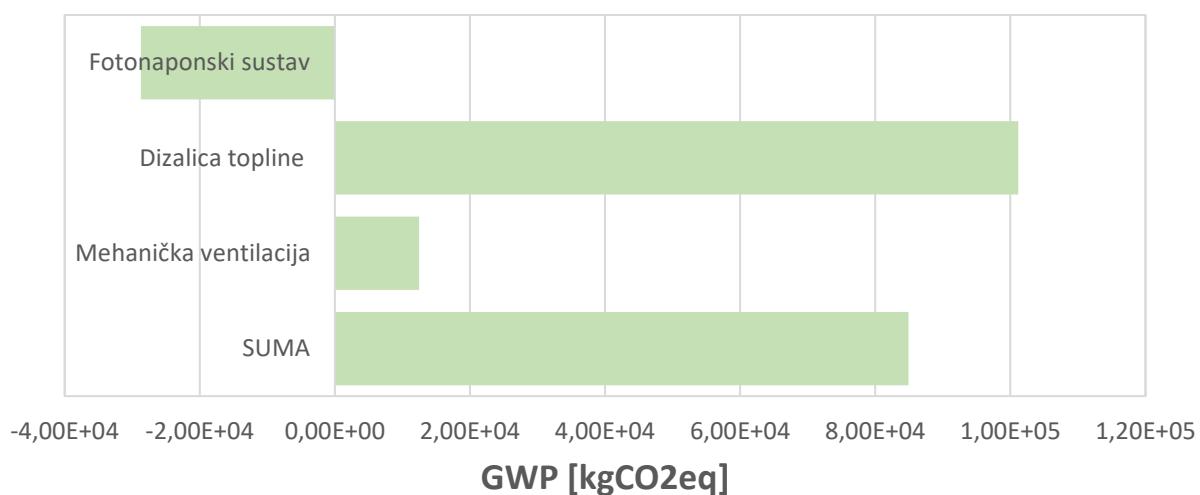
GRAĐEVNI ELEMENT	SLOJ / MATERIJAL	POVRŠIN A [m ²]	DEBLJIN A [m]	VOLUME N [m ³]	GUSTOĆ A [kg/m ³]	MASA [kg]
Prozori i vrata	Prozori i balkonska vrata	39,67	-	-	-	-
	Krovni prozori n=6 (1,34 x 1,49)	11,98	-	-	-	-
	Žaluzine	51,65	-	-	-	-
	Turbovijci	462	-	-	-	24,01
	PUR pjena - ukupan O svih vrata i prozora je 239,33 m			0,24	40	9,57
	RAL trake	71,799	-	-	-	-
	Ulazna vrata	2,24	-	-	-	-
	Unutarnja vrata n=14	26,46	-	-	-	795
	Garažna vrata (5,0 x 2,4)	12	-	-	-	-
REZULTATI:						
	UKUPNO FAZA A	UKUPNO FAZA B	UKUPNO FAZA C	UKUPNO FAZA D	UKUPNO ABCD	
	1,70E+04	1,65E+04	1,05E+04	-	4,15E+04	4
	4,40E+04					



Graf 5.10 Prozori i vrata: Ukupni modul A-C

Tablica 5.11 Termotehnički sustavi

SUSTAVI U ZGRADI	SUSTAV	POVRŠIN A [m ²]	BROJ KOM., n	ŽIVOTNI VIJEK	n (50 god)	ISPORUČENA ENERGIJA (kWh)
Termotehnički sustavi	Fotonaponski sustav	20	2	25	3	-2447,12
	Dizalica topline	-	1	20	3	1578,38
	Mehanička ventilacija	-	1	20	3	-
REZULTATI:						
		UKUPNO FAZA A	UKUPNO FAZA B	UKUPNO FAZA C	UKUPNO FAZA D	UKUPNO ABCD
		2,98E+03	8,19E+04	4,04E+01	- 8,70E+02	8,40E+04
		8,51E+04				



Graf 5.11 Termotehnički sustavi: Ukupni modul A-C

Može se primjetiti da je ispušteni CO₂eq manji kada se promatraju sve četiri faze nego kada se promatraju samo faze ABC.

Ugljik pohranjen u elementu / materijalu na kraju životnog vijeka prve zgrade napušta granicu sustava kao emisija ugljika. To mu omogućuje da uđe u granicu sustava druge zgrade kao smanjenje ugljika.

Razlog tome je što se u fazi D vrši recikliranje koje se može shvatiti kao proces proizvodnje novog proizvoda. Razlika između faze A i D je ta da se u fazi A stvara proizvod od novih sirovina što uključuje puno više energenata od faze D gdje se proizvod stvara od „starih“ sirovina.

Međutim, materijali se u većini slučajeva ne recikliraju 100%, već djelomično. U fazi D se prikazuje određeni udio recikliranog materijala koji je upotrebljen da bi se izbjegla proizvodnja potpuno novog materijala te se kao takav unosi se kao negativna veličina i utječe na smanjenje emisije.

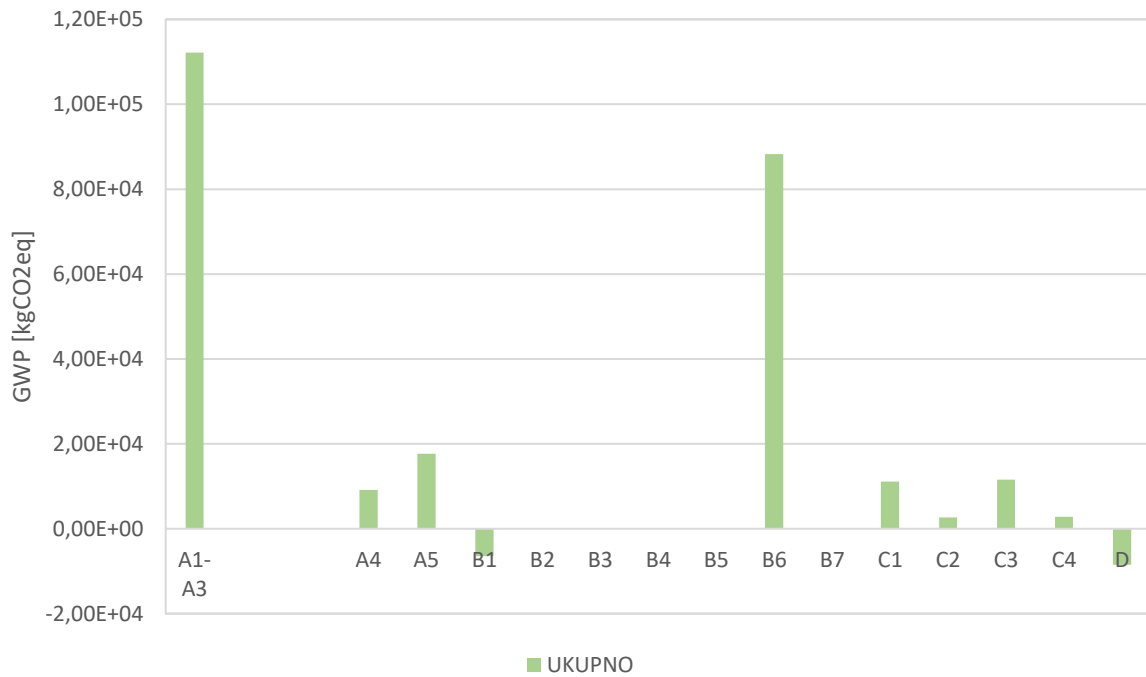
Na grafu 5.12 prikazani su kumulativni rezultati emisije CO₂eq za svaku fazu životnog ciklusa. Vidljivo je da se u fazi proizvodnje – faza A, emitira najveća količina stakleničkih plinova. Potencijalni načini za smanjenje faze A mogu biti:

- Upotreba recikliranih proizvoda smanjuje potrebu za ekstrakcijom novih sirovina. Na taj način se čuvaju prirodne rezerve i smanjuje emisija stakleničkih plinova.
- Koristiti transport koji je ekološki prihvatljiviji. Gdje je moguće, smanjiti primjenu cestovnog prijevoza, a povećati primjenu kombiniranog prijevoza koji uključuje željeznički i brodski transport materijala.
- Izvršiti analizu proizvodnih procesa u tvornicama. Primjeniti naprednije tehnologije i ulagati u povećanje učinkovitosti iste. Smanjiti količinu iskorištavanja vode i proizvodnju otpadne vode, koju zatim savjesno odložiti. Ugraditi filtere za ispušne plinove iz tvornice.

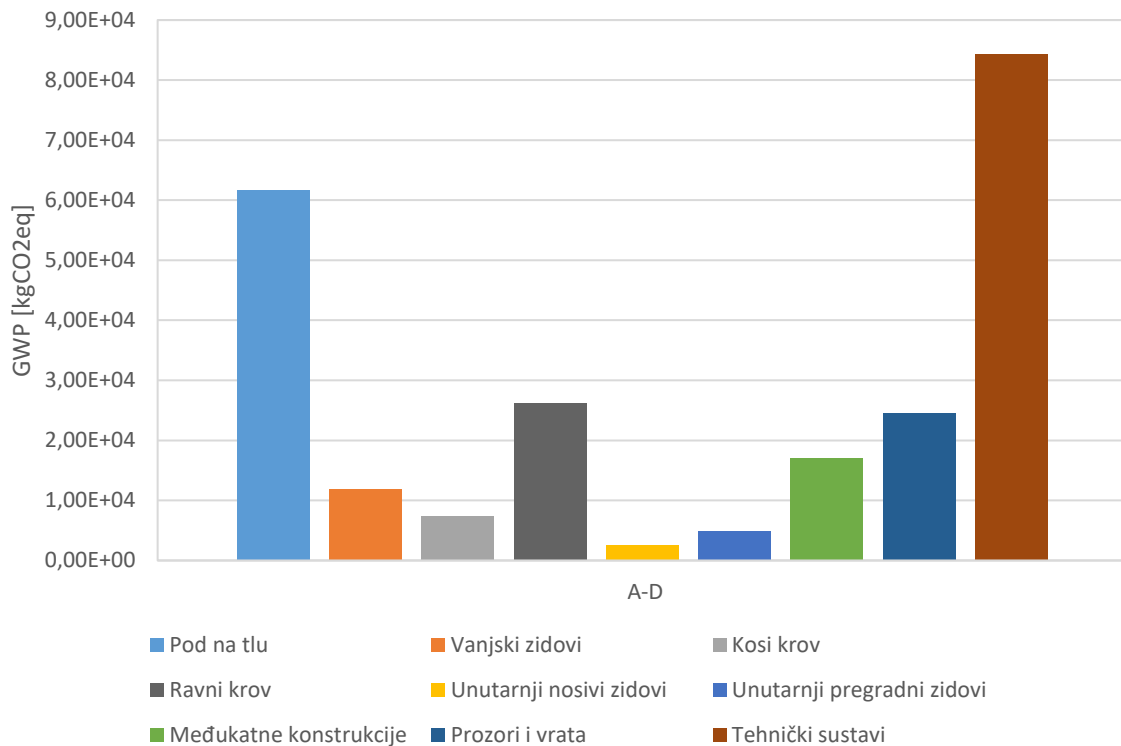
Faza B6 uključuje potrošnju energije za vrijeme korištenja građevine tijekom životnog ciklusa od 50 godina: energija koja se koristi tijekom faze stanovanja životnog ciklusa zgrade za grijanje prostora i vode, hlađenje prostora, rasvjetu, rad opreme i uređaja. Potencijalni načini smanjenja operativne energije u kućanstvu:

- Sadnjom drveća u blizini svojeg doma za zaštitu od prekomjernog zagrijavanja
- Ugradnja većeg broja prozora za iskorištavanje prirodnog svijetla
- Ugradnjom bolje izolacije koja će smanjiti potrebe za grijanje i hlađenje
- Ugradnjom ekološki prihvatljivih termotehničkih sustava koji koriste veći udio obnovljivih izvora energije
- Savjesno i racionalno koristiti enegiju

Dok faza recikliranja – faza D umanjuje utjecaj emisije.



Graf 5.12 Faze životnog ciklusa A-D



Graf 5.13 Građevni elementi ukupno A-D

Na grafu 5.13 je vidljivo da *Pod na tlu* i *Tehnički sustavi* imaju najveće emisije stakleničkih plinova.

Iz tablice 5.1. *Pod na tlu* i grafa 5.1 *Pod na tlu: Ukupni modul A-C* može se vidjeti da najveći udio ispuštenih stakleničkih plinova otpada upravo na cementne materijale: beton i cementni estrih. Također, ako se analiziraju i ostali građevni dijelovi, može se uočiti da je beton gotovo uvijek najveći emiter stakleničkih plinova.

Općenito je poznato da je proizvodnja cementnog klinkera jedan od vodećih razloga koja građevinsku industriju drži na visokom mjestu ukupne proizvodnje stakleničkih plinova. Zagrijavanjem vapnenaca, u procesu proizvodnje cementa, dolazi do njegova razdvajanja na kalcijev oksid, ali i ugljični dioksid. Prilikom proizvodnje jedne tone klinkera nastaje otprilike 900 kilograma ugljičnog dioksida. [13] Pri tome 40 % emisije generira gorivo, a 60 % nastaje kemijskim procesima - pretvorbom kalcijeva karbonata u kalcijev oksid.

Potencijalni načini smanjenja emisije kod upotrebe cementa:

- Smanjenim udjelom cementnog klinkera u cementnu te njegovm zamjenom mineralnim dodacima (granulirana zgura, leteći pepeo, silikatna prašina)
- Upotreba recikliranog betona
- Precizno proračunate količine potrebnog betona kako bi se smanjio višak betona na gradilištu
- Upotreba predgotovljenih elemenata za koje je lakše procijeniti količinu betona
- Smanjenje upotrebe betona, na primjer, umjesto betonske ploče kao temelje koristiti trakaste temelje
- Gdje je moguće, primijeniti drvenu građu, na primjer korištenje CLT sustava za strukturne elemente

Iako su za predmetnu zgradu korišteni napredniji termotehnički sustavi, oni i dalje stvaraju veliki ekološki otisak. U proračunu CO₂eq emisije, termotehnički sustavi uzeti su na način da se toplinska dizalica i mehanička ventilacija mijenjaju nakon 20 godina, a fotonaponi nakon 25 godina što u promatranom razdoblju od 50 godina znači 3 zamjene. Prema proračunu potrebne i primarne energije iz Ki Expert-a, količina energije tijekom jedne godine koju proizvede fotonapon od 20 m² iznosi 1223,56 kWh, a količina energije koju proizvede dizalica topline na principu voda-zrak iznosi 1578,38kWh.

Proračun CO₂eq emisije za fotonapon računa se na sljedeći način: faktor ugljika iz EPD-a potrebno je pomnožiti s ukupnom površinom ugrađenih fotonapona i brojem zamjena za promatrano razdoblje. Iznos energije od fotonapona uzima se s negativnim predznakom u proračunu jer koristi isključivo solarnu energiju koja ne utječe na proizvodnju stakleničkih plinova.

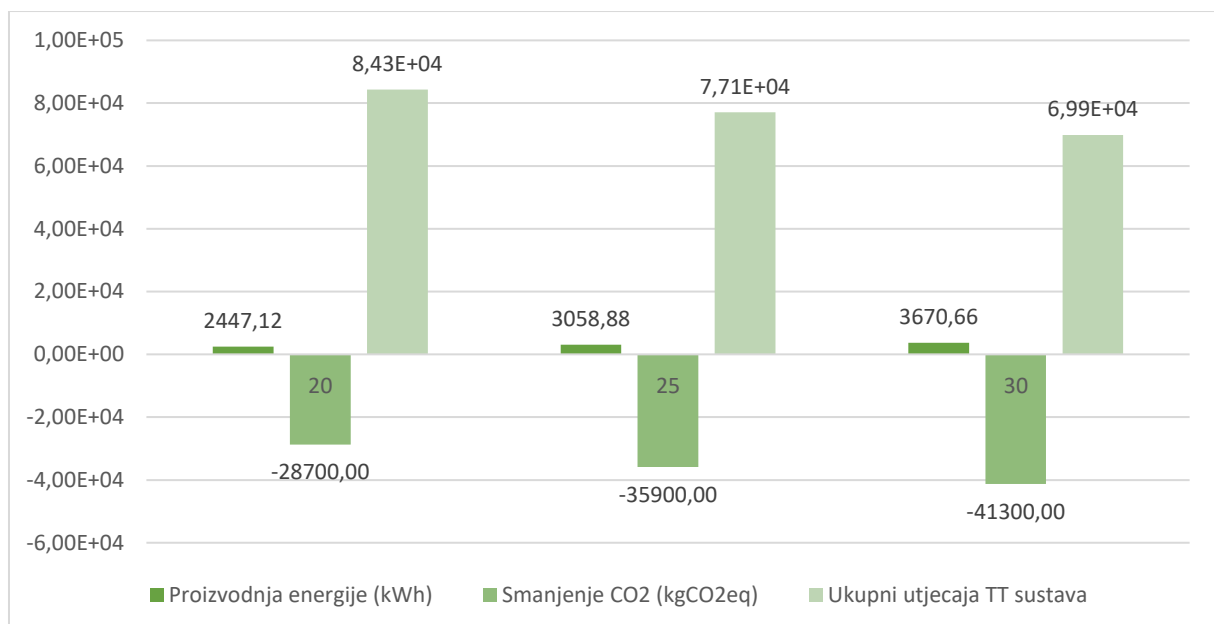
Za dizalicu topline, vrijednost isporučene energije iz Ki Experta za grijanje i hlađenje te PTV za jednu godinu potrebno je pomnožiti s faktorom ugljika iz EPD-a i predviđenim brojem zamjena za promatrano razdoblje.

Za mehaničku ventilaciju, funkcionalna jedinica je 1 komad ugrađene ventilacije. Faktor ugljika iz EPD-a množi se s brojem ugrađenih komada i brojem predviđenih zamjena za promatrano razdoblje.

Kako bi se smanjio ekološki utjecaj termotehničkih sustava, jedna od mogućih opcija je ugradnja veće količine fotonapona. Energija proizvedena na 20 m² ugrađenih fotonaponskih panela iznosi 2447,12 kWh, što smanjuje ekološki otisak za 2,87E+04 kgCO₂eq i čini ukupni utjecaj termotehničkih napona od 8,43E+04 kgCO₂eq. Ugradnjom 25m² energija je 3058,88kWh, a smanjuje emisiju CO₂eq za -3,59E-04 kgCO₂eq, što ukupno čini utjecaj termotehničkih sustava od 7,71E+04 kgCO₂eq. Ugradnjom 30 m² energija koja se proizvode iznosi 3670,66 kWh, a ugljični otisak se smanjuje se za -4,13E+04 kgCO₂eq i ukupno čini utjecaj od 6,99E+04 kgCO₂eq. Podaci su prikazni u tablici 5.12.

Tablica 5.12 Utjecaj fotonapona

Površina fotonapona (m ²)	Proizvodnja energije (kWh)	Smanjenje CO ₂ (kgCO ₂ eq)	Ukupni utjecaja TT sustava
20	2447,12	-2,87E+04	8,43E+04
25	3058,88	-3,59E+04	7,71E+04
30	3670,66	-4,13E+04	6,99E+04



Graf 5.14 Utjecaj fotonapona

Povećanje veličine fotonaponskih panela s 20 m² na 30 m², omogućava raterećejne mreže za 1223,54 kwh tj. za 50% , odnosno smanjuje emisiju CO₂eq za otprilike 44 %.

5.2 Usporedba s Danskim kriterijem

Danska je uvela novi propis – od 1. siječnja 2023. godine, danska građevinska regulativa sada uključuje klimatske zahtjeve za sve nove zgrade kako bi se smanjile emisije CO₂eq u zemlji iz građevinskog sektora. Između ostalog, sve nove zgrade moraju dokumentirati svoj utjecaj na okoliš tijekom životnog vijeka od 50 godina kroz LCA izračun. Danska je postala prva nordijska zemlja koja je ograničila vrijednosti u svojim građevinskim propisima. [14]

Ovi danski zahtjevi podrazumijevaju da sve nove zgrade moraju dokumentirati svoj utjecaj na okoliš tijekom životnog vijeka od 50 godina kroz LCA izračun te da nove zgrade iznad 1000 m² moraju biti u skladu s graničnom vrijednošću od 12 kg CO₂eq/m² godišnje. [14]

Za promatranu zgradu, izračunata je bruto površina od 260,63 m². Prema rezultatima proračuna za emisiju CO₂eq, ukupna emisija za cijelu zgradu iznosi 226262,33 kgCO₂eq za životni vijek od 50 godina.

Sukladno tome, na godišnjoj razni proizvede se:

$$226262,33 \text{ kgCO}_2\text{eq} : 260,63 \text{ m}^2 : 50 \text{ godina} = 17,40 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2 \text{ godišnje.}$$

Dobiveni podatak od 17,40 kgCO₂eq/m² godišnje uvelike premašuje zadani danski kriterij od 12 kgCO₂eq/m² za razdoblje od jedne godine. Iako uvjeti nisu zadovoljeni, postoji još mjesta za smanjenje emisije:

- Korištenje materijala s manjom emisijom, na primjer, opeka ili beton od drugog proizvođača
- Korištenje materijala koji su dostupni na bližim lokacijama kako bi se smanjio utjecaj prijevoza
- Gdje je moguće, smanjiti količine materijala te izraditi precizan izračun količina materijala
- Smanjiti potrebnu energiju, kao ulazni podatak za izračun operativne energije u zgradi.

6 Utjecaj toplinskih mostova

Prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama [15] toplinski su mostovi definirani kao: „*manja područja u omotaču grijanog dijela zgrade kroz koje je toplinski tok povećan radi promjene materijala, debljine ili geometrije građevnog dijela*“.

Toplinski most je manje lokalizirano mjesto na ovojnicu zgrade gdje dolazi do protoka topline s područja više na područje niže temperature. Na svakoj zgrad javljaju se toplinski mostovi u kutovima i uglovima zgrade, na kontaktu materijala koji se razlikuju po toplinsko-izolacijskim svojstvima ili po debljini, na mjesima proboja konstruktivnih elemenata kroz ovojnicu zgrade te na mjestima spoja prozora i vrata s ovojnicom. Na tim mjestima potrebo je posvetiti dovoljno pažnje tijekom projektiranja, ali i izvođenja kako bi se utjecaj toplinskih mostova što više smanjio.

Preveliki toplinski mostovi u zgradama mogu utjecati na količinu energije potrebnu za grijanje i hlađenje prostora, uzrokovati kondenzaciju vodene pare na površini, razvoj gljivica i plijesni, odvajanje žbuke i iscvjetavanja soli na površini građevnog elementa.

6.1 Proračun toplinskih mostova

Za proračun toplinskih mostova korišten je računalni program Croral koji slijedi proračun toplinskih mostova prema HR EN ISO 10211:2008 *Toplinski tokovi i površinske temperature* i HRN EN ISO 10077-2:2012 *Proračun koeficijenta prolaska topline*.

Najprije, detalje toplinskih mostova potrebno je nacrtati u Autocad programu i spremiti kao .dxf datoteku. Takvu vrstu datoteke moguće je učitati u Croral-u gdje se upisuju karakteristike materijala: toplinska provodljivost λ (W/mK) i faktor otpora difuziji vodene pare η . Potrebno je odrediti rubne uvjete sustava definirane kao *Vanjski prostor* i *Unutarnji prostor* s pripadajućim plošnim koeficijentima prijenosa topline:

- Vanjski plošni koeficijent prijenosa topline iznosi $h_{se}=25$ W/m²K
- Unutarnji plošni koeficijent prijenosa topline iznosi $h_{si}=8$ W/m²K
- Plošni koeficijent prijenosa topline s tla iznosi $h_{se,tlo}=0$ W/m²K

i temperaturom okolnog zraka:

- Vanjska temperatura: 0°C
- Unutarnja temperatura: 20°C

Relativna vlažnost zraka:

- Vanjski zrak HR = 90 %
- Unutarnji zrak HR = 60 %

Nakon unesenih ulaznih podataka, provodi se termalna analiza te se kao rezultat dobije:

- koeficijent prolaska topline materijala U ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)
- duljinski koeficijent prolaska topline (Ψ)
- minimalna površinska temperatura na unutarnjoj površini ($\theta_{si,\min}$)
- koeficijent temperature na unutarnjoj površini (f_{Rsi})

Koeficijenti prolaska topline trebaju odgovarati prethodno proračunatim vrijednostima pomoću računalnog programa KI Expert. Za proračun duljinskog koeficijenta prolaska topline (Ψ) potrebno je pravilno kotirati duljine toplinskog mosta. Sve duljine su kotirane barem 1 m od toplinskog mosta. Rezultati minimalne površinske temperature na unutarnjoj površini, ali i na vanjskoj, grafički se prikazuju pomoću ParaViewu softvera. Faktori temperature na unutarnjoj površini računaju se sukladno dobivenim temperaturama pomoću izraza:

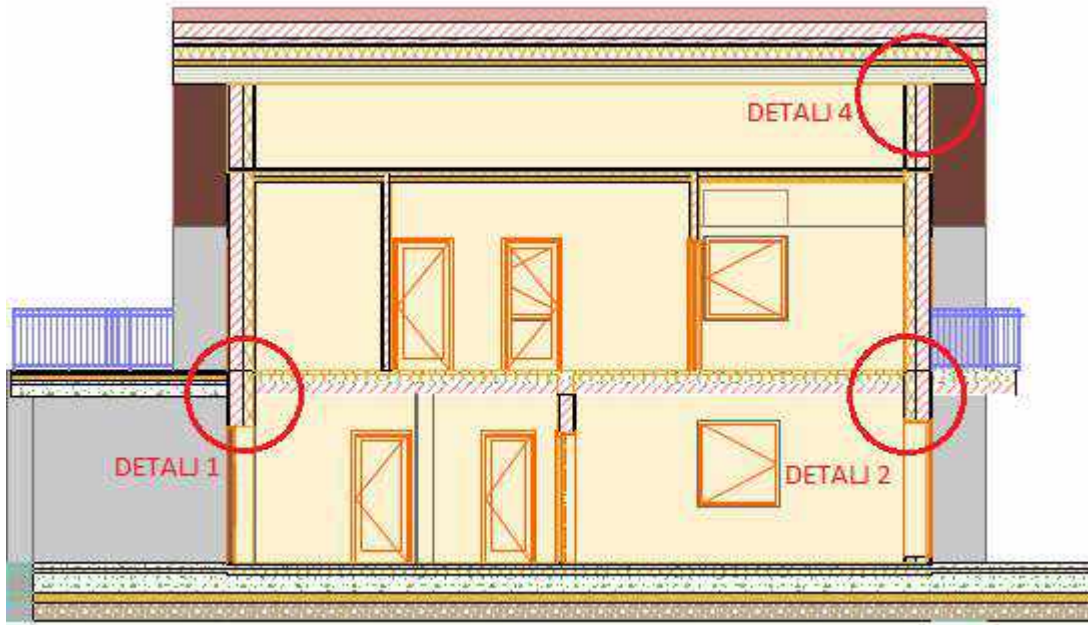
$$f_{Rsi} = (T_{\min} - T_e) / (T_i - T_e)$$

- T_{\min} : temperatura unutarnje površine na toplinskom mostu;
- T_i : unutarnja sobna temperatura;
- T_e : vanjska temperatura.

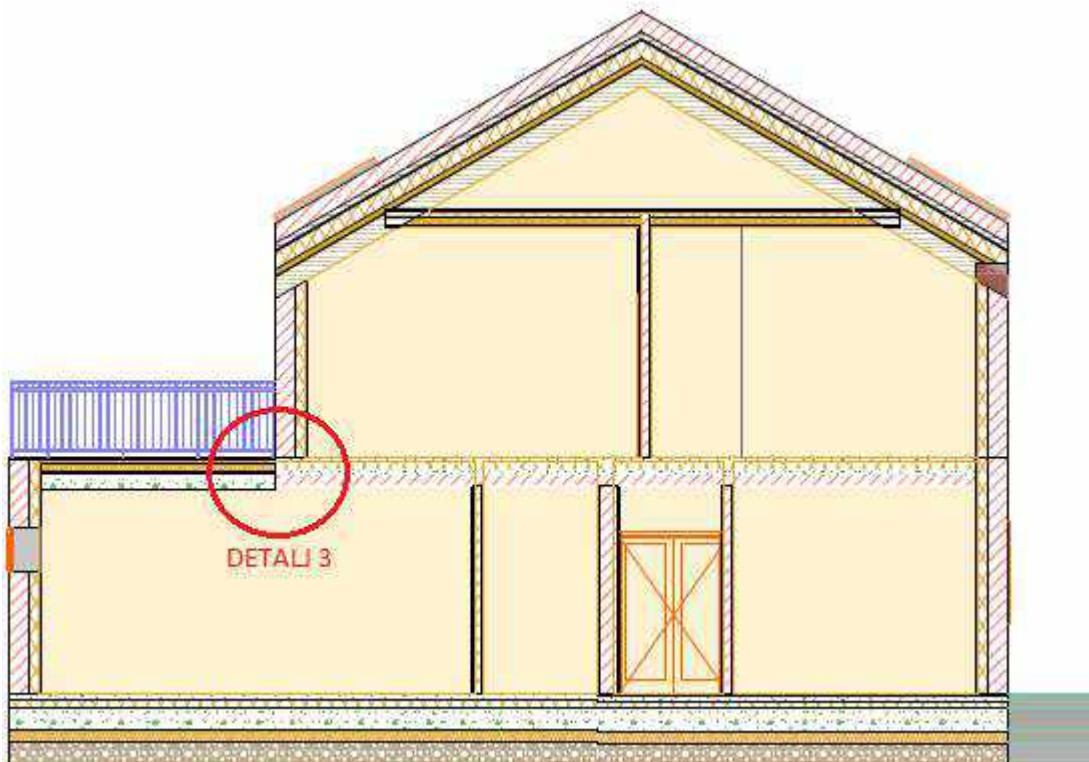
Koeficijent f_{Rsi} može poprimiti vrijednosti između 0 i 1, gdje 0 označava da je temperatura na unutarnjoj površini jednaka temperaturi vanjskog zraka, a 1 označava da je temperatura na unutarnjoj površini jednaka temperaturi unutarnjeg zraka. Prema propisu minimalna vrijednost iznosi: $f_{Rsi,\min} = 0,844$. [16]

Ako je u području toplinskih mostova unutarnja plošna temperatura niža od temperature rosišta, dolazi do kondenzacije koja vodi do pojave plijesni i stvaranja mikroorganizama. Temperatura rosišta ovisi o relativnoj vlažnosti i temperaturi zraka u prostoru. Za promatranu zgradu definirana je unutarnja temperatura od 20°C i relativna vlažnost zraka 60 %, što čini temperaturu rosišta od 12°C . [16] Ako je koeficijent f_{Rsi} manji od minimalno dopuštene vrijednosti, to znači da je unutarnja plošna temperatura manja od temperature rosišta.

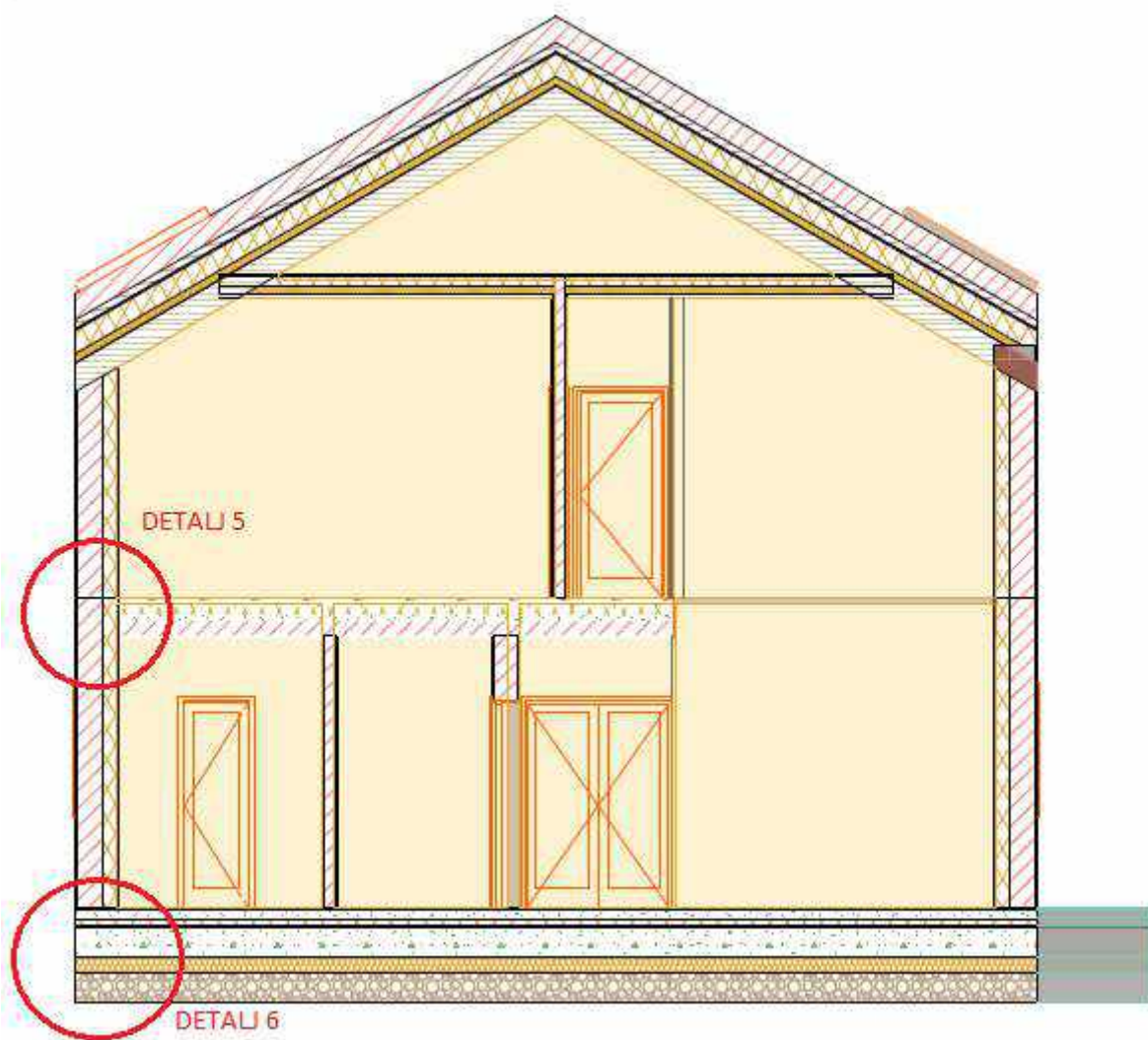
Za predmetnu zgradu odabrano je 6 mjesta za detaljni proračun toplinskih mostova kako je prikazano na slikama 6.1-6.3:



Slika 6.1 Detalji 1, 2 i 4

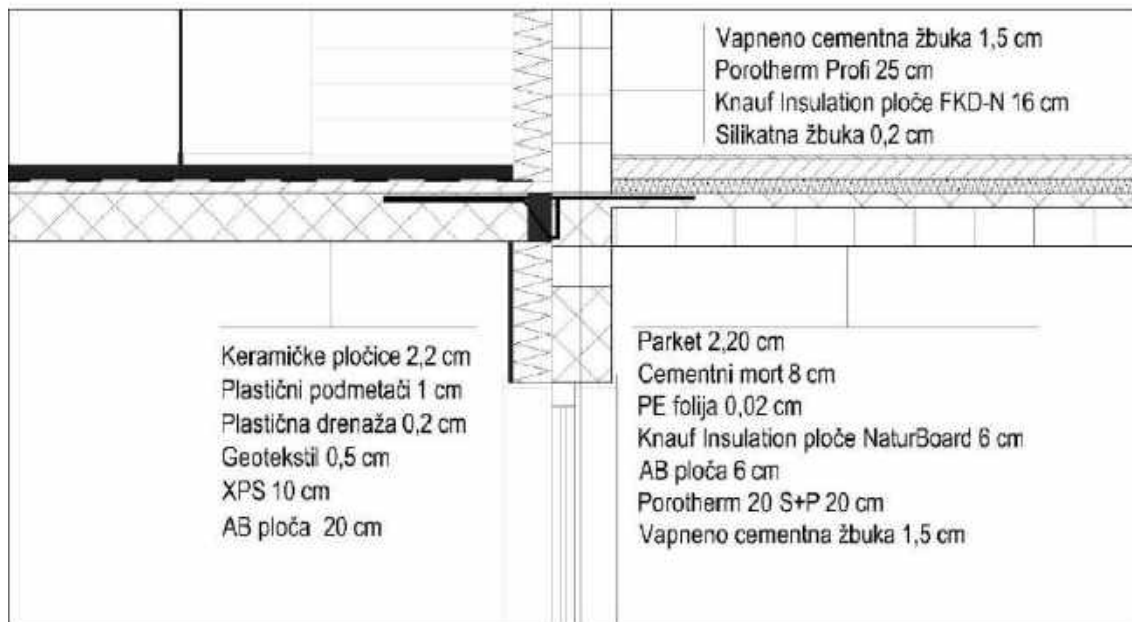


Slika 6.2 Detalj 3



Slika 6.3 Detalji 5 i 6

6.1.1 Detalj 1



Slika 6.4 Detalj 1

Promatrani detalj sastoji se od balkona s ugrađenim Schöck Isokorb sustavom T tip K za dodatno zaustavljanje toplinskog toka. Sustav se sastoji od 80 mm ugrađenom XPS-a. Ostali slojevi materijala uneseni su u softver kao što je prikazano tablici 6.1:

Tablica 6.1 Ulazni podaci - Detalj 1

	Materijal	λ [W/(m K)]	μ [--]
1	balkonska vrata	0,06	90000,00
2	KI FKD ploce	0,03	1,10
3	KI TPT ploce	0,04	1,10
4	beton	2,30	130,00
5	isokorb K	0,04	7,50
6	opeka	0,15	7,50
7	vapneno cementna zbuca	1,00	20,00
8	parket	0,13	50,00
9	silikatna zbuca	0,90	60,00
10	plocice	1,30	200,00
11	cementni mort	1,60	25,00
12	fert	0,33	7,50

Karakteristike materijala uzete su iz tehničkih listova materijala i iz Tehničkog propisa. Posebno su promatrana balkonska staklena vrata za koje je proveden proračun toplinske provodljivosti u cilju dobivanja zadanog koeficijenta prijenosa topline $U = 0,94 \text{ m}^2\text{K/W}$. Prema Propisu, vrijednost λ za staklo iznosi $0,13 \text{ W/mK}$ za debljinu od 7 cm te vrijednosti U iznosi $1,04 \text{ m}^2\text{K/W}$. Međutim, kako bi izračun toplinskog mosta bio što točniji, koeficijenti prijenosa topline za sve građevne materijale mogu biti isti prema proračunu iz KI Experta.

Proračun:

Debljina stakla: tri stakla 6 mm s razmakom od 18 mm : $6 + 18 + 6 + 18 + 6 = 54 \text{ mm}$

Dobivena U vrijednost pomoću aplikacije Caluwin: $U = 0,94 \text{ m}^2\text{K/W}$

$$R = \frac{1}{h_{si}} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_{se}}$$

$$R = \frac{1}{U}$$

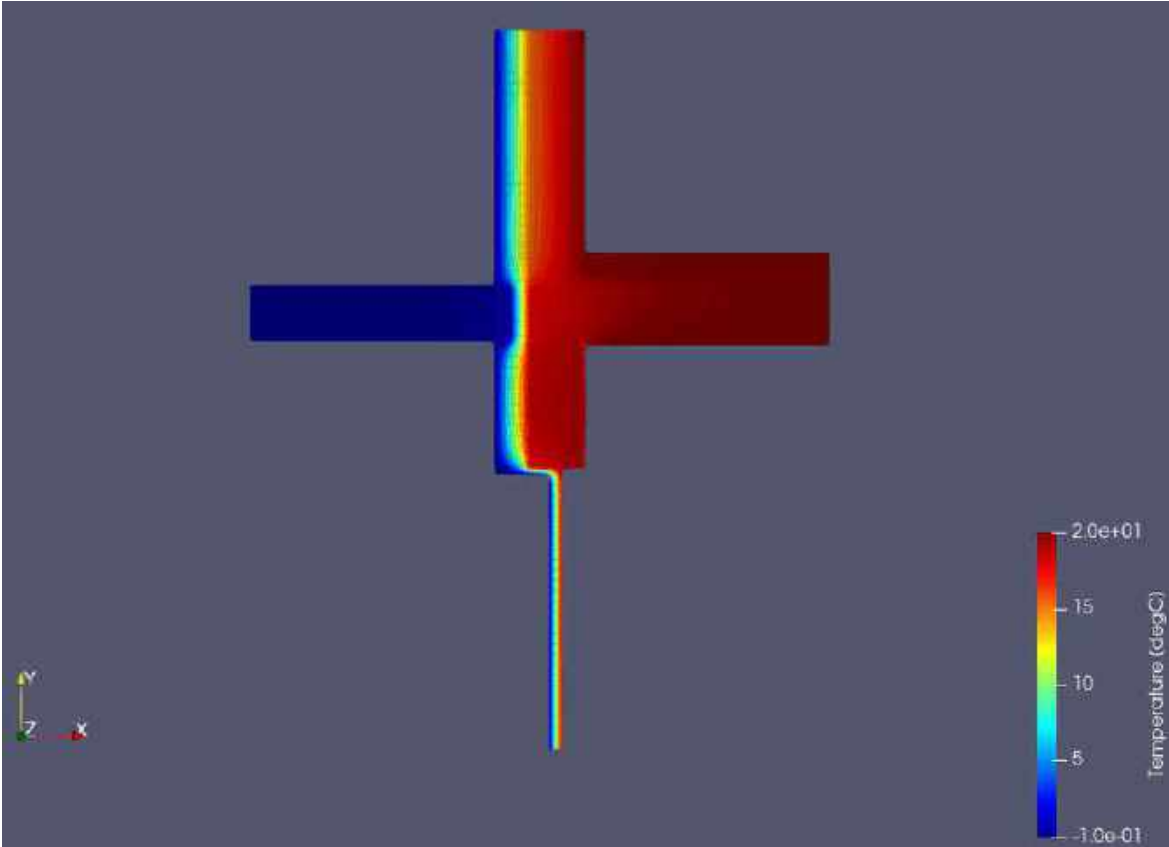
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{si}} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_{se}}$$

$$\frac{1}{0,94} = \frac{1}{8} + \frac{0,054}{\lambda} + \frac{1}{25}$$

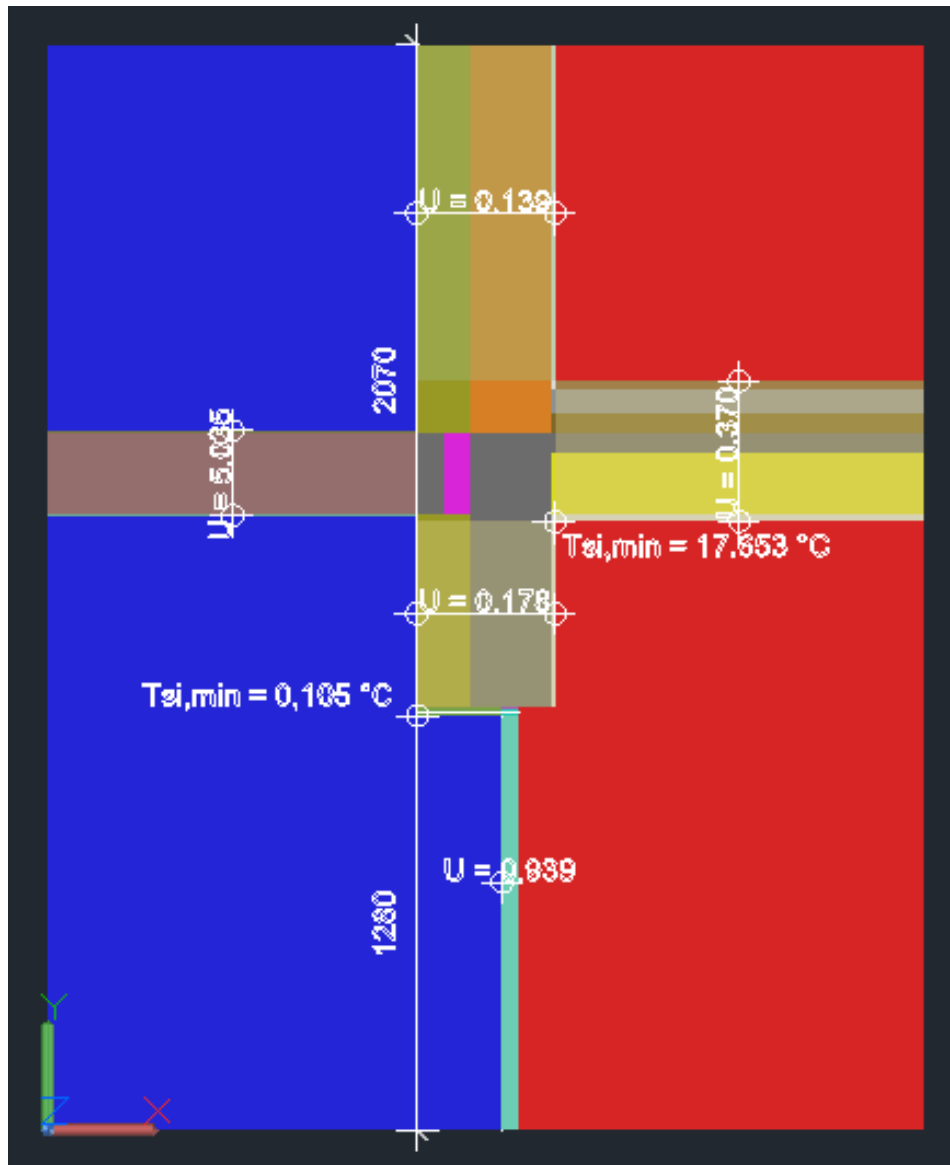
$$\lambda = 0,06 \text{ W/mK}$$

Tablica 6.2 Rubni uvjeti - Detalj 1

Prostor	h [W/(m K)]	T [°C]	RH [W/m ² K]
unutarnji prostor	8,00	20,00	60,00
vanjski prostor	25,00	0,00	90,00



Slika 6.5 Temperaturna raspodjela - Detalj 1

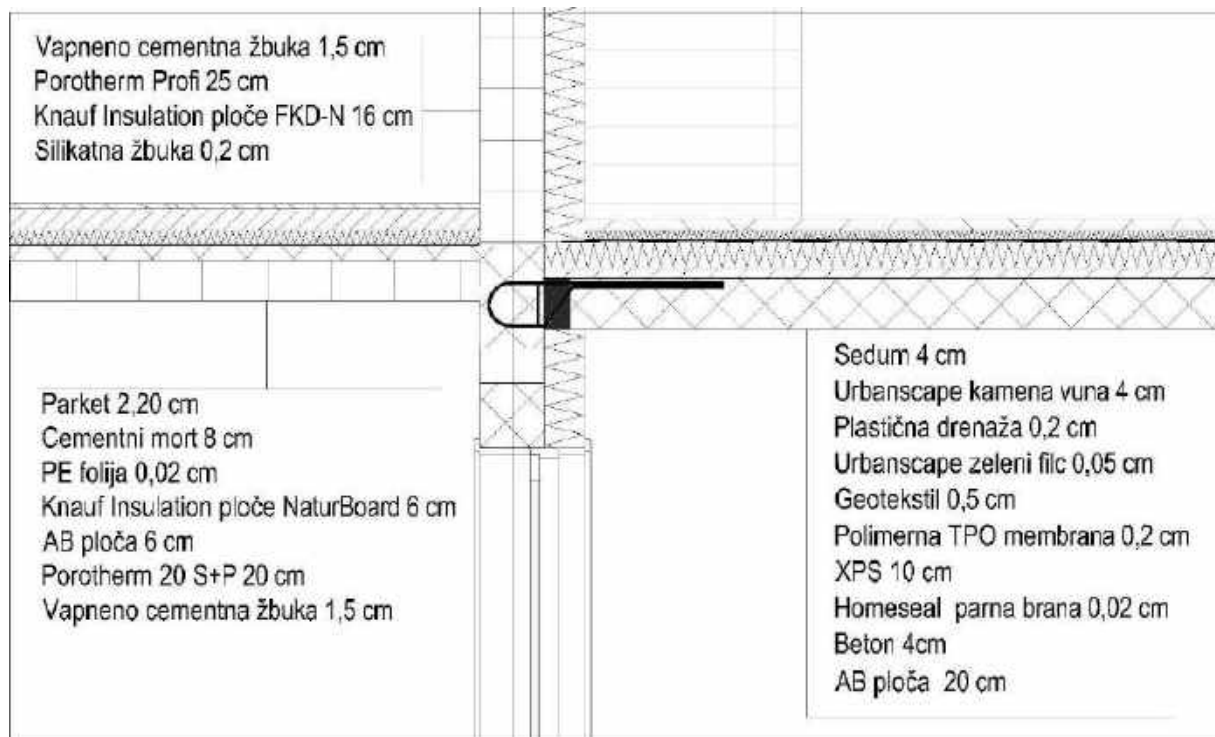


Slika 6.6 Detalji toplinskog mosta - Detalj 1

Tablica 6.3 Rezultati - Detalj 1

	ψ	$\theta_{si,min}$ [°C]	fRsi
Detalj 1	0,2220	17,853	0,894

6.1.2 Detalj 2



Slika 6.7 Detalj 2

Promatrani detalj sastoji se od balkona s ugrađenim Schöck Isokorb sustavom T tip K-O za dodatno zaustavljanje toplinskog toka. Sustav se sastoji od 80 mm ugrađenom XPS-a, kao i prethodni. Ostali slojevi materijala uneseni su u softver kao što je prikazano u tablici 6.4:

Tablica 6.4 Ulazni podaci - Detalj 2

	Materijal	λ [W/(m K)]	μ [--]
1	drvena vrata	0,10	50,00
2	KI FKD ploce	0,03	1,10
3	KI TPT ploce	0,04	1,10
4	beton	2,30	130,00
5	schoeck isokorb K-O	0,04	7,50
6	opeka	0,15	7,50
7	vapneno cementna zbuka	1,00	20,00
8	parket	0,13	50,00
9	silikatna zbuka	0,90	60,00
10	plocice	1,30	200,00
11	XPS	0,03	80,00
12	cementni mort	1,60	25,00

Kao i u prethodnom primjeru, proveden je izračun za drvena ulaza vrata. U ovom slučaju, vrijednost koeficijenta prolaska topline uzeta je iz tehničkog lista za odabrana vrata $U = 0,87 \text{ m}^2\text{K/W}$. S ciljem dobivanja zadane U vrijednosti, iz nacрта je uzeta debljina vrata od 10 cm, a odgovarajuća toplinska provodljivost se računala:

$$R = \frac{1}{h_{si}} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_{se}}$$

$$R = \frac{1}{U}$$

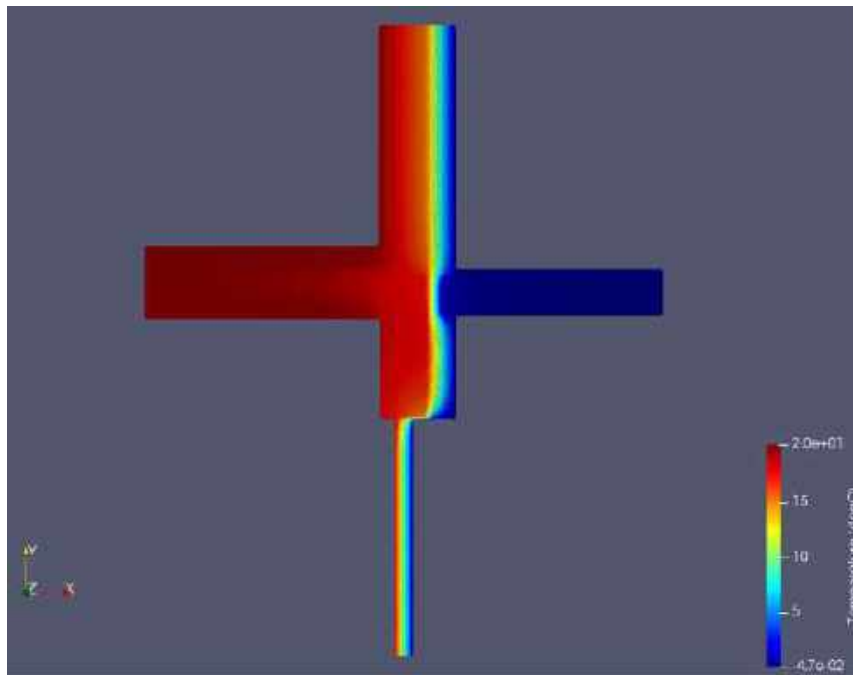
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{si}} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_{se}}$$

$$\frac{1}{0,87} = \frac{1}{8} + \frac{0,1}{\lambda} + \frac{1}{25}$$

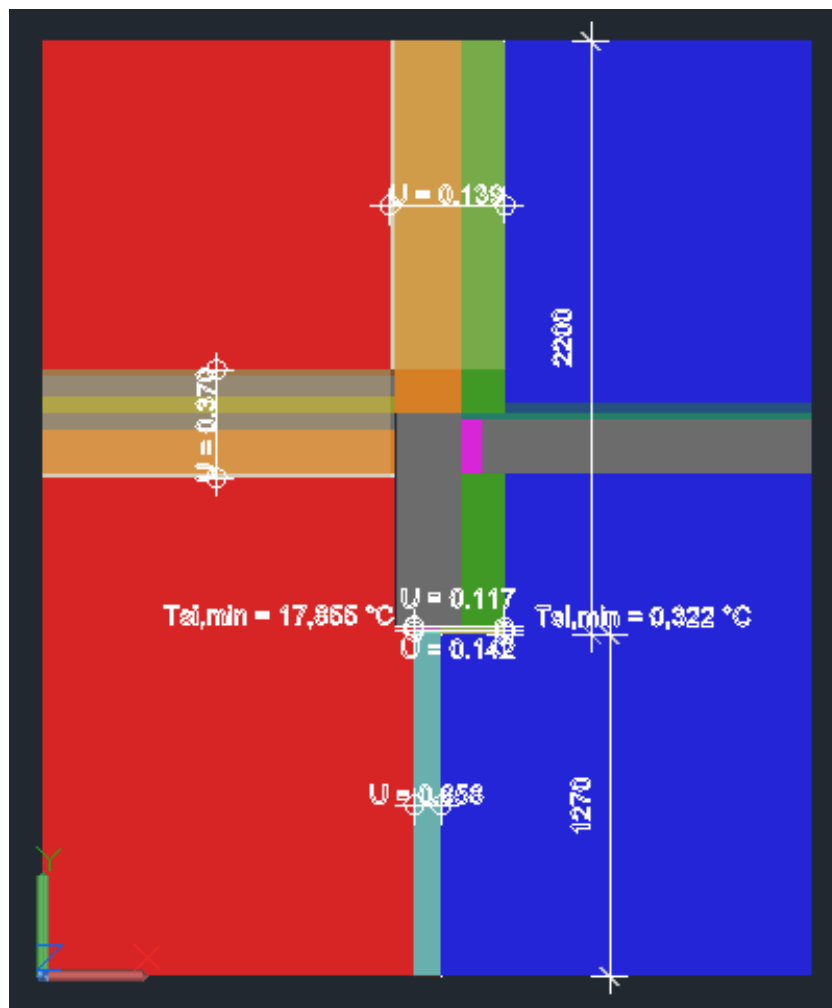
$$\lambda = 0,101 \text{ W/mK}$$

Tablica 6.5 Rubni uvjeti - Detalj 2

Prostor	h [W/(m K)]	T [°C]	RH [W/m ² K]
unutarnji prostor	8,00	20,00	60,00
vanjski prostor	25,00	0,00	90,00



Slika 6.8 Temperaturna raspodjela - Detalj 2

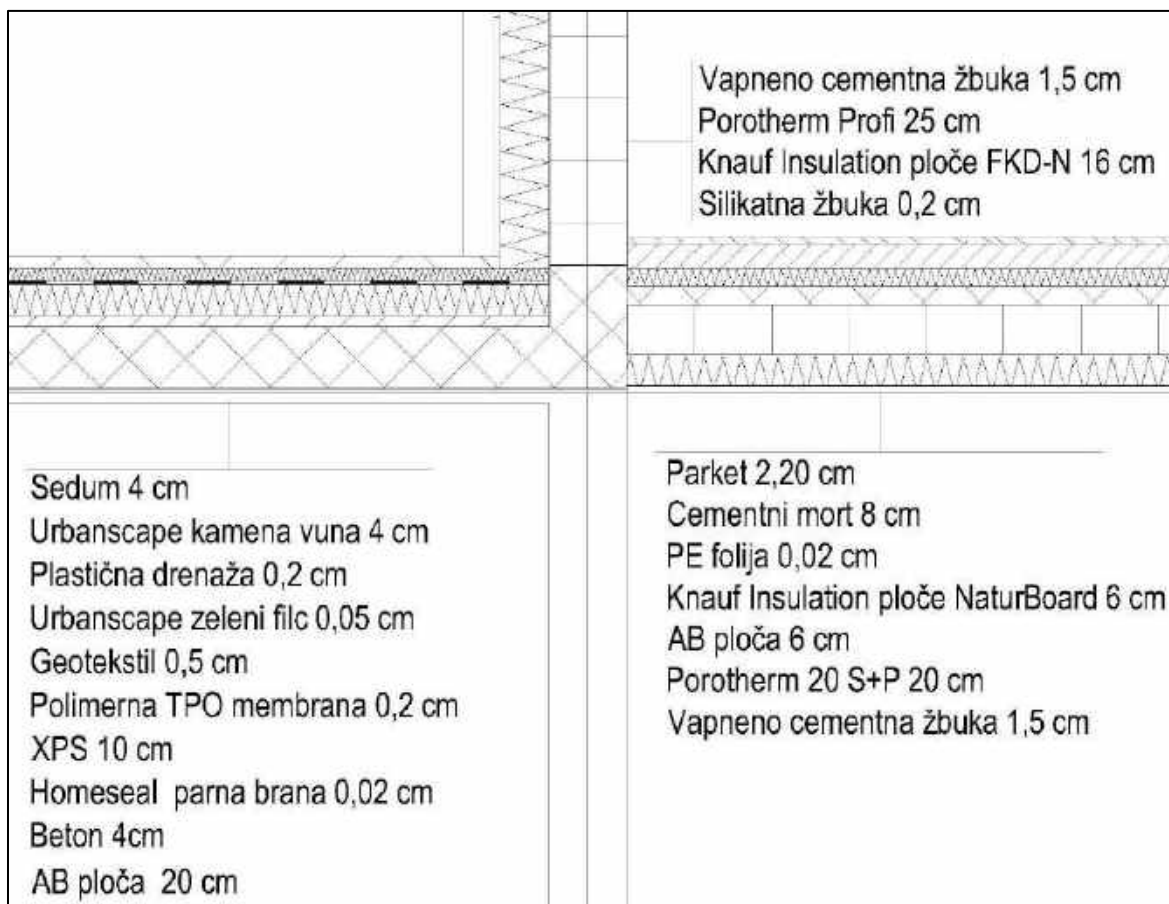


Slika 6.9 Detalj toplinskog mosta - Detalj 2

Tablica 6.6 Rezultati - Detalj 2

	ψ	$\theta_{si,min}$ [°C]	f_{Rsi}
Detalj 2	0,1083	17,855	0,894

6.1.3 Detalj 3



Slika 6.10 Detalj 3

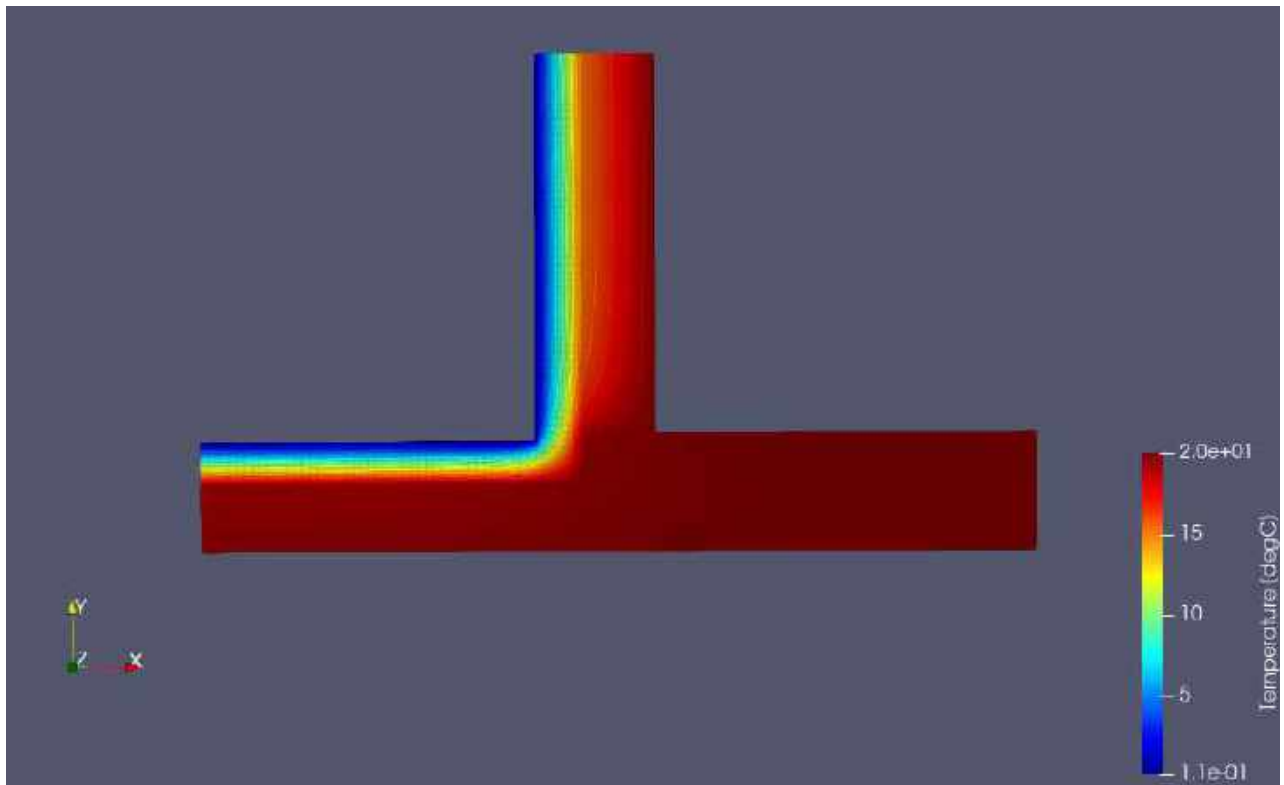
Vrijednosti toplinske vodljivosti λ preuzete su iz Tehničkih listova i iz Tehničkog propisa i uneseni u program prema tablici 6.7:

Tablica 6.7 Ulazni podaci - Detalj 3

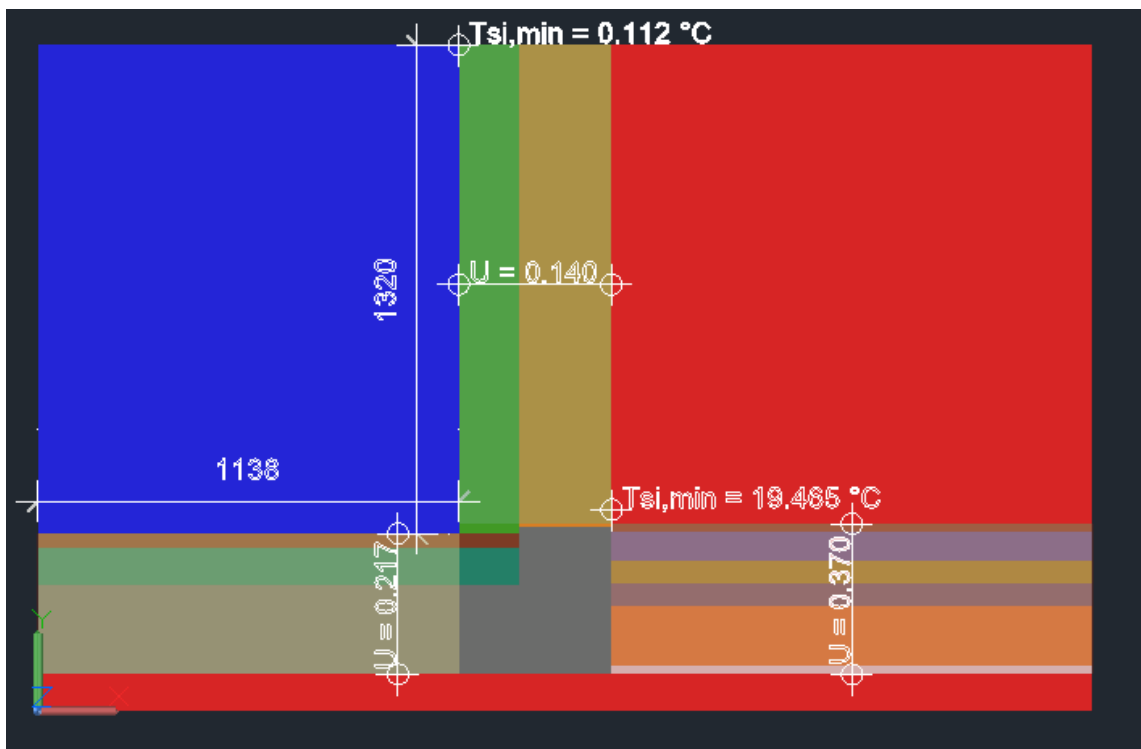
	Materijal	λ [W/(m K)]	μ [-]
1	KI TPT ploce	0,04	1,10
2	cementni mort	1,60	25,00
3	beton	2,30	130,00
4	opeka	0,15	7,50
5	vapneno cementna zbuca	1,00	20,00
6	parket	0,13	50,00
7	silikatna zbuca	0,90	60,00
8	XPS	0,03	80,00
9	KI FKD ploce	0,03	1,10
10	urbanscape kamena vuna	0,04	1,10

Tablica 6.8 Rubni uveti - Detalj 3

Prostor	h [W/(m K)]	T [°C]	RH [W/m ² K]
unutarnji prostor	8,00	20,00	60,00
vanjski prostor	25,00	0,00	90,00



Slika 6.11 Temperaturna raspodjela - Detalj 3

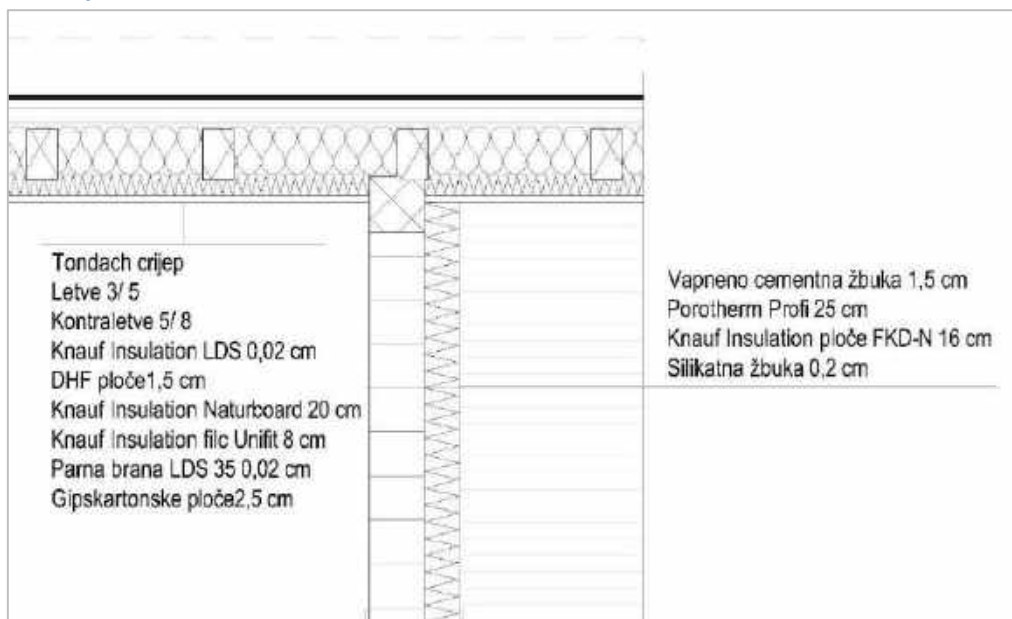


Slika 6.12 Detalj toplinskog mosta - Detalj 3

Tablica 6.9 Rezultati - Detalj 3

	ψ	$\theta_{si,min}$ [°C]	f_{Rsi}
Detalj 3	0,0254	19,465	0,973

6.1.4 Detalj 4



Slika 6.13 Detalj 4

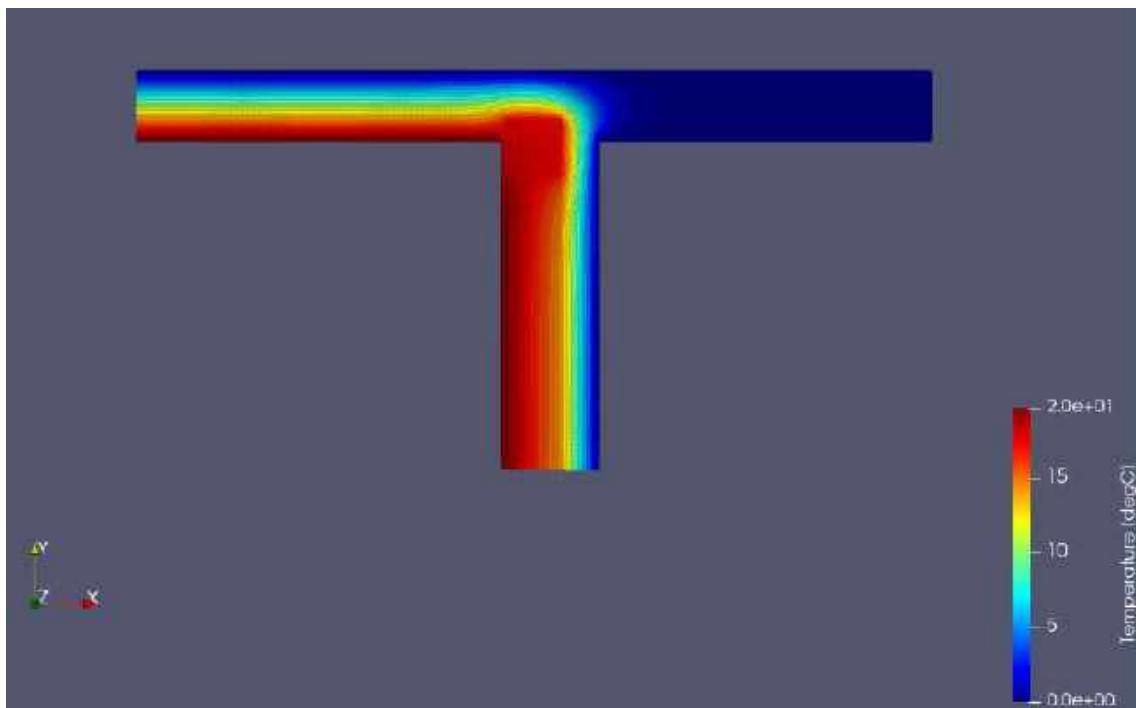
Vrijednosti toplinske vodljivosti λ preuzete su iz Tehničkih listova i iz Tehničkog propisa i uneseni u program prema tablici 6.10:

Tablica 6.10 Ulazni podaci - Detalj 4

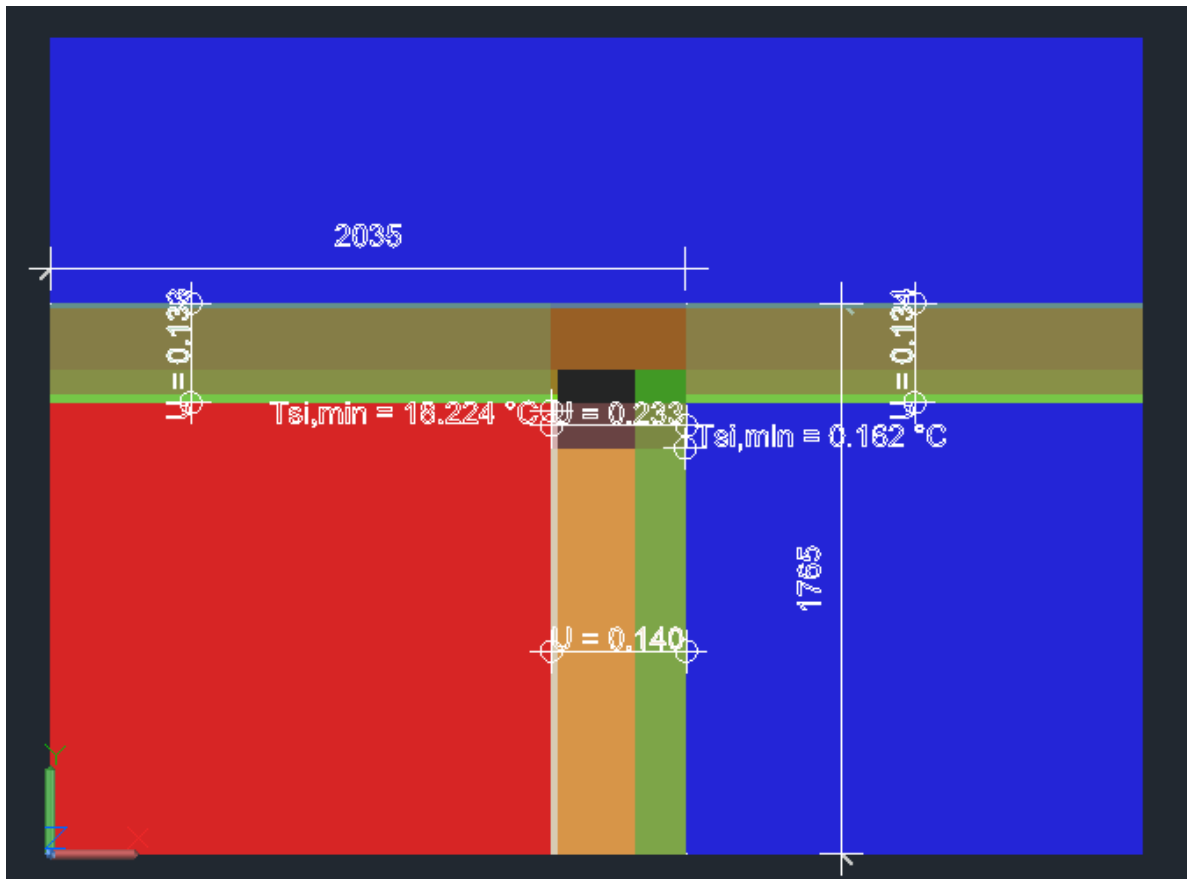
	Materijal	λ [W/(m K)]	μ [--]
1	beton	2,30	130,00
2	KI unifit	0,04	1,10
3	KI naturboard	0,04	1,10
4	DHF ploce	0,13	50,00
5	KI FKD ploce	0,04	1,10
6	Porotherm	0,15	7,50
7	gips kartonske ploce	0,21	4,00
8	silikatna zbuka	0,90	60,00
9	vapneno cementna zbuka	1,00	20,00

Tablica 6.11 Rubni uvjeti - Detalj 4

Prostor	h [W/(m K)]	T [°C]	RH [W/m ² K]
unutarnji prostor	8,00	20,00	60,00
vanjski prostor	25,00	0,00	90,00



Slika 6.14 Temperaturna raspodjela - Detalj 4

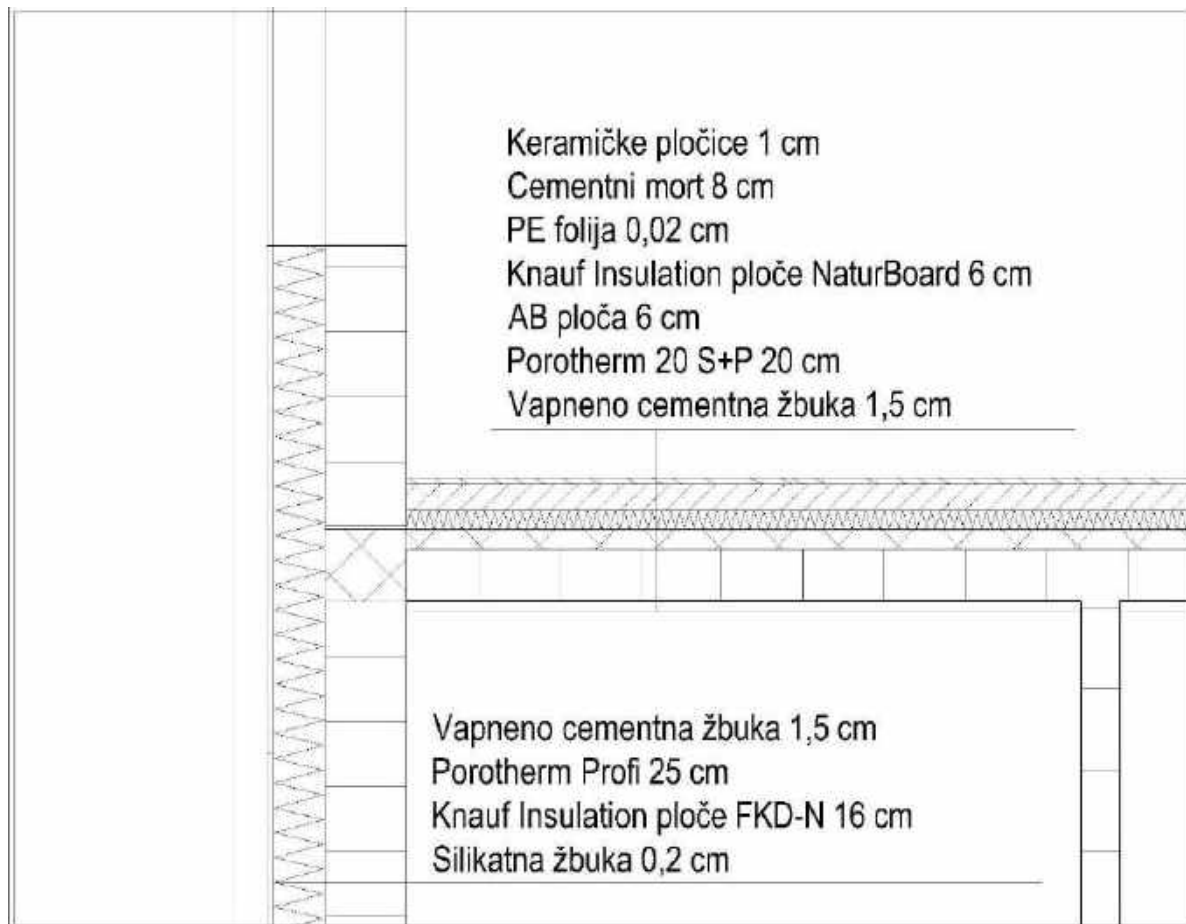


Slika 6.15 Detalj toplinskog mosta - Detalj 4

Tablica 6.12 Rezultati - Detalj 4

	ψ	$\theta_{si,min} \text{ [}^\circ\text{C]}$	f_{Rsi}
Detalj 4	-0,0238	18,224	0,911

6.1.5 Detalj 5



Slika 6.16 Detalj 5

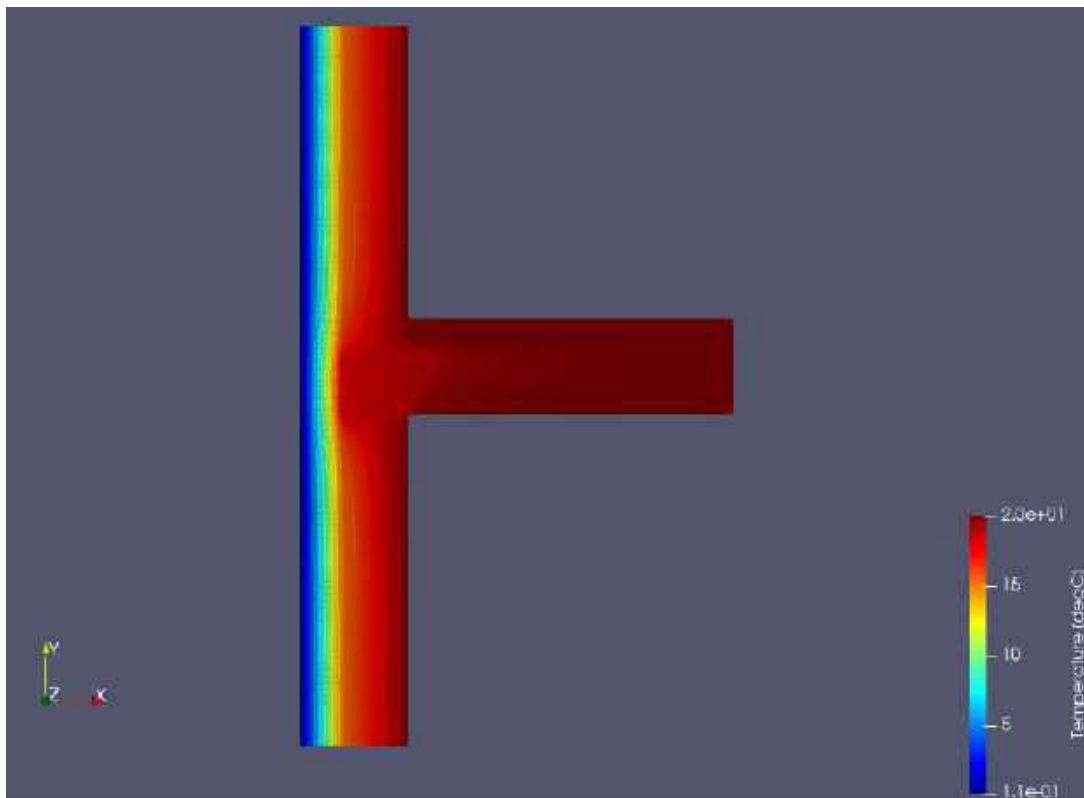
Vrijednosti toplinske vodljivosti λ preuzete su iz Tehničkih listova i iz Tehničkog propisa i uneseni u program prema tablici 6.13:

Tablica 6.13 Ulazni podaci - Detalj 5

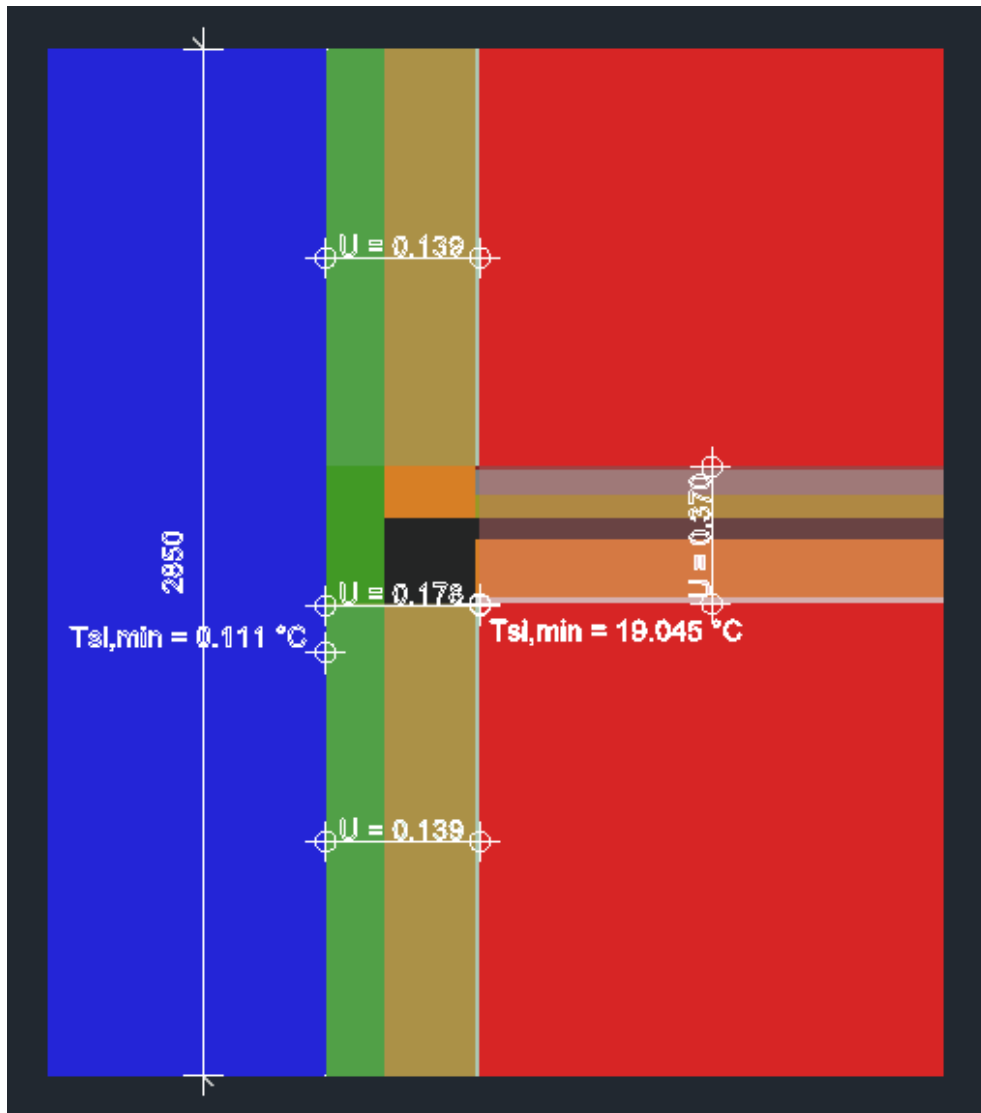
	Materijal	λ [W/(m K)]	μ [-]
1	cementni mort	1,60	25,00
2	plocice	1,30	25,00
3	beton	2,30	130,00
4	opeka	0,15	7,50
5	vapneno cementna zbuka	1,00	20,00
6	silikatna zbuka	0,90	60,00
7	KI FKD ploce	0,03	1,10
8	KI TPT ploce	0,04	1,10

Tablica 6.14 Rubni uvjeti - Detalj 5

Prostor	h [W/(m K)]	T [°C]	RH [W/m ² K]
unutarnji prostor	8,00	20,00	60,00
vanjski prostor	25,00	0,00	90,00



Slika 6.17 Temperaturna raspodjela - Detalj 5

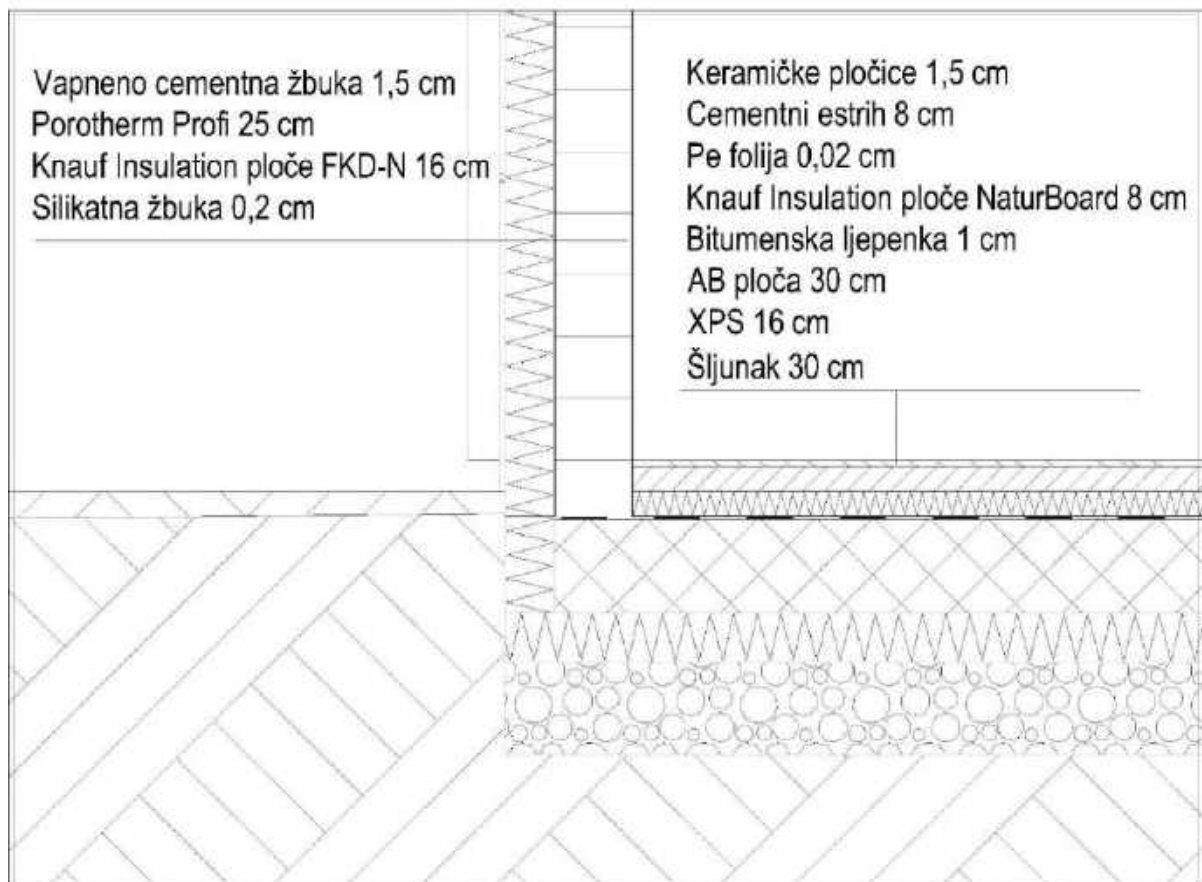


Slika 6.18 Detalj toplinskog mosta - Detalj 5

Tablica 6.15 Rezultati - Detalj 5

	ψ	$\theta_{si, \min} [^\circ\text{C}]$	f_{Rsi}
Detalj 5	0,013	19,045	0,952

6.1.6 Detalj 6



Slika 6.19 Detalj 6

Vrijednosti toplinske vodljivosti λ preuzete su iz Tehničkih listova i iz Tehničkog propisa i uneseni u program prema tablici 6.16:

Tablica 6.16 Ulazni podaci - Detalj 6

	Materijal	λ [W/(m K)]	μ [--]
1	sljunak	0,81	3,00
2	KI XPS Ultragrip	0,03	140,00
3	AB temeljna ploca	2,30	130,00
4	KI TPT ploce	0,04	1,10
5	cementni estrih	1,60	50,00
6	plocice	1,30	200,00
7	KI FKD ploce	0,03	1,10
8	opeka	0,15	7,50

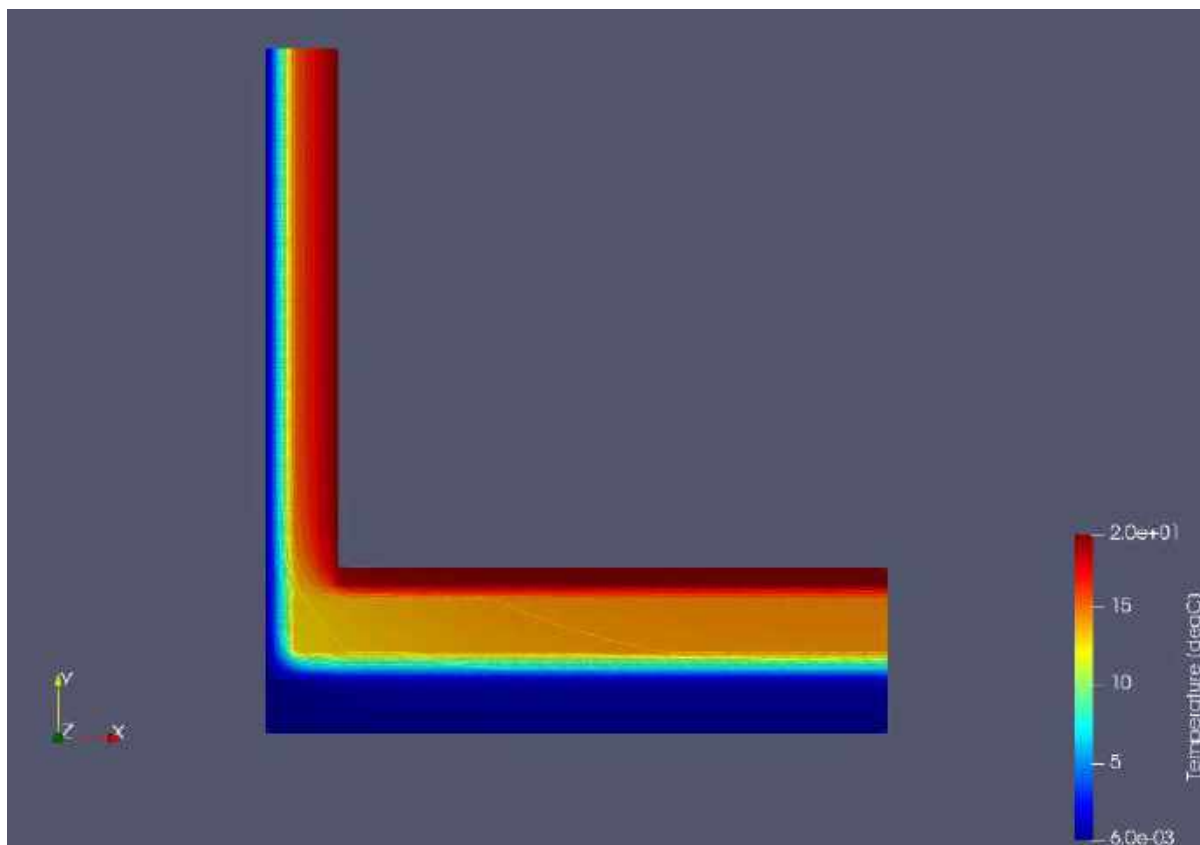
U ovom slučaju mijenjaju se rubni uvjeti jer se radi o spoju s tlom.

Kao rubni uvjet, tlo se do dubine od 0,80 m i dalje smatra kao vanjski prostor. Prema Propisu, na dubinama većim od 0,80 m, kao što su podrumi, mijenjaju se temperaturni uvjeti i više ne dolazi do smrzavanja tla.

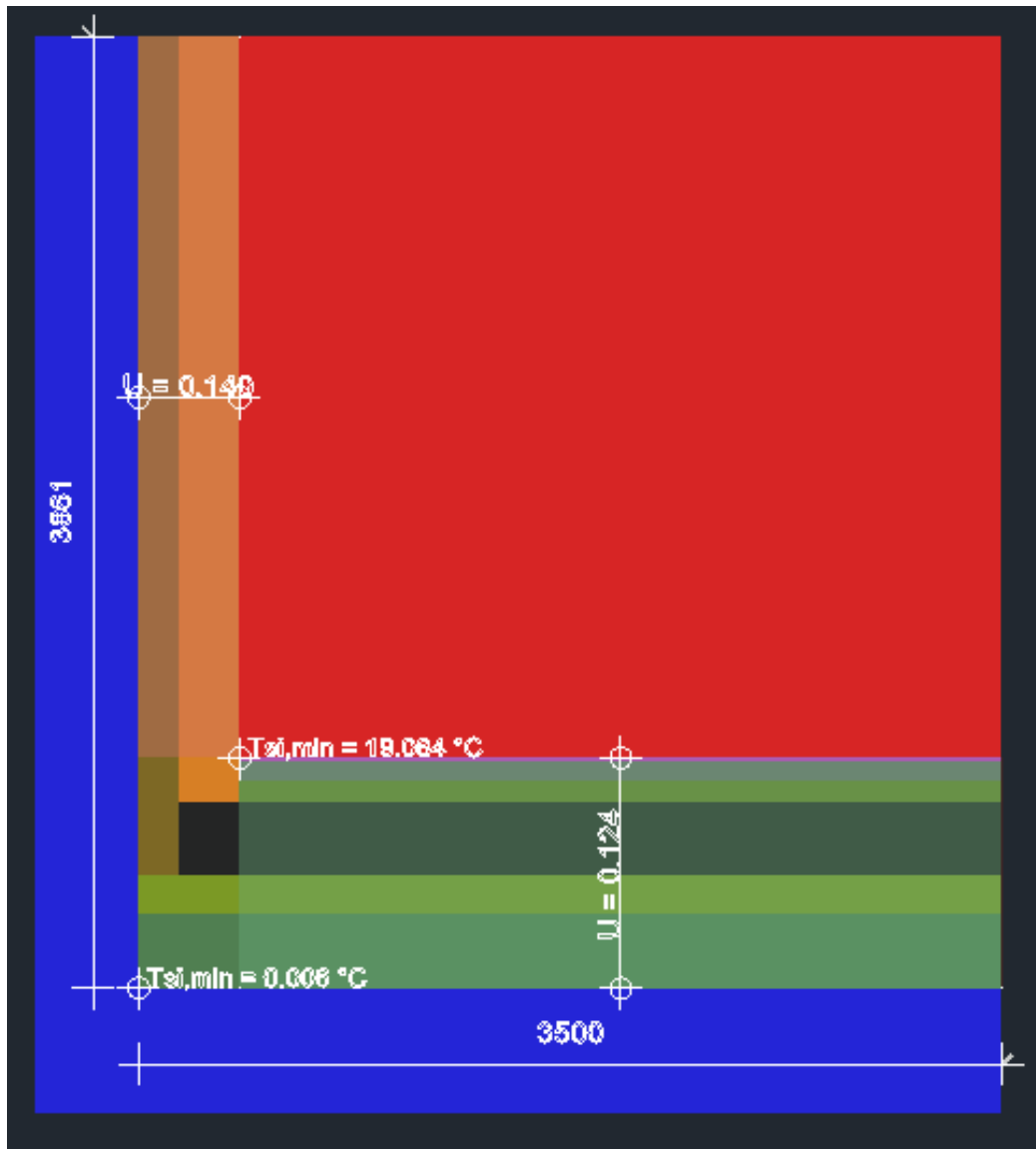
Također, u tlu nema izmjene topline strujanjem, već samo vođenjem, stoga se plošni koeficijent prijelaza topline strujanjem - h_{si} uzima kao 0. Dok je prijenos topline vođenjem uzima preko koeficijenta toplinske vodljivosti kako je definirano u ulaznim podacima materijala.

Tablica 6.17 Rubni uvjeti - Detalj 6

Prostor	h [W/(m K)]	T [°C]	RH [W/m ² K]
unutarnji prostor	8,00	20,00	60,00
vanjski prostor - tlo	0,00	0,00	90,00



Slika 6.20 Temperaturna raspodjela - Detalj 6



Slika 6.21 Detalj topnskog mosta - Detalj 6

Tablica 6.18 Rezultati - Detalj 6

	ψ	$\theta_{si,min} [^{\circ}C]$	f_{Rsi}
Detalj 6	-0,1021	19,064	0,953

6.2 Rekapitulacija rezultata

Tablica 6.19 Karakteristične vrijednosti toplinskih mostova

	ψ	$\theta_{si,min} [^{\circ}C]$	$\theta_{si,min,dop} [^{\circ}C]$	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min,dop}$	
Detalj 1	0,2220	17,883	16,7	0,880	0,884	✓
Detalj 2	0,1083	17,885		0,894		✓
Detalj 3	0,0254	19,465		0,973		✓
Detalj 4	-0,0238	18,224		0,911		✓
Detalj 5	0,0130	19,045		0,952		✓
Detalj 6	-0,1021	19,064		0,953		✓

Faktor temperature na unutarnjoj površini, f_{Rsi} , računa se prema izrazu $f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si}-\theta_e)}{(\theta_i-\theta_e)}$. Unutarnja temperatura (20°C) i vanjska temperatura (0°C) su ulazni parametri, a minimalna unutarnja temperatura na površini se očitava iz Paraview softvera.

- Detalj 1 $f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si}-\theta_e)}{(\theta_i-\theta_e)} = \frac{(17,883-0)}{(20-0)} = 0,894$
- Detalj 2 $f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si}-\theta_e)}{(\theta_i-\theta_e)} = \frac{(17,885-0)}{(20-0)} = 0,894$
- Detalj 3 $f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si}-\theta_e)}{(\theta_i-\theta_e)} = \frac{(19,465-0)}{(20-0)} = 0,973$
- Detalj 4 $f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si}-\theta_e)}{(\theta_i-\theta_e)} = \frac{(18,224-0)}{(20-0)} = 0,911$
- Detalj 5 $f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si}-\theta_e)}{(\theta_i-\theta_e)} = \frac{(19,045-0)}{(20-0)} = 0,952$
- Detalj 6 $f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si}-\theta_e)}{(\theta_i-\theta_e)} = \frac{(19,064-0)}{(20-0)} = 0,953$

Definicija toplinskog mosta definira ga kao povećani prijenos topline u odnosu na ostala mjesta na ovojnici zgrade. Poželjno je da dobiveni rezultati budu što manji, odnosno što bliže nuli – u idealnoj situaciji to znači da toplinskog mosta uopće nema, tj. nema povećanog prijenosa topline preko ovojnice zgrade. Dobiveni su zadovoljavajući duljinski koeficijent prolaska topline koji se kreću oko 0.

Najveći koeficijent dobiven je za Detalj 1 – spoj balkonskih vrata i vanjskog zida. Iako je vrijednost Ψ od 0,222 dovoljno dobra, ona se još može smanjiti dodatnom toplinskom izolacijom između okvira vrata i zida.

Negativne vrijednosti toplinskog mosta mogu se interpretirati na način da je na tom mjestu toplinski tok manji u odnosu na okolno područje na ovojnici zgrade. Negativne vrijednosti koeficijenta dobivene su za Detalj 4 – spoj kosog krova i vanjskog zida i Detalj 6 – spoj poda i vanjskog zida.

6.3 Usporedba rezultata s Katalogom dobro riješenih toplinskih mostova

Utjecaj toplinskih mostova se može uzeti u obzir na nekoliko načina. U ovom radu detaljno je prikazana numerička metoda u računalnom programu Cral po HRN EN ISO 10211.

Drugi način podrazumijeva da su detalji toplinskih mostova projektirani u skladu s katalogom dobro riješenih toplinskih mostova iz Tehničkog propisa, te se kao takvima, umjesto proračuna, kao mjera opreza uveća koeficijent prolaska topline U za paušalni dodatak od $TUM = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Međutim, kako bi se utjecaj toplinskih mostova minimizirao i približio stvarnim vrijednostima, uzima se paušalni dodatak od $0,02 \text{ W/m}^2\text{K}$. Takav paušalni dodatak dopušta se samo za nove zgrade koje zadovoljavaju nZEB standarde. Za predmetnu zgradu, kod izračuna koeficijenta prolaska topline u Ki Expert-u koristio se paušalni dodatak od $0,02 \text{ W/m}^2\text{K}$. Program automatski povećava vrijednost izračunatog koeficijenta prolaska topline građevnog dijela i uvrštava u proračun toplinskih (transmisijskih) gubitaka.

U tablici 6.20 prikazana je usporedba toplinskih mostova izračunatih numeričkom metodom i vrijednostima iz propisa [15] iz koje se može vidjeti da su rezultati numerički dobivenih toplinskih mostova više nego dvostruko manji od onih iz Propisa. Također, može se zaključiti da se numerički proračun višestruko isplati provesti radi uvida u realnu situaciju potrebne energije i uštede materijala kod rješavanja toplinskih tokova.

Tablica 6.20 Usporedba rezultata toplinskih mostova

	Numerička metoda	TM iz Propisa	
			Oznaka TM
Detalj 1	0,2220	0,70	B4
Detalj 2	0,1083	0,70	B4
Detalj 3	0,0254	0,40	R4
Detalj 4	-0,0238	0,55	R1
Detalj 5	0,0130	0,70	IF4
Detalj 6	-0,1021	0,75	GF4

7 Higrotermalno ponašanje

Higrotermalno ponašanje odnosi se na kretanje vlage i topline kroz ovojnicu zgrade. Uvjeti za transport vlage su poroznost i propusnost materijala, što gotovo svaki građevinski materijal zadovoljava. Prodor vlage kroz građevni element može se događati putem tla kapilarnim procesom, putem oborina nošenih vjetrom, ali iz unutrašnjeg prostora prema vanjskom prilikom kuhanja, tuširanja, sušenja veša i mnogih drugih aktivnosti koje uključuju upotrebu vode. U novim zgradama može doći do naknadnog isušivanja zaostale vlage u građevinskim materijalima.

Prema statističkim podacima u Hrvatskoj, 75-90 % građevinskih šteta je uzrokovano vlagom. Dugotrajna i pretjerana količina vlage u građevnim elementima uvijek rezultira građevinskom štetom koja započinje kondenzacijom vlage, smanjenjem toplinsko izolacijskih sposobnosti materijala, a zatim slijedi pojava gljivica i plijesni, neugodan miris vlage, opadanje žbuke, iscvjetavanje soli na površini zidova, a u krajnjem slučaju može doći i do konstruktivnih oštećenja zgrade u vidu korozije ili truljenja drvenog materijala. Vлага se u građevnim dijelovima može zadržavati u tekućem ili plinovitom stanju, a šteta nastaje u slučaju kada se prolaz vlage blokira i ona se počinje nakupljati.

Kako je proces kretanja vlage, i topline, prirodna pojava i ne može se zaustaviti, može se ispravno projektirati na način da ne dolazi do prekomjernog zadržavanja vlage unutar građevinskih materijala. Potrebno je omogućiti kretanje vlage uspostavom ispravnog fizikalnog procesa pravilnim odabirom i redosljedom građevinskih materijala.

Idealni materijali za su oni koji propuštaju vlagu u obliku pare, ali ne i tekućine. Redosljed paropropusnih slojeva povoljniji je kada su više paronepropusniji slojevi s unutarnje strane, a paropropusniji sa vanjske strane elementa. Kod vanjskih zidova i krovova treba izbjegavati postavljanje paronepropusnih slojeva s vanjske strane jer će oni zaustaviti ili usporiti difuziju vodene pare.

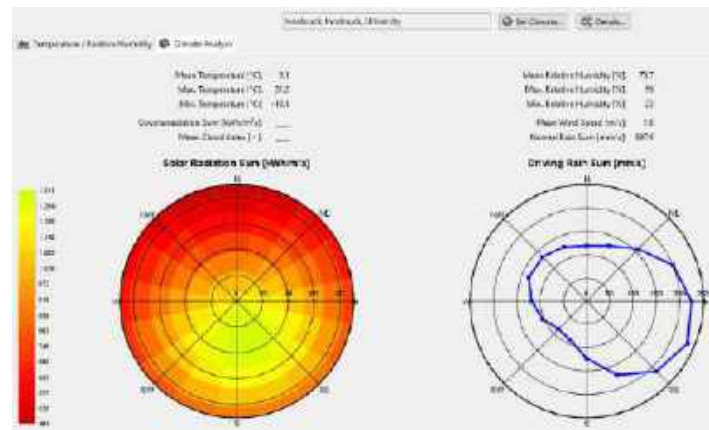
7.1 Proračun higrotermalnog ponašanja

Za proračun količine vlage u predmetnoj zgradi korišten je WUFI 6 računalni program koji uzima u obzir sve mehanizme kretanja vlage: prijenos difuzijom vodene pare, sorpciju vodene pare i kapilarni protok te apsorbiranu vodu u građevinskim materijalima. U obzir se uzimaju klimatski uvjeti podneblja, unutarnja i vanjska temperatura i vlažnost zraka.

Za promatranu zgradu proveden je proračun za kosi krov, vanjski zid i pod na tlu.

Kao ulazni podaci korišteni su slojevi za navedeni građevni element. Međutim, kako katalog materijala u WUFI-u nema identične materijale koji su korišteni za predmetnu zgradu, odabranu su materijali najbližijih karakteristika.

Nakon odabira materijala bira se geografski najnepovoljnija orijentacija u pogledu kiše nošene vjetrom. Informacije korištene za taj podatak uzimaju se s najbliže mjerne stanice koja je dostupna u programu - grad Innsbruck u Austriji. Najnepovoljnija orijentacija na toj lokaciji smatra se jugoistok kako je prikazano na slici 7.1



Slika 7.1 Klimatski uvjeti

Potrebno je definirati i period promatranja ponašanja zgrade. Za potrebe proračuna odabran je proračunski period od 10 godina kako je prikazano na slici 7.2:

Start_End / Profiles			
Calculation	Profiles	Date	Hour
Start	Profile 1	1.10.2023.	0:00:00
End	Profile 2	1.10.2033.	0:00:00

Slika 7.2 Proračunski period

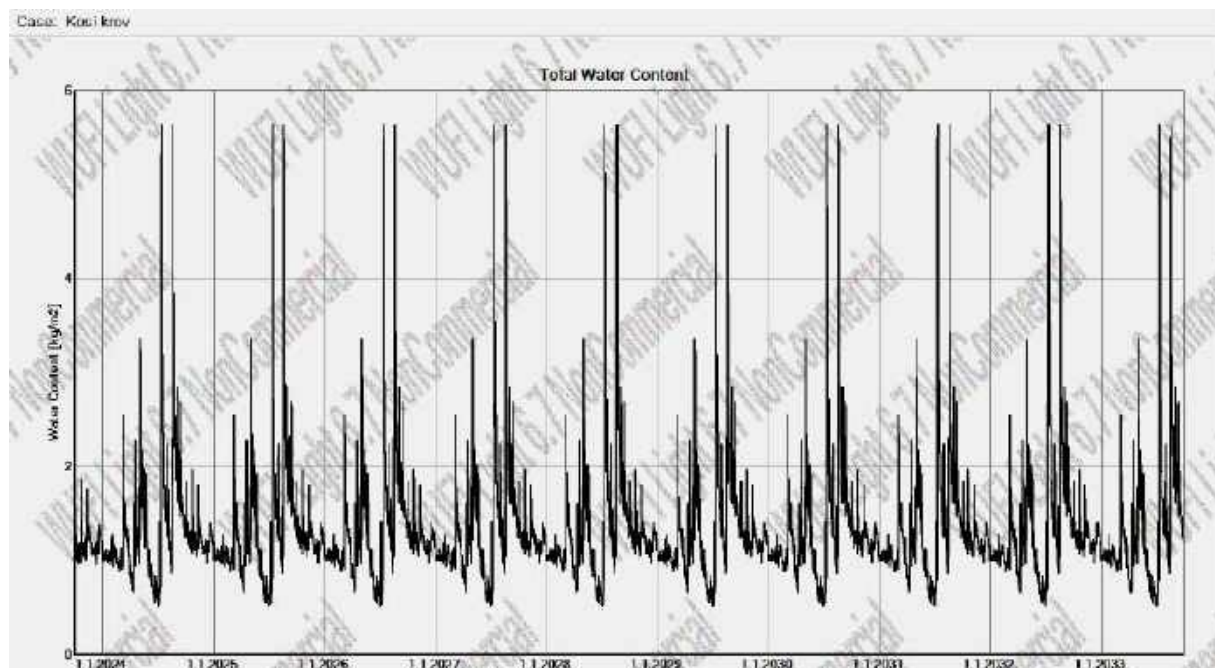
7.1.1 Kosi krov

Materijali odabrani za kosi krov prikazani su na slici 7.3, kao i podaci o unutarnjoj temperaturi i vlažnosti zraka.

Initial Relative Humidity [-]		0,8	Initial Temperature in Component [°C]		20
Initial Water Content in Different Layers					
No.	Material Layer	Thickn. [m]	Water Content [kg/m ³]		
1	Solid Brick Masonry	0.023	18.0		
2	Air Layer 80 mm	0.08	1.80		
3	LDS 0.04	0.0002	0.0		
4	Wood-Fibre Insulation Board	0.015	18.0		
5	ROCKWOOL COMFORTBATT	0.2	0.07		
6	Glasswool	0.08	0.5		
7	vapour retarder (sd=20m)	0.0002	0.0		
8	Gypsum Board	0.0125	6.3		

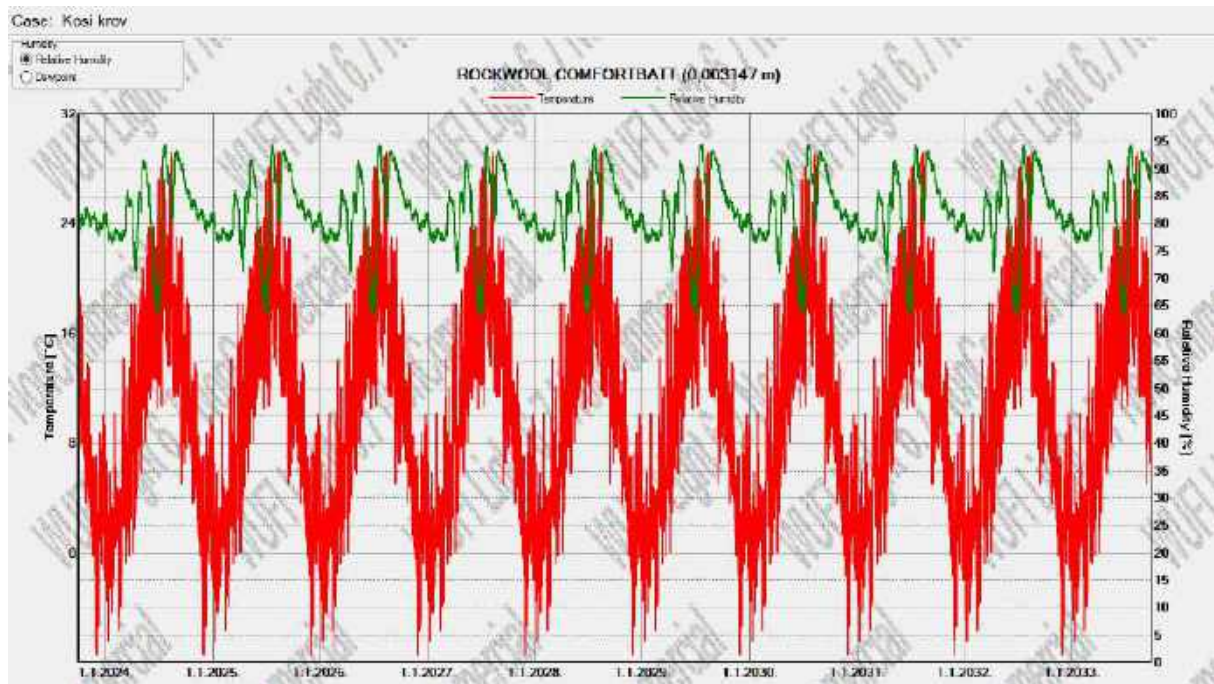
Slika 7.3 Ulazni podaci - kosi krov

Na slikama 7.4 – 7.6 slijede rezultati proračuna za kosi krov:



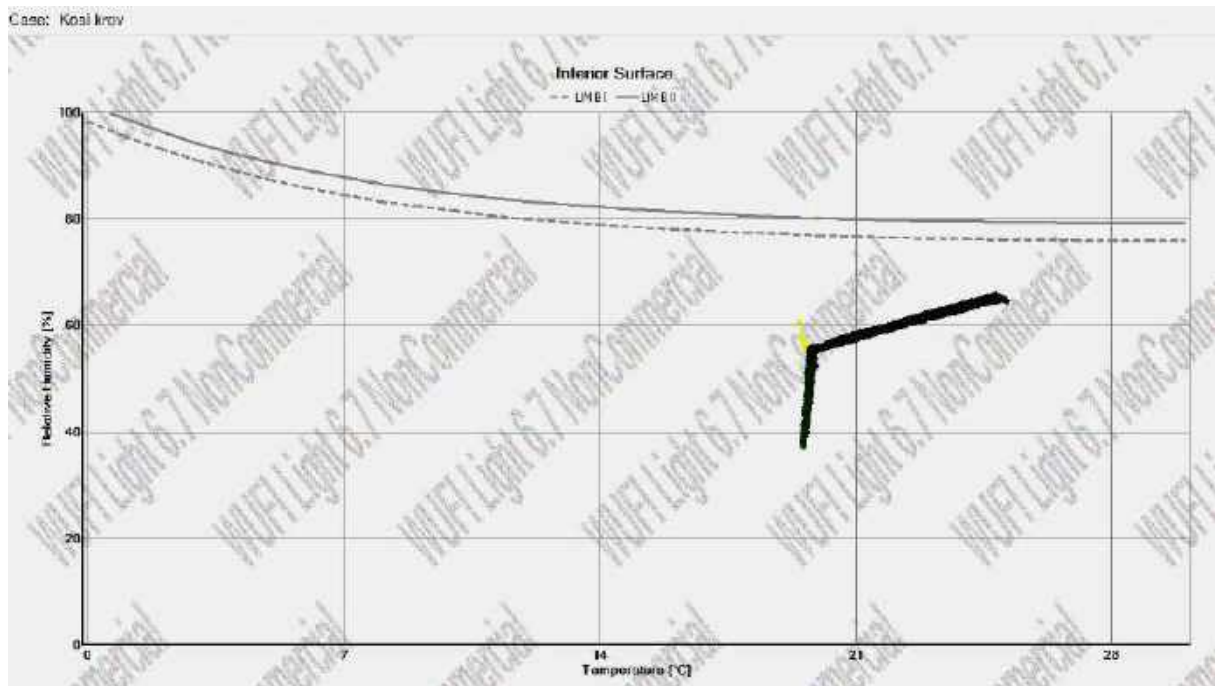
Slika 7.4 Ukupni sadržaj vlage - kosi krov

Na prikazanoj slici vidi se kako je ukupni sadržaj vlage kontinuiran i ima isto ponašanje svake godine. Dijelovi grafa na kojima su pikovi na vrhuncu mogu se pripisati kišnom razdoblju godine, no bitno je da se u ljetnim mjesecima vlaga isuši do normalne razine i ne dolazi do njezina nakupljanja.



Slika 7.5 Kontakt izolacije s podlogom - kosi krov

Kontakt izolacijskog materijala i podloge predstavlja pogodno mjesto za nakupljanje vlage stoga ga treba posebno promotriti. Mineralna vune se može postavljati direktno na podlogu, bez ljepljenja, i za takav slučaj postavljen je uvjet maksimalno dopuštene relativne vlažnosti od 85 %. Stanje relativne vlažnosti na dodiru kamene vune i drvene podloge prikazan je na slici 7.5. Može se vidjeti kako relativna vlažnost, prikazana zelenom bojom, skoro doseže i vrijednosti od 95 % što prelazi dopuštenu vrijednost od 85 %. To može rezultirati nakupljanju vlage i uzrokovati građevinsku štetu. Kako bi se spriječio taj scenarij, moguće je odabrati materijale, u ovom slučaju drugu vrstu DHF drvenih ploča, s manjim faktorom otpora difuzije vodene pare kako se prolaz vlage ne bi blokirao na dodiru s izolacijom.



Slika 7.6 Izoplete na unutarnjoj površini - kosi krov

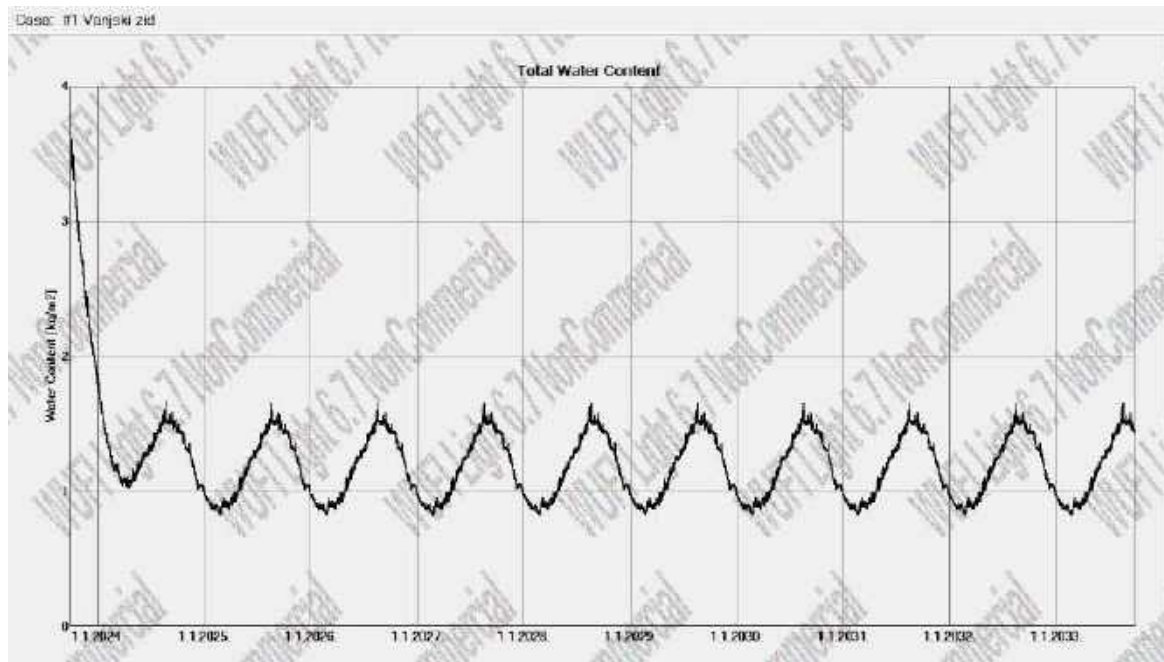
Na slici 7.6 vidljive su izoplete kroz proračunsko vrijeme od 10 godina. One predstavljaju odnos između relativne vlažnosti i temperature na unutarnjoj površini. Sve izoplete nalaze se ispod kritičnih krivulja iznad kojih se ostvaruju uvjeti za razvoj gljivica i plijesni.

7.1.2 Vanjski zid

Materijali odabrani za vanjski zid prikazani su na slici 7.7:

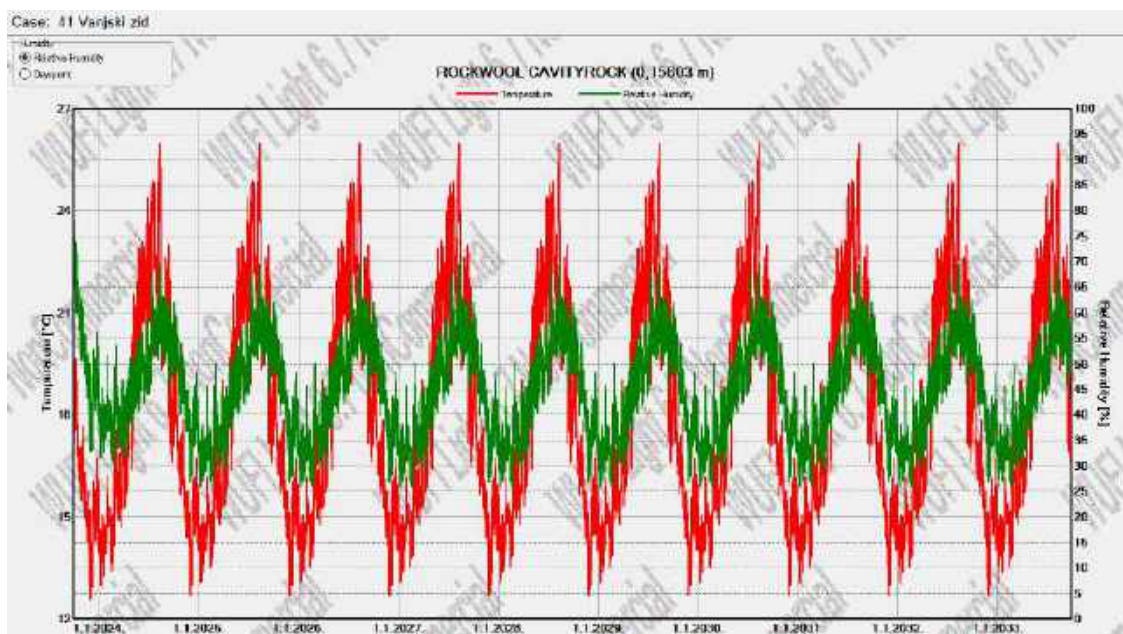
Initial Relative Humidity [-]	<input type="text" value="0,8"/>	Initial Temperature in Component [°C]	<input type="text" value="20"/>
Initial Water Content in Different Layers			
No.	Material Layer	Thickn. [m]	Water Content [kg/m ³]
1	Knauf Conni S 2.0 auf SM700	0,002	15,9
2	ROCKWOOL CAVITYROCK	0,16	0,2
3	Brick 800	0,25	13,0
4	Lime Cement Mortar, fine	0,015	25,66

Slika 7.7 Ulazni podaci - vanjski zid



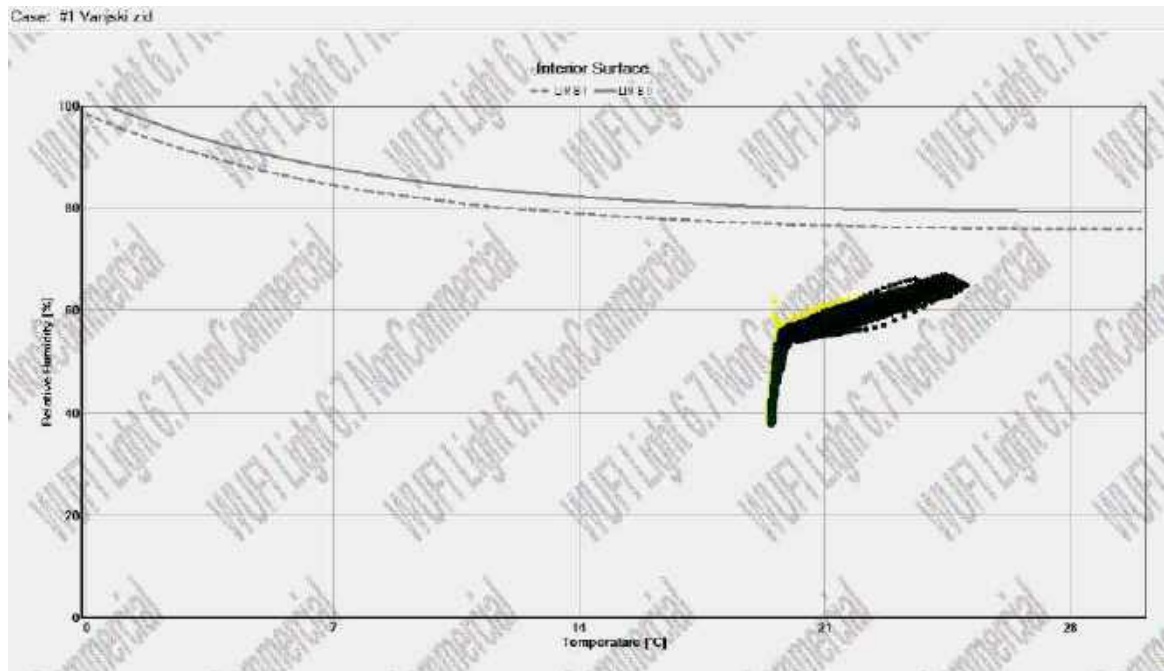
Slika 7.8 Ukupni sadržaj vode - vanjski zid

Ukupni sadržaj vlage kroz vanjski zid prikazan je na slici 7.8. Iz grafa se vidi kako u prvoj godini dolazi do znatnog isušivanja kao posljedica isparavanja građevinske vode. Već u drugoj godini postiže se dinamička ravnoteža s periodima vlaženja i sušenja. Nema nakupljanja vlage u promatranom period.



Slika 7.9 Kontakt izolacije s podlogom - vanjski zid

Stanje relativne vlažnosti na kontaktu kamene vune i opeke prikazano je na slici 7.9. Relativna vlažnost prikazana zelenom bojom, kreće se oko 55 % što zadovoljava kriterij od maksimalno dopuštene relativne vlažnosti od 85 %.



Slika 7.10 Izoplete na unutarnjoj površini - vanjski zid

Promatrane izoplete, prikazane na slici 7.10, nalaze se ispod graničnih vrijednosti te nema opasnosti od pojave plijesni i gljivica na unutarnjoj površini zida.

7.1.3 Pod na tlu

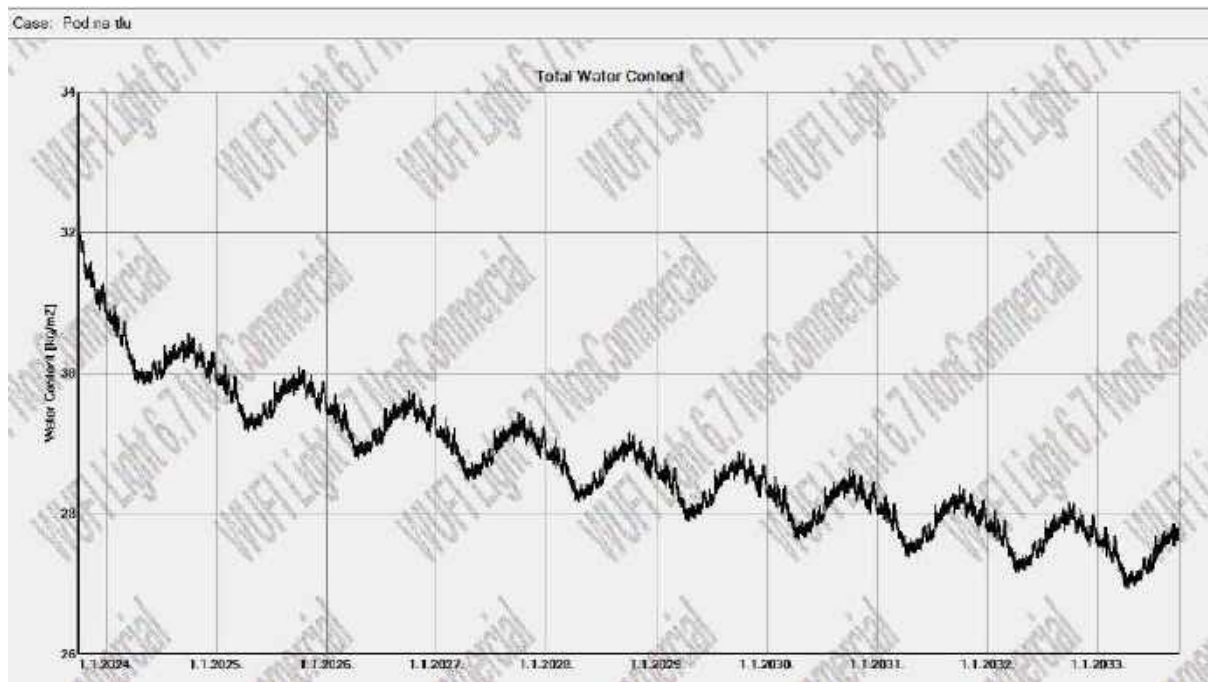
Materijali odabrani za pod na tlu prikazani su na slici 7.11:

Initial Relative Humidity [-] Initial Temperature in Component [°C]

Initial Water Content in Different Layers

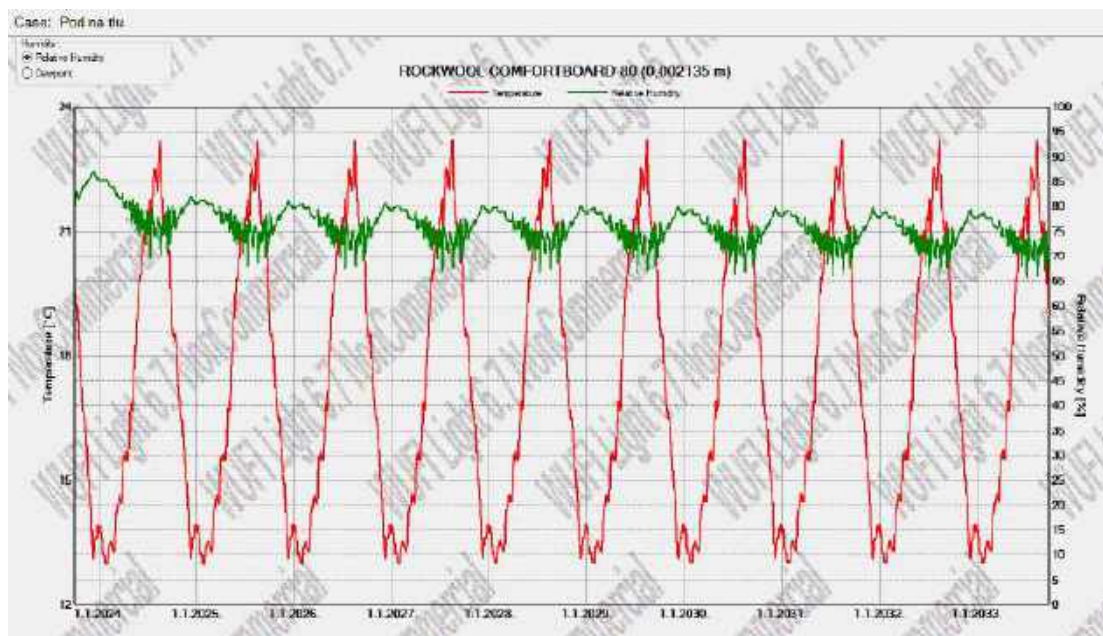
No.	Material Layer	Thickn. [m]	Water Content [kg/m ³]
1	generic gravel	0.30	5.0
2	Expanded Polystyrene Insulation	0.16	0.12
3	Concrete, w/c=0.5	0.3	85.0
4	Bituminous Paper (#15 Felt)	0.01	0.0
5	ROCKWOOL COMFORTBOARD 80	0.08	0.7
6	PE-Membrane 0,2 mm (sd = 87 m)	0.0002	0.0
7	Concrete, C12/15	0.08	53.0
8	Hardwood	0.01	98.0

Slika 7.11 Ulazni podaci - pod na tlu



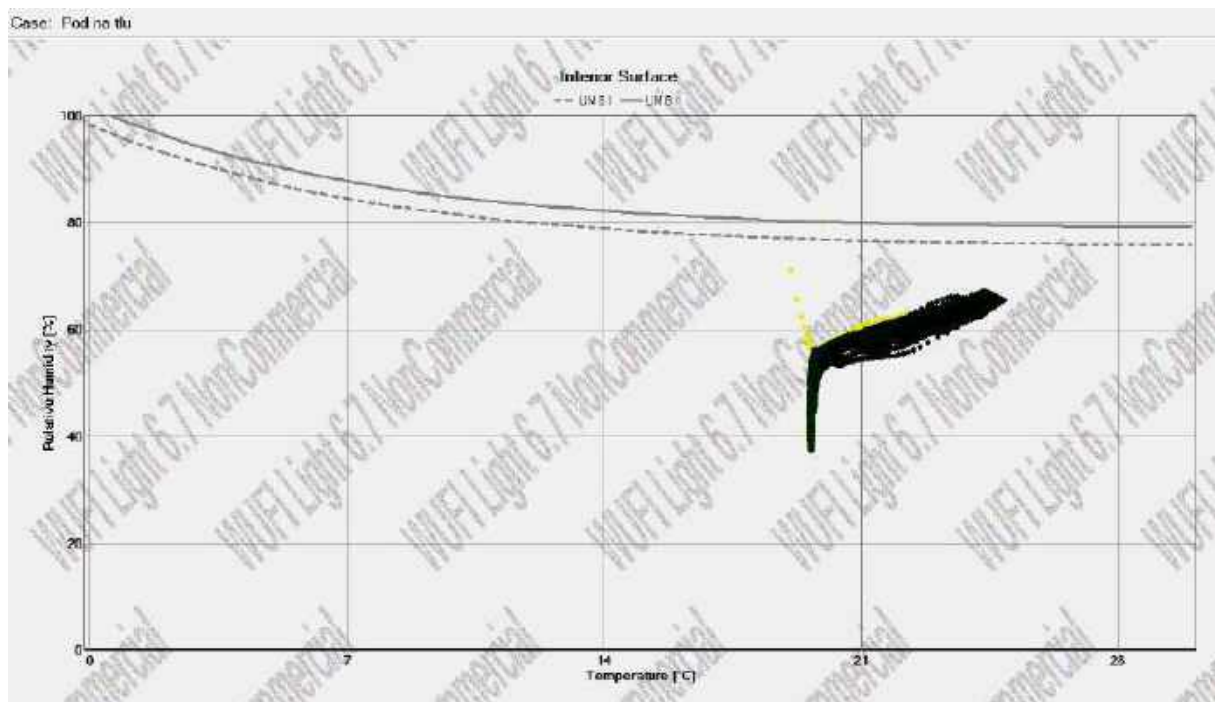
Slika 7.12 Ukupni sadržaj vlage - pod na tlu

Na slici 7.12 prikazan je ukupni sadržaj vlage tijekom promatranog perioda. Na grafu se može primjetiti da se tijekom godina građevni element isušuje te nema opasnosti od pojave nakupljanja vode u slojevima.



Slika 7.13 Kontakt izolacije s podlogom - pod na tlu

Na slici 7.13 prikazano je stanje relative vlažnosti na kontaktu kamene vune i podlog. Relativna vlažnost tijekom promatranog perioda ima tendenciju smanjenja što uzrokuje isušivanje elementa.



Slika 7.14 Izoplete na unutarnjoj površini - pod na tlu

Odnos relativne vlažnosti i temperature na unutarnjoj podlozi, u ovom slučaju parketu, nalazi se unutar dopuštenih vrijednosti. Izoplete, odnosno točkice koje se ističu na grafu, svijetlije su boje i označavaju uvjete na početku proračuna. Njihovo isticanje može se se objasniti većom količinom vlage u prvih godinu dana izgradnje. Međutim, kroz godine, stanje se normalizira i nema opasnosti od kondenzacije vlage.

8 Zaključak

U današnjem svijetu, gdje potrošnja energije, napretkom tehnologije i industrije, postaje sve veća, pronalaženje načina za njezino smanjenje postaje pravi izazov. Istodobno, građevinski sektor predstavlja veliki neiskorišteni potencijal energetske učinkovitosti kao odgovor na klimatske i ekološke izazove.

Izvršeni su proračuni potrebne energije za zgradu, emisija stakleničkih plinova, toplinskih mostova te higrotermalnog ponašanja zgrade s ciljem projektiranja objekta koji zadovoljava ZEB kriterije.

Dobivena potrebna energija za grijanje predmetne zgrade iznosi $Q''_{H,nd} = 36,40$ kWh/m², što zadovoljava uvjete od maksimalno dopuštenog kriterija od 56,61 kWh/m². Nadalje, godišnja potrebna energija za hlađenje $Q''_{C,nd} = 43,06$ kWh/m², a najveća dopuštena vrijednost iznosi 50 kWh/m². Rezultat godišnje primarne energije po jedinici ploštine iznosi $E_{prim} = 14,98$ kWh/m² što zadovoljava postavljeni uvjet od maksimalno dopuštenih 45 kWh/m².

Niska vrijednost primarne energije pokazatelj je dobro iskorištenih potencijala obnovljive energije: zraka i Sunca. No, u cilju postizanja ZEB kriterija, ova vrijednost je i dalje nezadovoljavajuća. Iako uvjeti zadovoljavaju granične vrijednosti iz propisa, i dalje ima mjesta za smanjenje vrijednosti potrebne i primarne energije. Općenito, smanjenje potrebne energije može se ostvariti ugradnjom učinkovite mehaničke ventilacije s rekuperatorom topline i kvalitetnom izvedbom izolacije zgrade. Smanjiti primarnu energiju, odnosno, svesti ju na nulu ili negativnu vrijednost, može se postići isključivo iskorištavanjem obnovljivih izvora. Kombinacijom različitih vrsta toplinskih dizalica i solarnih panela, takav scenarij je moguće postići i biti korak bliže cilju stvaranja mreže koja se napaja iz obnovljivih izvora.

Proračun procjene životnog ciklusa - LCA, kao nova vrsta proračuna ima još mjesta za napredak i usavršavanje. Iako granične vrijednosti još nisu određene u hrvatskim propisima, prema danskim kriterijima dobiveni rezultati ne zadovoljavaju. Naime, dobiveni rezultat od 17,40 kgCO₂eq/m² veći je za otprilike 30 % od dopuštene vrijednosti prema danskim kriterijima od 12 kgCO₂eq/m².

U cilju smanjenja emisija stakleničkih plinova može se pristupiti s različitim aspektima. Na samom početku, zgradu je poželjno projektirati s materijalima niske emisije. Veća upotreba recikliranih i prirodnih materijala, poput drveta, mogu znatno smanjiti emisije tijekom proizvodnje i izgradnje. Korištenje manjih količina materijala i onih koji su lokalno dostupni može pridonijeti istom cilju. Odabirom zelenih krovova umjesto klasičnih ima iznimno povoljan utjecaj na smanjenje emisije. Naravno, u životnom ciklusu zgrade, veliku emisiju stvara energija koja otpada na održavanje i korištenje zgrade stoga je potrebno sagledati potrebnu energiju i način na koji se isporučuje. Na kraju životnog ciklusa, poželjno je što veći dio materijala ponovo upotrijebiti.

Rezultati toplinskih mostova su zadovoljavajući – duljinski koeficijenti prolaska topline teže nuli i kreću se u rasponu od -0,0103 do 0,2220. Usporedbom rezultata dobivenih numeričkim proračunom i onih iz kataloga toplinskih mostova, može se zaključiti da je izračun

toplinskih mostova doista potreban ukoliko je cilj smanjenje potrošnje energije i materijala, iz ekonomičnih i ekoloških razloga.

Zadovoljavajući rezultati toplinskih mostova postignuti su upotrebom građevinskih elemenata koji su izolacijski ojačani od ostalih dijelova ovojnice i prekidaju tok topline – Schöck Isokorb. U ovom primjeru koristio se samo tip za balkone za Detalj 1 i Detalj 2, no postoje slična rješenja i za druge oblike spojeva elemenata. Nadalje, od iznimne je važnosti dobro brtvljenje okvira vrata i prozora s izolacijskim materijalima i pur pjnom. Prilikom prve iteracije proračuna Detalja 1, izolacija okvira vrata nije uzeta u obzir i toplinski most je iznosio približno 4, ugradnjom pur pjene i mineralne vune oko okvira, koeficijent se spustio na 0,2220.

Ovojnica zgrade ima veliku ulogu i u procesu kretanja vlage. Rezultati za higrotermalno ponašanje u trajanju od 10 godina pokazuju da u zgradi nema velike opasnosti od nakupljanja vlage i pojave plijesni. Ukupni sadržaj vlage za sva tri promatrana elementa se ne povećava kroz promatrano razdoblje od 10 godina, a pretpostavka je da se taj trend nastavlja i dalje.

Kritični dijelovi u svakom elementu odnose se na kontakt izolacije i podloge. Uvjet koji mora biti zadovoljen je $RH < 85\%$ za slobodno oslonjenu toplinsku izolaciju. Relativna vlažnost izolacije u elementu vanjskog zida je oko 55 %. Relativna vlažnost u sloju izolacije poda na tlu kreće se oko 75 %. Dok relativna vlažnost na kontaktu izolacije i podloge unutar kosog krova kreće se u rasponu od 65 % do 95 %, ovisno o godišnjem dobu. Rezultat od 95% vlage u zraku može biti zabrinjavajuć. Naime, kosi krov nalazi se iznad negrijanog tavana, a niže temperature zraka imaju manji kapacitet zaprimanja vlage pa prije dolazi do kondenzacije. U ovom slučaju, prosječna temperatura, prema proračunu iznosi 16°C. Za temperaturu od 16°C i relativnu vlagu od 95 %, temperatura rosišta iznosi 15.5°C što je samo pola stupnja manje da dođe do pojave kondenzacije vodene pare.

Ugradnjom materijala koji su više paropropusni postiže se nesmetano cirkuliranje zraka kojim se odnosi i višak vodene pare. Materijali kao pamete parne brane dopuštaju difuziju vodene pare u jednom smjeru, dok blokiraju u drugom. Imaju prilagodljivu paropropusnost koja ovisi o količini vlage i temperature u prostoru. Zimi je temperatura i sadržaj vlage unutar prostora viši od istih parametara vanjskog zraka, pa tok topline i vlage kreće se iz prostora prema van. Zimi treba spriječiti ulazak vodene pare u konstrukciju, tako da se iza unutarnje obloge, a ispred izolacijskog sloja, postavlja parna brana. Ljeti, kada je tok topline i vlage iz vanjskog prostora prema unutarnjem, ta ista brana propušta vodenu paru kroz cijeli element. U protivnom, vodena para bi ušla u element i zaustavila se na običnoj parnoj brani i došlo bi do kondenzacije.

Važnost navedenih proračuna leži u smanjenju potrošnje energije i emisija CO₂eq, povećanju energetske učinkovitosti postojećih i budućih zgrada, održavanju udobnosti i ugodnosti stanovanja te smanjenju građevinske štete i mjesečnih troškova. Svaki od ovih čimbenika mora biti zadovoljen kako bi se proizvela zgrada koja je energetska učinkovita, ekološki izvediva, trajna i zdrava. Mjere za smanjenje energetske potreba od velike su važnosti jer je lakše uštedjeti energiju nego je proizvesti.

9 Popis literature

- [1] Zakon o gradnji. [2013]. [Na internetu]. NN 153/2013. Dostupno: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_12_153_3221.html [pristupano: 2.10.2023.].
- [2] Fonda za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, Energetska obnova višestambenih zgrada. [Na internetu]. Dostupno: <https://www.fzoeu.hr/hr/energetska-obnova-visestambenih-zgrada/7683>, [Pristupano: 5.10.2023.].
- [3] Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine, Energetska obnova zgrada, [Na internetu]. Dostupno: <https://mpgi.gov.hr/o-ministarstvu/djelokrug/energetska-ucinkovitost-u-zgradarstvu/energetska-obnova-zgrada-8321/8321> [Pristupano: 5.10.2023.].
- [4] Smjernice za zgrade gotovo nulte energije drugi dio (2019.) [Na internetu]. Dostupno: [//efaidnbmnnnibpajpcgiclfndmkaj/https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Smjernice_2_dio_nZEB_mgipu.pdf](https://efaidnbmnnnibpajpcgiclfndmkaj/https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Smjernice_2_dio_nZEB_mgipu.pdf), [Pristupano: 10.10.2023.].
- [5] Hrvatski savjet za zelenu gradnju. Putokaz za dekarbonizaciju zgrada u RH, 2022., [Na internetu]. Dostupno: <file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/%23BuildingLife%20PUTOKAZ.pdf>, [Pristupano: 13.10.2023.].
- [6] Direktiva europskog parlamenta i vijeća o zajedničkim pravilima za unutarnje tržište plinova iz obnovljivih izvora i prirodnih plinova i vodika, Bruxelles, 15.12.2021., [Na internetu]. Dostupno: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcgiclfndmkaj/https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023PC0515>, [Pristupano: 15.10.2023.].
- [7] The Norwegian Research Centre on Zero Emission Buildings, [Na internetu]. Dostupno: <http://www.zeb.no/index.php/en/about-zeb/about-the-zeb-centre>, [Pristupano 7.10.2023.].
- [8] Maduta C, Melica G, D'Agostino D, Bertoldi P. Towards a decarbonised building stock by 2050: The meaning and the role of zero emission buildings (ZEBs) in Europe. (2022.), [Na internetu]. Dostupno: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X22002036> [pristupano: 15.11.2023.].
- [9] Maduta C, Melica G, D'Agostino D, Bertoldi P., Defining zero-emission buildings, EUR 31382 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023 n.d., [Na internetu]. Dostupno: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129612> [Pristupano 15.11.2023.].
- [10] Pravilnik o energetske certifikiranju zgrada (2013-2017). [Na internetu]. NN 36/2010. Dostupno: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_03_36_930.html [pristupano: 11.10.2023.].
- [11] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. [2015-2020]. [Na internetu]. NN 102/2020. Dostupno: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_09_102_1922.html [Pristupano 5.1.2023.].

- [12] Banjad Pečur I., Skazlić M., Posebni betoni i tehnologije, predavanje 09 Recikliranje (2021), Građevinski fakultet u Zagrebu. [Na internetu]. Dostupno: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/09_PBT_Recikliranje.pdf [Pristupano: 10.10.2023.].
- [13] N.Mahasenana, S.Smith, K.Humphreys, The Cement Industry and Global Climate Change: Current and Potential Future Cement Industry CO2 Emissions (2007). [Na internetu]. Dostupno: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780080442761501574?via%3Dihub>, [Pristupano: 15.10.2023.].
- [14] Nordic Sustainable Construction, 2023., [Na internetu]. Dostupno: <https://nordicsustainableconstruction.com/news/2023/january/denmark-introduces-co2-limit-for-new-constructions>. [Pristupano 8.11.2023.].
- [15] Toplinski mostovi u zgradarstvu -- Linearni koeficijent prolaska topline - Pojednostavljene metode i zadane utvrđene vrijednosti, [Na internetu]. HRN EN ISO 14683:2008. Dostupno: <https://repositorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+ISO+14683%3A2008>.
- [16] Milovanović B., Građevinska fizika, predavanje 07. (2016.) , Građevinski fakultet u Zagrebu. [Na internetu]. Dostupno: www.grad.unizg.hr/_download/repository/07._predavanje_-_toplinski_mostovi.pdf, [Pristupno: 1.11.2023.].