

Obnova zgrade do razine zgrade nulte emisije

Bačvar, Vlatka

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:237:540030>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-08**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAĐEVINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Obnova zgrade do razine zgrade nulte emisije

Zagreb, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAĐEVINSKI FAKULTET



DIPLOMSKI RAD

Obnova zgrade do razine zgrade nulte emisije

Mentor:

izv.prof.dr.sc. Bojan Milovanović

Student:

Vlatka Bačvar

Zagreb, rujan 2023.

UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING



MASTER'S THESIS
Renovation to the zero emissions building level

Mentor:

izv.prof.dr.sc. Bojan Milovanović

Student:

Vlatka Bačvar

Zagreb, September 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, rujna 2023.

Vlatka Bačvar, univ.bacc.ing.aedif.



TEMA DIPLOMSKOG RADA

Ime i prezime studenta: **Vlatka Bačvar**

JMBAG: **0082059098**

Diplomski rad iz predmeta: **Građevinska fizika**

Naslov teme
diplomskog rada:

HR	Obnova zgrade do razine zgrade nulte emisije
ENG	Renovation to the zero emissions building level

Opis teme diplomskog rada:

U diplomskom radu potrebno je istražiti potencijal energetske obnove, kao sastavnog dijela sveobuhvatne obnove obiteljske kuće i to do razine zgrade nulte emisije. Pregledom dostupne literature utvrditi će se mogućnosti i ograničenja energetske obnove obiteljske kuće, te će se definirati koncept energetske obnove usmjeren prvenstveno na vanjsku ovojnicu zgrade. Na temelju postojećih arhitektonskih podloga, izraditi će se BIM model zgrade korištenjem odgovarajućih računalnih paketa. Predložene mjere potrebno je analizirati s tri različita aspekta: i) potrebna energija za grijanje i hlađenje zgrade do razine zgrade gotovo nulte energije; ii) utjecaj toplinskih mostova; iii) dugoročno higrotermalno ponašanje te iv) proračun emisije CO₂eq plinova tijekom cjelokupnog životnog vijeka zgrade. Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje potrebno je provesti koristeći satnu metodu proračuna kako je definirano u Algoritmu za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790. Proračun vrijednosti toplinskih mostova i dugoročnog transporta mase provesti će se korištenjem numeričkih modela. Diplomski rad rezultirati će s definiranim potencijalom energetske obnove zgrade, i to u vidu smanjenja potrošnje energije, povećanja unutarnje ugodnosti te smanjenje rizika pojave građevinske štete, kao i definiranim utjecajem na okoliš zgrade u njezinom cjelokupnom životnom vijeku.

Datum: **14.4.2023.**

Komentor:

(Ime i prezime komentora)

Mentor:

izv.prof. Bojan Milovanović

(Ime i prezime mentora)

(Potpis mentora)

Sadržaj	
Popis slika.....	III
Popis tablica.....	VI
Sažetak.....	1
Abstract.....	2
1. Uvod.....	3
2. Zgrade nulte emisije.....	6
2.1. Metodološki aspekt ZEB koncepta.....	7
2.2. Danski kriterij.....	8
3. Tehnički opis.....	9
3.1. Uvod.....	9
3.2. Elementi građevine.....	12
3.3. Postojeći nacrti i fotodokumentacija.....	14
4. Proračun geometrijskih karakteristika zgrade.....	18
4.1. Prikaz BIM modela.....	18
4.2. Geometrijske karakteristike zgrade.....	20
5. Slojevi građevnih dijelova zgrade, postojeće stanje.....	22
5.1. Zidovi.....	23
5.2. Stropne ploče.....	24
5.3. Pod na tlu.....	25
5.4. Krov.....	26
6. Proračun toplinske zaštite i racionalne uporabe energije, postojeće stanje.....	27
6.1. Ulazni podatci.....	27
6.2. Rezultati proračuna.....	33
7. Prijedlog mjera energetske obnove.....	37
7.1. Zidovi.....	37
7.2. Pod na tlu i međukatna konstrukcija.....	38

7.3.	Kosi krov	38
7.4.	Vanjska stolarija	39
7.5.	Termotehnički sustavi.....	40
8.	Slojevi građevnih dijelova zgrade, obnovljeno stanje	41
8.1.	Zidovi.....	41
8.2.	Stropne ploče	43
8.3.	Pod na tlu	44
8.4.	Krov	45
9.	Proračun toplinske zaštite i racionalne uporabe energije, obnovljeno stanje.....	47
9.1.	Koeficijenti prolaska topline	47
9.2.	Ukupni toplinski dobitci i toplinski gubitci	48
9.3.	Potrebna energija za grijanje i hlađenje.....	49
9.4.	Konačni rezultati.....	51
10.	Higrotermalno ponašanje.....	52
10.1.	Ulazni podatci.....	53
10.2.	Rezultati proračuna.....	58
11.	Proračun toplinskih mostova	63
11.1.	Detalj V1: Kosi krov.....	64
11.2.	Detalj V2: Međukatna konstrukcija.....	67
11.3.	Detalj V3: Balkon.....	70
11.4.	Detalj H1: Prozor.....	73
12.	Proračun emisije CO₂eq plinova	76
12.1.	Ulazni podatci.....	77
12.2.	Rezultati proračuna.....	78
13.	Zaključak.....	84
14.	Literatura.....	86

Popis slika

Slika 1.1. Energetska obnova obiteljske kuće [2]	3
Slika 2.1. Vremenski okvir za provedbu nZEB-a i ZEB-a [4]	6
Slika 3.1. Pogled s južne strane zgrade.....	9
Slika 3.2. Izvadak katastarske čestice [7]	10
Slika 3.3. Dozvoljeni zadovoljavajući koeficijenti prolaska topline Wm^2K za vanjski zid [8]	11
Slika 3.4. Dvostrešni krov [9].....	13
Slika 3.5. Tlocrt prizemlja	14
Slika 3.6. Tlocrt potkrovlja.....	15
Slika 3.7. A-A presjek.....	16
Slika 3.8. Jugoistočno pročelje	17
Slika 3.9. Sjeveroistočno pročelje.....	17
Slika 3.10. Jugozapadno pročelje	17
Slika 3.11. Sjeverozapadno pročelje.....	17
Slika 3.12. Krovšte	17
Slika 3.13. Pod.....	17
Slika 4.1. Tlocrt prizemlja, model, postojeće stanje	18
Slika 4.2. Tlocrt potkrovlja, model, postojeće stanje.....	19
Slika 4.3. Jugoistočno pročelje, model, postojeće stanje.....	20
Slika 4.4. Jugozapadno pročelje, model, postojeće stanje	20
Slika 4.5. Sjeveroistočno pročelje, model, postojeće stanje	20
Slika 4.6. Sjeverozapadno pročelje, model, postojeće stanje	20
Slika 6.1. Grijane i negrijane zone.....	28
Slika 6.2. Grijane i negrijane zone u presjeku	29
Slika 6.3. Kotao na drvenu sječku	32
Slika 6.4. Kombinirani bojler	32
Slika 6.5. Lipovica Ekonomik	32
Slika 6.6. Lipovica Solar.....	32
Slika 6.7. Lipovica Ekonomik članak.....	32
Slika 6.8. Lipovica Solar članak	32
Slika 6.9. Ukupni mjesečni solarni dobitci postojećeg stanja.....	34
Slika 6.10. Ukupni godišnji toplinski dobitci postojećeg stanja.....	34
Slika 6.11. Potrebna energija za grijanje i hlađenje postojećeg stanja	36
Slika 6.12. Usporedba izračunatih vrijednosti s maksimalno dopuštenima, postojeće stanje .	36

Slika 7.1. Presjek strukture ETICS sustava [14].....	37
Slika 7.2. Plivajući pod [15]	38
Slika 7.3. Aplikacija Caluwin	40
Slika 9.1. Ukupni mjesečni solarni dobitci obnovljenog stanja.....	48
Slika 9.2. Ukupni godišnji toplinski dobitci obnovljenog stanja.....	48
Slika 9.3. Potrebna energija za grijanje i hlađenje obnovljenog stanja	49
Slika 9.4. Usporedba izračunatih vrijednosti s maksimalno dopuštenima, obnovljeno stanje	50
Slika 9.5. Usporedba stanja prije i nakon obnove.....	51
Slika 10.1. Pojava kondenzacije u ravnom krovu, Ki Expert Plus	53
Slika 10.2. Vanjski klimatski uvjeti.....	54
Slika 10.3. Klimatska analiza	54
Slika 10.4. Vanjski klimatski uvjeti za pod na tlu	55
Slika 10.5. Uvjeti unutarnje klime	55
Slika 10.6. Orijentacija i nagib građevnog elementa	56
Slika 10.7. Proračunski period	56
Slika 10.8. Slojevi poda na tlu	57
Slika 10.9. Slojevi vanjskog zida.....	57
Slika 10.10. Slojevi kosog krova	57
Slika 10.11. Slojevi ravnog krova.....	58
Slika 10.12. Ukupan sadržaj vlage u podu na tlu.....	58
Slika 10.13. Ukupan sadržaj vlage u vanjskom zidu	59
Slika 10.14. Ukupan sadržaj vlage u kosom krovu.....	59
Slika 10.15. Ukupan sadržaj vlage u ravnom krovu	60
Slika 10.16. Stanje relativne vlažnosti u sloju mineralne vune na kontaktu s blok opekom u vanjskom zidu	61
Slika 10.17. Stanje relativne vlažnosti u sloju mineralne vune na kontaktu s drvenom pločom u kosom krovu.....	61
Slika 10.18. Izoplete unutarnje površine svih ispitanih elemenata.....	62
Slika 11.1. Položaj toplinskih mostova.....	63
Slika 11.2. Detalj V1, skica	64
Slika 11.3. Detalj V1, model.....	65
Slika 11.4. Detalj V1, raspodjela temperatura	66
Slika 11.5. Detalj V2, skica	67
Slika 11.6. Detalj V2, model.....	68
Slika 11.7. Detalj V2, raspodjela temperatura	69
Slika 11.8. Detalj V3, skica	70

Slika 11.9. Detalj V3, model.....	71
Slika 11.10. Detalj V3, raspodjela temperatura	72
Slika 11.11. Detalj H1, skica	73
Slika 11.12. Detalj H1, model.....	74
Slika 11.13. Detalj H1, raspodjela temperatura	75
Slika 12.1. Faze životnog ciklusa [18].....	77
Slika 12.2. Građevni elementi ukupno A-D, obnovljeno stanje	78
Slika 12.3. Faze životnog ciklusa ukupno A-D, obnovljeno stanje	79
Slika 12.4. Faze životnog ciklusa poda na tlu i međukatne konstrukcije, obnovljeno stanje..	79
Slika 12.5. Građevni elementi ukupno A-D, usporedba	80
Slika 12.6. Usporedba tehničkih sustava	81
Slika 12.7. Faze životnog ciklusa tehničkih sustava.....	81
Slika 12.8. Tehnički sustavi obnovljenog stanja.....	82
Slika 12.9. Usporedba ukupne emisije.....	83
Slika 12.10. Usporedba svih faza životnog ciklusa	83

Popis tablica

Tablica 3.1. Opći podatci o građevini	10
Tablica 4.1. Geometrijske karakteristike zgrade	20
Tablica 5.1. Vanjski zidovi grijano-vani	23
Tablica 5.2. Vanjski zidovi negrijano-vani	23
Tablica 5.3. Unutarnji zidovi grijano-negrijano	23
Tablica 5.4. Unutarnji zidovi grijano-grijano.....	24
Tablica 5.5. Zid prema susjednoj zgradi	24
Tablica 5.6. Stropna ploča grijano-grijano	24
Tablica 5.7. Stropna ploča grijano-negrijani tavan	25
Tablica 5.8. Pod na tlu.....	25
Tablica 5.9. Kosi krov grijano-vani.....	26
Tablica 5.10. Kosi krov negrijano-vani	26
Tablica 5.11. Ravni krov	26
Tablica 6.1. Godišnje vrijednosti klimatskih podataka	28
Tablica 6.2. Popis otvora, postojeće stanje	30
Tablica 6.3. Ventilacijski gubitci zgrade pri razlici tlakova od 50 Pa [13].....	31
Tablica 6.4. Koeficijent prolaska topline postojećeg stanja	33
Tablica 6.5. Vrijednosti toplinskih dobitaka postojećeg stanja	35
Tablica 6.6. Vrijednosti toplinskih gubitaka postojećeg stanja	35
Tablica 7.1. Popis otvora, obnovljeno stanje.....	39
Tablica 8.1. Vanjski zidovi grijano-vani	41
Tablica 8.2. Vanjski zidovi negrijano-vani	41
Tablica 8.3. Unutarnji zidovi grijano-negrijano	42
Tablica 8.4. Unutarnji zidovi grijano-grijano.....	42
Tablica 8.5. Zid prema susjednoj zgradi	43
Tablica 8.6. Stropna ploča grijano-grijano	43
Tablica 8.7. Stropna ploča grijano-negrijani tavan	44
Tablica 8.8. Pod na tlu.....	44
Tablica 8.9. Kosi krov grijano-vani.....	45
Tablica 8.10. Kosi krov negrijano-vani	46
Tablica 8.11. Ravni krov	46
Tablica 9.1. Koeficijent prolaska topline obnovljenog stanja	47
Tablica 9.2. Vrijednosti toplinskih dobitaka obnovljenog stanja	49

Tablica 9.3. Vrijednosti toplinskih gubitaka obnovljenog stanja	49
Tablica 11.1. Oznake materijala	65
Tablica 11.2. Uvjeti okolnog prostora	65
Tablica 11.3. Oznake materijala	68
Tablica 11.4. Uvjeti okolnog prostora	68
Tablica 11.5. Oznake materijala	71
Tablica 11.6. Uvjeti okolnog prostora	71
Tablica 11.7. Oznaka materijala	74
Tablica 11.8. Uvjeti okolnog prostora	74

Sažetak

Istraživanje potencijala energetske obnove, kao sastavnog dijela sveobuhvatne obnove obiteljske kuće i to do razine zgrade nulte emisije tema je istraživanja ovog diplomskog rada. Pregledom dostupne literature, ponajviše tlocrtima predmetne obiteljske kuće te vizualnim pregledom postojećih slojeva, utvrđuju se mogućnosti i ograničenja energetske obnove obiteljske kuće te se definira koncept energetske obnove usmjeren prvenstveno na vanjsku ovojnicu zgrade. Korištenjem računalnog paketa ArchiCAD, na temelju postojećih arhitektonskih podloga izrađen je BIM model zgrade. Predložene mjere analizirane su s tri različita aspekta navedena u nastavku. 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. Proračun vrijednosti toplinskih mostova i dugoročnog transporta mase proveden je korištenjem numeričkih modela. Konačno, proveden je proračun emisije CO₂eq plinova tijekom cjelokupnog životnog vijeka zgrade. Rezultat diplomskog rada je definiran potencijal energetske obnove zgrade, u vidu smanjenja potrošnje energije, povećanja unutarne ugodnosti te smanjenje rizika pojave građevinske štete, kao i definiran utjecaj na okoliš zgrade kroz njezin cjelokupni životni vijek.

Ključne riječi: energetska obnova, energetska učinkovitost, zgrade nulte emisije, proračun toplinskih mostova, BIM model, emisija CO₂eq plinova, LCA

Abstract

Research into the potential of energy renovation, as an integral part of the comprehensive renovation of a family house, up to the level of a zero-emission building, is the research topic of this thesis. By reviewing the available literature, mostly the floor plans of the family house and a visual examination of the existing layers, the possibilities and limitations of the energy renovation of the family house are determined and the concept of energy renovation focused primarily on the outer envelope of the building is defined. Using the ArchiCAD computer package, a BIM model of the building was created based on the existing architectural foundations. The proposed measures were analyzed from three different aspects listed below. The calculation of the required energy for heating and cooling the building up to the building level of almost zero energy was carried out using the hourly method of calculation as defined in the Algorithm for the calculation of the required energy for space heating and cooling according to HRN EN ISO 13790. The calculation of the value of thermal bridges and long-term mass transport was carried out using numerical models. Finally, the calculation of CO₂eq gas emissions during the entire life of the building was carried out. The result of this thesis is the defined potential of the building's energy renovation, in the form of a reduction in energy consumption, an increase in interior comfort and a reduction in the risk of construction damage, as well as a defined impact on the building's environment throughout its entire lifespan.

Key words: energy renovation, energy efficiency, zero emission buildings, calculation of thermal bridges, BIM model, emission of CO₂eq gases, LCA

1. Uvod

Upravo su zgrade te koje su odgovorne za otprilike 40% ukupne potrošnje energije u Europskoj uniji, te je vrlo bitno promicati mjere koje u cilju imaju smanjenje potrošnje energije u zgradarstvu i potaknuti korištenje energije iz obnovljivih izvora u svrhu smanjenja energetske ovisnosti Europske unije i emisije stakleničkih plinova. Zgrade nulte emisije, nZEB zgrade, su jedno od značajnih rješenja kojima se mogu postići tražena smanjenja i uštede energije. One su tip građevina koje teže smanjenju ili eliminaciji stakleničkih plinova i drugih negativnih utjecaja na okolinu tijekom svog životnog ciklusa. Također, ZEB zgrade imaju vrlo nisku potražnju za energijom koja je u potpunosti pokrivena energijom iz obnovljivih izvora. Zgrada s nultom emisijom se definira kao zgrada s vrlo visokom energetsom učinkovitošću, gdje se vrlo niska količina potrebne energije dobiva iz obnovljivih izvora energije na lokaciji, postrojenja obnovljivih izvora energije ili sustavima daljinskog grijanja i hlađenja.

Značajnom obnovom zgrade ne daje se zahtjev za zgradu gotovo nulte energije, već se Tehničkim propisom propisuje minimalno energetske svojstvo koje zgrada i njezini dijelovi moraju ispuniti. U slučaju rekonstrukcije postojeće zgrade, poput obiteljske kuće koja je obuhvaćena ovim radom, propisani su uvjeti koji se moraju zadovoljiti. Samom rekonstrukcijom se naknadno ugrađuju, obnavljaju te djelomično ili potpuno zamjenjuju dijelovi ovojnice na grijanom dijelu zgrade, te ti radovi obuhvaćaju više od 75% ovojnice grijanog dijela zgrade. Pored ispunjenja zahtjeva koeficijenta prolaska topline U [W/m^2K], moraju se ispuniti i zahtjevi dopuštenih vrijednosti godišnje potrebne toplinske energije za grijanje po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade, $Q''_{H,nd}$ [kWh/m^2a] i zahtjevi specifične godišnje primarne energije E_{prim} [kWh/m^2a], sve prema Tehničkom propisu.

[1]



Slika 1.1. Energetska obnova obiteljske kuće [2]

Poznato je kako obiteljske kuće čine 65% stambenog fonda u Republici Hrvatskoj, te je najviše njih izgrađeno prije 1987. godine. Kuće građene tih godina nemaju gotovo nikakvu ili samo minimalnu toplinsku izolaciju. [2] Takve kuće troše 70% energije za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode, a mjere energetske učinkovitosti mogu značajno smanjiti njihovu potrošnju, u nekim slučajevima i do 60% u odnosu na trenutnu.

Trenutni fond zgrada u Republici Hrvatskoj je takav da je do 2050. godine potrebno obnoviti 110 milijuna m² stambenih i 58 milijuna m² nestambenih zgrada. Energetski razredi postojećih zgrada su dosta loši s velikim udjelom zgrada razreda F i G. Postojeća dostupna regulativa po kojoj bi se trebalo voditi pri obnovi zgrada sastoji se od: Direktive (EU) 2018/844 Europskog parlamenta i Vijeća od 30. svibnja 2018. o izmjeni Direktive 2010/31/EU o energetske svojstvima zgrada i Direktive 2012/27/EU o energetske učinkovitosti, dugoročna strategija obnove nacionalnog fonda zgrada do 2050. koju je donijela Vlada RH u prosincu 2020. i programi energetske obnove zgrada za razdoblje do 2030., koje je vlada donijela kroz 5 programa u prosincu 2021.

Sukladno Direktivi, a prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama prije značajne obnove zgrade projektanti prema nadležnosti struke trebaju izraditi analizu postojećeg stanja zgrade s prijedlogom mjera i procjenom investicije po pitanju zdravih unutarnjih klimatskih uvjeta, mehaničke otpornosti i stabilnosti, posebice potresne otpornosti zgrade te sigurnosti u slučaju požara.

Nacionalni plan opravka i otpornosti (NPOO) pri obnovi zgrada daje kriterije obnove:

- za energetske obnovu višestambenih i javnih zgrada minimalnim zahtjevom od 50% smanjenja godišnje potrebne toplinske energije za grijanje ($Q_{H,nd}$), na razini zgrade i smanjenje godišnje primarne energije od 30% u odnosu na potrošnju energije prije obnove, na razini komponente,
- za energetske obnovu zgrada koje imaju status kulturnog dobra minimalnim zahtjevom od 20% smanjenja projektirane potrošnje energije za grijanje ($Q_{H,nd}$) ili primarne energije (E_{prim}) na godišnjoj razini od najmanje 20% u odnosu na potrošnju energije prije obnove, što je zahtjev za svaku zgradu i na razini cijelog portfelja zgrada smanjenje godišnje primarne energije od 30%. [3]

Slučaj izostanka toplinske izolacije i lošeg energetske stanja je i kod obiteljske kuće koja je predmet ovog rada gdje će se na primjeru iz prakse prikazati postupak energetske obnove usmjeren prvenstveno na vanjsku ovojnici zgrade.

Prikazan je niz mjera kojima će predmetna zgrada postati energetske učinkovitija i pružiti stanarima ugodniji i kvalitetniji život. Ulazni geometrijski podatci određeni su izradom BIM

modela zgrade korištenjem računalnog paketa ArchiCAD. Proveden je proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje pomoću računalnog programa Ki Expert Plus. Prihvatljivost predloženih mjera dodatno je analizirana s aspekta utjecaja toplinskih mostova i dugoročnog higrotermalnog ponašanja elemenata ovojnice.

Za kraj, napravljena je procjena životnog ciklusa obiteljske kuće kako bi se utvrdilo i procijenilo ukupno djelovanje predmetne zgrade na okoliš, od proizvodnje, ugradnje, korištenja pa do samog kraja životnog vijeka.

2. Zgrade nulte emisije

Građevinski sektor ima veliki utjecaj na okoliš ne samo u smislu potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova, već i u smislu ekstrahiranih materijala i stvaranja otpada. Zgrade pridonose s 40% potrošnje energije, 36% emisija stakleničkih plinova i čine 50% ukupnog izvađenog materijala te je građevinski sektor odgovoran za više od 35% ukupne proizvodnje otpada u Europskoj uniji. Stoga je Europska komisija definirala upravo građevinski sektor i građevinsku industriju kao ključna područja djelovanja u odgovoru na klimatske i ekološke izazove. Ukazuje se potreba izgradnje i obnove na energetske i resursno učinkovit način te se naglašava potreba da se barem udvostruči godišnja stopa obnove zgrada Europske unije. [4]

Kao ključni zakonodavni alat prema EU dekarbonatiziranom fondu zgrada Direktiva o energetske učinkovitosti zgrada 2010/31/EU (EPBD) mora odrediti kako EU može postići nultu emisiju ugljika u zgradama do 2050. godine. EPBD zahtijeva od država članica da razviju odgovarajuće politike i osiguraju potrebne mjere za poticanje prijelaza na zgrade s gotovo nultom energijom, nZEB, koje su obavezne za sve nove zgrade od 2021. godine.

Obzirom da trenutačni napor nisu dovoljni za postizanje ugljične neutralnosti do 2050., poboljšana klimatska i energetska ambicija uokviruje uvođenje zgrada s nultom emisijom, ZEB, kao novog standarda gradnje u Europi. ZEB zgrade imaju vrlo nisku potražnju za energijom koja je u potpunosti pokrivena energijom iz obnovljivih izvora. Zgrada s nultom emisijom se definira kao zgrada s vrlo visokom energetske učinkovitošću, gdje se vrlo niska količina potrebne energije dobiva iz obnovljivih izvora energije na lokaciji, postrojenja obnovljivih izvora energije ili sustavima daljinskog grijanja i hlađenja. [4] Prema drugom izvoru [5], zgrada s nultom emisijom je energetske učinkovita zgrada koja proizvodi dovoljno obnovljive energije da nadoknadi svoje emisije stakleničkih plinova.

U cilju postizanja dugoročne vizije za zgrade, dubinsku obnovu treba definirati kao obnovu koja transformira zgrade u nZEB prije 2030., a u ZEB od 2030. (Slika 2.1.)



Slika 2.1. Vremenski okvir za provedbu nZEB-a i ZEB-a [4]

2.1. Metodološki aspekt ZEB koncepta

Ključni kriteriji za stvaranje zgrada s nultom emisijom su: granica sustava, granica bilance emisija, metode izračuna, pokazatelji i metrike te prostorna granica.

Granica sustava predstavlja sučelje između zgrade i njezine okoline. To podrazumijeva koje su faze tijekom životnog vijeka zgrade uključene u izračun emisija stakleničkih plinova. Granica sustava dijeli se na dva glavna dijela, operativni i utjelovljeni. Operativni dio fokusira se samo na fazu u kojoj se zgrada koristi, dok se utjelovljeni utjecaj odnosi na faze prije i nakon eksploatacije zgrade, kao što su faza proizvodnja, proces izgradnje i kraj životnog vijeka. U većini slučajeva fokus je na reguliranom korištenju energije, kao u slučaju nZEB zgrada. To uključuje grijanje, hlađenje, ventilaciju, potrošnu toplu vodu (PTV), ugrađenu rasvjetu i pomoćnu energiju. Neregulirana potrošnja energije u zgradi predstavlja potrošnju energije koja nije regulirana i može biti vezana uz zgradu ili korisnika poput dizala, pokretnih stepenica, automatskih vrata ili sigurnosnih sustava. Trenutačno mjere energetske učinkovitosti uglavnom ciljaju na smanjenje radne energije i emisija stakleničkih plinova, dok se ugrađena energija i emisije zanemaruju.[4]

Granica bilance emisija predstavlja granice u proračunu emisija te razmatra dvije mogućnosti. Neto nulte emisije podrazumijevaju ravnotežu emisija tijekom određenog vremenskog razdoblja, obično godinu dana. Općenito shvaćanje je da u pristupu neto nule zgrada uvozi energiju iz mreže i izvozi obnovljivu energiju. Dopušteno je povezivanje na mrežu i to se računa kao protuteža emisijama. Zgrada s apsolutnom nultom emisijom ima nultu emisiju povezanu s gorivom ili električnom energijom koja pokriva potrošnju energije u fazi rada.

Za procjenu radne energetske bilance zgrade, a zatim i povezanih emisija, obično se koriste dvije vrste metoda proračuna; stacionarne (statičke) metode i dinamičke metode. U metodama stacionarnog stanja proračun se izvodi u stacionarnom pristupu zanemarujući stvarno dinamičko ponašanje zgrade. Sezona grijanja i hlađenja ima fiksno trajanje s druge strane, dinamičke metode uzimaju u obzir stvarno dinamičko ponašanje okoline, varijabilnost toplinskih dobitaka, stopu ventilacije i infiltracije kao i maseni kapacitet zgrade. Naravno, dinamički pristup je dugotrajniji i zahtijeva dodatnu digitalizaciju i troškove. Osim toga, može se koristiti samo u kasnijoj fazi projektiranja energetske učinkovitosti kada su svi potrebni parametri poznati. Međutim, na temelju točnih ulaznih podataka, rezultati su istinit prikaz stvarnog ponašanja analizirane zgrade.[5]

Štoviše, dinamički pristup također se smatra važnim kada se radi o intenzitetu ugljika u energetske mješavini, koji se mijenja tijekom godina. Korištenje faktora emisije stakleničkih plinova s detaljnijom vremenskom crtom omogućuje preciznije i pouzdanije obračunavanje emisija stakleničkih plinova uključivanjem u opseg procjene značajnih varijacija emisija stakleničkih plinova u energetske miksu tijekom vremena.

Prostorna granica u definiranju zgrada nultih emisija može biti jedna građevina, grupa, četvrt, grad ili čak nacionalni fond zgrada.

Smanjenje potražnje za energijom trebalo bi biti glavni prioritet nakon kojeg slijedi procjena i smanjenje utjelovljene energije u fazi projektiranja zgrade.[5]

2.2. Danski kriterij

Danska je svojom strategijom održivosti za gradnju prva zemlja koja je uvela utjelovljena ograničenja ugljika u građevinske propise. Uzimajući u obzir da približno 11% globalnih emisija CO₂ proizlazi iz proizvodnje građevinskih materijala, ovo je ključni korak za dekarbonizaciju izgrađenog okoliša. Cilj je smanjiti utjecaj zgrada na okoliš minimiziranjem potrošnje energije i resursa, uzimajući u obzir društvenu (zdravlje i dobrobit ljudi) i financijsku vrijednost (ravnoteža između troškova životnog ciklusa i kvalitete zgrade). Uključivanjem potencijalne ponovne uporabe i recikliranja, propisi pokrivaju cijeli ekološki životni ciklus zgrade.

Prvotno je dobrovoljni standard održivosti pokrenut je u svibnju 2020. s namjerom testiranja novih zahtjeva za gradnju, poticanja razvoja alata za procjenu životnog ciklusa (LCA), promicanja recikliranja i gradilišta bez fosilnih goriva. Novi zahtjevi bit će postupno uključeni u građevinski kodeks. Što se tiče utjecaja na okoliš novih zgrada većih od 1000 m², na snagu stupa granična vrijednost od 12 kg CO₂-eq/m² /god. Ova granična vrijednost uključuje sve emisije stakleničkih plinova povezane s zgradama. Za nove konstrukcije manje od 1000 m² potrebno je provesti procjenu životnog ciklusa (ali bez granične vrijednosti).

S vremenom, u dvogodišnjim intervalima, ova će se granica snižavati, što znači da će se utjecaj gradnje na okoliš u Danskoj dramatično smanjiti tijekom sljedećeg desetljeća. [6]

3. Tehnički opis

3.1. Uvod

Obiteljska kuća koja je tema ovog diplomskog rada nalazi se na lokaciji bana Josipa Jelačića 37, Hrastovac, 43280 Garešnica (Slika 3.1.).



Slika 3.1. Pogled s južne strane zgrade

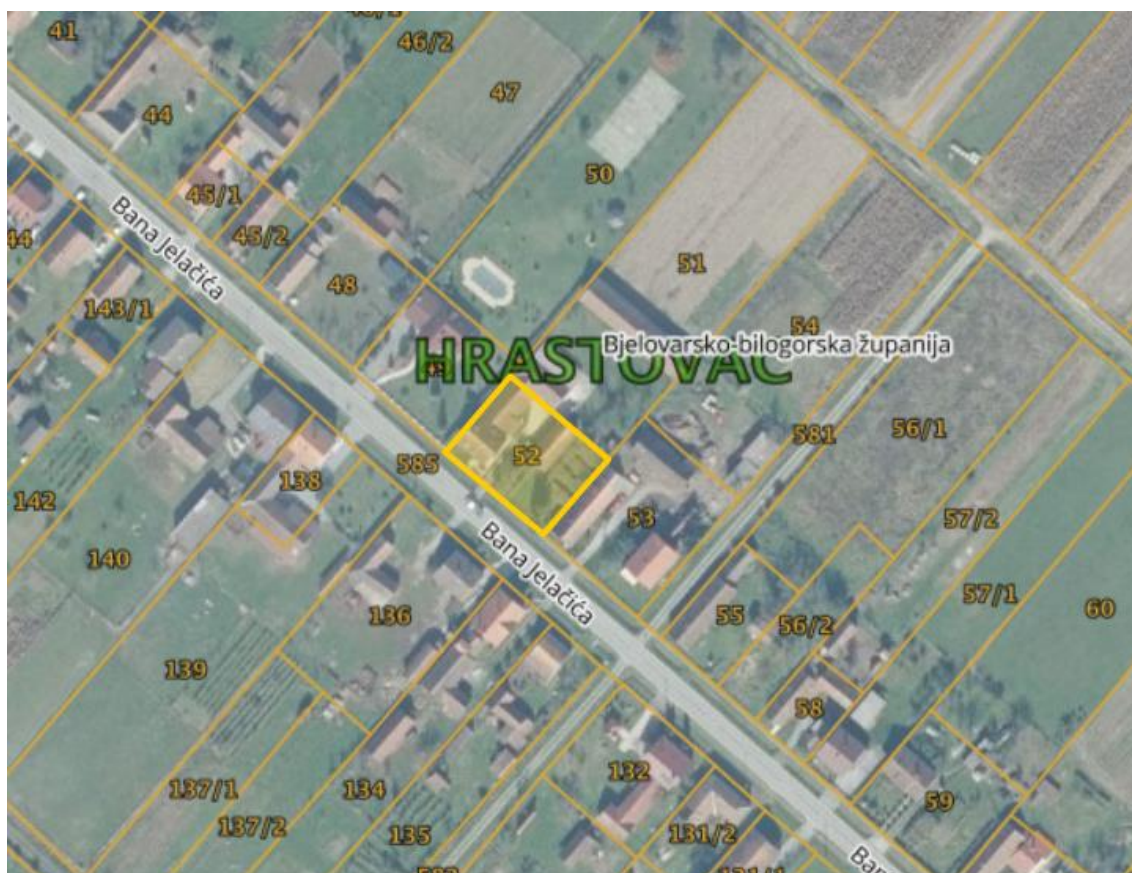
Predmetna zgrada izgrađena je 1979. godine. Prema dokumentima koje posjeduje sadašnji vlasnik, građevinska dozvola ishodena je 21. ožujka 1979. godine kojom se odobrava izgradnja stambeno-gospodarskog objekta na gradilištu označenom katastarskom česticom broj 52. z.k. uložak broj 274 k.o. Hrastovac (Slika 3.2). Objekt je lociran na udaljenosti od bankine ceste 9 m, od lijevog susjeda 1,30 m i od desnog susjeda 27,30 m.

Etažnost zgrade je prizemlje + potkrovlje. Izrađena je pravilnog tlocrtnog oblika unutar krajnjih vanjskih gabarita 10,00 m x 10,00 m x 4,09 m, ukupne tlocrtne površine 104,50 m². Ukupna visina zgrade iznosi 8,34 m mjereno od najniže kode okolnog terena uz građevinu. Namjena zgrade je stambena s jednom stambenom jedinicom.

Tablica 3.1 daje sažet opis općih podataka o građevini.

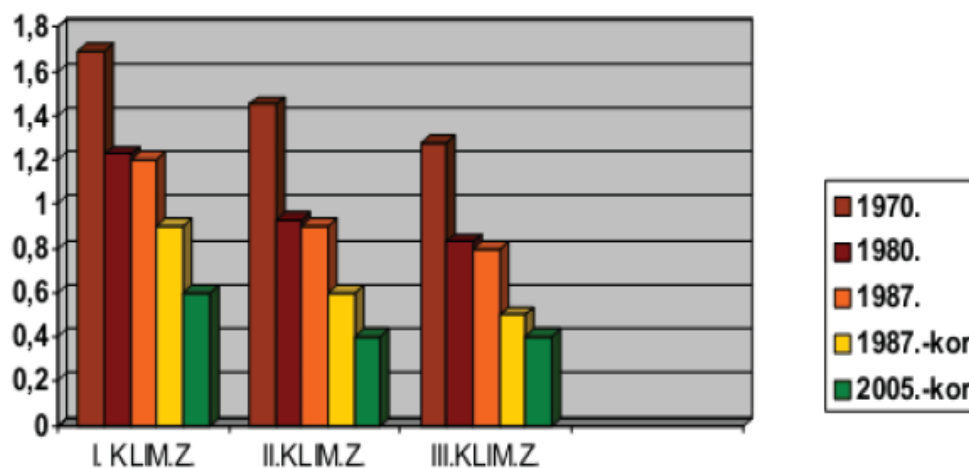
Tablica 3.1. Opći podatci o građevini

Naziv	Višestambena zgrada na adresi Vinogradska cesta 6A
Adresa	Bana Josipa Jelačića
Kućni broj	37
Mjesto	Hrastovac, Garešnica
Poštanski broj	43280
K. o.	309699, Hrastovac
K. č. br.	52
Površina katastarske čestice	1280 m ² (719 m ² kuća i dvorište + 561 m ² voćnjak)
Godina izgradnje	1979.
Broj etaža	1
Etaže	Prizemlje + potkrovlje
Tip zgrade	Stambena



Slika 3.2. Izvadak katastarske čestice [7]

S obzirom na godinu gradnje, koje spada u razdoblje najveće stambene izgradnje od 1950. do 1980. godine, zbog nedostatka propisa o toplinskoj zaštiti i karakteristika gradnje, izgrađene zgrade su veliki potrošači energije, prosječne godišnje potrošnje energije preko 200 kWh/m²a. Karakteristično tadašnjoj gradnji, zidane konstrukcije poput ove izvode se od šuplje blok opeke debljine 19 cm koja s obostranom žbukom zadovoljava minimalne uvjete za toplinsku izolaciju. Rješavanje detalja karakterističnih toplinskih mostova na spojevima armiranog betona i opeke nije razmatrano te većinom uzrokuje probleme s vlagom i plijesni na unutarnjim uglovima. Korišteni prozori su uglavnom sa izo staklom, vrlo loših profila, bez prekinutog toplinskog mosta i s lošim brtvljenjem. Iako su prvi propisi o toplinskoj zaštiti zgrada kod nas doneseni 1970. godine, s propisanim najvećim dopuštenim vrijednostima koeficijenta topline (k) za pojedine elemente vanjske ovojnice zgrade, promatrana zgrada nema elementa toplinske zaštite. Pregled dozvoljenih zadovoljavajućih koeficijenata prolaska topline W/m²K za vanjski zid prikazan je Slika 3.3, prema podjeli državnog teritorija na tri građevinsko klimatske zone. S obzirom na navedeno i uzimajući u obzir godinu izgradnje tj. starost građevine, potrebna je energetska obnova ove, ali i većine zgrada građenih u tom vremenskom razdoblju i takvih tehnikama gradnje. [8]



Slika 3.3. Dozvoljeni zadovoljavajući koeficijenti prolaska topline Wm²K za vanjski zid [8]

3.2. Elementi građevine

S obzirom na nedostatak postojeće dokumentacije o objektu, a također i nemogućnosti provođenja istražnih radova, neki od slojeva građevnih elemenata su pretpostavljeni prema uobičajenom načinu građenja u tom vremenu. U nastavku je dan kratak opis građevinskih elemenata, a u 4. poglavlju ovog rada nalazi se detaljan pregled svih slojeva.

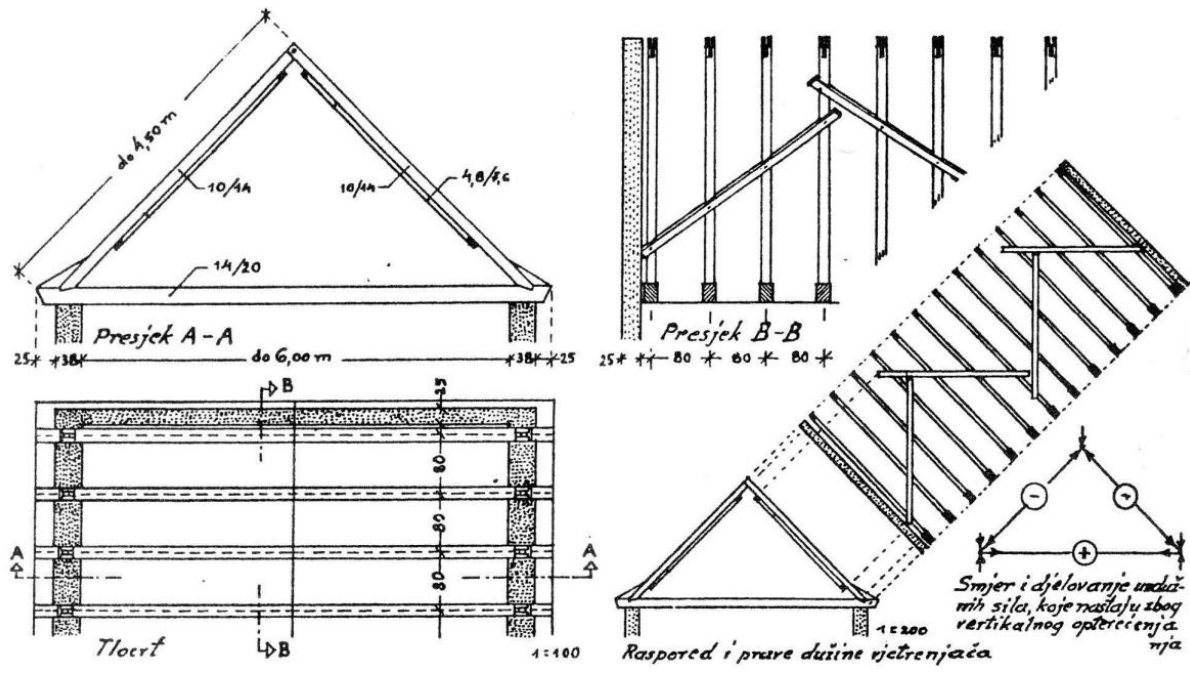
Građevina je zidana konstrukcija bez serklaža, građena na trakastim betonskim temeljima. Nosivu konstrukciju čine zidovi od šuplje blok opeke debljine 30 cm, dok su unutarnji pregradni zidovi također od šuplje blok opeke debljine 20 cm i 12 cm. Visina zidova u prizemlju je 256 cm, u potkrovlju su vanjski zidovi 78 cm, a pregradni 256 cm.

Otvori na jugozapadnoj strani zgrade su dimenzija š/v/p=240/140/80 cm te krovni prozor š/v=900/1200 cm. Jugoistočna strana ima dva balkona s otvorima š/v/p=120/140/80 cm, balkonskim vratima š/v=80/220 cm, jednim otvorom š/v/p=180/140/80 cm i ulaznim vratima š/v=145/210 cm. Sjeverozapadna strana zgrade ima dva otvora dimenzija š/v/p=80/90/155 cm i š/v/p=120/140/80 cm, dok je na sjeveroistočnoj strani otvor dimenzija š/v/p=120/140/80 cm. Na sjeveroistočnoj strani se nalaze i unutarnja vrata dimenzija š/v=70/80 cm koja graniče s prolazom u susjednu gospodarsku zgradu. Analiza spomenutog prolaza također je uzeta u obzir u ovom radu. Stara drvena stolarija nedavno je zamijenjena novom PVC stolarijom.

Međukatna konstrukcija je betonska. Podovi kupaonice i hodnika obloženi su keramičkim pločicama, a ostale prostorije prekrivene su parketom. Slika 3.13. (u poglavlju fotodokumentacija) nastala vizualnim pregledom građevine dokazuje postojanje betonskog sloja poda u prizemlju.

Vertikalna komunikacija zgrade uspostavlja se preko betonskog stubišta koje se nalazi u uglu zgrade.

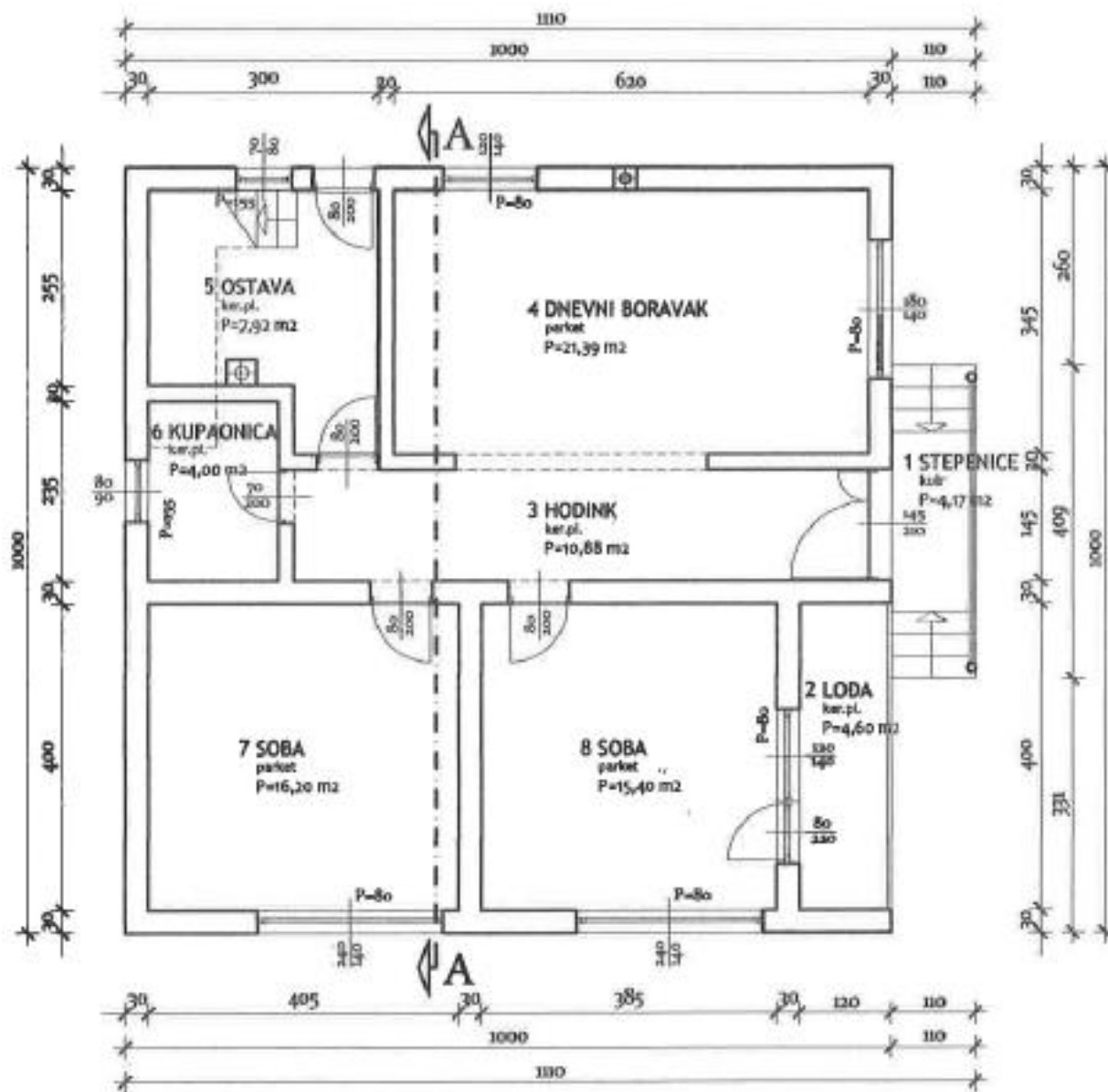
Krovište je drveno, dvostrešno simetrično nagiba 35°C. Primjer dvostrešnog krovišta prikazano je na sljedećoj slici. Prikaz postojećeg stanja krova prije obnove i dokaz da je krovište drveno, vidi se na Slika 3.12.



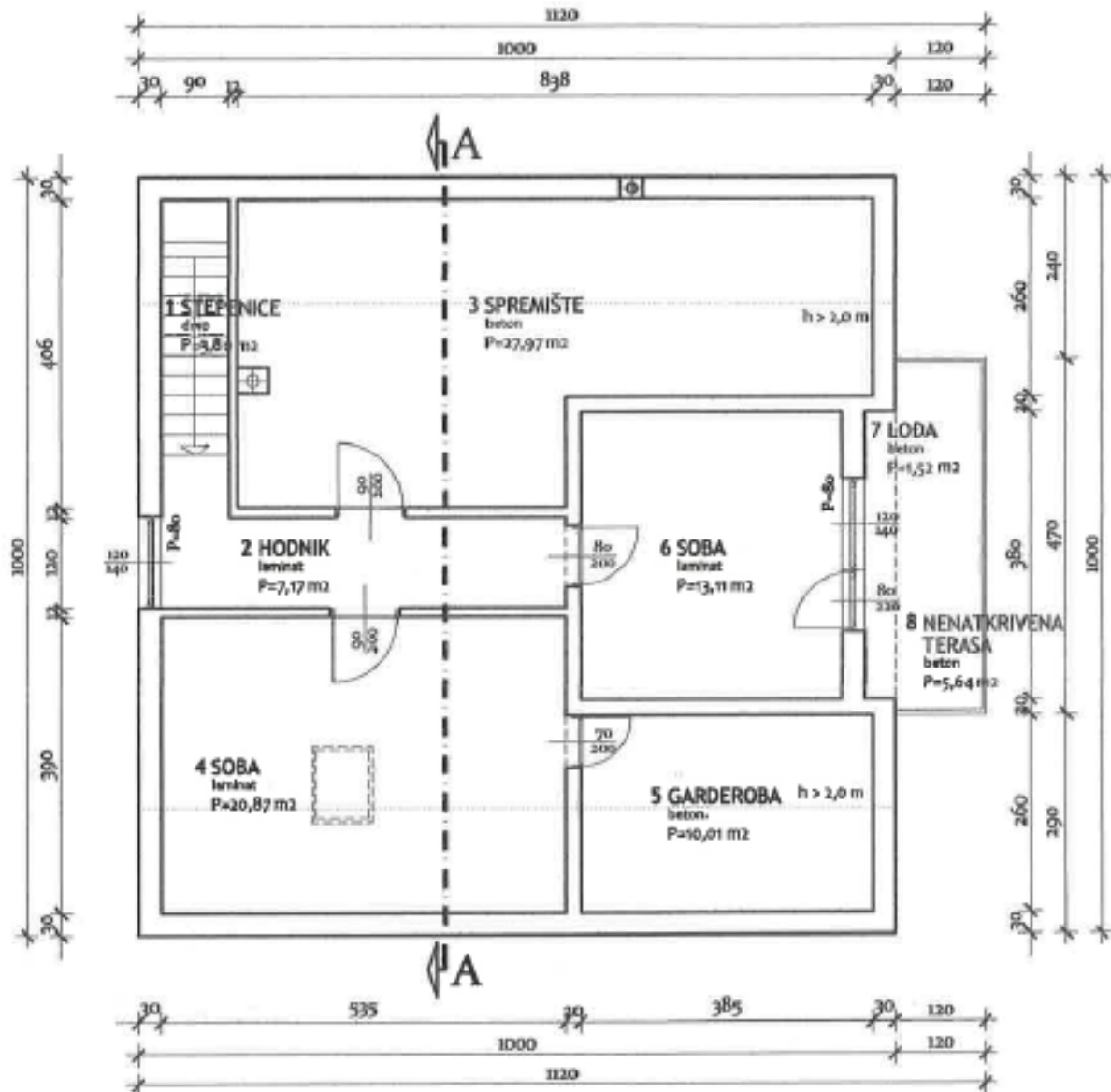
Slika 3.4. Dvostrešni krov [9]

3.3. Postojeći nacrti i fotodokumentacija

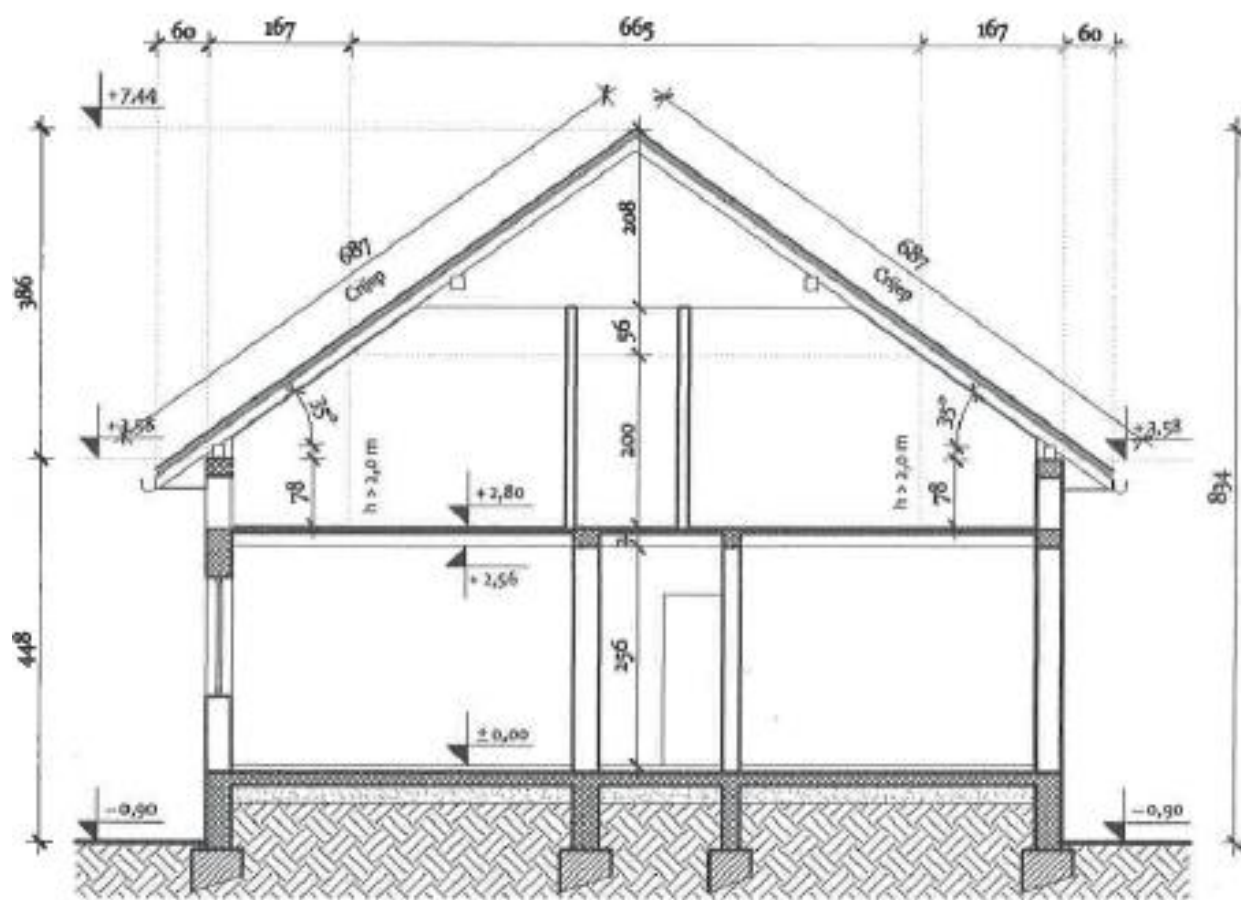
Na sljedećim slikama prikazani su postojeći nacrti nastali u studenom 2013. godine radi potrebe legalizacije objekta.



Slika 3.5. Tlocrt prizemlja



Slika 3.6. Tlocrt potkrovlja



Slika 3.7. A-A presjek

Ovaj dio poglavlja daje pregled građevine sa svih strana, te neke detalje koji pojašnjavaju elemente zgrade.



Slika 3.8. Jugoistočno pročelje



Slika 3.9. Sjeveroistočno pročelje



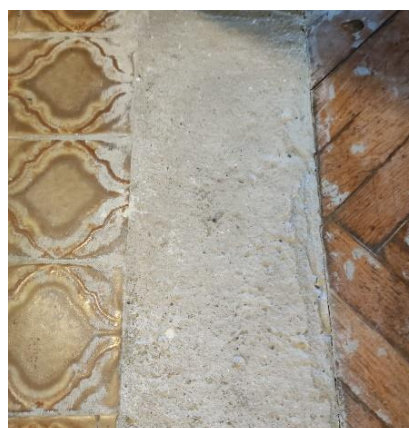
Slika 3.10. Jugozapadno pročelje



Slika 3.11. Sjeverozapadno pročelje



Slika 3.12. Krovšte

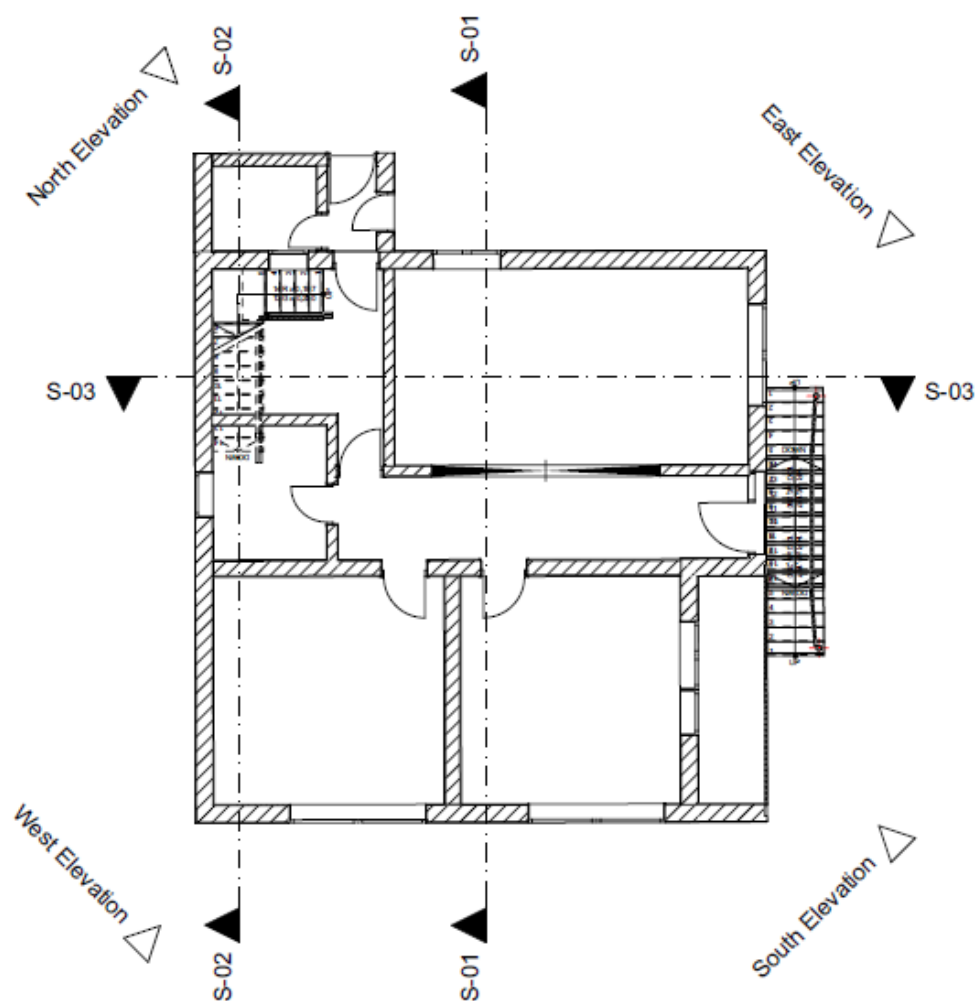


Slika 3.13. Pod

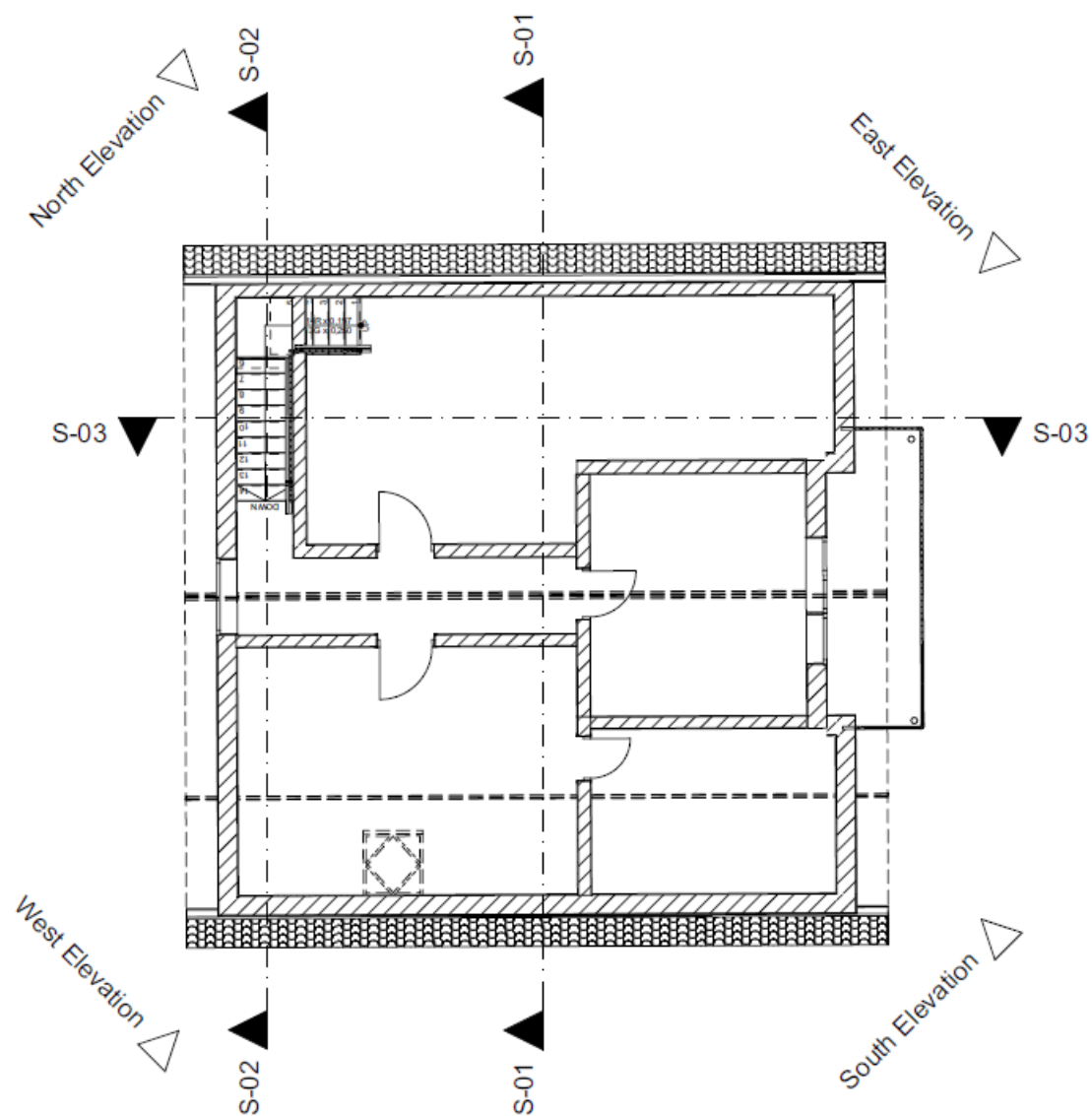
4. Proračun geometrijskih karakteristika zgrade

BIM model zgrade izrađen je temeljem dostupnih nacрта i vizualnim pregledom zgrade. Model je izrađen korištenjem računalnog programskog paketa ArchiCAD 25, te on daje informacije o vanjskoj ovojnici grade kao što su krov, zidovi, podovi, stropovi, prozori i vrata. Također pruža informacije o korištenim materijalima, visini i etažnosti, volumenu, bruto i neto površinama pojedinog prostora zgrade, a ujedno služi i kao arhitektonski model. Navedeni model s informacijama predstavlja i energetski model koji donosi uvid u postojeće stanje građevine u smislu toplinskih svojstava vanjske ovojnice zgrade i potrošnje energije. Za daljnji proračun bitni su spomenuti ulazni geometrijski podaci čije su vrijednosti opisane u ovom poglavlju. [10]

4.1. Prikaz BIM modela



Slika 4.1. Tlocrt prizemlja, model, postojeće stanje



Slika 4.2. Tlocrt potkrovlja, model, postojeće stanje



Slika 4.3. Jugoistočno pročelje, model, postojeće stanje



Slika 4.4. Jugozapadno pročelje, model, postojeće stanje



Slika 4.5. Sjeveroistočno pročelje, model, postojeće stanje



Slika 4.6. Sjeverozapadno pročelje, model, postojeće stanje

4.2. Geometrijske karakteristike zgrade

Za određivanje energetske svojstva zgrade potrebno je poznavati njene geometrijske karakteristike, a to su: oplošje grijanog dijela zgrade, volumen grijanog dijela zgrade, volumen grijanog zraka, faktor oblika i ploštinu korisne površine. Tablica 3.1. prikazuje geometrijske karakteristike zgrade.

Tablica 4.1. Geometrijske karakteristike zgrade

VOLUMEN GRIJANOG DIJELA ZGRADE	V_e [m ³]	447,82
OPLOŠJE GRIJANOG DIJELA ZGRADE	A [m ²]	430,31
VOLUMEN GRIJANOG ZRAKA	V [m ³]	302,13
FAKTOR OBLIKA	$f_o = \frac{A}{V_e}$ [m ⁻¹]	0,96
PLOŠTINA KORISNE POVRŠINE	A_k [m ²]	130,69

Oplošje grijanog dijela zgrade, A [m^2] definiran je kao ukupna ploština građevnih dijelova koji odvajaju grijani dio zgrade od vanjskog prostora, negrijanih dijelova zgrade ili tla.

Volumen grijanog dijela zgrade, V_e [m^3] je umnožak bruto podne površine i ukupne visine s uključenim debljinama građevinskih elemenata.

Faktor oblika zgrade, f_0 [m^{-1}] je količnik vanjskog oplošja grijanog dijela zgrade i volumena grijanog dijela zgrade. On uz geometriju zgrade direktno utječe na potrošnju energije u zgradi.

Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade, A_k [m^2] predstavlja ukupnu ploštinu bruto podne površine grijanog dijela zgrade.

Volumen grijanog dijela zraka, V [m^3] označava umnožak ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade i svijetle visine etaže. [11]

Za potrebe ovog rada navedene geometrijske karakteristike nisu izračunate ručno, nego su rezultat izrade BIM modela u računalnom paketu ArchiCAD 25.

5. Slojevi građevnih dijelova zgrade, postojeće stanje

S obzirom na nedostatak postojeće dokumentacije o objektu, a također i nemogućnosti provođenja istražnih radova, neki od slojeva građevnih elemenata su pretpostavljeni prema uobičajenom načinu građenja u tom vremenu i temeljem vizualnog pregleda građevine.

Slijedeće tablice prikazuju elemente vanjske ovojnice zgrade koji se sastoje od:

- poda na tlu,
- vanjskih zidova (grijano-vani i negrijano-vani),
- kosog krova (grijano-vani i negrijano-vani),
- unutarnjih zidova (grijano-grijano i grijano-negrijano),
- stropnih ploča (grijano-grijano i grijano-negrijani tavan),
- ravnog krova,
- zida prema susjednoj zgradi

Tablice sadrže presjek slojeva svakog građevinskog elementa, s odgovarajućim karakteristikama:

d [cm]	- debljina sloja
λ [W/mK]	- toplinska provodljivost
μ [-]	- faktor otpora difuziji vodene pare
s_d [m]	- relativni otpor difuziji vodene pare
ρ [kg/m ³]	- gustoća materijala
A [m ²]	- ukupna površina
U [W/m ² K]	- koeficijent prolaska topline

5.1. Zidovi

U tablicama 5.1. – 5.5. prikazani su zidovi koji su na granici grijanog dijela zgrade.

Tablica 5.1. Vanjski zidovi grijano-vani

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Vapneno-cementna žbuka	1	1	20	0,2	1800
2	POROTHERM 30 PROFI	30	0,138	7,5	2,25	800
3	Vapneno-cementna žbuka	1	1	20	0,2	1800
A [m ²] =					150,07	
U [W/m ² K] =					0,42	

Tablica 5.2. Vanjski zidovi negrijano-vani

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Vapneno-cementna žbuka	1	1	20	0,2	1800
2	POROTHERM 30 PROFI	30	0,138	7,5	2,25	800
3	Vapneno-cementna žbuka	1	1	20	0,2	1800
A [m ²] =					16,91	
U [W/m ² K] =					0,42	

Tablica 5.3. Unutarnji zidovi grijano-negrijano

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Vapneno-cementna žbuka	1	1	20	0,2	1800
2	POROTHERM 20-50 PROFI	20	0,176	7,5	1,5	750
3	Vapneno-cementna žbuka	1	1	20	0,2	1800
A [m ²] =					31,51	
U [W/m ² K] =					0,71	

Tablica 5.4. Unutarnji zidovi grijano-grijano

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Vapneno-cementna žbuka	1	1	20	0,2	1800
2	POROTHERM 20-50 PROFI	20	0,176	7,5	1,5	750
3	Vapneno-cementna žbuka	1	1	20	0,2	1800
A [m ²] =					73,07	
U [W/m ² K] =					0,71	

Tablica 5.5. Zid prema susjednoj zgradi

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Vapneno-cementna žbuka	1	1	20	0,2	1800
2	POROTHERM 20-50 PROFI	20	0,176	7,5	1,5	750
3	Vapneno-cementna žbuka	1	1	20	0,2	1800
A [m ²] =					7,54	
U [W/m ² K] =					0,71	

5.2. Stropne ploče

Tablicama 5.6. i 5.7. prikazani su slojevi stropnih ploča.

Tablica 5.6. Stropna ploča grijano-grijano

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Drvo - meko - crnogorica	2	0,13	50	1	500
2	Cementni estrih	2	1,6	50	1	2000
3	Armirani beton	16	2,6	110	17,6	2500
4	Vapneno-cementna žbuka	1	1	20	0,2	1800
A [m ²] =					66,08	
U [W/m ² K] =					1,97	

Tablica 5.7. Stropna ploča grijano-negrijani tavan

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Drvo - meko - crnogorica	2	0,13	50	1	500
2	Cementni estrih	2	1,6	50	1	2000
3	Armirani beton	16	2,6	110	17,6	2500
4	Vapneno-cementna žbuka	1	1	20	0,2	1800
A [m ²] =					83,08	
U [W/m ² K] =					2,28	

5.3. Pod na tlu

U tablici 5.8. prikazan je pod na tlu kroz svoje slojeve.

Tablica 5.8. Pod na tlu

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Keramičke pločice	1	1,3	200	2	2300
2	Cementni estrih	2	1,6	50	1	2000
3	Beton	5	2	100	5	2400
4	Tekući hidroizolacijski premaz	0,2	0,25	6000	12	1200
5	Beton	8	2	100	8	2400
6	Pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac)	10	0,81	3	0,3	1700
A [m ²] =					93,91	
U [W/m ² K] =					2,59	

5.4. Krov

Tablice 5.9. – 5.11. prikazuju slojeve krovova.

Tablica 5.9. Kosi krov grijano-vani

Radni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Ploče od drvenih vlakana, uklj. MDF	0,2	0,07	2	0	250
2	Dobro provjetravan sloj zraka	6	-	1	0,01	-
3	Crijep (krovni) glina	2	1	40	0,8	2000
A [m ²] =					31,14	
U [W/m ² K] =					4,38	

Tablica 5.10. Kosi krov negrijano-vani

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Ploče od drvenih vlakana, uklj. MDF	0,2	0,07	2	0	250
2	Dobro provjetravan sloj zraka	6	-	1	0,01	-
3	Crijep (krovni) glina	2	1	40	0,8	2000
A [m ²] =					116,65	
U [W/m ² K] =					4,38	

Tablica 5.11. Ravni krov

Radni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Beton	12	2	100	12	2400
2	Tekući hidroizolacijski premaz	0,02	0,25	6000	1,2	1200
A [m ²] =					5,97	
U [W/m ² K] =					4,38	

6. Proračun toplinske zaštite i racionalne uporabe energije, postojeće stanje

Računalni program pomoću kojeg je proveden proračun toplinske zaštite i racionalne uporabe energije Ki Expert Plus namijenjen je projektantima i energetske certifikatorima. U potpunosti je usklađen s Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Algoritmom za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790, te najnovijim Pravilnikom o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiranju. Softver radi na principu satne metode proračuna definirane spomenutim Algoritmom. Ovim programom dokazuje se jedan od osnovnih preduvjeta kojim se zadovoljava temeljni zahtjev za građevinu „Gospodarenje energijom i očuvanje topline“.

[12]

6.1. Ulazni podatci

Proračun u programu Ki Expert Plus počinje unosom potrebnih karakteristika o samoj građevini i lokaciji izgradnje. Ulazni podatci koje je potrebno unesti su: osnovni podatci o građevini, potrebno je odrediti klimatske podatke, definirati zone, unijeti podatke o geometriji zgrade, građevnim dijelovima i njihovim slojevima, definirati otvore, definirati način prijenosa topline prema tlu, odrediti toplinske mostove te definirati termotehničke sustave.

Prethodna poglavlja daju uvid u geometriju zgrade te su definirani građevni dijelovi s pripadnim slojevima. U nastavku su objašnjeni preostali ulazni podatci.

6.1.1. Klimatski podatci

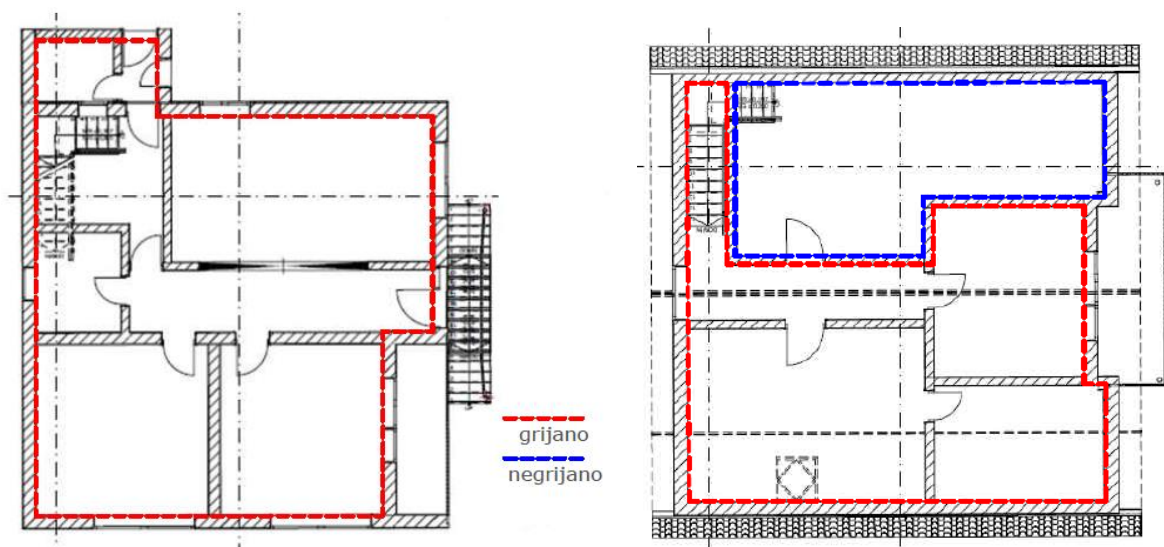
O obzirom da se predmetna zgrada ne nalazi na mjestu neke meteorološke postaje, referentni klimatski podatci određeni su u odnosu na najbližu meteorološku postaju. U ovom slučaju to je Daruvar koji se nalazi u klimatološkoj zoni II, u području kontinentalne klime. Odabirom meteorološke postaje program nam daje pregled mjesečnih i godišnjih podataka o minimalnoj, maksimalnoj i srednjoj temperaturi zraka [°C], relativnoj vlažnosti zraka [%], tlaku vodene pare [Pa] te brzini vjetrova [m/s], što je prikazano Tablica 6.1.

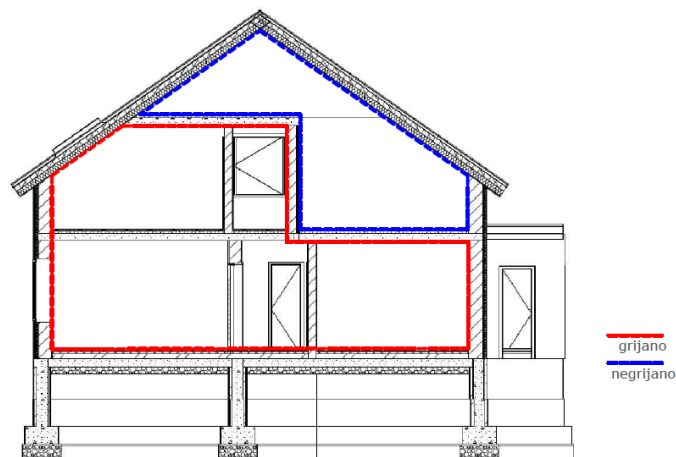
Tablica 6.1. Godišnje vrijednosti klimatskih podataka

	I	II	III	IV	v	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godišnje
Min. temp. zraka [°C]	-13,7	-13,8	-9,7	-0,3	5,8	9,3	13,5	11	7,6	-2,8	-6	-14,2	-14,2
Max. temp. zraka [°C]	14,6	14,5	17,7	19,8	25	29,2	29,5	30,9	26	21,1	21,4	17,2	30,9
Tlak vodene pare [Pa]	520	580	700	900	1270	1600	1740	1710	1430	1070	780	590	1080
Relativna vlažnost zraka [%]	84	77	73	72	72	73	72	75	80	82	84	87	78
Brzina vjetra [m/s]	0,8	1	1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8

6.1.2. Definirane zone

S obzirom da predmetna zgrada nema razlike u uvjetima u pojedinim dijelovima, cijeli njen prostor je svrstan u jednu zonu. Razlog tome je to što se dijelovi zgrade ne razlikuju prema namjeni ili upotrebi različitih termotehničkih sustava. Slika 6.1. i 6.2. prikazuju grijane i negrijane zone.

**Slika 6.1.** Grijane i negrijane zone



Slika 6.2. Grijane i negrijane zone u presjeku

6.1.3. Prijenos topline prema tlu

Kod prijenosa topline prema tlu uneseni su podatci o podu na tlu.

6.1.4. Toplinski mostovi

Zbog jednostavnosti proračuna toplinski mostovi uzeti su u obzir preko paušalnog dodatka $UTM = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ kojeg je dopušteno koristiti za izračun energetske svojstva postojećih i rekonstruiranih zgrada. Detaljan proračun toplinskih mostova proveden je u programu Croral i analiziran u idućim poglavljima.

6.1.5. Otvori

Popis otvora s vrijednostima koeficijenta prolaza topline U_w [W/m^2K], orijentacijom, površinom otvora A_w [m^2] i brojem otvora dan je u sljedećoj tablici.

Tablica 6.2. Popis otvora, postojeće stanje

Naziv otvora	U_w [$W/m^2 K$]	Orijentacija	A_w [m^2]	Broj otvora
P-GV-JI 006	1,21	Jugo-istok	2,52	1
P-GV-JI 007	1,22	Jugo-istok	1,68	1
P-GV-JI 008	1,22	Jugo-istok	1,76	1
P-GV-JI 009	1,22	Jugo-istok	1,68	1
P-GV-JI 010	1,22	Jugo-istok	1,76	1
P-GV-JZ 001, 002	1,21	Jugo-zapad	3,36	2
P-GV-SI 004	1,28	Sjevero-istok	0,56	1
P-GV-SI 005	1,2	Sjevero-istok	1,68	1
P-GV-SZ 003	1,29	Sjevero-zapad	0,72	1
P-GV-SZ 011	1,2	Sjevero-zapad	1,68	1
P-GV-JZ 012 (krovni)	1,32	Jugo-zapad	1,68	1
V-GV-JI 001	1,53	Jugo-istok	3,05	1
V-GV-JI 011	1,36	Jugo-istok	1,6	1
V-GN-0 008	1,36	Jugo-istok	1,8	1

6.1.6. Toplinski gubitci

Kod upisa toplinskih gubitaka, točnije gubitaka infiltracijom, potreban je upis broja izmjena zraka kod razlike tlaka od 50 Pa, n_{50} [h^{-1}]. Spomenuti podatak dobije se kao rezultat ispitivanja zrakopropusnosti, no ako to nije moguće provesti, računa se prema Tablica 6.3, ukoliko drugi podaci nisu dostupni. [13]

Izračun prema tablici:

Zidana konstrukcija (8) + bez vjetrovne brane (3) + otvoreni dimnjaci (1) + nezabrtvljeni prodor instalacija (1) – žbukani zidovi (-1) – brtvljeni prozori/vrata (-1) = 8+3+1+1-1-1=11.

Tablica 6.3. Ventilacijski gubitci zgrade pri razlici tlakova od 50 Pa [13]

Opis dijela zgrade koji utječe na zrakopropusnost zgrade	Drvena skeletna konstrukcija, niska izgradnja	Zidana konstrukcija, niska izgradnja	Betonska konstrukcija / ostakljena pročelja, visoka izgradnja
	[h ⁻¹]		
Osnovna zrakopropusnost	3	8	3
Loše brtvljenje spojeva	0	0	5
Bez vjetrovne brane	3	3	0
Negrijani podrum/pod s međuprostorom	1	1	0
Otvoreni dimnjaci	1	1	1
Razvedeni tlocrt	1	1	1
Nezabrtvljeni prozori i vrata	1	1	1
Nezabrtvljeni prodori instalacija	1	1	1
Ventilacijski kanali	2	2	2
Polu-ugrađena zgrada	-1	-1	0
Ugrađena zgrada	-1	-2	0
Izolacija u šupljini konstrukcije	0	-1	0
Žbukani zidovi	0	-1	-1
Brtvljeni prozori / vrata	-1	-1	-1

6.1.7. Termotehnički sustavi

Osnovni zadatak termotehničkih sustava jest postizanje toplinske ugodnosti u prostorima zgrade. Sastoje se od opreme za grijanje, hlađenje, ventilaciju, klimatizaciju i pripremu potrošne tople vode. Predmetna zgrada ima centralni termotehnički sustav koji se sastoji od triju glavnih podsustava; izvora, razvoda i izmjene topline u prostoru. [13]

Izvor toplinske energije centralnog sustava grijanja je kotao na biomasu, tj. drvenu sječku proizvođača Zrenjanin nazivne snage 27,5 kW (Slika 6.3). Ovaj izvor koristi se i za pripremu PTV-a, uz kombinirani spremnik, bojler proizvođača Končar, zapremnine 80 l i snage 2 kW, prikazan Slika 6.4. U zimskim mjesecima kada se koristi kotao na drva za grijanje prostora, PTV se dobiva iz istog izvora. Tijekom ljetnih mjeseci za pripremu PTV-a koristi se električni bojler volumena 80l.

Podsustav razvoda grijanja prema broju cijevi cjevovoda je dvocijevni, a cijevi prolaze kroz grijane prostore te su neizolirane. Podsustav predaje topline za grijanje odnosi se na ogrjevno tijelo koje je u ovom slučaju radijator. Postoje dvije vrste instaliranih radijatora, dio postavljen pri ugradnji cijelog sustava i dio postavljen naknadno. Radijatori su proizvođača Lipovica, prvotno ugrađeni modela Ekonomik toplinskog učinka 129 W/čl. i naknadno ugrađeni modela Solar toplinskog učinka 185 W/čl. koji su prikazani slijedećim slikama.



Slika 6.3. Kotao na drvenu sječku



Slika 6.4. Kombinirani bojler



Slika 6.5. Lipovica Ekonomik



Slika 6.6. Lipovica Solar



Slika 6.7. Lipovica Ekonomik članak



Slika 6.8. Lipovica Solar članak

6.2. Rezultati proračuna

Rezultati proračuna koje su predstavljene u nastavku su koeficijenti prolaska topline, ukupni toplinski dobitci i ukupni toplinski gubitci te potrebna energija za grijanje i hlađenje. Prikazana je i usporedba konačnih rezultata s maksimalno dopuštenim vrijednostima propisanim u Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama.

6.2.1. Koeficijenti prolaska topline

U Tablici 6.4 prikazani su dobiveni koeficijenti prolaska topline vanjske ovojnice zgrade postojećeg stanja uspoređeni s maksimalno dopuštenim vrijednostima propisanim Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama kako bi mogli odrediti mjere za povećanje energetske učinkovitosti.

Tablica 6.4. Koeficijent prolaska topline postojećeg stanja

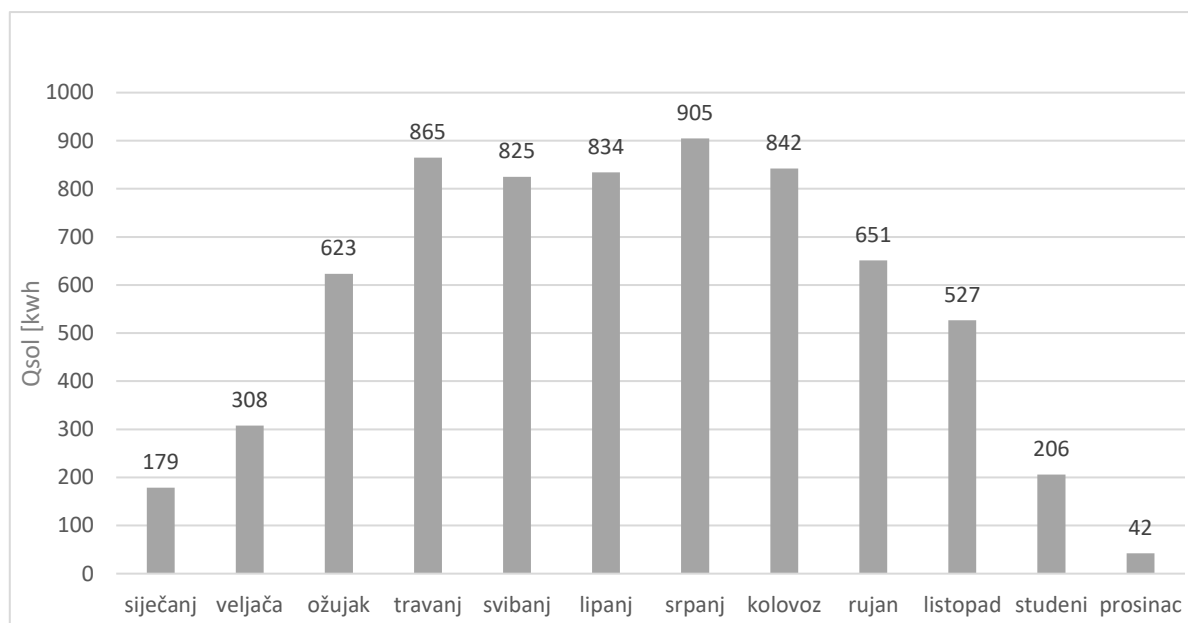
Naziv građevnog dijela	U [W/m ² K]	U _{max} [W/m ² K]	ZADOVOLJAVA
Vanjski zidovi grijano-vani	0,42	0,3	NE
Vanjski zidovi negrijano-vani	0,42	0,3	NE
Unutarnji zidovi grijano-negrijano	0,71	0,4	NE
Unutarnji zidovi grijano-grijano	0,71	-	-
Zid prema susjednoj zgradi	0,71	0,6	NE
Stropna ploča grijano-grijano	1,97	0,6	NE
Pod na tlu	2,59	0,4	NE
Stropna ploča grijano-negrijani tavan	2,28	0,25	NE
Krov grijano-vani	4,38	0,25	NE
Krov negrijano-vani	4,38	0,25	NE
Ravni krov	4,98	0,25	NE

Dobiveni rezultati u skladu su s očekivanjima s obzirom da na građevinskim dijelovima nema toplinske izolacije. Iz tablice možemo zaključiti kako najveći gubitak topline imamo kroz ravni i kosi krov. Za ostvarivanje veće razine energetske učinkovitosti potrebno je smanjiti gubitke kroz vanjsku ovojnicu odnosno smanjiti vrijednosti koeficijentata prolaska topline u odnosu na maksimalno dopuštene vrijednosti.

6.2.2. Ukupni toplinski dobitci i toplinski gubitci

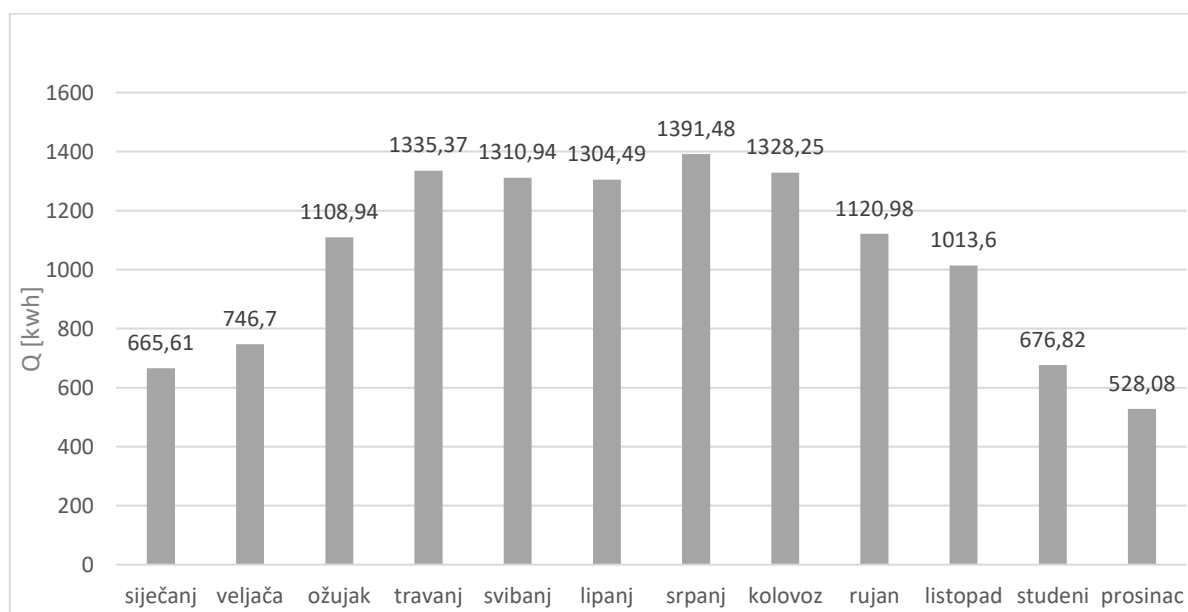
Početak ovog poglavlja definiran je raspored, veličina i orijentacija svih vanjskih otvora zgrade. Uz spomenute podatke, utjecaj kuta obzora, nadstrešnice i bočnog zaslona bitni su za određivanje dobitaka od Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente. [12]

Slika 6.9. Ukupni mjesečni solarni dobitci prikazuje dobivene vrijednosti ukupnih mjesečnih solarnih dobitaka Q_{sol} [kWh].



Slika 6.9. Ukupni mjesečni solarni dobitci postojećeg stanja

Na Sliku 6.10 prikazani su ukupni toplinski dobitci Q [kWh].



Slika 6.10. Ukupni godišnji toplinski dobitci postojećeg stanja

Osim solarnih dobitaka, u ukupne godišnje toplinske dobitke ulaze i unutarnji toplinski dobitci od ljudi, rasvjete i uređaja Q_{int} [kWh]. Prema uvjetima propisa, unutarnji dobitci Q_{int} računaju se s vrijednošću 5 W/m^2 ploštine korisne površine za stambene prostore i program ih uračunava automatski.[12] Vrijednost unutarnjih toplinskih dobitaka iznosi 5724,22 kWh te skupa sa solarnim toplinskim dobitcima od 6807,04 kWh čine ukupne toplinske dobitke od 12531,26 kWh. (Tablica 6.5. Vrijednosti toplinskih dobitaka

Tablica 6.5. Vrijednosti toplinskih dobitaka postojećeg stanja

UNUTARNJI TOPLINSKI DOBITCI	Q_{int} [kWh]	5724,22
SOLARNI TOPLINSKI DOBITCI	Q_{sol} [kWh]	6807,04
UKUPNI TOPLINSKI DOBITCI	Q [kWh]	12531,26

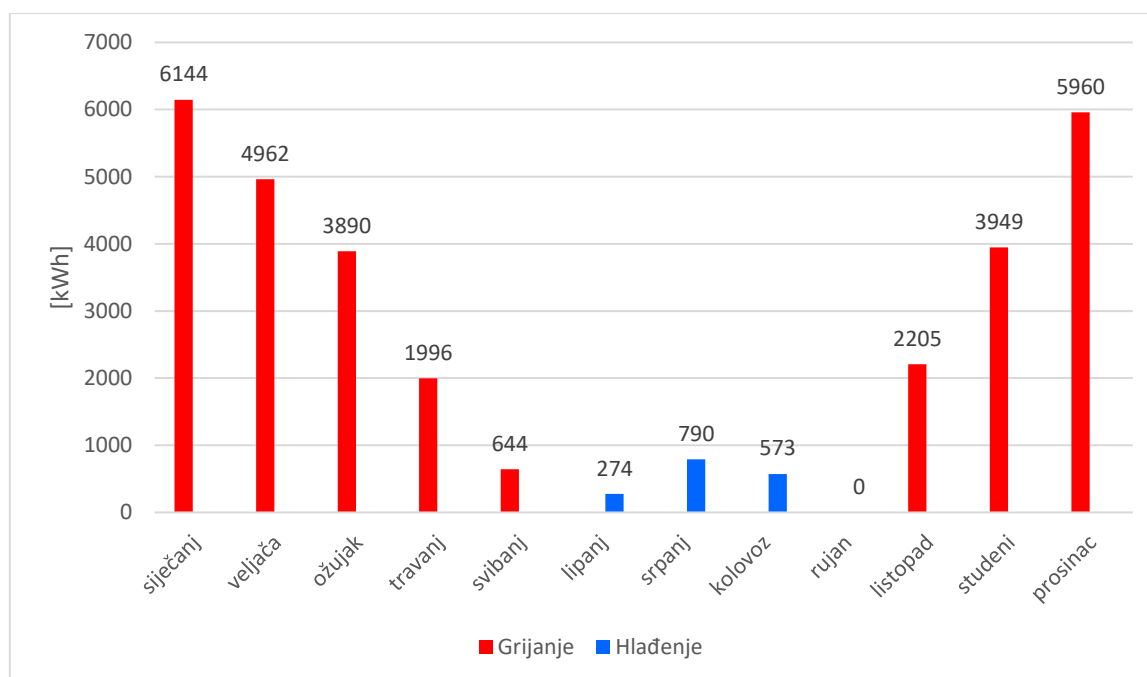
Vrijednosti toplinskih gubitaka prikazane su u Tablica 6.6. Vrijednosti toplinskih gubitaka

Tablica 6.6. Vrijednosti toplinskih gubitaka postojećeg stanja

TOPLINSKI GUBITCI U SEZONI GRIJANJA	$Q_{H,ht}$ [kWh]	49157,56
TOPLINSKI GUBITCI U SEZONI HLAĐENJA	$Q_{C,ht}$ [kWh]	60285,76
UKUPNI TOPLINSKI GUBITCI	Q [kWh]	109443,32

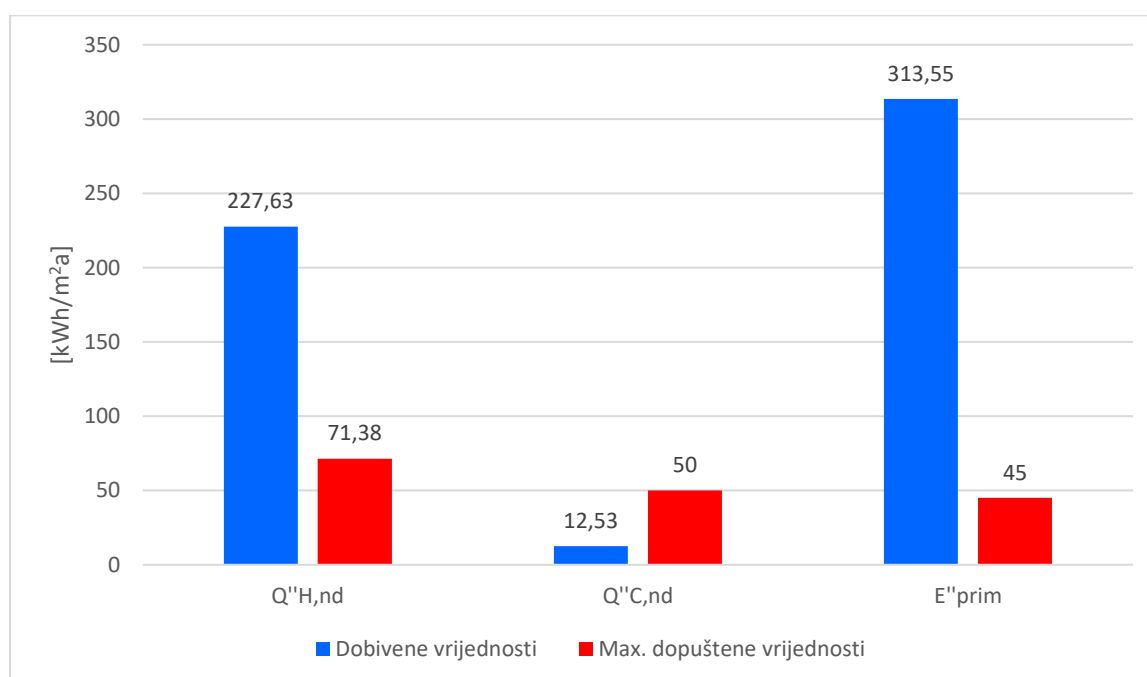
6.2.3. Potrebna energija za grijanje i hlađenje

Proračunata potrebna energija za grijanje i hlađenje prikazana je na Slika 6.11. Ukupna potrebna energija za grijanje $Q_{H,nd}$ iznosi 29749,26 kWh što je čak osamnaest puta više od vrijednosti potrebne energije za hlađenje $Q_{C,nd}$ koja iznosi 1637,03 kWh. Razlog tomu je nepostojanje toplinske izolacije na vanjskoj ovojnici zgrade i niski solarni dobitci.



Slika 6.11. Potrebna energija za grijanje i hlađenje postojećeg stanja

Slika 6.12. prikazuje da vrijednost godišnje potrebne topline za grijanje po jedinici proračunske korisne površine $Q''_{H,nd}$ i vrijednost godišnje primarne energije po jedinici ploštine korisne površine zgrade E''_{prim} prelaze maksimalno dopuštenu vrijednost te time ne zadovoljavaju uvjete propisane Tehničkim propisom. Godišnja potrebna toplina za hlađenje po jedinici korisne površine $Q''_{C,nd}$ zadovoljava kriterije.



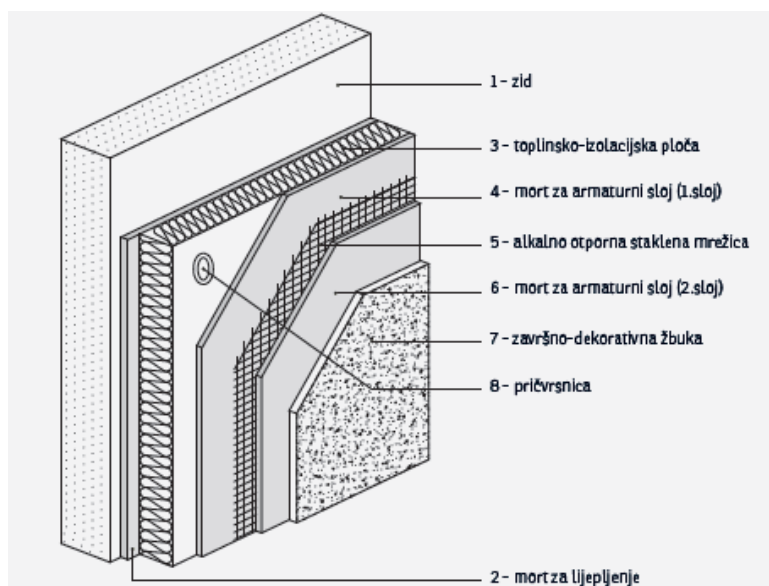
Slika 6.12. Usporedba izračunatih vrijednosti s maksimalno dopuštenima, postojeće stanje

7. Prijedlog mjera energetske obnove

Kao što je vidljivo iz prethodnog poglavlja, postojeće stanje predmetne zgrade ne zadovoljava uvjete propisane Tehničkim propisom. Vrijednost godišnje potrebne topline za grijanje po jedinici proračunske korisne površine $Q''_{H,nd}$ i vrijednost godišnje primarne energije po jedinici plošne korisne površine zgrade znatno odstupaju od maksimalno dopuštenih vrijednosti. Također, ukupna potrebna energija za grijanje $Q_{H,nd}$ je poprilično visoka gledajući kvadraturu zgrade. S obzirom na navedeno, neupitna je potreba za energetskom obnovom predmetne zgrade, a prijedlog mjera obnove predstavljen je u ovom poglavlju. U slijedećem poglavlju prikazani su novo planirani slojevi ovojnice zgrade i detaljan proračun građevnih elemenata.

7.1. Zidovi

Obzirom na godinu izgradnje zgrade te nepostojanja toplinske izolacije, zgradu je potrebno toplinski izolirati s ciljem smanjenja gubitaka energije i troškova te povećanjem udobnosti i kvalitete života. Za toplinsku izolaciju zidova odabran je ETICS-sustav, povezan sustav za vanjsku toplinsku izolaciju. Kao priprema za postavljanje ETICS-sustava u ovom slučaju se skida stara vanjska žbuka. Ploče od kamene vune lijepe se linijski po rubovima i točkasto po sredini, na 40% površine ploče, polimerno-cementnim ljepilom namijenjenim za lijepljenje proizvoda od kamene vune. Ploče se lijepe odozdo prema gore i pričvršćuju pričvršnicama. Preko izolacijskog sloja nanosi se ljepilo u koje se utiskuje staklena mrežica te se nakon sušenja dodaje još jedan sloj ljepila. Nakon nekoliko dana nanosi se impregnacija i završni sloj silikatne žbuke. [14] Slika 7.1 prikazuje slojeve ETICS-sustava.

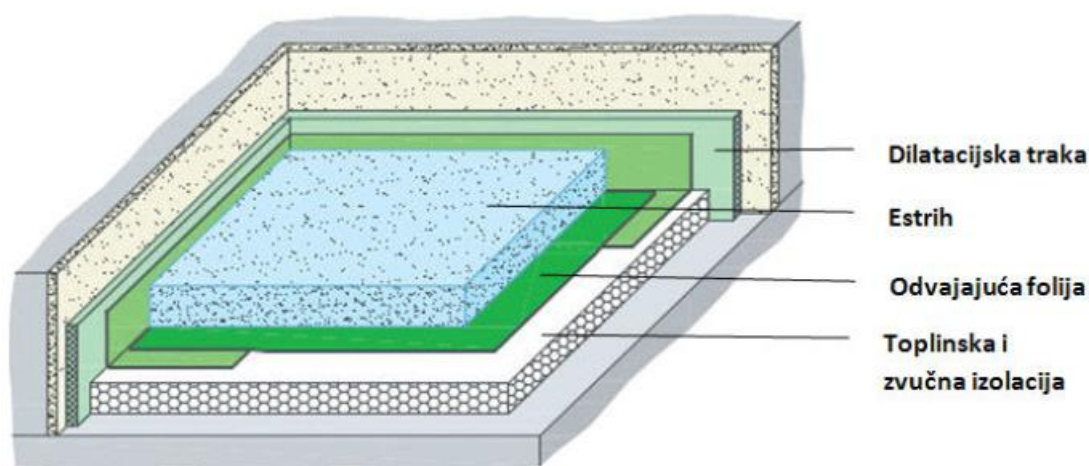


Slika 7.1. Presjek strukture ETICS sustava [14]

7.2. Pod na tlu i međukatna konstrukcija

Vlažno okruženje i blizina tla nepovoljno utječu na postojanost podnih površina te kod ovog građevnog dijela treba obratiti pozornost na vlagu. Iz tog razloga na armirano betonsku podnu podlogu ugrađuje se xps, toplinsko izolacijska vodootporna ploča od ekstrudiranog polistirena te se nakon nje izlijeva tekući hidroizolacijski premaz. Na postavljenu hidroizolaciju polažu se tvrde podne ploče od kamene vune koje se prekrivaju PE folijom na koju dolazi cementni estrih, plivajući pod. Važno je obratiti pozornost na pravilnu ugradnju plivajućeg poda tako da se slojevi ne izvode do rubova zida, nego da se taj prostor zapuni trakama od kamene vune. Kao završna obloga se ovisno o prostoriji postavlja parket ili pločice.

Međukatna konstrukcija ima slične slojeve kao i pod na tlu, bez prvotne hidroizolacije. Na betonsku podlogu postavljaju se tvrde podne ploče od kamene vune, zatim parna brana te cementni estrih, odnosno plivajući pod. Kod međukatne konstrukcije ovakav sustav osim toplinske izolacije služi i kao izolacija od udarnog zvuka. Na dio međukatne konstrukcije koja graniči s grijanim prostorom i negrijanim tavanom postavlja se i sloj xps-a.



Slika 7.2. Plivajući pod [15]

7.3. Kosi krov

Obnova kosog krova vršit će se izvana kako bi se sačuvala postojeća lamperija kao završna obloga te kako bi se u prostorijama potkrovlja život stanara mogao i dalje nesmetano odvijati. Na drvenu podkonstrukciju postavlja se parna brana te se između rogova ugrađuje jedan sloj tvrdih ploča od kamene vune, pa na njih iznad rogova drugi sloj tvrdih ploča od kamen vune, tzv. termotop. Kao što se vidjelo u poglavlju 5. kosi krov ima najveći koeficijent prolaska topline i time najveći gubitak topline, pa je potreban deblji sloj toplinske izolacije. Na slojeve toplinske izolacije postavlja se paropropusna drveno-vlaknasta ploča koja je otporna na vlagu te

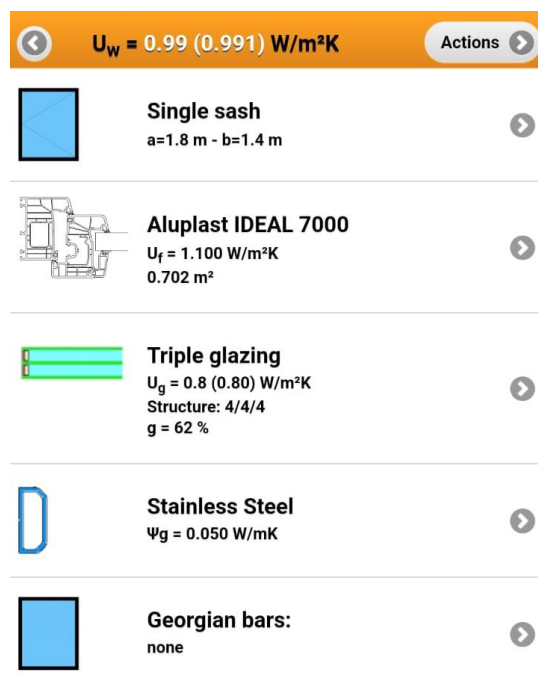
paropropusna-vodonepropusna folija kako bi se spriječio prodor vlage do izolacije i unutarnjeg prostora. Završni pokrov krova je glineni crijep.

7.4. Vanjska stolarija

Iako je postojeća stolarija relativno nedavno zamijenjena, odlučeno je ponovno zamijeniti postojeću stolariju s nešto boljim toplinskim koeficijentima, ali s naglaskom na pravilnu ral ugradnju, što nije bio slučaj kod postojeće stolarije. Tablica 7.1. prikazuje popis novo ugrađenih otvora. Izračun koeficijenata prolaska topline prozora U_w [W/m^2K] proveo se pomoću aplikacije Caluwin (Slika 7.3.) koja služi za računanje U vrijednosti prozora prema DIN EN ISO 10077 i DIN EN13947.

Tablica 7.1. Popis otvora, obnovljeno stanje

Naziv otvora	Površina [m^2]	Tip prozora	U_f [W/m^2K]	Staklo	U_g [W/m^2K]	Ψ_g [W/m^2K]	g_l [%]	U_w [W/m^2K]
P-GV-JI 006	2,52	Jednostruki	1,1	Trostruko	0,8	0,05	62	0,99
P-GV-JI 007	1,68	Jednostruki	1,1	Trostruko	0,8	0,05	62	1,026
P-GV-JI 008	1,76	Jednostruki	1,1	Trostruko	0,8	0,05	62	1,055
P-GV-JI 009	1,68	Jednostruki	1,1	Trostruko	0,8	0,05	62	1,026
P-GV-JI 010	1,76	Jednostruki	1,1	Trostruko	0,8	0,05	62	1,055
P-GV-JZ 001	3,36	Dvostruki	1,118	Trostruko	0,8	0,05	62	1,024
P-GV-JZ 002	3,36	Dvostruki	1,118	Trostruko	0,8	0,05	62	1,024
P-GV-SI 004	0,56	Jednostruki	1,1	Trostruko	0,8	0,05	62	1,143
P-GV-SI 005	1,68	Jednostruki	1,1	Trostruko	0,8	0,05	62	1,026
P-GV-SZ 003	0,72	Jednostruki	1,1	Trostruko	0,8	0,05	62	1,114
P-GV-SZ 011	1,68	Jednostruki	1,1	Trostruko	0,8	0,05	62	1,026
P-GV-JZ 012 (krovni)	1,08	Jednostruki	1,1	Trostruko	0,8	0,05	62	1,072



Slika 7.3. Aplikacija Caluwin

7.5. Termotehnički sustavi

Stari standardni kotao na drvenu sječku zamjenjuje se s kotlom na pelete. Drveni peleti spadaju u obnovljive izvore energije jer se dobivaju od ostataka drva. Značajno manje onečišćuju zrak budući da su CO_2 neutralni. Uzevši u obzir ekološke prednosti odlučena je zamjena za kotao na pelete. Podsustav razvoda grijanja i dalje je dvocijevni, a podsustav predaje topline ostaju radijatori. Na jugozapadnu stranu krova postavljaju se fotonaponski paneli površine 15 m^2 koji će značajno utjecati na proizvodnju električne energije. Također se ugrađuje mehanička ventilacija.

8. Slojevi građevnih dijelova zgrade, obnovljeno stanje

8.1. Zidovi

U tablicama 8.1. – 8.5. prikazani su zidovi koji su na granici grijanog dijela zgrade.

Tablica 8.1. Vanjski zidovi grijano-vani

Radni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	vapneno cementna žbuka ROFIX 866	1,5	1	20	0,3	1131
2	POROTHERM 30 PROFI	30	0,138	7,5	2,25	800
3	ROFIX unistar basic	0,5	0,61	15	0,08	1650
4	kamena min.vuna FKD-S thermal	15	0,035	1	0,15	100
5	RÖFIXUnistar Light Mort za lijepljenje i armiranje	0,5	0,54	20	0,1	1150
6	ROFIX SP sil. strukt. završna žbuka	0,2	0,9	60	0,12	1800
A [m ²] =					150,07	
U [W/m ² K] =					0,15	

Tablica 8.2. Vanjski zidovi negrijano-vani

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	vapneno cementna žbuka ROFIX 866	1,5	1	20	0,3	1131
2	POROTHERM 30 PROFI	30	0,138	7,5	2,25	800
3	ROFIX unistar basic	0,5	0,61	15	0,08	1650
4	kamena min.vuna FKD-S thermal	15	0,035	1	0,15	100
5	RÖFIXUnistar Light Mort za lijepljenje i armiranje	0,5	0,54	20	0,1	1150
6	ROFIX SP sil. strukt. završna žbuka	0,2	0,9	60	0,12	1800
A [m ²] =					16,91	
U [W/m ² K] =					0,15	

Tablica 8.3. Unutarnji zidovi grijano-negrijano

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	vapneno cementna žbuka ROFIX 866	1,5	1	20	0,3	1131
2	POROTHERM 20-50 PROFI	20	0,176	7,5	1,5	750
3	ROFIX unistar basic	0,5	0,61	15	0,08	1650
4	kamena min.vuna FKD-S thermal	5	0,035	1	0,05	100
5	RÖFIXUnistar Light Mort za lijepljenje i armiranje	0,6	0,54	20	0,12	1150
6	ROFIX SP sil. strukt. završna žbuka	0,2	0,9	60	0,12	1800
A [m ²] =					31,51	
U [W/m ² K] =					0,35	

Tablica 8.4. Unutarnji zidovi grijano-grijano

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	vapneno cementna žbuka ROFIX 866	1,5	1	20	0,3	1131
2	POROTHERM 20-50 PROFI	20	0,176	7,5	1,5	750
3	vapneno cementna žbuka ROFIX 866	1,5	1	20	0,3	1131
A [m ²] =					73,07	
U [W/m ² K] =					0,7	

Tablica 8.5. Zid prema susjednoj zgradi

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Knauf DIAMANT gips-kartonska ploča tip DFH2IR	1,25	0,27	4	0,05	1000
2	Knauf Insulation ploča za pregradne zidove AKUSTIK BOARD	5	0,037	1,1	0,06	16
3	Armirani beton	20	2,6	110	22	2500
4	Vapneno-cementna žbuka	2	1	20	0,4	1800
A [m ²] =					7,54	
U [W/m ² K] =					0,57	

8.2. Stropne ploče

Tablicama 8.6. i 8.7. prikazani su novi slojevi stropnih ploča.

Tablica 8.6. Stropna ploča grijano-grijano

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Drvo - meko - crnogorica	2	0,13	50	1	500
2	Cementni estrih	2	1,6	50	1	2000
3	HOMESEAL LDS 35 parna brana	0,02	0,5	205000	20	520
4	Knauf Insulation podna ploča NaturBoard TPT	5	0,036	1,1	0,06	130
5	Armirani beton	16	2,6	110	17,6	2500
6	Vapneno-cementna žbuka	1	1	20	0,2	1800
A [m ²] =					66,08	
U [W/m ² K] =					0,53	

Tablica 8.7. Stropna ploča grijano-negrijani tavan

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Drvo - meko - crnogorica	2	0,13	50	1	500
2	Cementni estrih	2	1,6	50	1	2000
3	HOMESEAL LDS 35 parna brana	0,02	0,5	205000	20	520
4	Knauf Insulation podna ploča NaturBoard TPT	5	0,036	1,1	0,06	130
5	FibranXPS SEISMIC 700L	10	0,033	80	8	28
6	Armirani beton	16	2,6	110	17,6	2500
7	Vapneno-cementna žbuka	1	1	20	0,2	1800
A [m ²] =					83,08	
U [W/m ² K] =					0,21	

8.3. Pod na tlu

U tablici 8.8. prikazan je pod na tlu kroz svoje nove slojeve.

Tablica 8.8. Pod na tlu

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Drvo - meko - crnogorica	1,5	0,13	50	0,75	500
2	Polimerno-cementno ljepilo	0,1	0,9	14	0,01	1650
3	Cementni estrih	5	1,6	50	2,5	2000
4	Polietilenska folija 0,15 mm	0,015	0,5	334000	15	980
5	Knauf Insulation podna ploča NaturBoard TP	5	0,035	1,1	0,06	100
6	Tekući hidroizolacijski premaz	0,075	0,25	6000	4,5	1200
7	FibranXPS SEISMIC 700L	10	0,033	80	8	28
8	Armirani beton	20	2,6	110	22	2500
9	Pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac)	15	0,81	3	0,45	1700
A [m ²] =					93,91	
U [W/m ² K] =					0,20	

8.4. Krov

Tablice 8.9. – 8.11. prikazuju slojeve krovova.

Tablica 8.9. Kosi krov grijano-vani

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Ploče od drvenih vlakana, uklj. MDF	1,25	0,07	2	0,03	250
2	HOMESEAL LDS 35 parna brana	0,017	0,5	205000	17	520
3	Knauf Insulation višenamjenska ploča NaturBoardFIT	14	0,039	1,1	0,15	30
4	Termotop ploča za kose krovove	10	0,038	1,1	0,11	45
5	EGGER DHF ploča	0,2	0,1	11	0,02	600
6	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna-vodonepropusna folija	0,038	0,2	52	0,02	240
7	Dobro provjetravan sloj zraka	6	-	1	0,01	-
8	Crijep (krovni) glina	2	1	40	0,8	2000
A [m ²] =					31,14	
U [W/m ² K] =					0,15	

Tablica 8.10. Kosi krov negrijano-vani

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Ploče od drvenih vlakana, uklj. MDF	1,25	0,07	2	0,03	250
2	HOMESEAL LDS 35 parna brana	0,017	0,5	205000	17	520
3	Knauf Insulation ploča za kose krovove NaturBoard KP	14	0,037	1,1	0,15	45
4	Termotop ploča za kose krovove	10	0,038	1,1	0,11	45
5	EGGER DHF ploča	2	0,1	11	0,22	600
6	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna-vodonepropusna folija	0,038	0,2	52	0,02	240
7	Dobro provjetravan sloj zraka	6	-	1	0,01	-
8	Crijep (krovni) glina	2	1	40	0,8	2000
A [m ²] =					116,65	
U [W/m ² K] =					0,14	

Tablica 8.11. Ravni krov

Redni broj	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	Vapneno-cementna žbuka	2	1	20	0,4	1800
2	Armirani beton	12	2,6	110	13,2	2500
3	HOMESEAL LDS 200 AluPlus parna brana za ravne krovove	0,22	0,5	1000000	220	500
4	Knauf Insulation ploča za ravne krovove SmartRoof TOP	15	0,038	1,1	0,17	135
5	Polim. hidro. traka na bazi FPO/TPO	0,15	0,26	90000	135	1600
6	Geotekstil 150-200 g/m ²	0,09	0,2	1000	0,9	900
7	Pijesak i šljunak	5	2	50	2,5	1700
A [m ²] =					5,97	
U [W/m ² K] =					0,24	

9. Proračun toplinske zaštite i racionalne uporabe energije, obnovljeno stanje

Rezultati proračuna koje su predstavljeni u nastavku su koeficijenti prolaska topline, ukupni toplinski dobitci i ukupni toplinski gubici te potrebna energija za grijanje i hlađenje, nakon proveden obnove. Prikazana je i usporedba konačnih rezultata s maksimalno dopuštenim vrijednostima propisanim u Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama.

9.1. Koeficijenti prolaska topline

U Tablica 9.1. prikazani su dobiveni koeficijenti prolaska topline vanjske ovojnice zgrade nakon proveden obnove, uspoređeni s maksimalno dopuštenim vrijednostima propisanim Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama kako bi mogli odrediti mjere za povećanje energetske učinkovitosti.

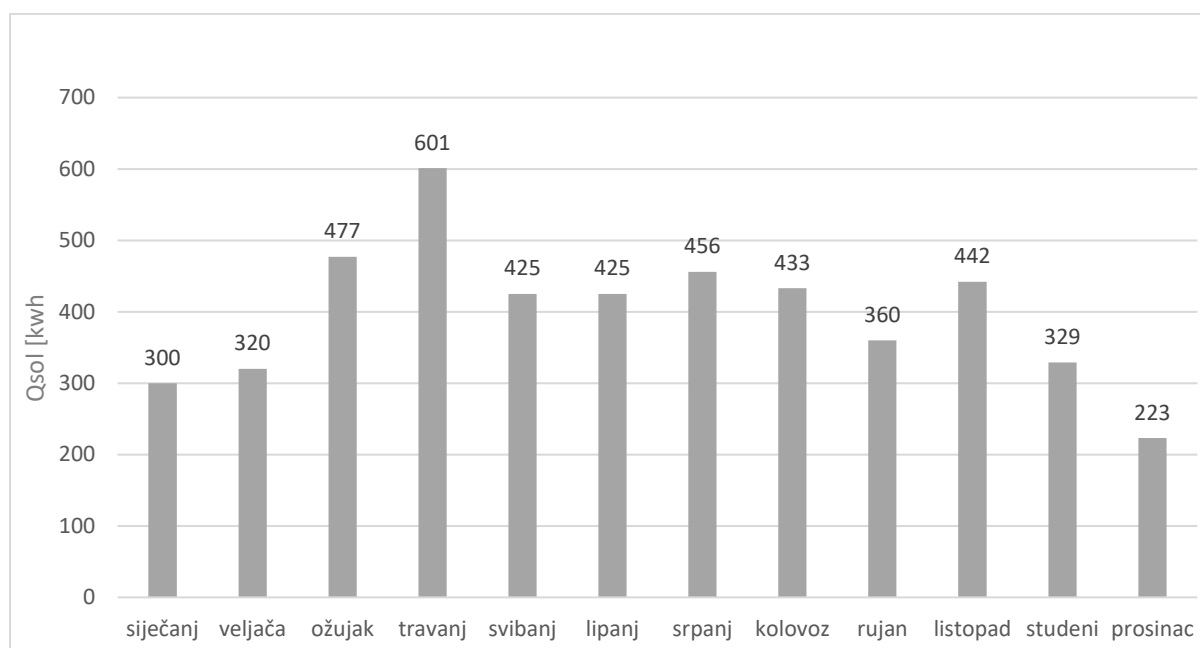
Tablica 9.1. Koeficijent prolaska topline obnovljenog stanja

Naziv građevnog dijela	U [W/m ² K]	U _{max} [W/m ² K]	ZADOVOLJAVA
Vanjski zidovi grijano-vani	0,21	0,3	DA
Vanjski zidovi negrijano-vani	0,21	0,3	DA
Unutarnji zidovi grijano-negrijano	0,35	0,4	DA
Unutarnji zidovi grijano-grijano	0,7	-	-
Zid prema susjednoj zgradi	0,57	0,6	DA
Stropna ploča grijano-grijano	0,53	0,6	DA
Pod na tlu	0,2	0,4	DA
Stropna ploča grijano-negrijani tavan	0,21	0,25	DA
Krov grijano-vani	0,15	0,25	DA
Krov negrijano-vani	0,14	0,25	DA
Ravni krov	0,24	0,25	DA

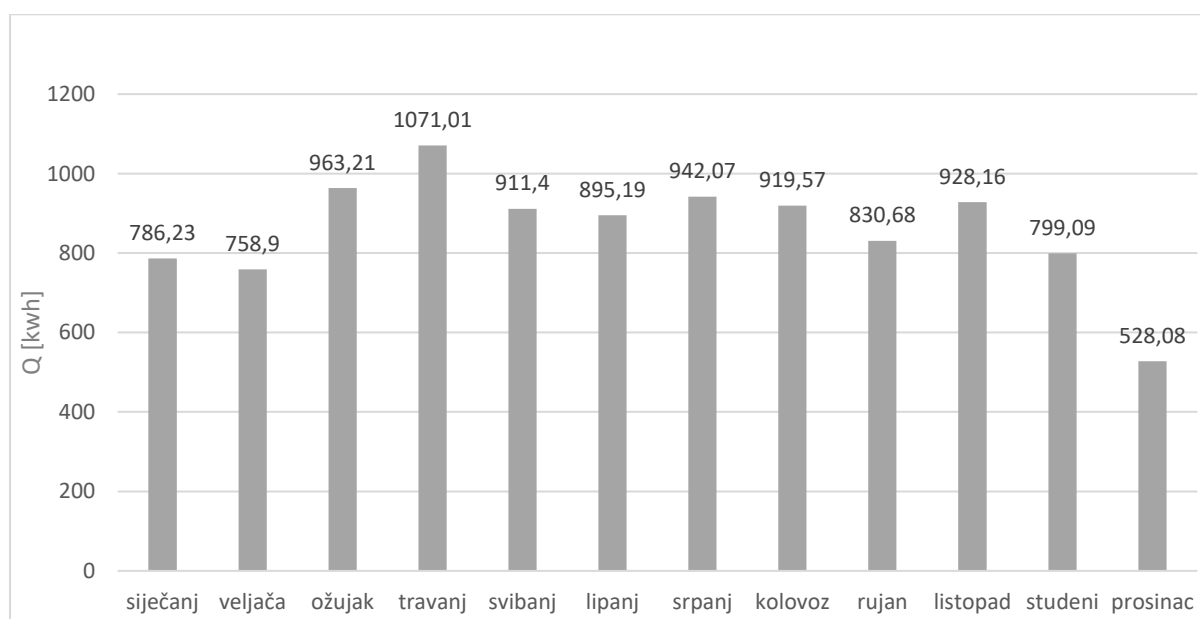
Dobiveni rezultati potvrđuju postizanje željenih rezultata. Svi koeficijenti prolaznosti topline zadovoljavaju uvjete postavljene u Tehničkom propisu. Unutarnji zidovi na granici grijanih prostorija ne ulaze u proračun s obzirom da nema gubitaka topline između grijanih prostorija istih uvjeta.

9.2. Ukupni toplinski dobitci i toplinski gubitci

Slike 9.1. i 9.2. prikazuju dobivene vrijednosti ukupnih mjesečnih solarnih dobitaka i ukupnih godišnjih toplinskih dobitaka u stanju nakon provedene obnove.



Slika 9.1. Ukupni mjesečni solarni dobitci obnovljenog stanja



Slika 9.2. Ukupni godišnji toplinski dobitci obnovljenog stanja

Vrijednosti toplinskih dobitaka i toplinskih gubitaka nakon provedene obnove prikazane su u tablicama 9.2. i 9.3.

Tablica 9.2. Vrijednosti toplinskih dobitaka obnovljenog stanja

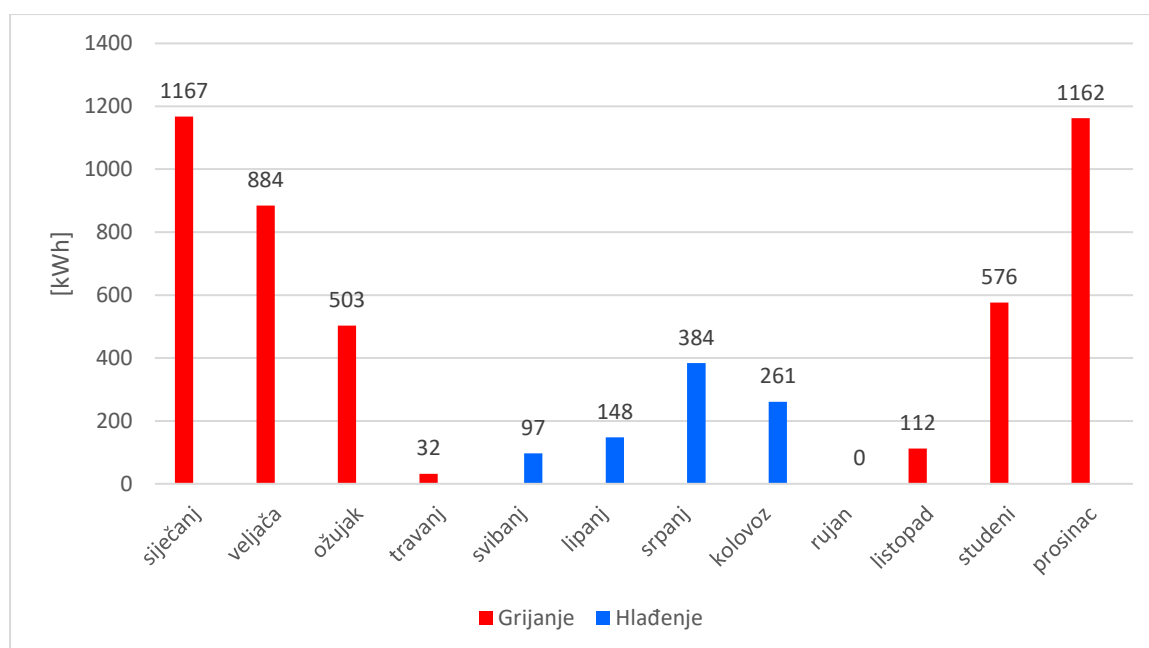
UNUTARNJI TOPLINSKI DOBITCI	Q_{int} [kWh]	5724,22
SOLARNI TOPLINSKI DOBITCI	Q_{sol} [kWh]	4790,85
UKUPNI TOPLINSKI DOBITCI	Q [kWh]	10515,08

Tablica 9.3. Vrijednosti toplinskih gubitaka obnovljenog stanja

TOPLINSKI GUBITCI U SEZONI GRIJANJA	$Q_{\text{H,ht}}$ [kWh]	12165,44
TOPLINSKI GUBITCI U SEZONI HLAĐENJA	$Q_{\text{C,ht}}$ [kWh]	18868,35
UKUPNI TOPLINSKI GUBITCI	Q [kWh]	31033,79

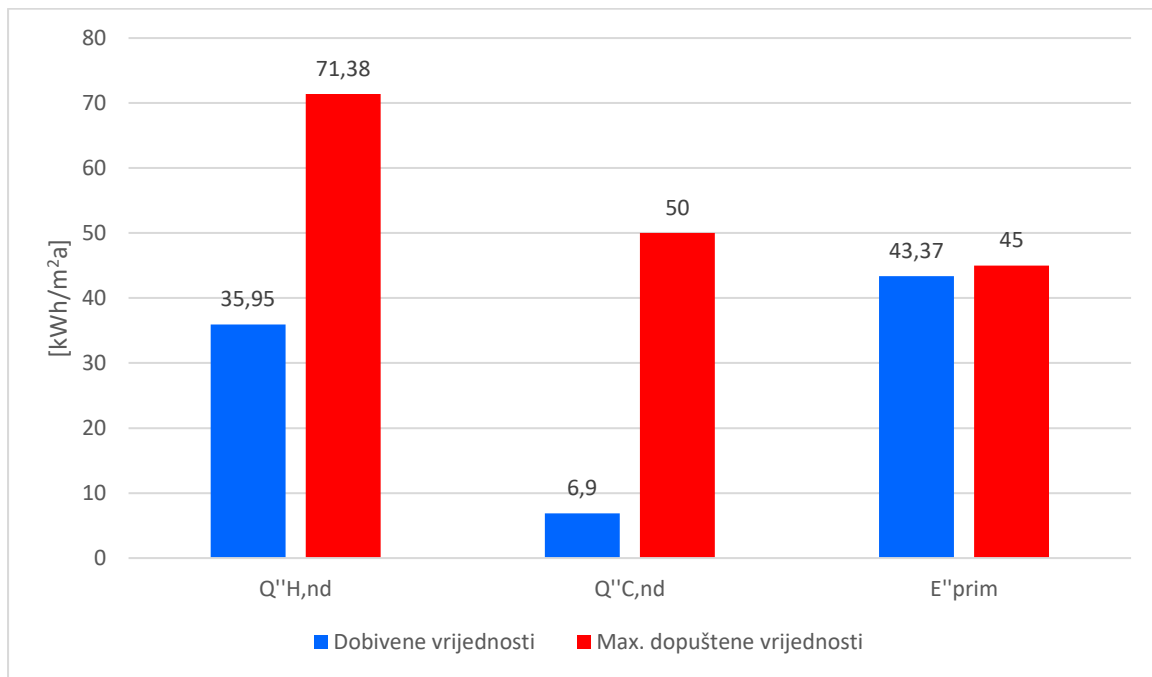
9.3. Potrebna energija za grijanje i hlađenje

Proračunata potrebna energija za grijanje i hlađenje prikazana je na Slika 9.3. Ukupna potrebna energija za grijanje $Q_{\text{H,nd}}$ smanjila se čak šest puta te sada iznosi 4436,83 kWh, a potrebna energija za hlađenje $Q_{\text{C,nd}}$ se također smanjila te iznosi 903,14 kWh.



Slika 9.3. Potrebna energija za grijanje i hlađenje obnovljenog stanja

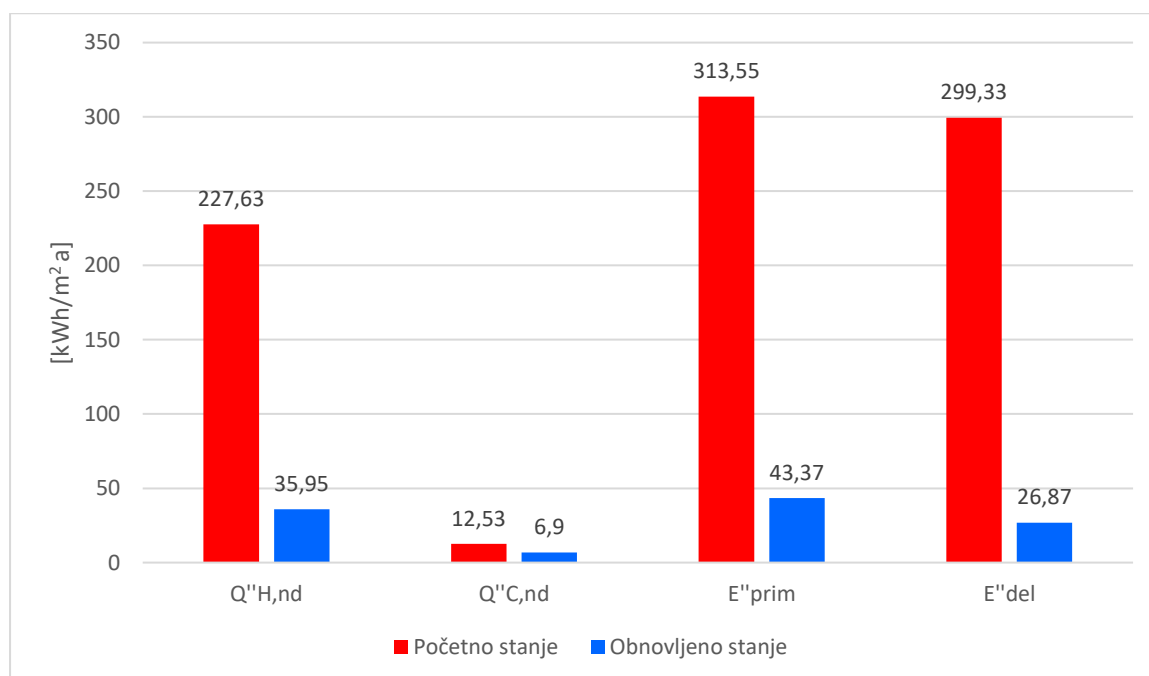
Nakon provedenih mjera opisanih u poglavlju 6. vidljivo je iz Slika 9.4. da su se vrijednosti godišnje potrebne topline za grijanje po jedinici proračunske korisne površine $Q''_{H,nd}$ i vrijednost godišnje primarne energije po jedinici ploštine korisne površine zgrade E''_{prim} značajno smanjile te sada zadovoljavaju uvjete propisane Tehničkim propisom. Godišnja potrebna toplina za hlađenje po jedinici korisne površine $Q''_{C,nd}$ zadovoljavala je kriterije i prije provedene obnove i to se nakon obnove očekivano nije promijenilo.



Slika 9.4. Usporedba izračunatih vrijednosti s maksimalno dopuštenima, obnovljeno stanje

9.4. Konačni rezultati

Prikaz konačnih rezultata i krajnji ishod provedene obnove dan je Slika 9.5. Vrijednost godišnje potrebne topline za grijanje po jedinici proračunske korisne površine $Q''_{H,nd}$ pala je s početnih 227,63 kWh/m²a na 35,95 kWh/m²a odnosno za čak 84%. Godišnja potrebna toplina za hlađenje po jedinici korisne površine $Q''_{C,nd}$ pala je s 12,53 kWh/m²a na sadašnjih 6,9 kWh/m²a, za otprilike 45%. Vrijednost godišnje primarne energije po jedinici ploštine korisne površine zgrade E''_{prim} spustila se sa 313,55 kWh/m²a na 43,37 kWh/m²a odnosno za 86%. Godišnja isporučena energija po jedinici ploštine korisne površine E''_{del} također se smanjila sa 299,33 kWh/m²a na 26,87 kWh/m²a, što je u postotku čak 91%.



Slika 9.5. Usporedba stanja prije i nakon obnove

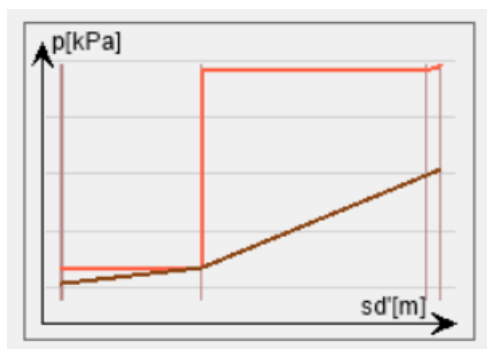
10. Higrotermalno ponašanje

Higrotermalno ponašanje je prolazak vlage, topline i zraka kroz vanjsku ovojnici zgrade. Do kretanja vlage u građevinskom elementu dolazi uslijed razlike u parcijalnim tlakovima i u temperaturi u unutarnjem prostoru i vanjskom okolišu. Procesom difuzije vodena para se kreće iz područja višeg parcijalnog tlaka, u područje nižeg, s tendencijom izjednačavanja koncentracija. Samo kretanje vodene pare kroz građevni element nije toliko štetno, no do opasnosti od oštećenja elementa i smanjenja njegove toplinsko-izolacijske sposobnosti dolazi samo u slučaju kondenzacije vodene pare unutar elementa. Stoga je poznavanje higrotermalnog ponašanja od velike važnosti za izgradnju ili obnovu energetski učinkovitih zgrada, sigurnih od građevinskih šteta koje su uzrokovane vlagom, s ugodnom i zdravom unutarnjom klimom.

Proračun je proveden za 4 slučaja:

- pod na tlu,
- vanjski zid,
- kosi krov,
- ravni krov.

Higrotermalno ponašanje elemenata ovojnice zgrade može se procijeniti primjenom tradicionalne Glaserove metode ili primjenom dinamičke metode pomoću HAM modela. Proračun difuzije vodene pare u KI Expert-u temelji se na stacionarnoj Glaserovoj metodi koja zbog niza pojednostavljenja služi isključivo za otkrivanje rizika od pojave kondenzacije. Prema Glaserovoj metodi transport topline i vlage su međusobno neovisni. Toplina se prenosi isključivo vođenjem, a vlaga procesom difuzije. Ne uzima u obzir transport likvidne vlage i zraka. Postupak procjene rizika od pojave kondenzacije prema Glaserovoj metodi provodi se tako da se grafički kroz poprečni presjek građevnog dijela ucrtava krivulja parcijalnog tlaka vodene pare i krivulja tlaka zasićenja. U svakom sloju promatranog građevnog dijela mora biti zadovoljen uvjet da je vrijednost tlaka zasićenja veća od vrijednosti parcijalnog tlaka te ukoliko se negdje sijeku, tada dolazi do pojave kondenzacije. Primjer pojave kondenzacije prema proračunu iz KI Expert-a na slučaju ravnog krova prikazan je Slika 10.1.



Slika 10.1. Pojava kondenzacije u ravnom krovu, Ki Expert Plus

Slijedom navedenog, proračun difuzije vodene pare dodatno je proveden nestacionarnom metodom izradom numeričkog higrotermalnog modela (HAM - eng. *Heat, air and moisture*) pomoću besplatne verzije računalnog programa WUFI Light 6.7. HAM modelima uzima se u obzir međusobni utjecaj topline i vlage razmatrajući sve njihove mehanizme prijenosa, moguća je pohrana vlage i akumulacija topline, uzima u obzir kiša nošena vjetrom i sunčevo zračenje te razmatra likvidnu i ugrađenu vlagu. [16]

10.1. Ulazni podatci

Za početak proračuna u programu WUFI Light 6.7 potrebno je unijeti ulazne parametre:

- podatke o klimi,
- orijentaciju i nagib građevnog elementa,
- vremenski period proračuna,
- uvjete površinskog prijenosa,
- početne uvjete te
- odabrane slojeve i pozicije motrišta elementa u pitanju.

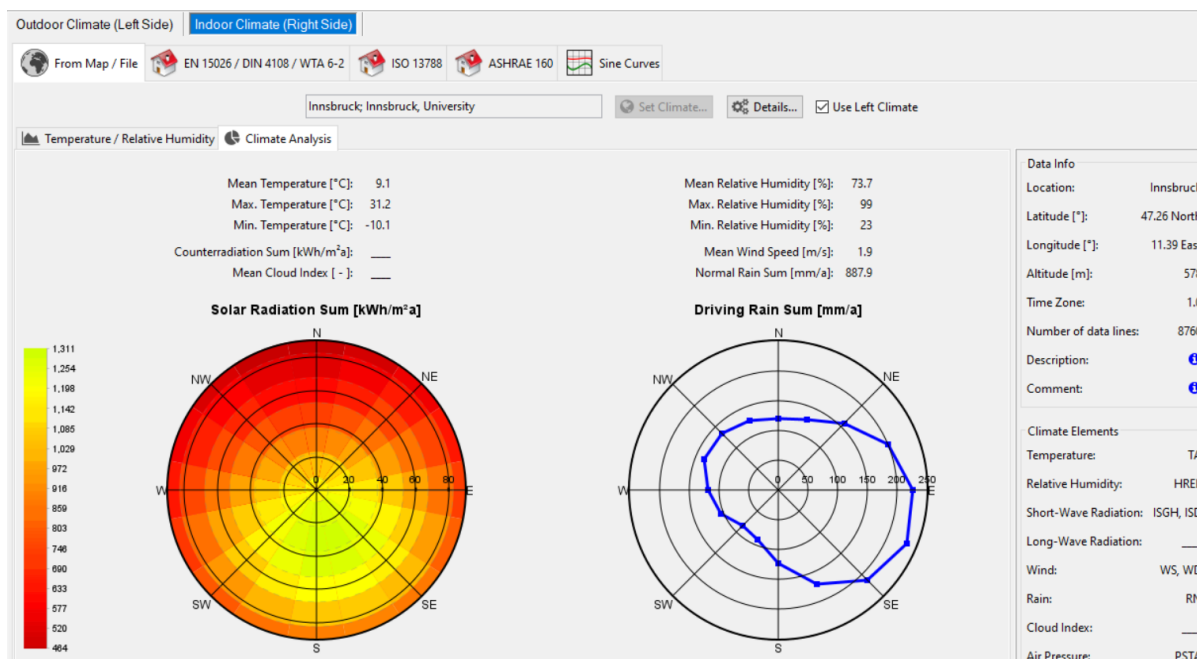
10.1.1. Klimatski podatci

Uzimajući u obzir da besplatna verzija WUFI Light programa ima određena ograničenja, nije moguće odabrati točnu lokaciju objekta pa je iz tog razloga za vanjsku klimu, kao najbliža stvarnom stanju, odabrana klima Innsbruck-a u Austriji. Odabirom lokacije program prikazuje grafove temperature i relativne vlažnosti vanjskog zraka. (Slika 10.2.)



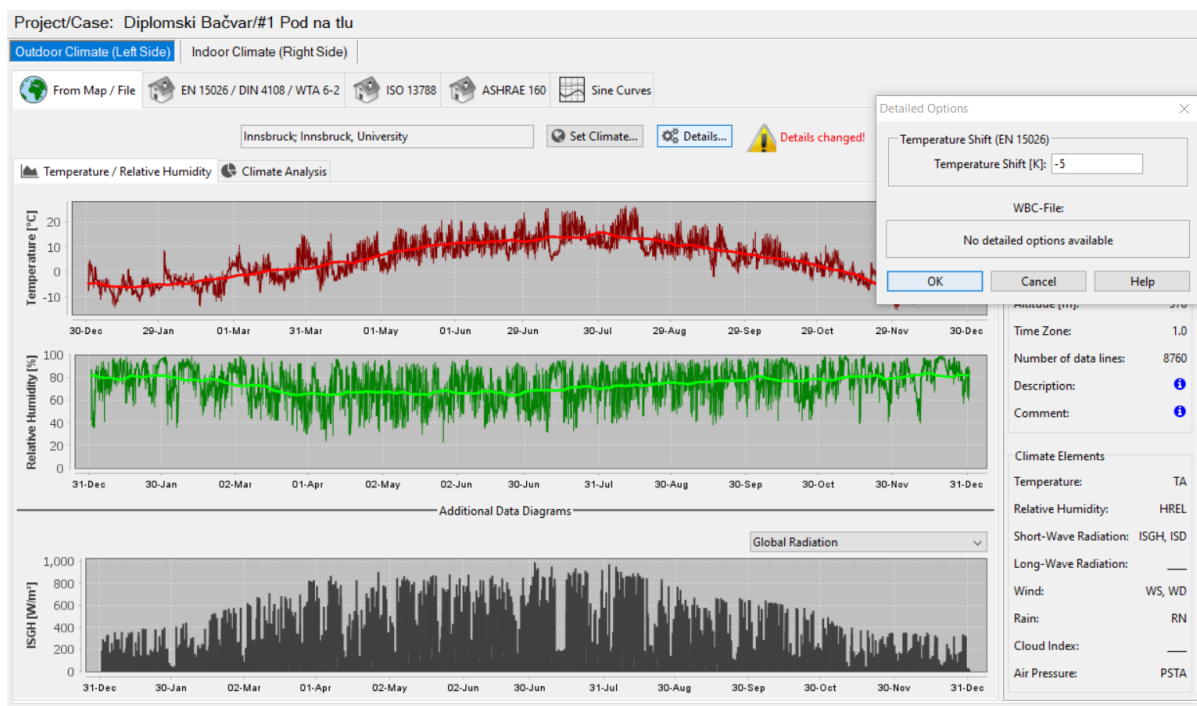
Slika 10.2. Vanjski klimatski uvjeti

Provedbom klimatske analize dobivamo podatke o intenzitetu sunčeva zračenja i kiši nošenoj vjetrom. Kritična orijentacija za kišu nošenu vjetrom je jugoistok. (Slika 10.3.)



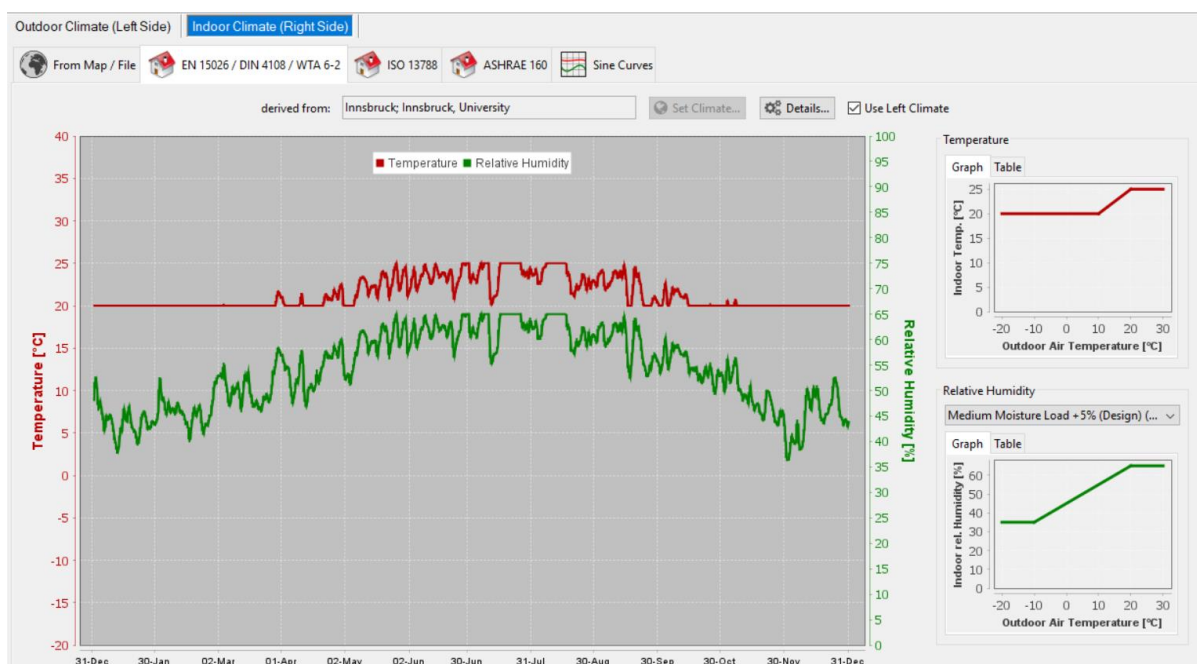
Slika 10.3. Klimatska analiza

U slučaju poda na tlu promijenjeni su detalji vanjske temperature, tj. postavljena je okvirna temperatura tla od 5°C. Razlog tomu je to što se radi o granici između grijanog prostora i tla, a ne granici prema vanjskome okolišu. (Slika 10.4.)



Slika 10.4. Vanjski klimatski uvjeti za pod na tlu

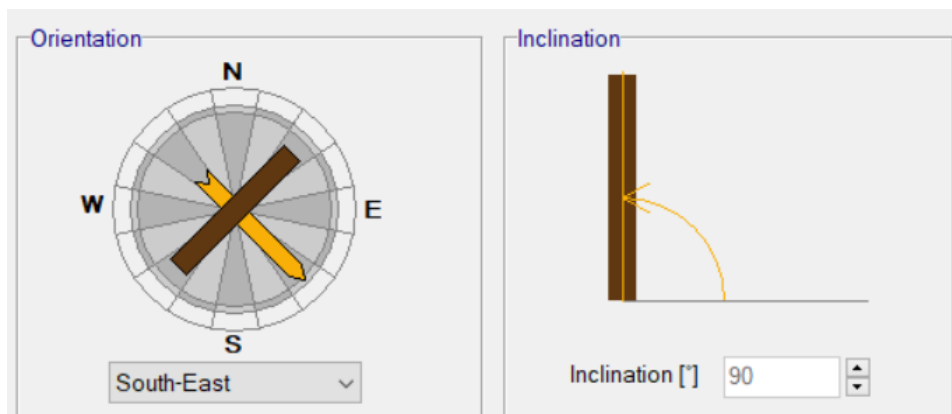
Uvjeti unutarne klime odabrani su prema normi EN 15026 prema kojoj se unutarnja temperatura i vlažnost zraka određuju na temelju vanjske temperature. (Slika 10.5.)



Slika 10.5. Uvjeti unutarnje klime

10.1.2. Orijentacija i nagib građevnih elemenata

Zbog već spomenutog ograničenja programa pri definiranju nagiba moguće je odabrati isključivo vertikalni ili horizontalni položaj elementa. Odabir nagiba bitan zbog sagledavanja utjecaja kiše. Kod proračuna vanjskog zida odabran je nagib od 90° (Slika 10.6.), za pod na tlu i vanjski zid 0° , a za kosi krov od 35° odabran je nagib od 90° .



Slika 10.6. Orijentacija i nagib građevnog elementa

10.1.3. Vremenski period proračuna

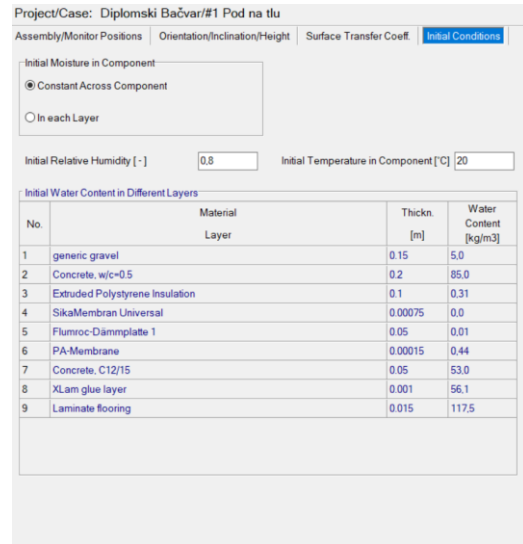
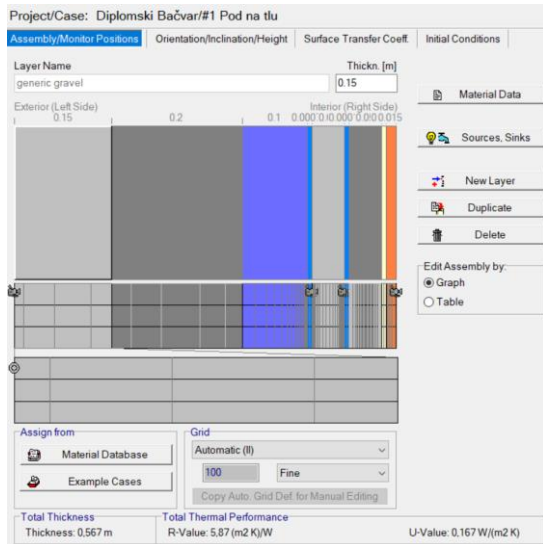
S ciljem promatranja dugoročnog ponašanja građevinskog elementa proračun je izvršen za period od 10 godina. (Slika 10.7.)

Calculation Period / Profiles		Numerics	
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

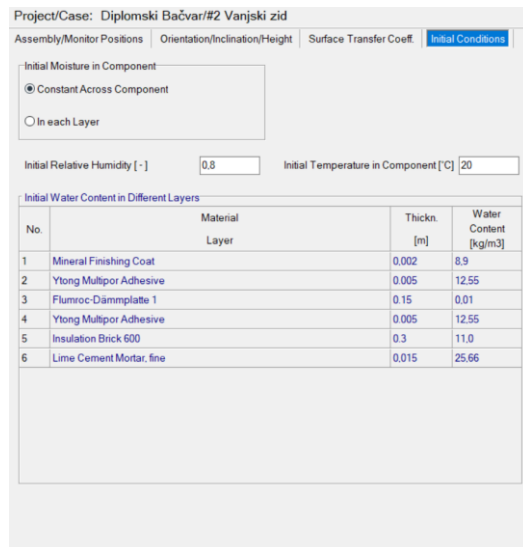
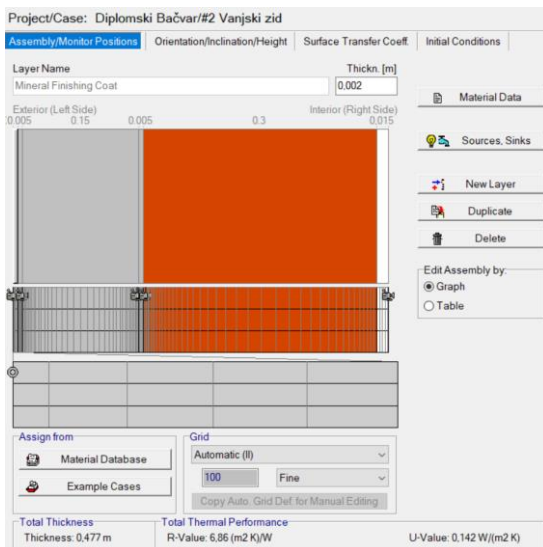
Slika 10.7. Proračunski period

10.1.4. Odabrani slojevi

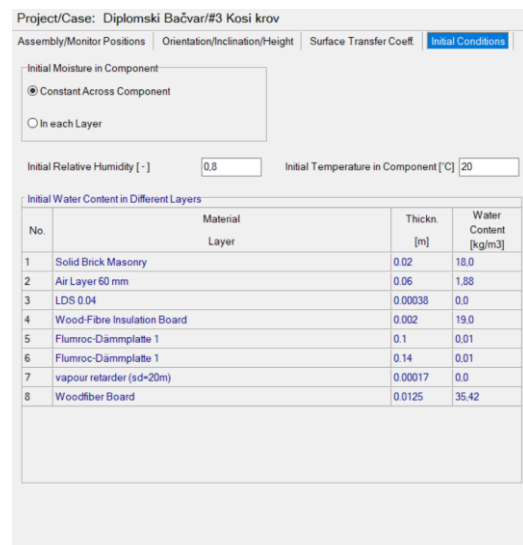
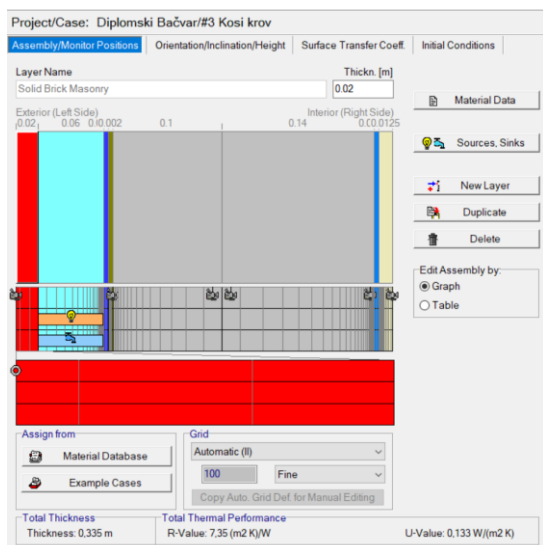
Besplatna verzija programa ne posjeduje mogućnost kreiranja novih materijala pa su iz baze materijala odabrani slojevi najbliži stvarnim. Na slikama 10.8. - 10.11. prikazan je presjek elementa (lijevo) s pripadnim materijalima i njihovom debljinom (desno). Ispod presjeka nalazi se mreža pomoću koje je moguće odabrati pozicije motrišta bitnih za kasniju analizu. Na desnoj slici možemo vidjeti i odabrane početne uvjete. Zadana je početna temperatura od 20°C te početna relativna vlažnost materijala od 80%. Iz relativne vlažnosti program samostalno izračunava početni sadržaj vode svakog pojedinog sloja.



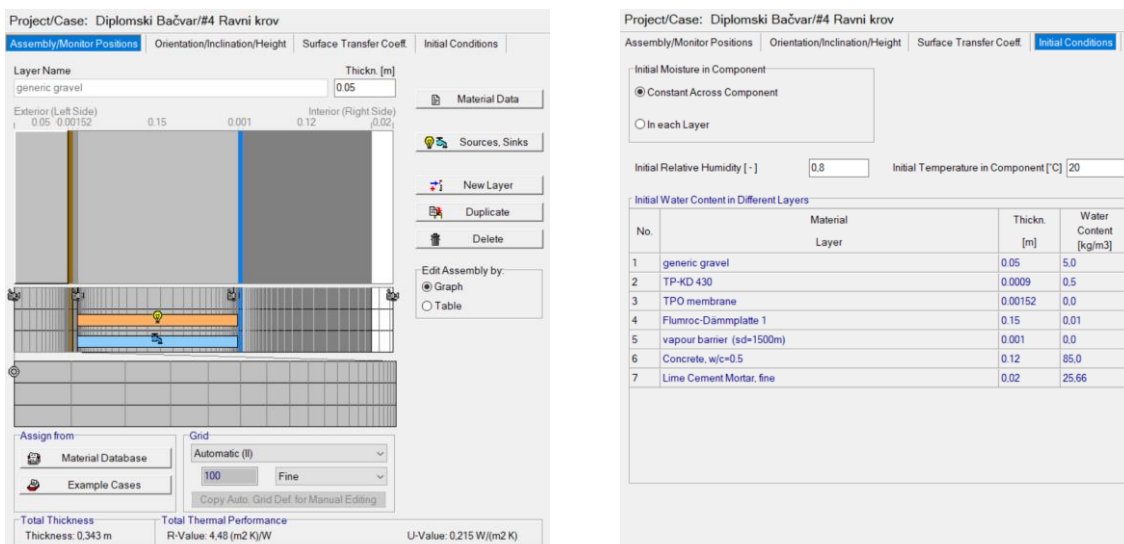
Slika 10.8. Slojevi poda na tlu



Slika 10.9. Slojevi vanjskog zida



Slika 10.10. Slojevi kosog krova



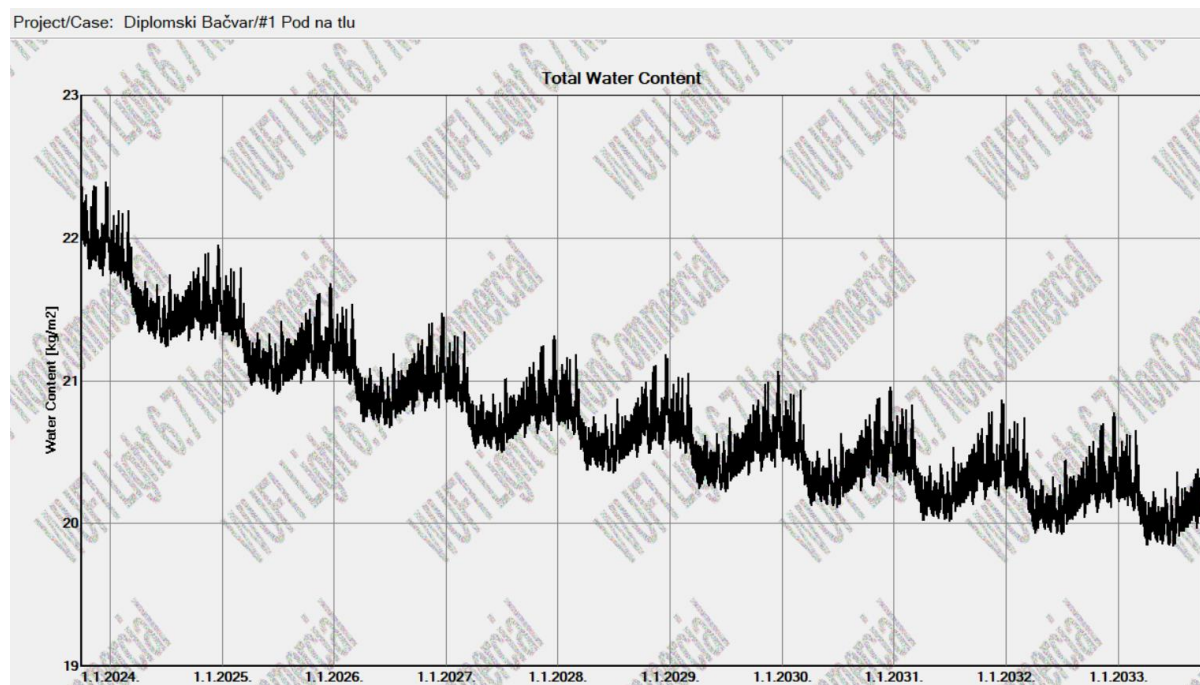
Slika 10.11. Slojevi ravnog krova

10.2. Rezultati proračuna

Reprezentirani rezultati predstavljaju ukupan sadržaj vlage, stanje relativne vlažnosti i površinsku kondenzaciju.

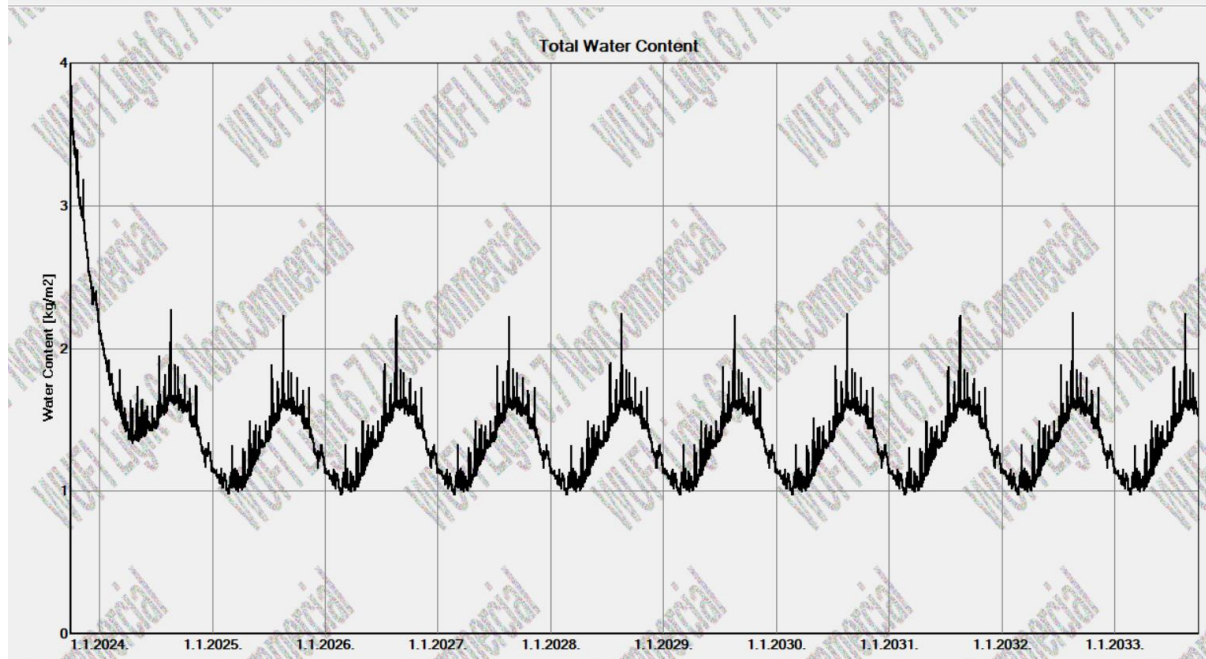
10.2.1. Ukupan sadržaj vlage

Slike 10. 12. do 10.15. prikazuju ukupan sadržaj vlage u građevinskim elementima.



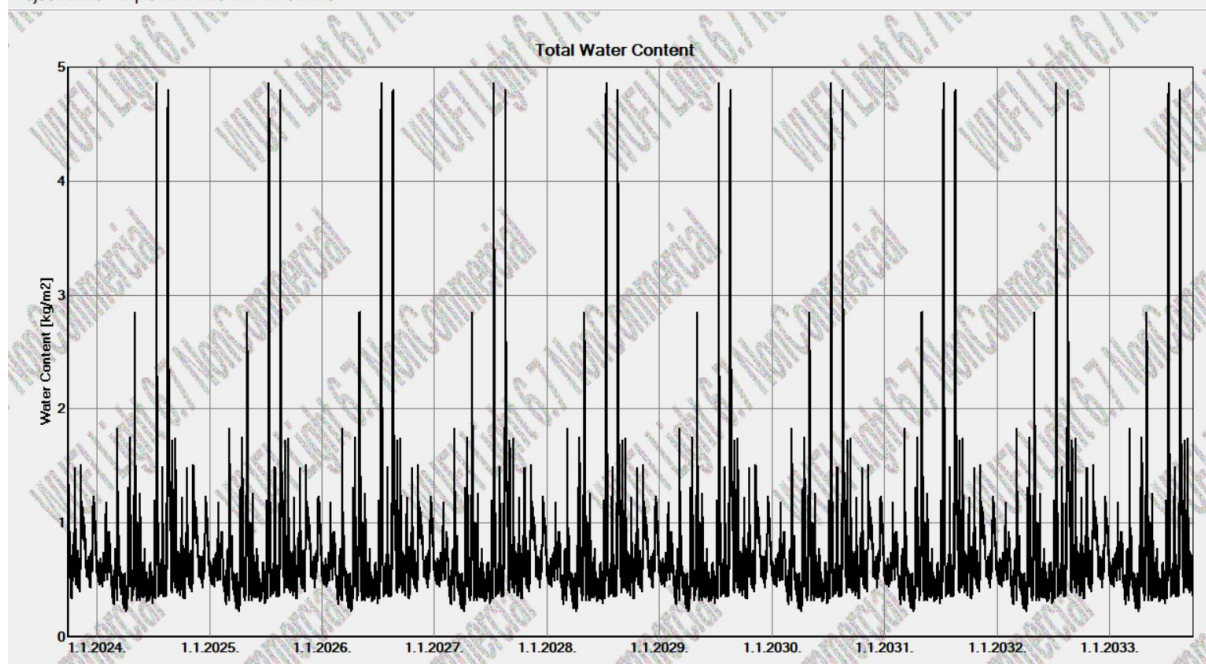
Slika 10.12. Ukupan sadržaj vlage u podu na tlu

Project/Case: Diplomski Bačvar/#2 Vanjski zid

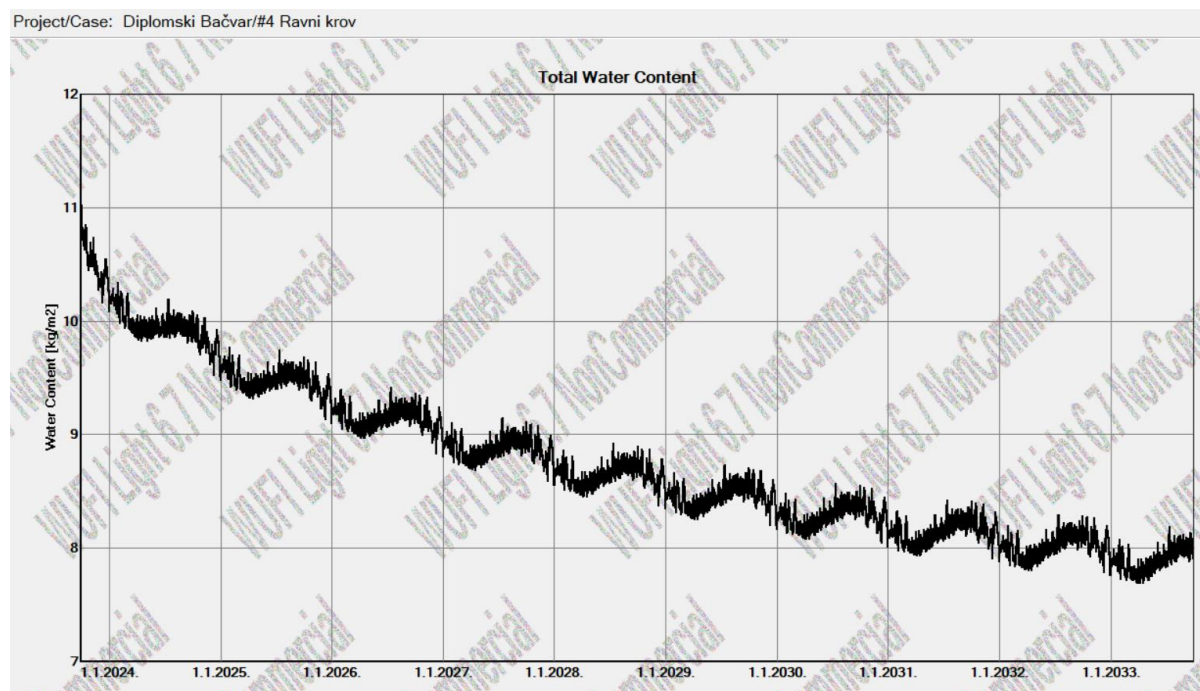


Slika 10.13. Ukupan sadržaj vlage u vanjskom zidu

Project/Case: Diplomski Bačvar/#3 Kosi krov



Slika 10.14. Ukupan sadržaj vlage u kosom krovu

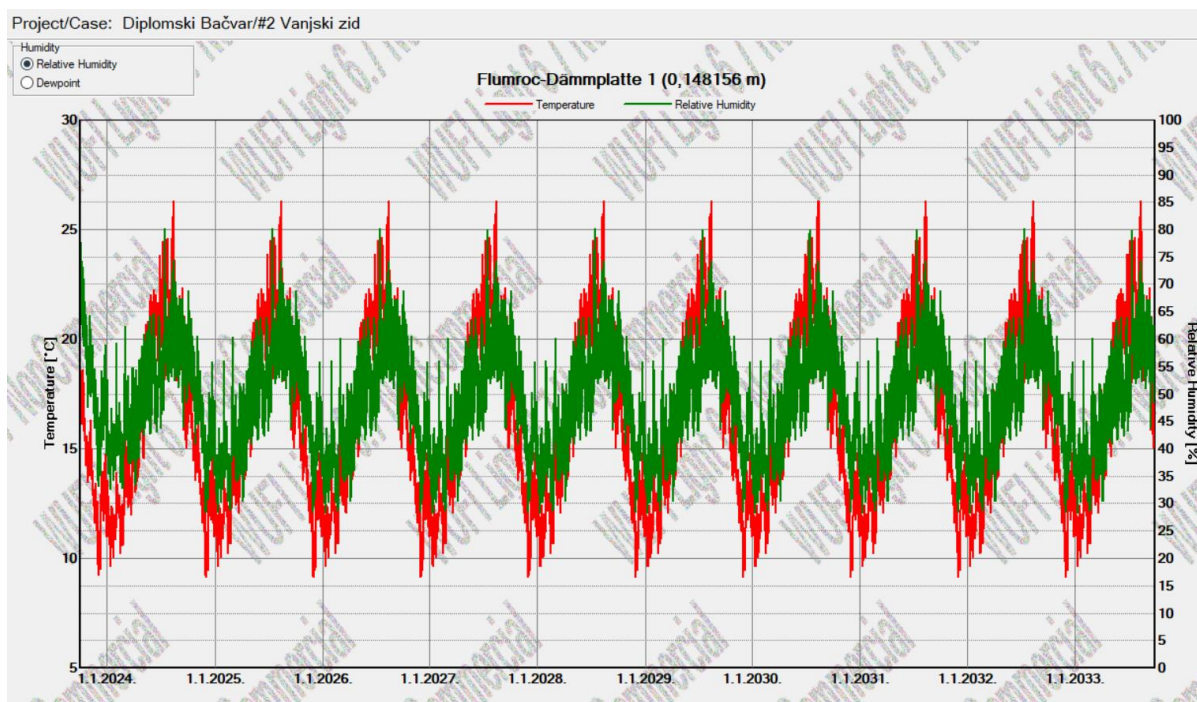


Slika 10.15. Ukupan sadržaj vlage u ravnom krovu

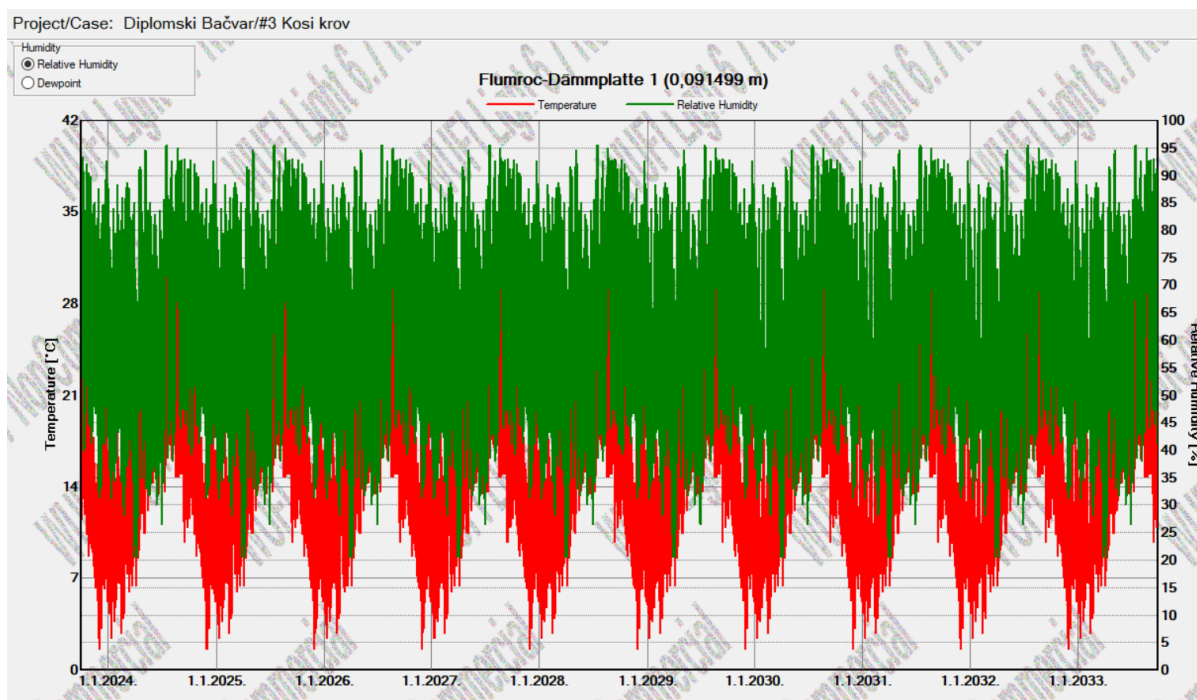
Ukupan sadržaj vlage kroz građevinske elemente pokazuje nekoliko različitih obrazaca ponašanja. U slučaju poda na tlu i ravnog krova isušivanje se nastavlja tijekom cijelog proračunskog perioda. Kod vanjskog zida se nakon početnog isušivanja uspostavlja stanje dinamičke ravnoteže koje se zadržava do kraja ispitnog perioda od 10 godina. Na navedenim grafovima vidimo kako svaka godina ima sličan obrazac ponašanja. Ljeti dolazi do isušivanja, a u hladnim zimskim mjesecima do ponovnog vlaženja koje se do idućeg toplog perioda uspijeva ponovno isušiti. Kod kosog krova se primjećuju vremenski trenutci u kojima sadržaj vlage naglo skoči, no uspije se isušiti. Ovakav obrazac ponašanja se ponavlja svake godine, no ne uzrokuje veće probleme poput akumulacije vlage koja bi mogla dovesti do smanjenja učinka toplinske izolacije i oštećenja konstrukcije.

10.2.2. Stanje relativne vlažnosti

Kod analize stanja relativne vlažnosti promatra se kontakt izolacije s podlogom. Mineralna vuna se slobodno oslanja na podlogu te je za nju kriterij da relativna vlažnost mora biti manja od 85%. Zelena linija grafa prikazuje relativnu vlažnost. Na primjeru vanjskog zida (Slika 10.16.) vidi se da je relativna vlažnost manja od 85%, dok se iz primjera kosog krova (Slika 10.17.) vidi da relativna vlažnost doseže vrijednost i do 95% što ukazuje na problem s kondenzacijom i opasnost od smrzavanja i odmrzavanja.



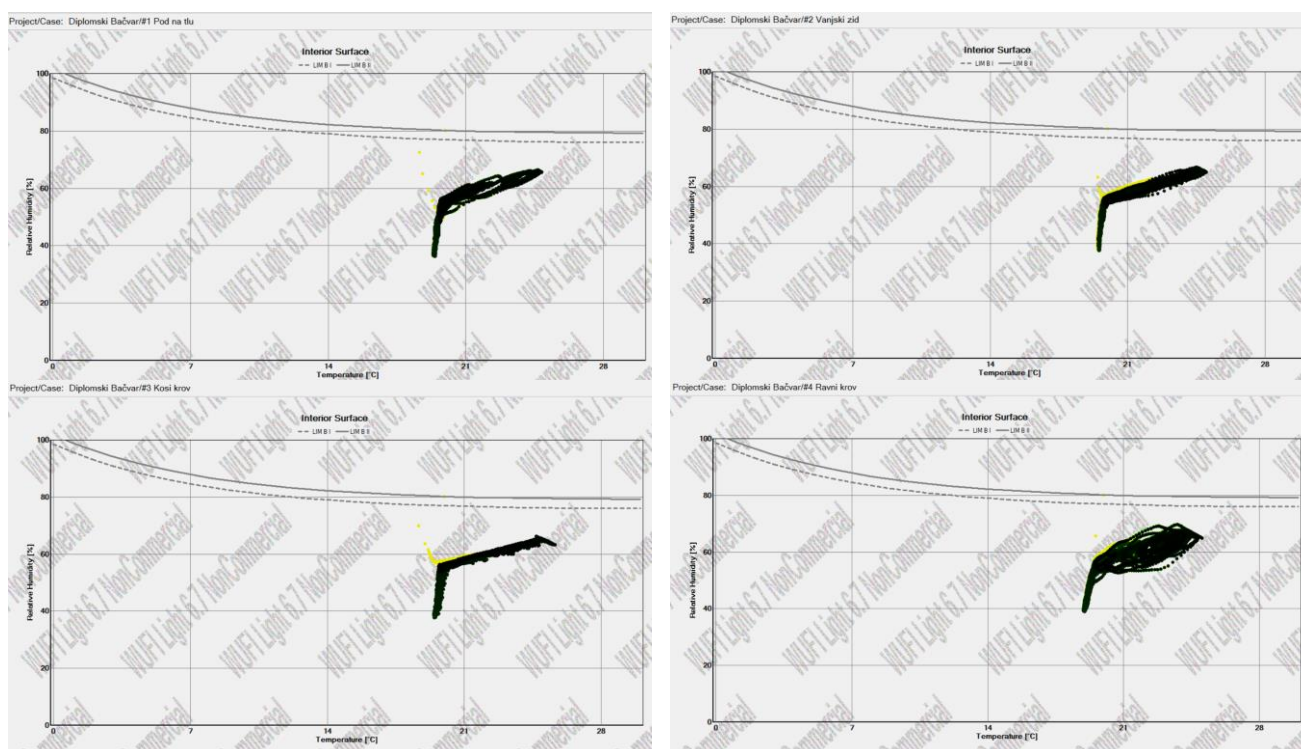
Slika 10.16. Stanje relativne vlažnosti u sloju mineralne vune na kontaktu s blok opekom u vanjskom zidu



Slika 10.17. Stanje relativne vlažnosti u sloju mineralne vune na kontaktu s drvenom pločom u kosom krovu

10.2.3. Površinska kondenzacija

Slika 10.18. prikazuje izoplete unutarnje površine svih ispitanih elemenata. Svaka točka grafa prikazuje odnos između relativne vlažnosti i temperature na unutarnjoj površini. Žute točke predstavljaju stanje na početku proračunskog perioda. Kako vrijeme odmiče one postaju sve tamnije te su pred kraj perioda potpuno crne. Linije pri vrhu grafa označavaju granične uvjete. U slučaju da se higrotermalni uvjeti duže vrijeme zadrže iznad granične izoplete moguća je pojava gljivica i plijesni. Vidimo da ni kod jednog elementa ne postoji opasnost od takve degradacije.

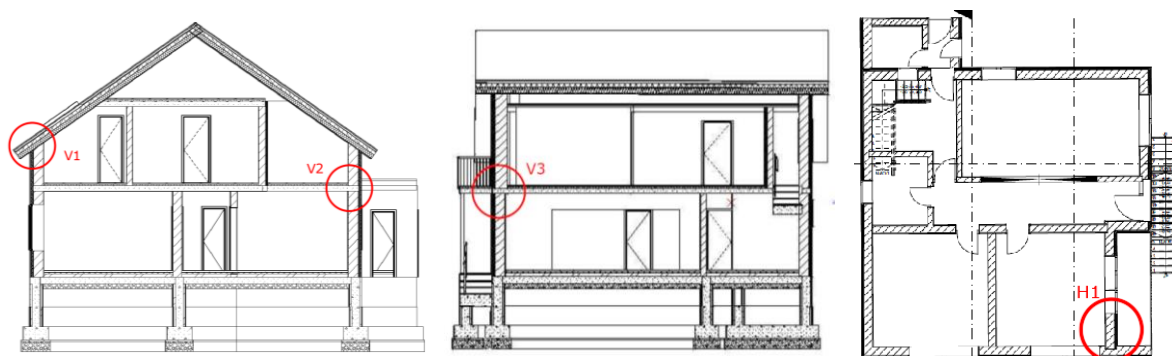


Slika 10.18. Izoplete unutarnje površine svih ispitanih elemenata

11. Proračun toplinskih mostova

Manja područja u omotaču grijanog dijela zgrade kroz koje je toplinski tok povećan zbog promjene materijala, debljine ili geometrije građevnog dijela nazivaju se toplinskim mostovima. Oni mogu biti problem iz više razloga; povećan je gubitak topline kroz građevni dio, povećana toplinska provodljivost izolacijskih materijala, moguća je kondenzacija vodene pare na površini te također razvoj gljivica i plijesni što može uzrokovati građevinsku štetu, ali i zdravstvene poteškoće. Osim navedenog, posljedice toplinskih mostova mogu se odraziti u obliku pukotina, korozije, odvajanja žbuke ili iscvjetavanja soli. Uzročno tome, toplinski mostovi i s energetskog i s higijenskog gledišta predstavljaju slabe točke u konstrukciji zgrade te je važno pravilno riješiti njihove detalje kako bi se izbjegli navedeni problemi. [17]

Korištenjem računalnog programa Croral proveden je proračun toplinskih mostova. Cilj proračuna je odrediti razliku između 2D i 1D toplinskog toka za toplinski most, a razika između ta dva toplinska toka je linijski koeficijent prolaska topline ψ [W/mK]. Programi koji su potrebni za rad su Microsoft Excel, AutoCAD i ParaView. Podloga za definiranje geometrije presjeka unese se u program uvođenjem detalja iz AutoCAD-a u .dxf formatu. Zatim se definiraju korišteni materijali i uvjeti okolnog prostora. Ulazne temperaturne vrijednosti su 0°C za vanjski okoliš, 5°C za negrijani prostor i 20°C za grijani, tj unutarnji prostor. Slika 11.1 prikazuje položaj analiziranih toplinskih mostova.

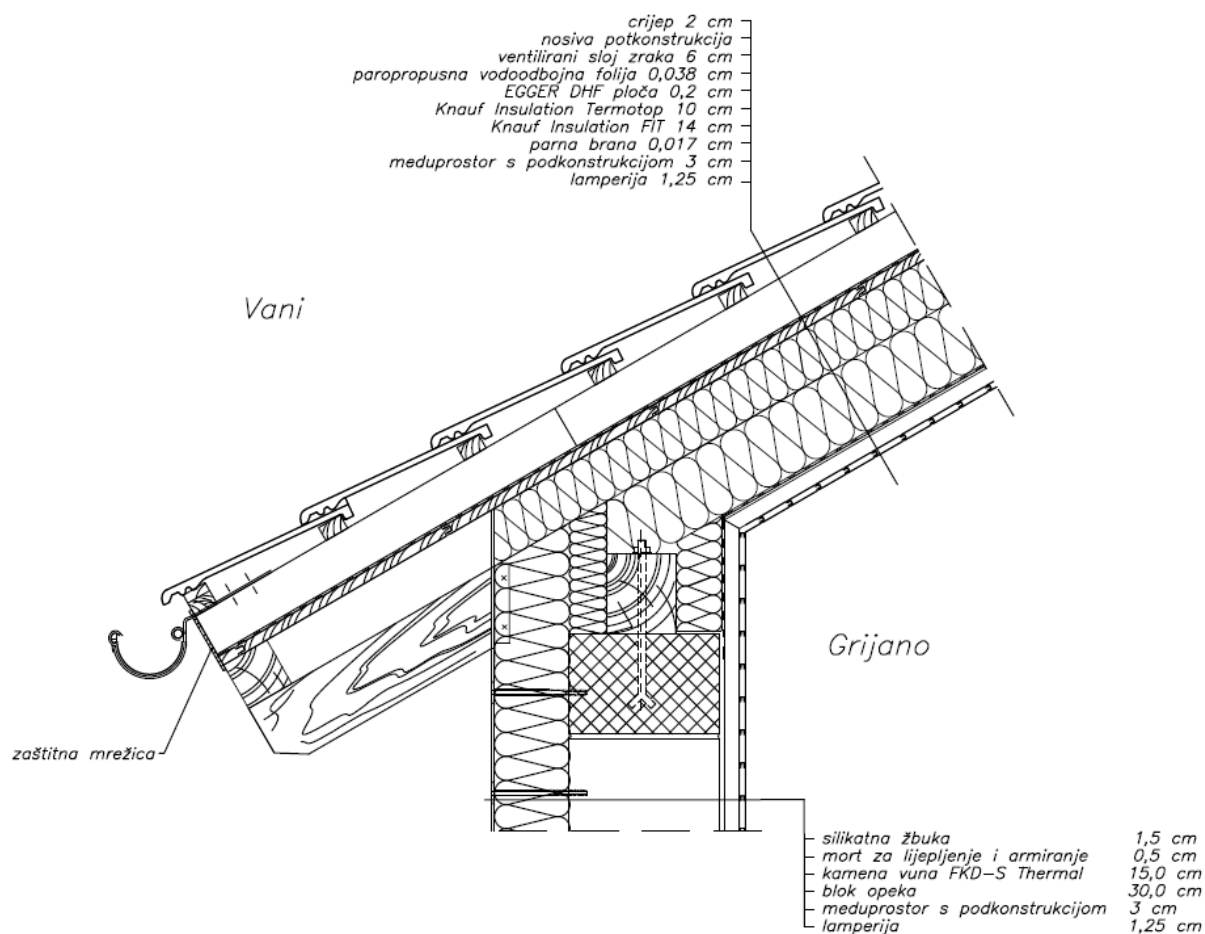


Slika 11.1. Položaj toplinskih mostova

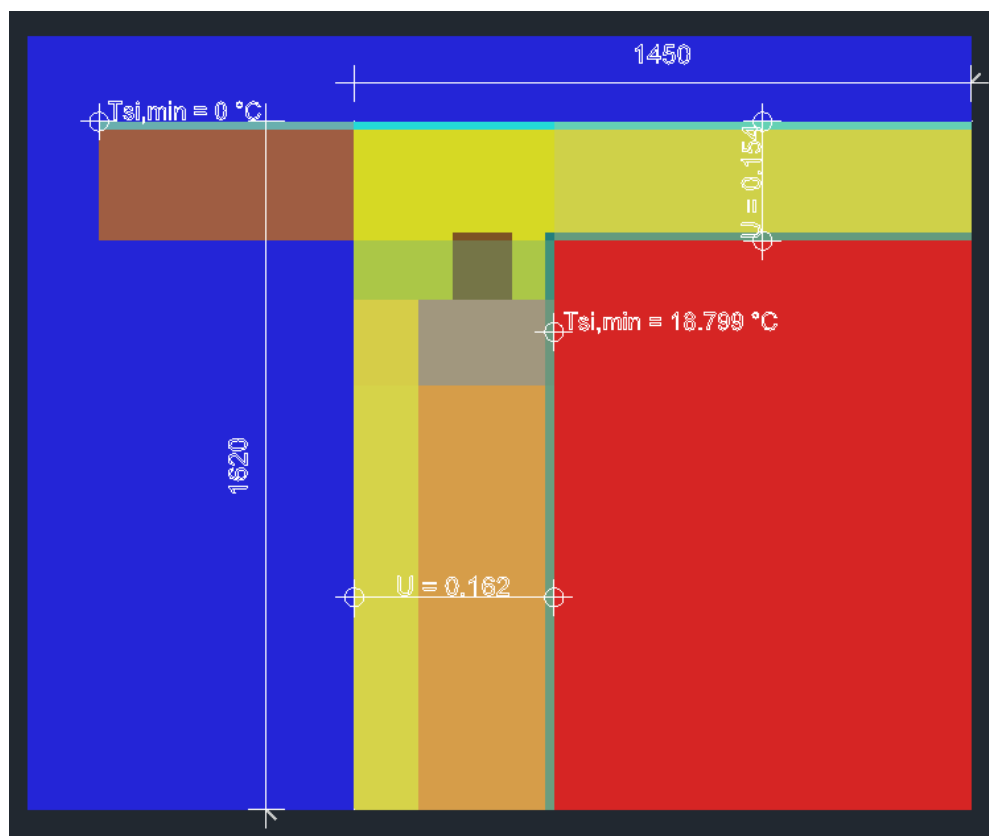
Provedbom proračuna dobiveni su podatci o raspodjeli temperatura po presjeku elementa, mjestima najnižih temperatura na površini te linijski koeficijent prolaska topline ψ .

11.1. Detalj V1: Kosi krov

Detalj V1, čija je skica prikazana na Slika 11.2, a model na Slika 11.3, odnosi se na vertikalni presjek kosog krova na mjestu gdje je unutarnji prostor grijan. S obzirom na komplikacije u crtanju slojeva materijala pod određenim kutom u modelu se nagib kosog krova aproksimirao horizontalno, što ne utječe na rezultate proračuna. Na modelu se mogu očitati vrijednosti koeficijenta prolaska topline U [W/m^2K] i minimalne temperature na površini T [$^{\circ}C$]. U tablicama 11.1. i 11.2. rastumačene su oznake pojedinih materijala te rubni uvjeti modela.



Slika 11.2. Detalj V1, skica



Slika 11.3. Detalj VI, model

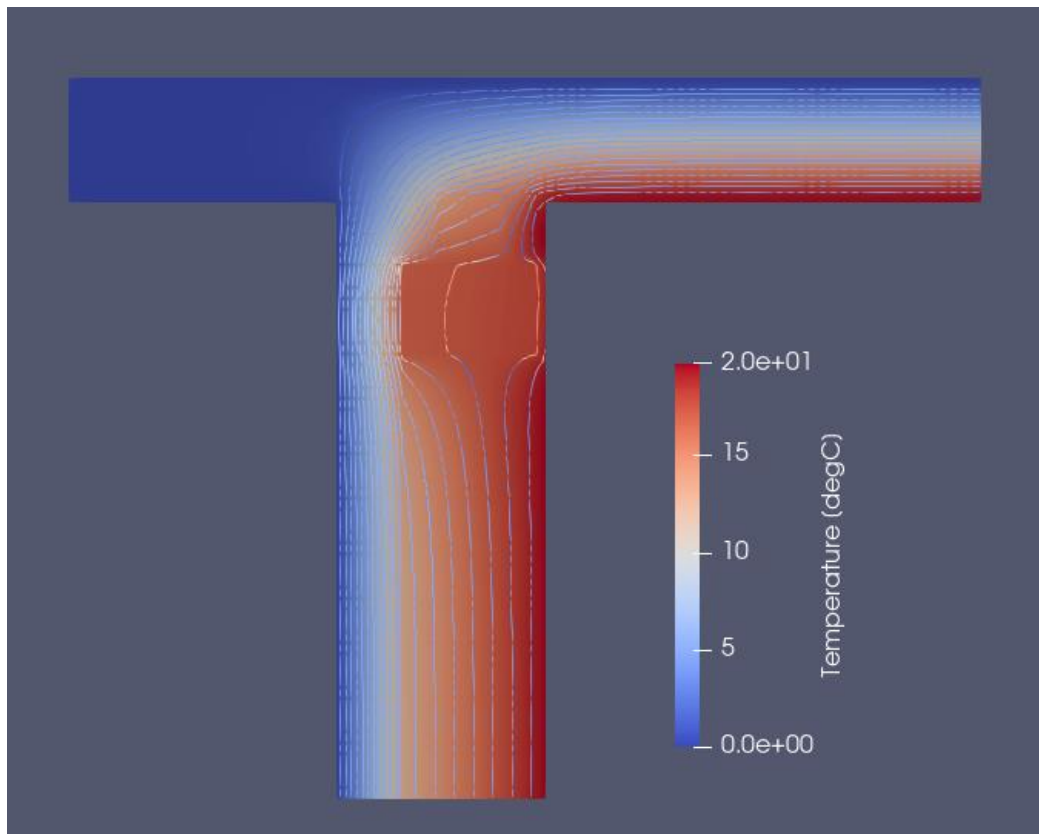
Tablica 11.1. Oznake materijala

Boja	Materijal	λ [W/(m K)]	μ [-]
Grey	AB	2,60	110,00
Orange	blok opeka	0,14	7,50
Brown	drvo	0,18	200,00
Yellow	TI vuna	0,04	1,00
Light Blue	drvena ploča	0,10	11,00
Dark Blue	lamperija	0,18	200,00

Tablica 11.2. Uvjeti okolnog prostora

Boja	Prostor	h [W/(m K)]	T [°C]	RH [W/m ² K]
Red	unutarnji prostor	7,69	20,00	60,00
Blue	vanjski prostor	25,00	0,00	90,00

Raspodjela temperatura po presjeku elementa detalja V1 prikazana je na Slika 11.4.



Slika 11.4. Detalj V1, raspodjela temperatura

Proračun linijskog koeficijenta prolaska topline ψ :

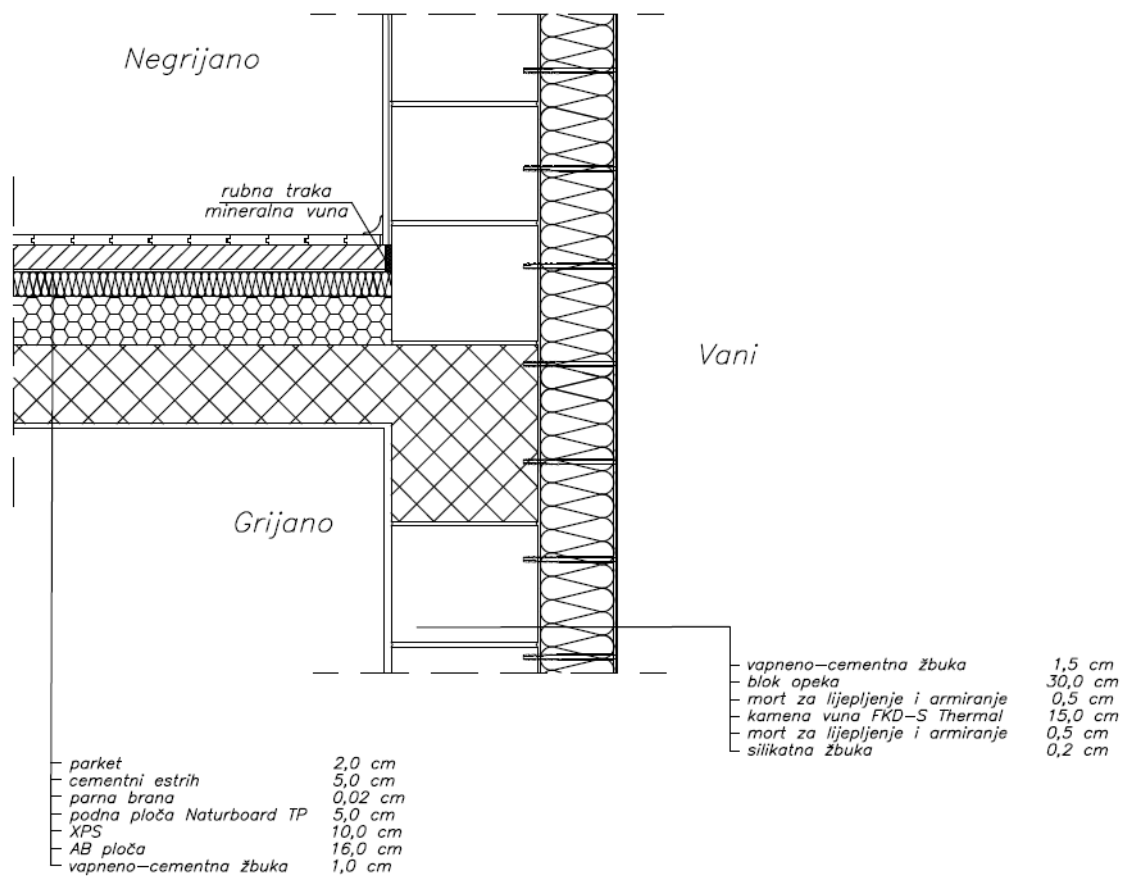
$$\Psi = L2D - \sum U \cdot l$$

$$\Psi = 0,43292 - 0,154 \cdot 1,450 - 0,162 \cdot 1,620$$

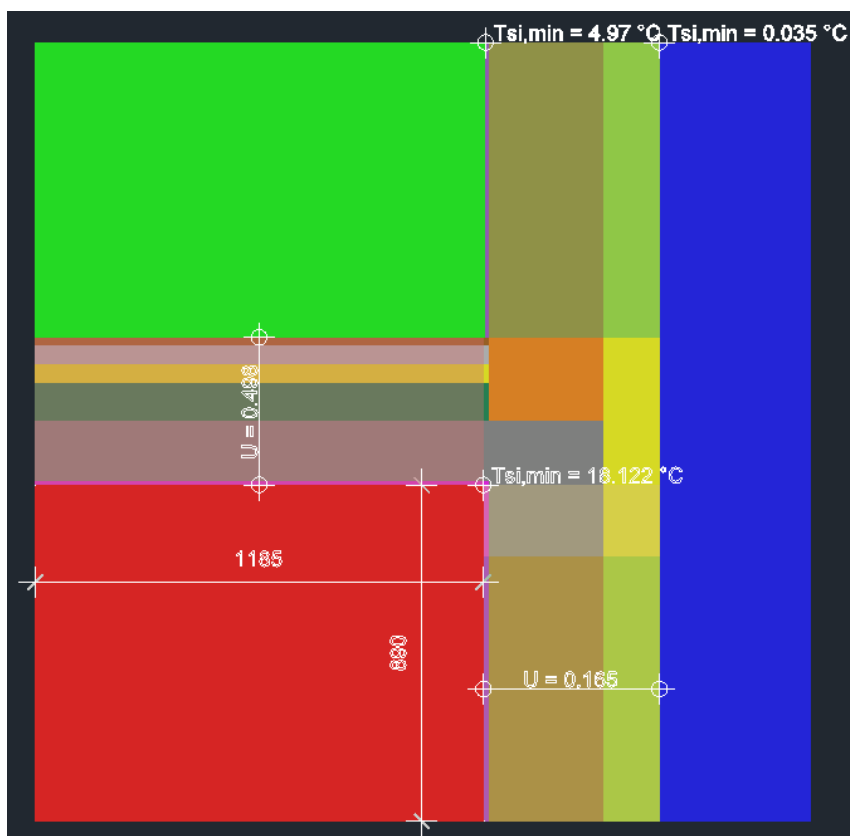
$$\Psi = -0,053 \text{ W/m}^2\text{K}$$

11.2. Detalj V2: Međukatna konstrukcija

Detalj V2, čija je skica prikazana na Slika 11.5, a model na Slika 11.6, odnosi se na vertikalni presjek međukatne konstrukcije na spoju s vanjskim zidom, koja dijeli grijan od negrijanog prostora. Na modelu se mogu očitati vrijednosti koeficijenta prolaska topline U [W/m^2K] i minimalne temperature na površini T [$^{\circ}C$]. U tablicama 11.3. i 11.4. rastumačene su oznake pojedinih materijala te rubni uvjeti modela.



Slika 11.5. Detalj V2, skica



Slika 11.6. Detalj V2, model

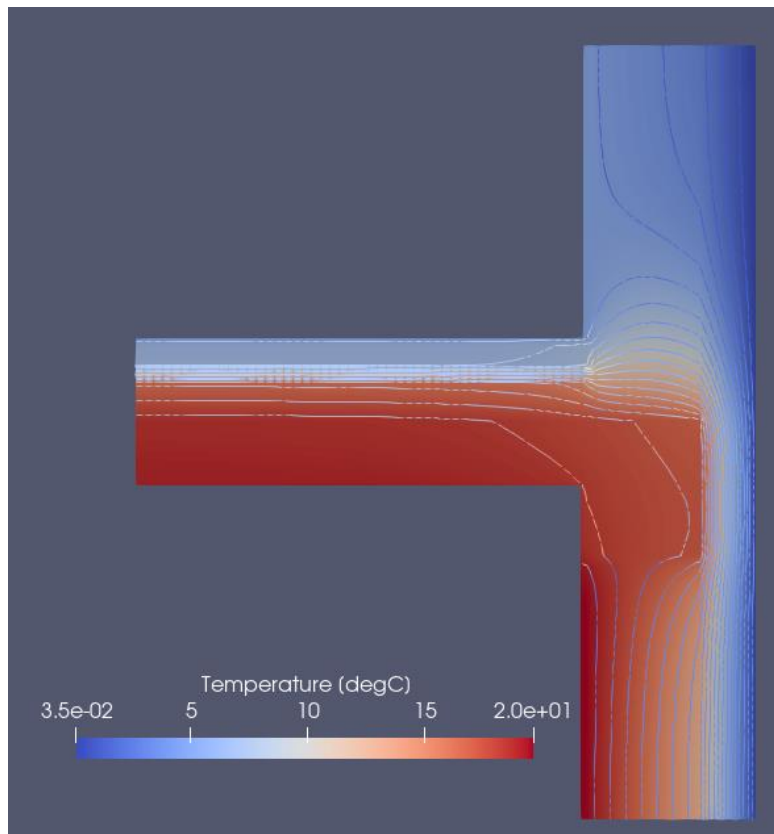
Tablica 11.3. Oznake materijala

Boja	Materijal	λ [W/(m K)]	μ [-]
	AB	2,60	110,00
	blok opeka	0,14	7,50
	TI vuna	0,04	1,00
	TI xps	0,30	80,00
	estrih	1,60	50,00
	parket	0,13	50,00
	žbuka	1,00	20,00

Tablica 11.4. Uvjeti okolnog prostora

Boja	Prostor	h [W/(m K)]	T [°C]	RH [W/m ² K]
	unutarnji prostor	7,69	20,00	60,00
	vanjski prostor	25,00	0,00	90,00
	negrijani prostor	25,00	5,00	60,00

Raspodjela temperatura po presjeku elementa detalja V2 prikazana je na Slika 11.7.



Slika 11.7. Detalj V2, raspodjela temperatura

S obzirom da ovaj element graniči s tri različita uvjeta okoline, grijanim, negrijanim i vanjskim prostorom izračunat će se dva linijska koeficijenta prolaska topline ψ , jedan za prolazak topline prema negrijanom prostoru Ψ_1 , a drugi prema vanjskom prostoru Ψ_2 . Njihov zbroj predstavlja ukupan linijski koeficijent prolaska topline cijelog elementa.

$$\Psi_1 = L2D - \sum U \cdot l$$

$$\Psi_1 = 0,68321 - 0,498 \cdot 1,185$$

$$\Psi_1 = 0,093 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\Psi_2 = L2D - \sum U \cdot l$$

$$\Psi_2 = 0,24354 - 0,165 \cdot 0,89$$

$$\Psi_2 = 0,097 \text{ W/m}^2\text{K}$$

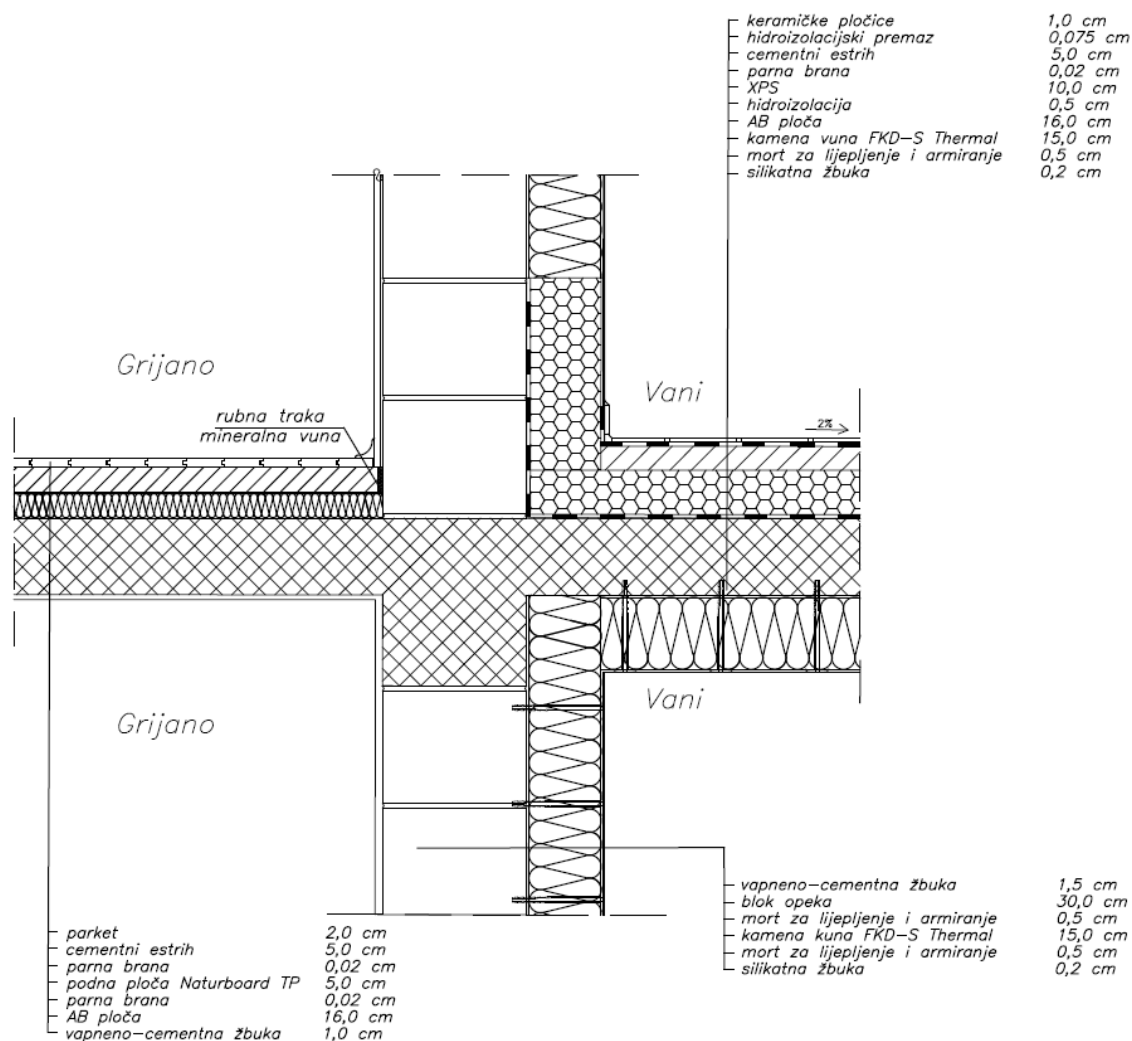
$$\Psi = \Psi_1 + \Psi_2$$

$$\Psi = 0,093 + 0,097$$

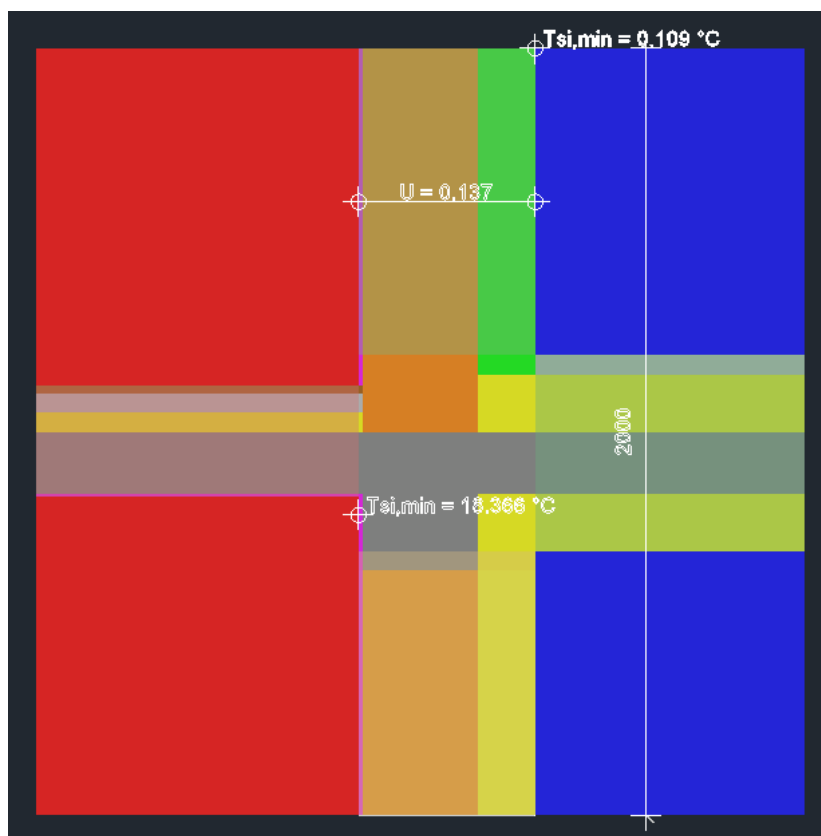
$$\Psi = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$$

11.3. Detalj V3: Balkon

Detalj V3, čija je skica prikazana na Slika 11.8, a model na Slika 11.9, odnosi se na vertikalni presjek međukatne konstrukcije s vanjskim zidom, na mjestu balkona. Na modelu se mogu očitati vrijednosti koeficijenta prolaska topline U [W/m^2K] i minimalne temperature na površini T [$^{\circ}C$]. U tablicama 11.5. i 11.6. rastumačene su oznake pojedinih materijala te rubni uvjeti modela.



Slika 11.8. Detalj V3, skica



Slika 11.9. Detalj V3, model

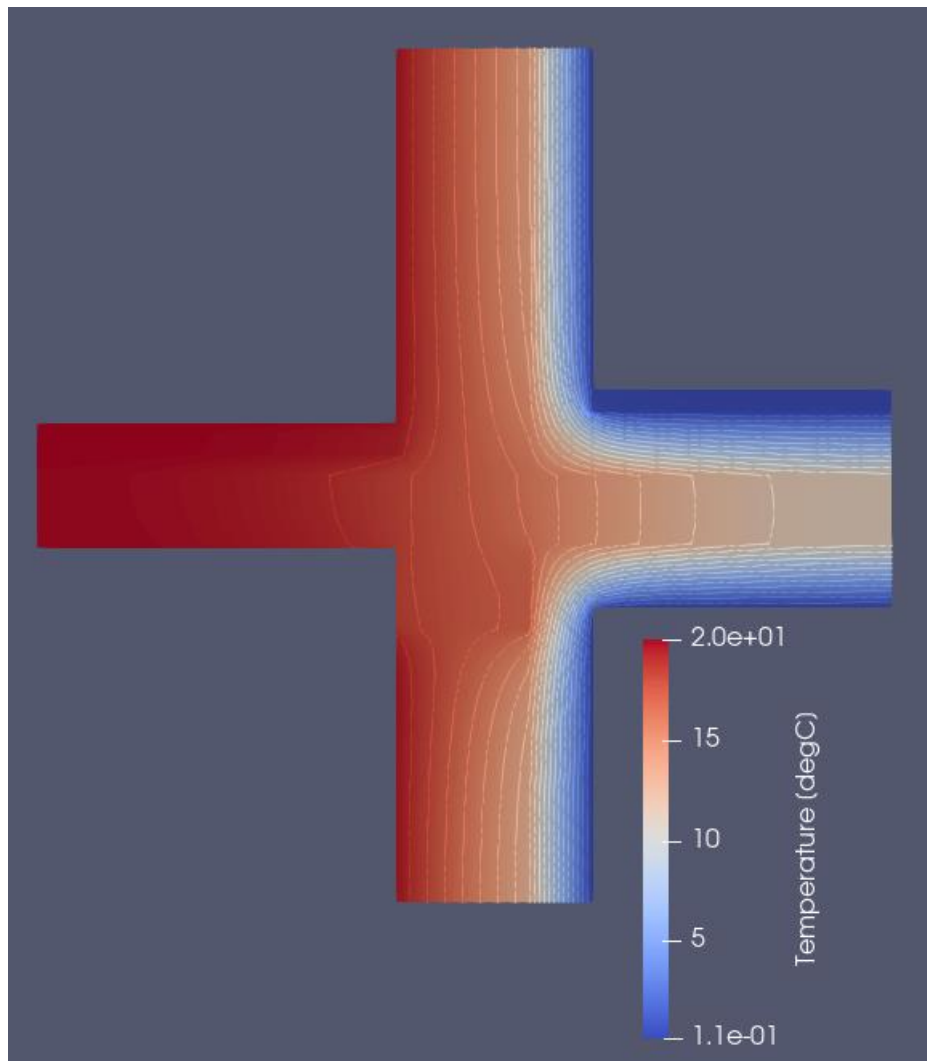
Tablica 11.5. Oznake materijala

Boja	Materijal	λ [W/(m K)]	μ [-]
gray	AB	2,60	110,00
orange	blok opeka	0,14	7,50
yellow	TI vuna	0,04	1,00
green	TI xps	0,30	80,00
light gray	estrih	1,60	50,00
brown	parket	0,13	50,00
purple	žbuka	1,00	20,00

Tablica 11.6. Uvjeti okolnog prostora

Boja	Prostor	h [W/(m K)]	T [°C]	RH [W/m ² K]
red	unutarnji prostor	7,69	20,00	60,00
blue	vanjski prostor	25,00	0,00	90,00

Raspodjela temperatura po presjeku elementa detalja V3 prikazana je na Slika 11.10.



Slika 11.10. Detalj V3, raspodjela temperatura

Proračun linijskog koeficijenta prolaska topline ψ :

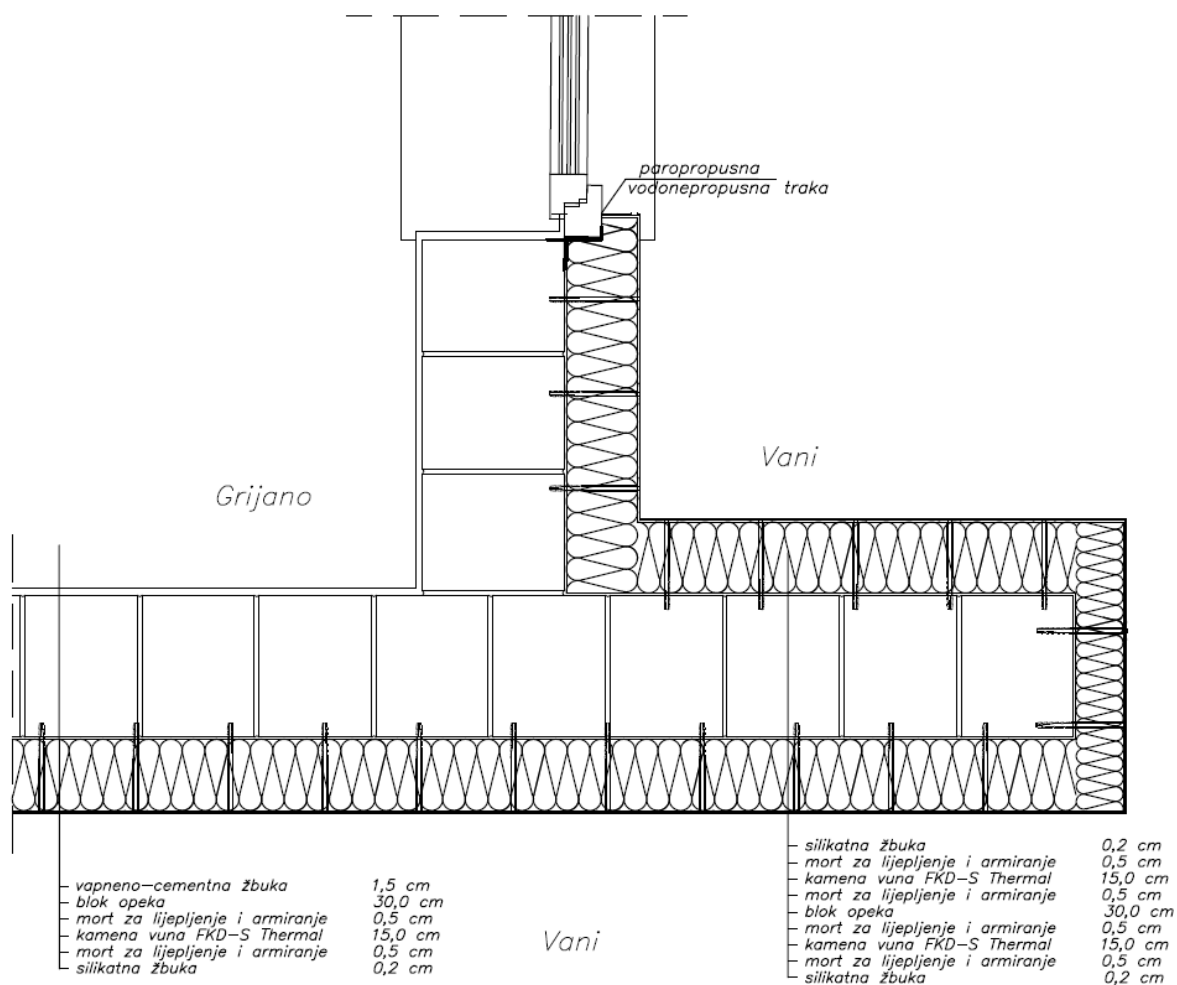
$$\Psi = L2D - \sum U \cdot l$$

$$\Psi = 0,49468 - 0,137 \cdot 2,0$$

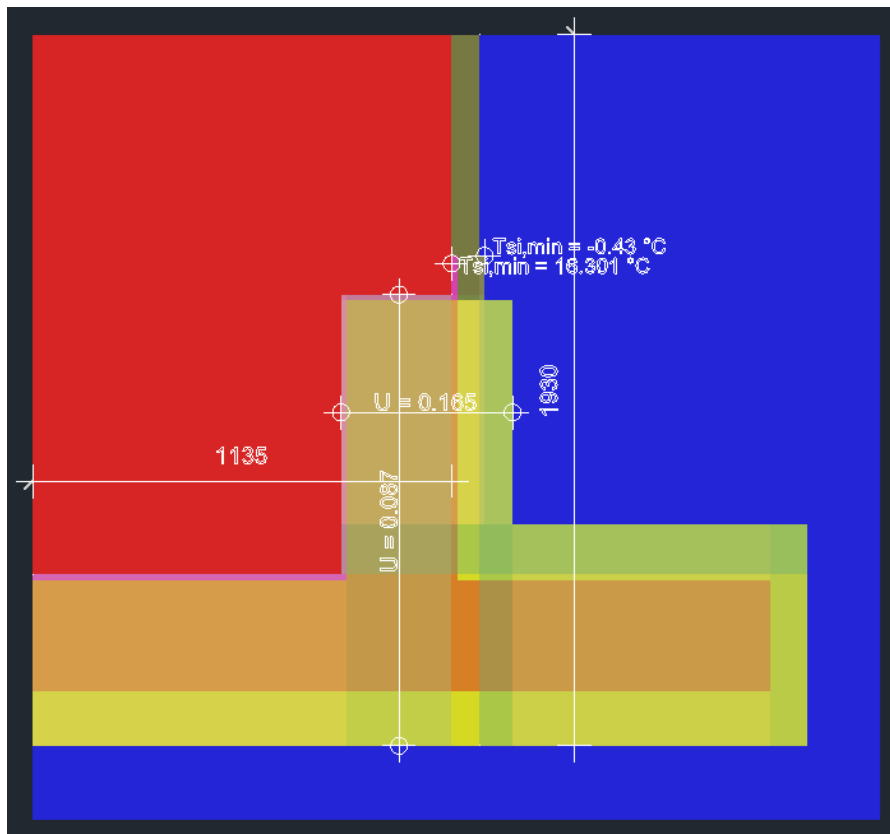
$$\Psi = 0,221 \text{ W/m}^2\text{K}$$

11.4. Detalj H1: Prozor

Detalj H1, čija je skica prikazana na Slika 11.11, a model na Slika 11.12, odnosi se na horizontalni presjek vanjskog zida, prozora i dijela zida gdje se nalazi balkon. Na modelu se mogu očitati vrijednosti koeficijenta prolaska topline U [W/m^2K] i minimalne temperature na površini T [$^{\circ}C$]. U tablicama 11.7. i 11.8. rastumačene su oznake pojedinih materijala te rubni uvjeti modela.



Slika 11.11. Detalj H1, skica



Slika 11.12. Detalj H1, model

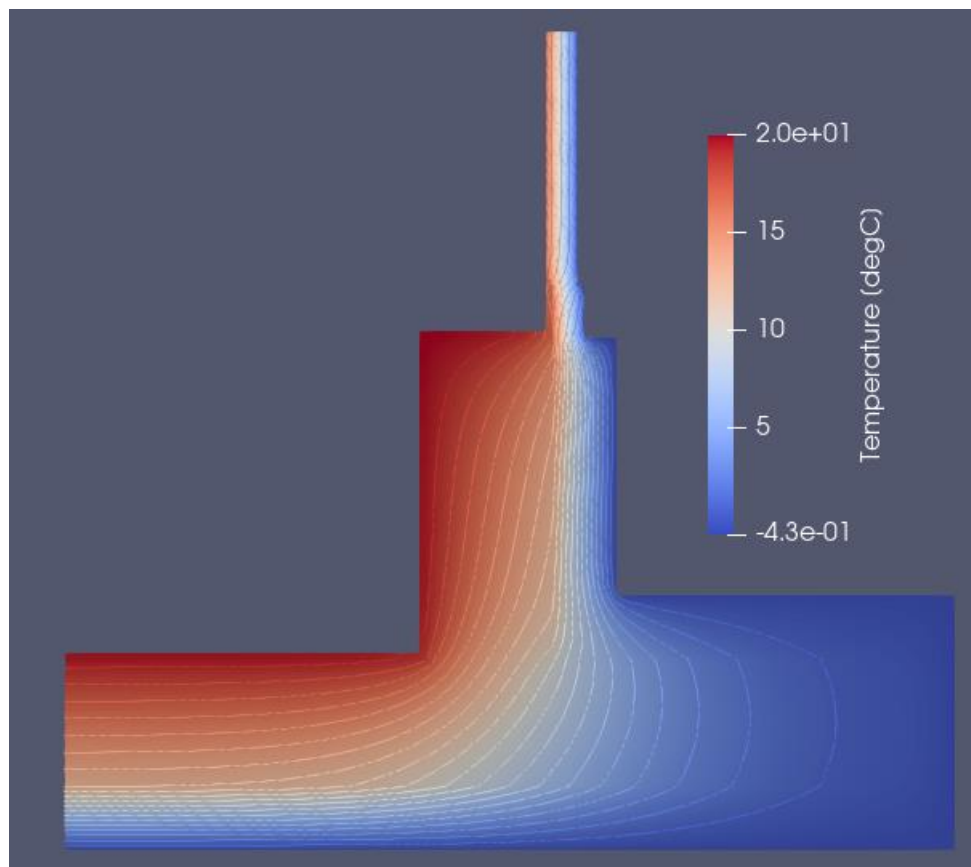
Tablica 11.7. Oznaka materijala

Boja	Materijal	λ [W/(m K)]	μ [-]
Orange	blok opeka	0,14	7,50
Green	prozor	0,13	1,00
Yellow	TI vuna	0,04	1,00
Purple	žbuka	1,00	20,00

Tablica 11.8. Uvjeti okolnog prostora

Boja	Prostor	h [W/(m K)]	T [°C]	RH [W/m ² K]
Red	unutarnji prostor	7,69	20,00	60,00
Blue	vanjski prostor	25,00	0,00	90,00

Raspodjela temperatura po presjeku elementa detalja H1 prikazana je na Slika 11.13.



Slika 11.13. Detalj H1, raspodjela temperatura

Proračun linijskog koeficijenta prolaska topline ψ :

$$\Psi = L2D - \sum U \cdot l$$

$$\Psi = 1,30583 - 1,339 \cdot 1,930 - 0,165 \cdot ,135$$

$$\Psi = -1,4656 \text{ W/m}^2\text{K}$$

12. Proračun emisije CO₂eq plinova

Analiza životnog ciklusa (engl. Life cycle assessment, LCA) je metodologija koja se koristi za procjenu utjecaja proizvoda, procesa ili usluge na okoliš tijekom cijelog životnog ciklusa, od vađenja sirovina do njihove proizvodnje, upotrebe i odlaganja. Glavna svrha LCA je kvantificirati i procijeniti aspekte okoliša povezane s proizvodom u svim fazama njihova korisnog životnog vijeka. To uključuje procjenu emisija stakleničkih plinova, potrošnju prirodnih resursa, onečišćenje zraka, vode i tla, među ostalim utjecajima na okoliš.[18]

Postoje četiri faze životnog ciklusa građevine:

- faza proizvodnje,
- faza izgradnje,
- faza korištenja,
- faza kraja životnog vijeka.

Svaka od faza (Slika 12.1.) ima različite učinke na okoliš, koji ovise o čimbenicima kao što su: karakteristike okoliša, korišteni materijali i tehnike gradnje, potrošena energija i voda, proizvedeni otpad itd.

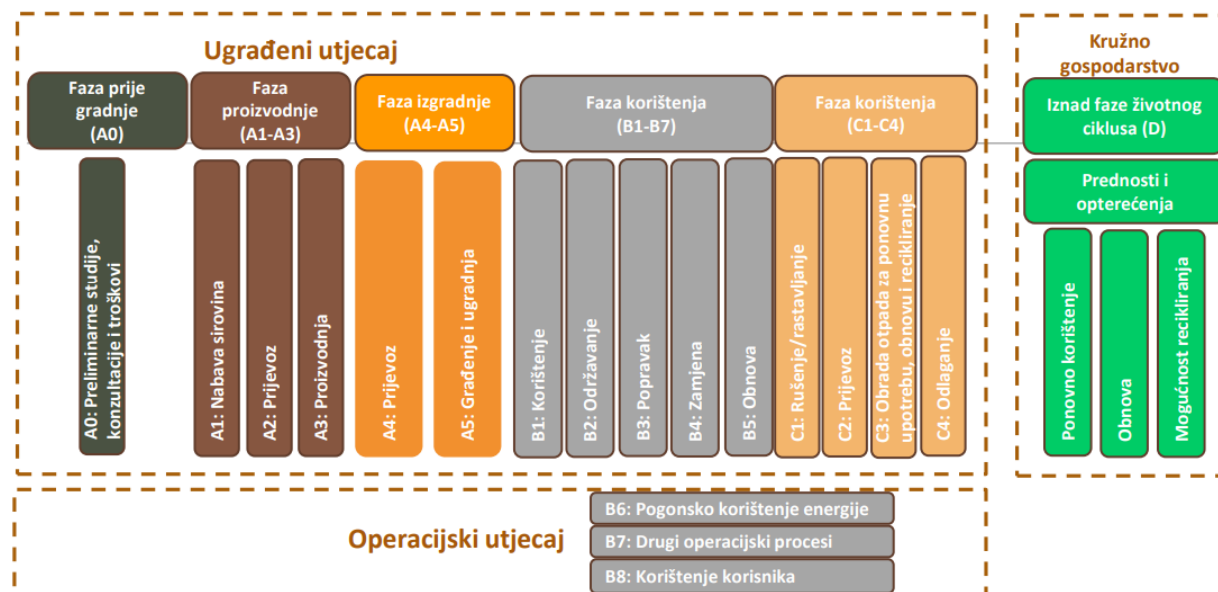
U fazi proizvodnje sirovine se vade, transportiraju i prerađuju u građevinski materijal. Mnogi minerali i stijene vade se u površinskim kamenolomima i šljunčarama, što u području djelovanja podrazumijeva uništavanje vegetacije, gubitak sloja organske tvari tla i njegovu izloženost eroziji.

Faza izgradnje uključuje transport materijala do gradilišta i proces izgradnje i montaže. Utjecaj na okoliš uzrokovan je izgradnjom građevine na lokaciji, potrošnjom velikih količina materijala, vode i energije, kao i stvaranje otpada od odbačenih materijala, ambalaže i sl.

Faza korištenja uključuje održavanje, popravak i obnovu građevine. Povezana je s potrošnjom vode, pogonske energije te emisijom zagađujućih plinova kao posljedicom potrošnje energije iz fosilnih goriva.

Faza kraja životnog vijeka u linearnoj ekonomiji uključuje proces rušenja, gdje materijali postaju otpad. No, postoji mogućnost ponovnog uključivanja u lanac vrijednosti materijala na kraju njihova vijeka trajanja što ovisi o vrsti materijala i konstrukcijskih sustava odabranih u fazi projektiranja i načinu na koji se provodi rušenje i gospodarenje otpadom. U ovoj fazi,

utjecaj na okoliš vezan je uz izgaranje fosilnih goriva iz strojeva i transporta, kao i emisije povezane s odlaganjem na odlagalištima.



Slika 12.1. Faze životnog ciklusa [18]

Na temelju izračuna procjene životnog ciklusa, LCA izrađuje se izjava o utjecaju proizvoda na okoliš (engl. Environmental product declaration, EPD). EPD je dokument koji daje informacije o potencijalnom utjecaju proizvoda na okoliš i zdravlje ljudi te pruža kvantitativnu osnovu za usporedbu proizvoda i usluga.

Funkcionalna jedinica osigurava referencu s kojom će se povezivati ulazne i izlazne veličine. Ta je referenca potrebna da se osigura usporedivost rezultata LCA, a kada se uspoređuju dva ili više proizvoda bitno je da imaju istu funkciju. [18]

Cilj ove analize je izračunati koliko kg CO₂ godišnje emitira predmetna zgrada.

12.1. Ulazni podatci

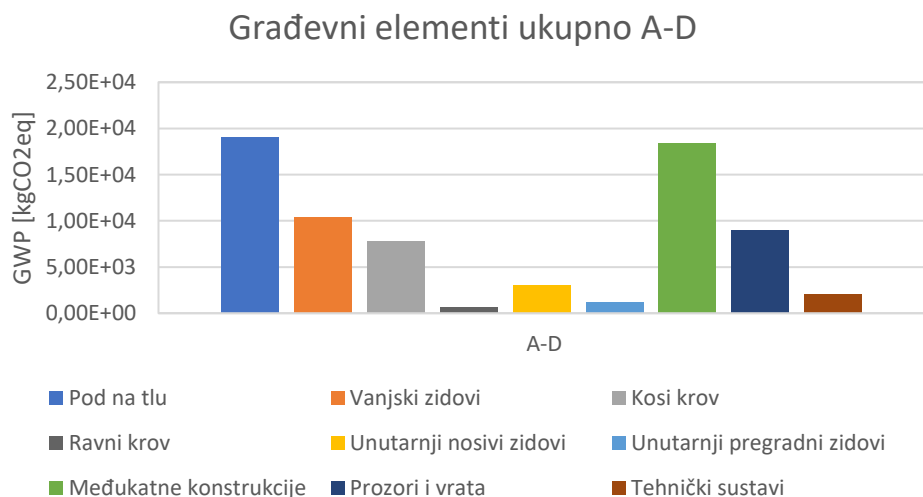
Analiza životnog ciklusa predmetnog objekta započinje analizom inventara tj. podjelom zgrade na građevne dijelove i ispisom količina svih materijala ugrađenih u građevinu. Za svaki ugrađeni materijal uz količine potrebni su i ostali podatci: površina [m²], debljina [m], volumen [m³], gustoća [kg/m³] i masa [kg]. Potrebni podatci su rezultat izrade BIM modela u računalnom paketu ArchiCAD 25, a popis materijala prikazan je popisom slojeva u poglavlju 8.

Odabrana funkcionalna jedinica je 1 m² kuće. Potrebno je pronaći EPD za svaki materijal ugrađen u građevinu. Važno je obratiti pozornost na funkcionalnu jedinicu i usklađivanje mjernih jedinica, te sve svesti na 1m². Osim toga, u obzir treba uzeti i dimenzije pojedinih materijala koje su dane EPD-om i uskladiti ih sa stvarnim dimenzijama. Kako je životni vijek građevine 50 godina, potrebno je uračunati i zamjene za određene materijale koji zahtijevaju obnovu nakon isteka njihovog životnog vijeka. Kod većine korištenih materijala transport je uzet u obzir samim EPD-om, te on nije posebno razmatran.

12.2. Rezultati proračuna

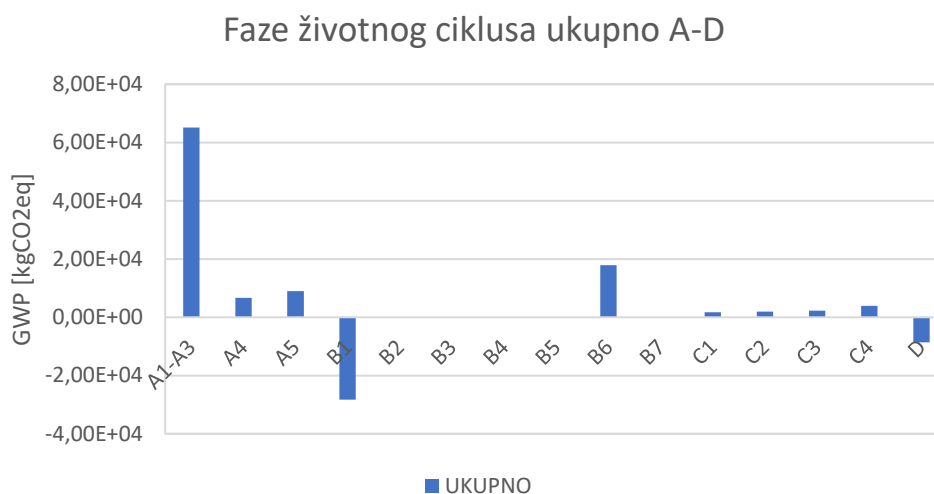
Prikazani su rezultati na razini cijele građevine i usporedba pojedinih građevnih dijelova, također je uspoređena analiza obnovljenog stanja s postojećim.

Slika 12.2. prikazuje ukupni utjecaj na okoliš cijele građevine kroz sve faze životnog ciklusa, nakon provedene obnove. Izračunom je dobiven podatak da predmetna zgrada emitira 71600 kgCO₂ tijekom svog životnog vijeka od 50 godina. Najveći utjecaj imaju pod na tlu i međukatne konstrukcije, dok najmanji imaju ravni krov i unutarnji pregradni zidovi.



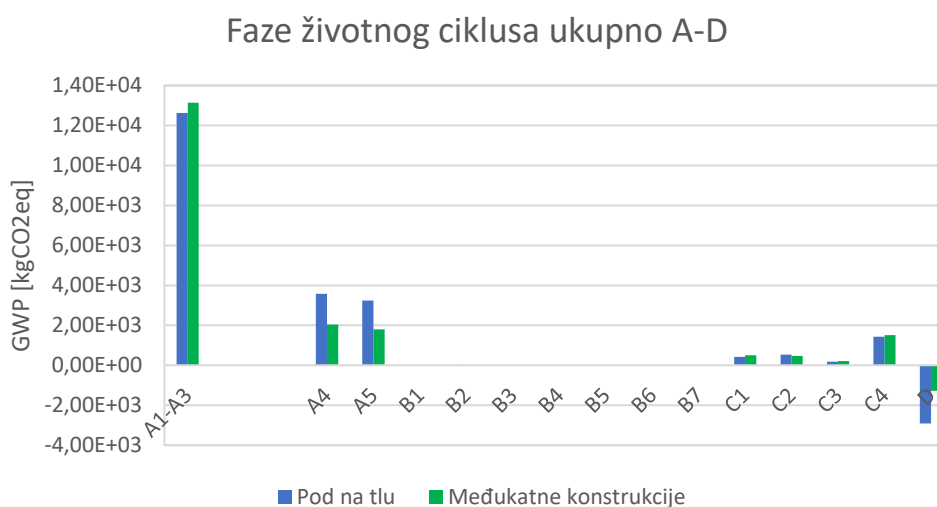
Slika 12.2. Građevni elementi ukupno A-D, obnovljeno stanje

Kao što je vidljivo iz Slika 12.3. na kojoj su prikazane sve faze životnog ciklusa obnovljenog stanja, proizvodnja ima znatno najveći utjecaj na okoliš. Može se primijetiti kako faza korištenja B1 i faza kraja životnog vijeka D imaju utjecaj koji je u negativnom dijelu osi, što ustvari znači da te faze pozitivno djeluju na cjelokupni utjecaj na okoliš smanjujući emisije.



Slika 12.3. Faze životnog ciklusa ukupno A-D, obnovljeno stanje

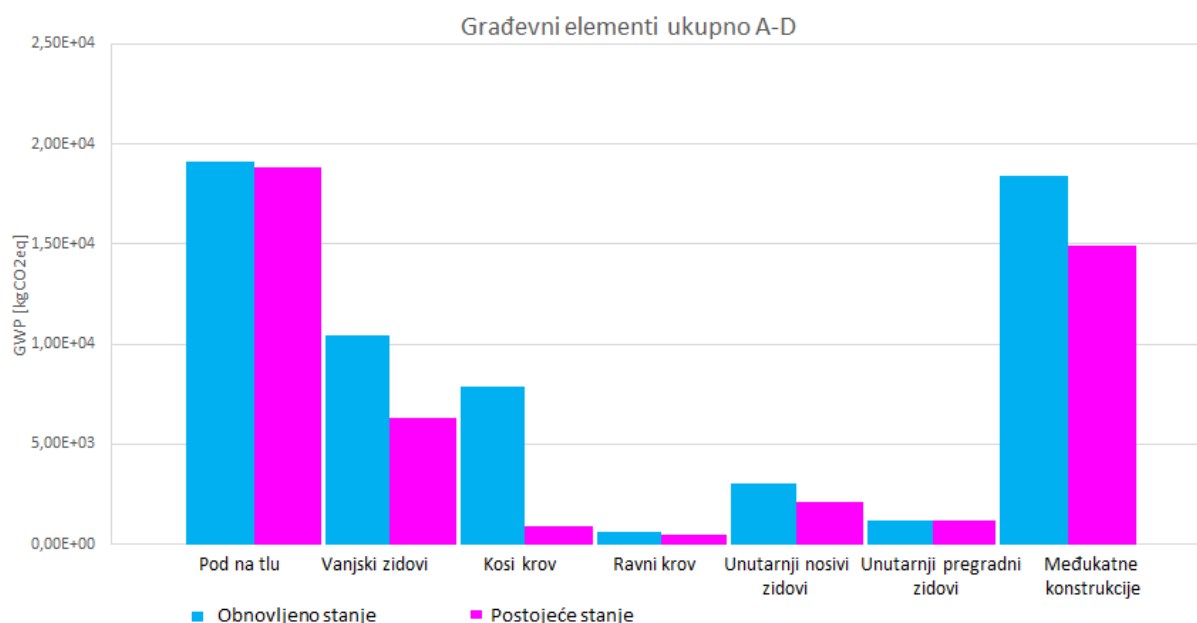
S obzirom da pod na tlu i međukatne konstrukcije imaju najveći utjecaj na okoliš, Slika 12.4. je prikazana njihova usporedba. Vidi se da u fazi proizvodnje veći utjecaj ima međukatna konstrukcija, dok u fazi ugradnje pod na tlu. Pod na tlu također ima veći (negativni) utjecaj kod kraja životnog vijeka što može značiti da se u njegovom slučaju više materijala može reciklirati ili odložiti na način koji je ekološki prihvatljiviji.



Slika 12.4. Faze životnog ciklusa poda na tlu i međukatne konstrukcije, obnovljeno stanje

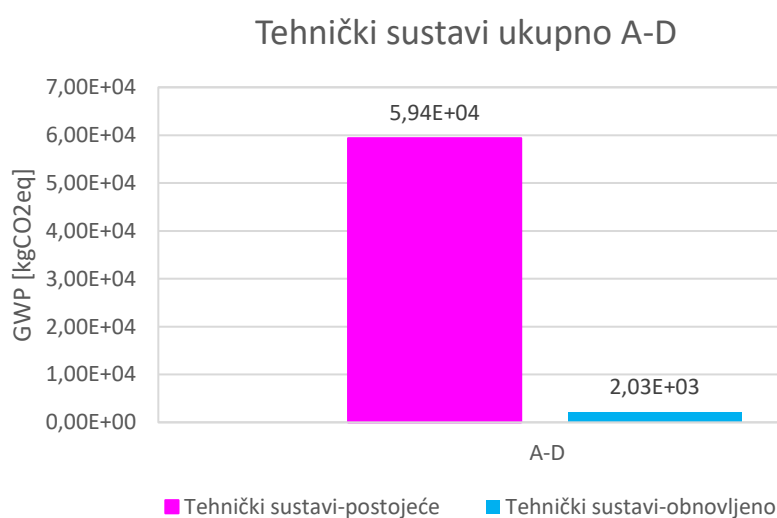
Nadalje će se prikazivati usporedba građevnih dijelova i faza životnog ciklusa postojećeg stanja građevine, te stanja nakon provedene obnove. Ovakva usporedba je zanimljiva jer daje potvrdu kako pametno odabrane mjere obnove i novo ugrađeni sustavi mogu pozitivno djelovati na okoliš i smanjiti emisije CO₂ u atmosferu.

Slika 12.5. prikazuje usporedbu građevnih elemenata obnovljenog i postojećeg stanja, kroz sve faze životnog ciklusa. Kroz sve građevne elemente prisutan je jednak obrazac ponašanja, koji upućuje na veću količinu emisija kod obnovljenog stanja. Takav rezultat je očekivan s obzirom da se u obnovljenom stanju na postojeće slojeve dodaju novi slojevi poput toplinske izolacije, hidroizolacije te razne vrste folija koje na različit način reguliraju propusnost. Dodavanjem novih slojeva stvaraju se nove emisije uzrokovane dodatnim ugrađenim materijalom te je cjelokupni utjecaj na okoliš veći. Kosi krov se ističe s najvećom razlikom između postojećeg i obnovljenog stanja s obzirom da su tom građevnom dijelu dodavani razni slojevi i velike debljine toplinske izolacije kako bi se zadovoljio zahtjev koeficijenta prolaska topline. Gledano u brojkama, dodani slojevi u odnosu na postojeće stanje uzrokuju dodatnu emisiju od 16000 kgCO₂.

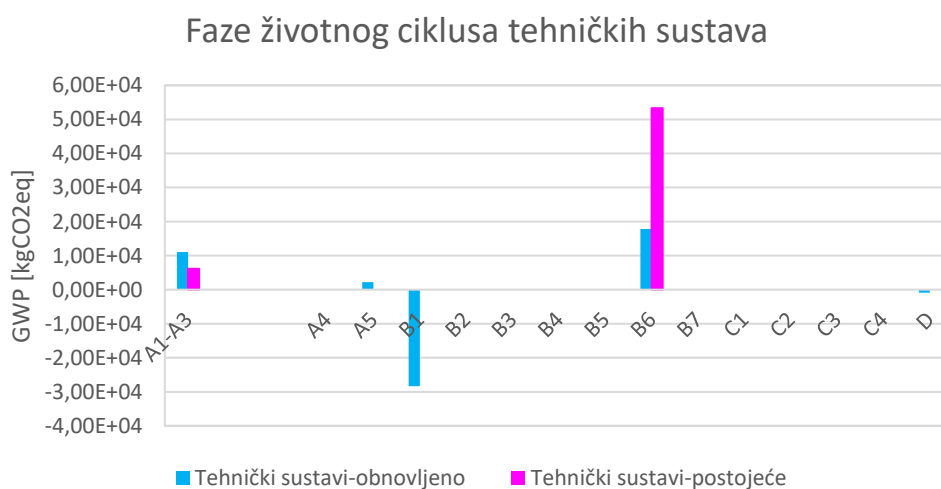


Slika 12.5. Građevni elementi ukupno A-D, usporedba

S razlogom su u prethodnom dijagramu izostavljeni tehnički sustavi, koji su prikazani na Slika 12.6. Naime, tehnički sustavi čine najveću razliku u odnosu postojećeg i obnovljenog stanja, gledajući utjecaj na okoliš. Kao što je već opisano u poglavlju 7, postojeći kotao na drva zamijenjen je kotlom na pelete, ugrađena je mehanička ventilacija te su na krov instalirani fotonaponski paneli. Iz slike je vidljivo da tehnički sustavi postojećeg stanja tijekom 50 godina emitiraju 59400 kgCO₂, a tehnički sustavi obnovljenog stanja emitiraju samo 2030 kgCO₂. Kako je to moguće? U postojećem stanju se nalazi samo kotao na drva, dok u obnovljeno stanje ulaze emisije od kotla na pelete, mehaničke ventilacije i fotonaponskog sustava. Odgovor se nalazi na Slika 12.7. gdje su prikazane faze životnog ciklusa tehničkih sustava.

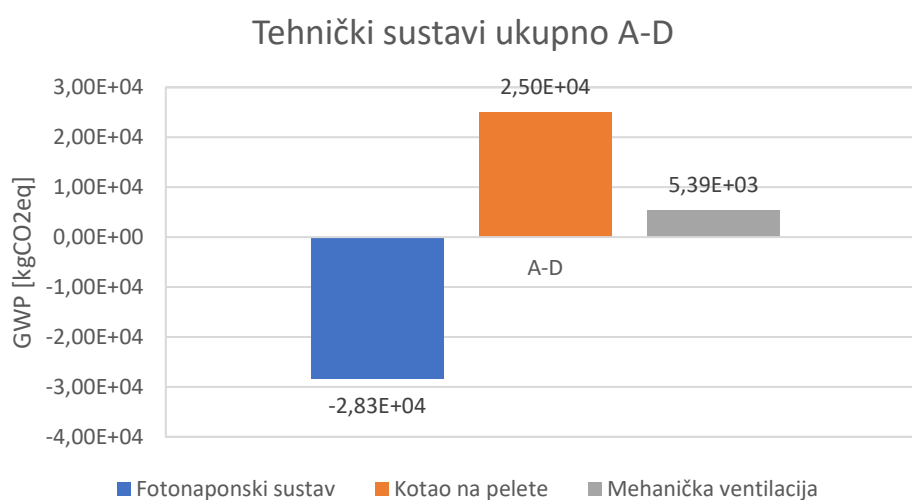


Slika 12.6. Usporedba tehničkih sustava



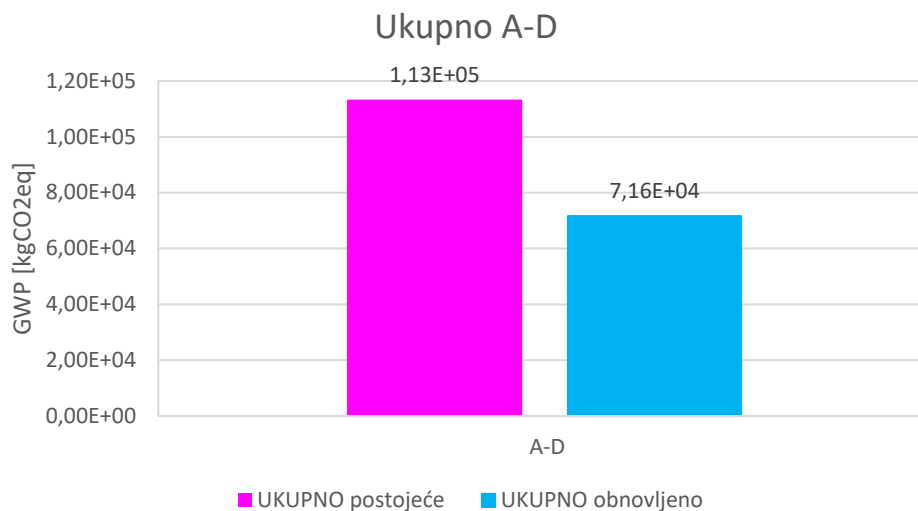
Slika 12.7. Faze životnog ciklusa tehničkih sustava

U faze proizvodnje A1-A3 vidi se kako veći utjecaj imaju tehnički sustavi obnovljenog stanja što je objašnjivo jer u obnovljenom stanju ima više sustava koji se koriste, te kako oni imaju određen broj zamjena, samim time u proračun ulazi i ponovna proizvodnja novih sustava te njihova ugradnja, kao i odlaganje ili zbrinjavanje otpada starih sustava. No, faza korištenja B je ta koja čini razliku. Naime, fotonaponski sustav proizvodi energiju koju nije potrebno uzimati iz mreže, manja je količina energije koju kuća treba za svoje korištenje i time fotonaponski sustav za vrijeme svoje faze korištenja čini pozitivan doprinos i smanjuje ukupne emisije. Raspodjela emisija tehničkog sustava obnovljenog stanja kroz sve faze životnog ciklusa je na Slika 12.8.

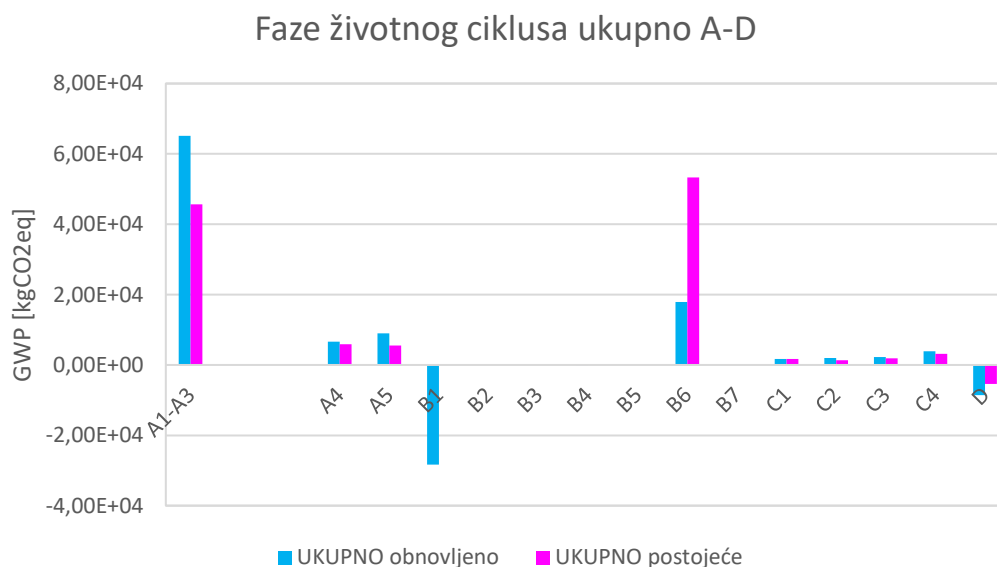


Slika 12.8. Tehnički sustavi obnovljenog stanja

Utjecaj novo ugrađenog kotla na pelete je 25000 kgCO₂, dok je utjecaj postojećeg kotla na drva bio 59400 kgCO₂. Razlog tome je što se izgaranjem drva emitira puno više CO₂ nego sagorijevanjem peleta, a ovaj rezultat je dokaz da je ovakva zamjena dobar izbor.



Slika 12.9. Usporedba ukupne emisije



Slika 12.10. Usporedba svih faza životnog ciklusa

Pregledom ukupnih emisija postojećeg i obnovljenog stanja, te usporedbom svih faza životnog ciklusa stanja prije i nakon obnove zaključuje se da provedene mjere obnove imaju pozitivan utjecaj na emisije CO₂, tj. ukupna emisija se nakon obnove smanjila s 113000 kgCO₂ na 71600 kgCO₂ (Slika 12.9). Iako su u novom stanju dodani slojevi na postojeće građevne dijelove, njihove dodane emisije su manje u odnosu na razliku emisija koja se dogodila prelaskom na kotao na pelete. Razlika u emisiji kotla na drva i kotla na pelete je čak 57% u korist peleta. Također, u obnovljenom stanju za još veći pozitivan utjecaj na količinu emisija zaslužan je fotonapon koji svojom fazom korištenja značajno smanjuje emisije kroz godine.

13. Zaključak

Poticanje izgradnje energetski učinkovitih zgrada ima jednu olakotnu okolnost, a to je nepostojanje početnog stanja. Gradi se od nule te je lako postići željeno energetsko stanje korištenjem pametno izabranih materijala i sustava. Veći je izazov napraviti energetski učinkovitu zgradu koja ima svoj postojeći kostur i određena ograničenja. Ovim radom na poprilično uobičajenoj obiteljskoj kući bez elemenata toplinske zaštite, uzevši u obzir njezinu godinu izgradnje i ugrađene materijale, primijenjen je niz mjera kojima se povećala energetska učinkovitost do razine gotovo nulte energije.

Naglasak pri energetskej obnovi ove zgrade dan je na vanjsku ovojnicu grijanog dijela zgrade. Dodavanjem slojeva toplinske izolacije postignuto je značajno smanjenje gubitaka energije. Svi koeficijenti prolaznosti topline zadovoljavaju uvjete postavljene u Tehničkom propisu, te je pojedinim građevnim dijelovima poput kosog krova smanjen koeficijent prolaznosti topline za skoro 30ak puta s početne vrijednosti od $4,38 \text{ W/m}^2\text{K}$ na sadašnju vrijednost od $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Osim toplinske izolacije i ostalih novo dodanih slojeva na građevinskim dijelovima, za vanjsku ovojnicu grijanog dijela zgrade bitna je i zamjena postojeće stolarije kojom se dodatno smanjio gubitak energije te poboljšala zrakopropusnost zgrade.

Zamjenom standardnog kotla na drvenu sječku kotlom na pelete pozitivno se utječe na ekološki aspekt s obzirom da peleti značajno manje onečišćuju zrak te su CO_2 neutralni. Osim kotla na pelete, dodan je još jedan oblik korištenja obnovljivih izvora energije, a to su fotonaponski paneli na jugozapadnoj strani krovništva. Uz dobro poznate benefite fotonaponskih panela u pogledu energetske učinkovitosti, njihova ugradnja vlasnicima daje određenu sigurnost i zaštitu od trenutno vrlo aktualnih promjena cijena na energetskom tržištu.

Provedenim mjerama vrijednost godišnje potrebne topline za grijanje po jedinici proračunske korisne površine $Q''_{H,nd}$ je pala za čak 84% što je i više nego dovoljno za postizanje kriterija smanjenja od 50%. Godišnja potrebna toplina za hlađenje po jedinici korisne površine $Q''_{C,nd}$ manja je za otprilike 45%. Vrijednost godišnje primarne energije po jedinici ploštine korisne površine zgrade E_{prim} spustila se za 86%, što je također dovoljno za postizanje kriterija smanjenja od 30%. Godišnja isporučena energija po jedinici ploštine korisne površine E''_{del} također se smanjila čak 91%.

Proračunom toplinskih mostova i higrotermalnog ponašanja elemenata ovojnice pokazano je da u većini građevnih dijelova nema opasnosti od kondenzacije, razvoja gljivica i plijesni što

bi rezultiralo građevinskom štetom. Zbog povećane relativne vlažnosti u slojevima kosog krova savjetuje se praćenje stanja kako bi se spriječila eventualna šteta u budućnosti.

Analizom ukupnog utjecaja na okoliš cijele građevine kroz sve faze životnog ciklusa dobiven je podatak da predmetna zgrada nakon provedene obnove emitira 71600 kgCO₂ tijekom svog životnog vijeka. U odnosu na postojeće stanje čija je emisija iznosila 113000 kgCO₂ to je smanjenje od 44%. Iako su u novom stanju dodani slojevi na postojeće građevne dijelove, njihove dodane emisije su manje u odnosu na razliku emisija koja se dogodila prelaskom na kotao na pelete. Tim postupkom emisije su se izravnale, tj. novo ugrađene emisije su opravdane korištenjem sustava za grijanje koji manje emitira od postojećeg. Utjecaj fotonaponskog sustava tijekom godina dodatno smanjuje emisije kroz svoju fazu korištenja gdje proizvodnjom energije smanjuje količinu energije koja bi se uzimala iz mreže i tako povećavala emisije. Gledajući faze životnog ciklusa građevine, najveći utjecaj ima faza proizvodnje.

Uspoređujući dobiveni rezultat od 13,70 kg CO₂-eq/m²/god s Danskim kriterijem koji iznosi 12 kg CO₂-eq/m²/god vidi se da dobiveni rezultat neznatno odstupa od granične vrijednosti. Razlog tome je kriterij postavljen za nove zgrade veće od 1000 m², a u promatranom slučaju radi se o postojećoj zgradi manjoj od 1000 m². Uzevši u obzir navedeno, odstupanje od 14% je prihvatljivo.

Za postizanje konačne kvalitete potrebno je istaknuti važnost stručne i kvalitetne izvedbe. Jedino na taj način moguće je stvoriti energetski visokoučinkovitu zgradu koja će biti podređena korisnicima i njihovim zahtjevima, smanjiti potrošnju energije i emisije CO₂, smanjiti mjesečne troškove, te poboljšati kvalitetu i ugodnost života.

14. Literatura

- [1] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, Smjernice za zgrade gotovo nulte energije drugi dio, Zagreb, 2019. n.d.
- [2] Šimić-Jelić M., Energetska obnova obiteljskih kuća u 2020. godini, Ing-vicrus.hr, Dostupno: <https://www.ing-victus.hr/blog/energetska-obnova-obiteljskih-kuca-u-2020-godini> [pristupljeno 15.9.2023.] n.d.
- [3] Milovanović B, Baričević A, Jelčić Rukavina M, Energetska obnova zgrada, predavanje, 2023. n.d.
- [4] 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. *Energy Strategy Reviews* 2022;44:101009. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101009>.
- [5] Maduta, C., Melica, G., D'agostino, D. and Bertoldi, P., Defining zero-emission buildings, EUR 31382 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023 n.d.
- [6] Konnerup P, How Denmark leads the way in decarbonising the construction industry, Dostupno: <https://www.burohappold.com/news/how-denmark-leads-the-way-in-decarbonising-the-construction-industry/#> [pristupljeno: 20.9.2023.] n.d.
- [7] Ministarstvo pravosuđa i uprave, Državna geodetska uprava, Dostupno: <https://oss.uredjenazemlja.hr/map>, [pristupljeno 31.8.2023.] 2023.
- [8] Vrek S. Vrek S. Tipologija izgradnje i podjela zgrada prema razdoblju gradnje i energetske potrebama TIPOLOGIJA IZGRADNJE I PODJELA ZGRADA PREMA RAZDOBLJU GRADNJE I ENERGETSKIM POTREBAMA THE TYPOLOGY OF CONSTRUCTION AND DIVISION OF BUILDINGS ACCORDING TO THE CONSTRUCTION PERIOD AND ENERGETIC NEEDS n.d.
- [9] Đurić D. Graditeljska, prirodoslovna i rudarska škola, Arhitektonske konstrukcije, Dvostrešno prazno krovništvo i krovništva sa pajantama, Varaždin, 2020. n.d.
- [10] Vrčec S., BIM tehnologije u održivom upravljanju zaštićenim cjelinama, Dostupno: <https://regea.org/bim-tehnologije-u-odrzivom-upravljanju-zasticenim-kulturno-povijesnim-cjelinama/>, [pristupljeno 4.9.2023.] n.d.
- [11] Bagarić M, Tkalčić D, Milovanović B, Auditorne vježbe - PROGRAM Proračun geometrijskih karakteristika zgrade & BIM model 2022/2023 n.d.
- [12] Novak S SZLK. Upute_za_rad_s_racunalnim_programom_KI_Expert_Plus: verzija 1068 n.d.
- [13] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, Metodologija provođenja energetskog pregleda zgrada. Zagreb, 2021. n.d.
- [14] Hrvatska udruga proizvođača toplinsko fasadnih sustava. Smjernice za izradu ETICS sustava, 2016. n.d.
- [15] MD&V d.o.o. Strojne glazure, Cementni estrih, Dostupno: <https://www.mdv.hr/Strojne%20glazure/default.html>, [pristupljeno 12.9.2023.] n.d.

- [16] Bagarić M. Auditorne vježbe - Vlaga, 2017. n.d.
- [17] Hrvatska komora arhitekata, Ytong sustav gradnje, Dostupno: https://www.arhitektika.hr/files/file/pdf/baza-proizvoda/ytong/Toplinski_mostovi.pdf, [pristupljeno 14.9.2023.] n.d.
- [18] Štirmer N, Carević I. Predavanje - Uvod u koncepte linearnog i kružnog gospodarstva i uloga građevinarstva, ključni aspekti zelene gradnje: ekološki, ekonomski, sociokulturni i tehnološki aspekti, 2023. n.d.