

Analiza energetske obnove objekata kategoriziranih kao zaštićeno kulturno dobro

Rogulj, Kristina

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:458669>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-08**



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Kristina Rogulj

Split, 2024.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Kristina Rogulj

**Analiza energetske obnove objekata
kategoriziranih kao zaštićeno kulturno
dobro**

Diplomski rad

Split, 2024.



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,
ARCHITECTURE AND GEODESY

STUDIJ: SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVO
KANDIDAT: Kristina Rogulj
MATIČNI BROJ: 0083222054
KATEDRA: Katedra za teoriju konstrukcija
Katedra za otpornost materijala i ispitivanje konstrukcija
KOLEGIJ: Fizika zgrade

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Analiza energetske obnove objekata kategoriziranih kao zaštićeno kulturno dobro

Opis zadatka Potrebno je provesti analizu energetske obnove objekata (muzej Mimara i Maškovića Han) koji su kategorizirani kao zaštićeno kulturno dobro. Odabrani objekti su iz dva potpuno različita perioda gradnje. Za oba objekta treba provesti proračun energetske učinkovitosti zatečenog stanja, potom predložiti rješenje sanacije uvažavajući sve zahtjeve konzervatora, i na koncu cjelovitu sanaciju objekta uvažavajući sve propisane uvjete energetske učinkovitosti. Na temelju provedenih analiza izvesti zaključke i moguće preporuke za sustavna rješenja.

U Splitu, 23. listopada, 2023.g.

Mentor: Prof.dr.sc. Mirela Galić

Komentor: Izv.prof.dr.sc. Ivan Balić

Predsjednik Povjerenstva za završne i
diplomske ispite studija Građevinarstvo:
Izv. prof. dr. sc. Ivan Balić



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,
ARCHITECTURE AND GEODESY

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

kojom ja, Kristina Rogulj, JMBAG: 0083222054, studentica Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu, kao autorica ovog diplomskog rada izjavljujem da sam ga izradila samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Mirela Galić / komentorstvom izv. prof. dr. sc. Ivan Balić.

U radu sam primijenila metodologiju znanstvenoistraživačkog rada i koristila literaturu koja je navedena na kraju rada. Tuđe spoznaje, zaključke, teorije, formulacije i grafičke prikaze koje sam izravno ili parafrazirajući navela u radu citirala sam i povezala s korištenim bibliografskim jedinicama.

Kristina Rogulj

(vlastoručni potpis studentice)

Zahvaljujem se svojoj mentorici Prof. dr.sc. Mireli Galić na nesebičnom zalaganju, strpljenju i stručnom vodstvu pri izradi ovog diplomskog rada.

Veliko hvala uredu M.L. Projekta na pomoći tijekom izrade rada, ustupljenim informacijama i sugestijama.

Hvala svim profesorima i asistentima koji su mi pomagali tijekom studija.

Posebno hvala mojim roditeljima Neni i Vladi, bratu i sestrama na ljubavi i podršci koju su mi pružili tijekom cijelog studiranja.

Hvala dragim prijateljima i kolegama koji su bili uz mene, dijelili samnom kroz suze i smijeh sve nezaboravne trenutke studiranja..

Najveća zahvala upućena je dragom Bogu koji me je doveo do ovog radosnog trenutka!

Analiza energetske obnove objekata kategoriziranih kao zaštićeno kulturno dobro

Sažetak:

U ovom diplomskom radu analizirana je energetska učinkovitost dva objekta (muzej Mimara-Zbirka umjetnina Ante i Wiltrude Topić Mimara i Maškovića Han - Han Jusufa Maškovića) kategorizirana kao zaštićeno kulturno dobro. Kod objekata koji su kulturne i povijesne važnosti, veliki izazov pri energetske obnovi predstavlja činjenica da je te objekte potrebno sanirati na način da se očuva njihova autentičnost i povijesna vrijednost. U ovom radu će se pokazati analiza sanacije dva objekta koji spadaju u skupinu zaštićenog kulturnog dobra. Odabrani objekti su iz dva različita perioda gradnje. Analizirana je energetska učinkovitost zatečenog stanja, predložen način energetske obnove, uvažavajući sve konzervatorske smjernice, potom proračun koji bi zadovoljio kriterije tzv. zgrade gotovo nulte energije nZEB. Primijenjen je algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790. Apostrofirani su faktori koji utječu na poboljšanje energetske učinkovitosti objekata te tako i na smanjenje ukupne potrošnje energije objekata. Na temelju provedenih analiza izvedeni su zaključci.

Ključne riječi:

energetska učinkovitost, zgrada gotovo nulte energije, kulturna baština, energetska obnova zgrade

Analysis of energy renovation of buildings classified as protected heritage sites

Abstract:

In this thesis, the energy efficiency of two buildings categorized as protected cultural heritage sites the Mimara Museum (Collection of Art by Ante and Wiltrude Topić Mimara) and the Maškovića Han (Han Jusuf Mašković) is analyzed. The primary challenge in renovating such culturally and historically significant buildings lies in preserving their authenticity and historical value. This study presents an analysis of the renovation efforts for these two buildings, which are from distinct construction periods.

The thesis begins by assessing the energy efficiency of the existing conditions of these structures. It then proposes a method for their energy renovation, strictly adhering to all conservation guidelines. Additionally, it provides calculations to meet the criteria of nearly zero-energy buildings (nZEB), following an algorithm based on HRN EN ISO 13790 to determine the necessary energy for heating and cooling of the buildings.

The study highlights factors that influence the improvement of the buildings' energy efficiency and, consequently, the reduction of their overall energy consumption. The findings and analyses lead to a set of conclusions that offer insights into the balance between energy efficiency and preservation in heritage buildings.

Keywords:

energy efficiency, nearly zero-energy building, conservation standards, cultural heritage

S a d r Ź a j

| | |
|---|-----------|
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1 Energetska učinkovitosti u zgradarstvu..... | 1 |
| 1.2 Proizvodnja primarne energije u Hrvatskoj..... | 2 |
| 1.3 Potrošnja energije u zgradama..... | 3 |
| 1.4 Energetska bilanca zgrade | 4 |
| 1.5 Prikaz rada | 5 |
| 2. ENERGETSKA OBNOVA ZAŠTIĆENE NEPOKRETNE KULTURNE BAŠTINE | 6 |
| 3. JAVNA USTANOVA “ZBIRKA UMJETNINA ANTE I WILTRUDE TOPIĆ MIMARA”- MUZEJ MIMARA..... | 8 |
| 3.1 O građevini | 8 |
| 3.2 Tehnički opis | 9 |
| 3.3 Opis građevnih dijelova..... | 12 |
| 3.3.1 Utvrđivanje vrste i rasporeda slojeva po pozicijama | 17 |
| <i>Pozicija 1</i> | <i>17</i> |
| <i>Pozicije 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 i 10</i> | <i>18</i> |
| <i>Pozicije 11,12 i 13</i> | <i>20</i> |
| <i>Pozicija 14</i> | <i>21</i> |
| 3.3.2 Usporedba koeficijenata prolaska topline..... | 22 |
| 3.4 Opis građevnih dijelova uključenih u aproksimativnom proračunu | 24 |
| 3.4.1 Pod na tlu | 28 |
| 3.4.2 Međukatna konstrukcije..... | 29 |
| 3.4.3 Krovne konstrukcije..... | 30 |
| 3.4.4 Vanjski zid | 32 |
| 3.4.5 Zid u tlu..... | 33 |
| 3.5 Proračun i analiza | 34 |
| 3.5.1 Geometrijske karakteristike zgrade, namjena zgrade i podjela u toplinske zone..... | 34 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.5.2 | Podaci o lokaciji objekta..... | 35 |
| 3.5.3 | Koeficijent prolaska topline..... | 36 |
| 3.5.4 | Korelacija koeficijenata prolaska topline..... | 38 |
| 3.5.5 | Toplinski gubici | 39 |
| 3.5.6 | Godišnja emisija CO ₂ | 40 |
| 3.5.7 | Prozirni dijelovi konstrukcije..... | 41 |
| 4. | HAN JUSUFA MAŠKOVIĆA | 42 |
| 4.1 | O građevini | 42 |
| 4.2 | Tehnički opis građevine..... | 43 |
| 4.3 | Opis zahvata | 44 |
| 4.4 | Opis građevnih dijelova..... | 46 |
| 4.4.1 | Pod na tlu | 48 |
| 4.4.2 | Međukatne konstrukcije..... | 48 |
| 4.4.3 | Krovne konstrukcije..... | 49 |
| 4.4.4 | Vanjski zid | 50 |
| 4.4.5 | Zid u tlu..... | 51 |
| 4.5 | Proračun i analiza | 52 |
| 4.5.1 | Geometrijske karakteristike zgrade, namjena zgrade i podjela u toplinske zone | 52 |
| 4.5.2 | Podaci o lokaciji objekta..... | 53 |
| 4.5.3 | Koeficijent prolaska topline | 54 |
| 4.5.4 | Prozirni dijelovi konstrukcije..... | 55 |
| 5. | PROJEKTIRANA UŠTEDA PRILIKOM OBNOVE OBJEKTA | 56 |
| 6. | ZAKLJUČAK..... | 58 |
| | Literatura..... | 60 |
| | Prilog- Proračun po zonama za zatečeno stanje muzeja Mimare | 61 |

1. UVOD

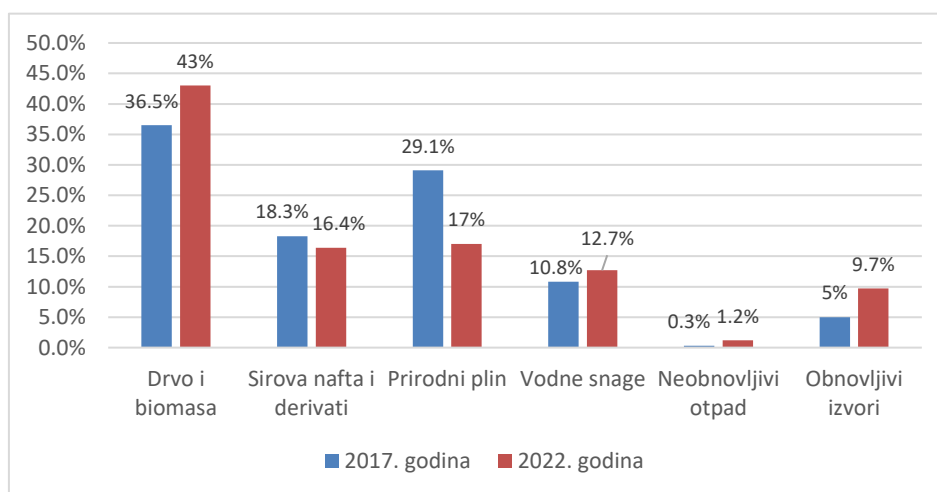
1.1 Energetska učinkovitosti u zgradarstvu

Energetska učinkovitost u zgradarstvu prepoznata je danas kao područje koje ima veliki potencijal za smanjenje ukupne potrošnje energije [1]. Povećanje udjela obnovljivih izvora energije i primjena visokokvalitetne toplinske zaštite direktno utječe na ugodniji i kvalitetniji boravak u zgradi, duži životni vijek zgrade te doprinosi zaštiti okoliša i smanjenju emisija štetnih plinova.

Mjere energetske učinkovitosti uključuju širok spektar mogućnosti uštede toplinske i električne energije, uz racionalnu primjenu fosilnih goriva te primjenu obnovljivih izvora energije u zgradama, gdje god je to funkcionalno ostvarivo i ekonomski prihvatljivo [1]. Zgrade su trenutno jedne od najozbiljnijih potrošača energije u svijetu i globalni proizvođač štetnih emisija stakleničkih plinova, posebno CO₂. Energija koja se potroši u stambenim i nestambenim zgradama danas čini više od 40% ukupne potrošnje energije u Hrvatskoj. Ekološki prihvatljiva potrošnja energije kao prioritet ima razborito planiranje potrošnje i primjenu mjera energetske učinkovitosti u svim segmentima energetske sustava neke zemlje. Održiva gradnja je svakako jedan od značajnijih segmenata održivog razvoja koji uključuje uporabu građevnih materijala koji nisu štetni po okoliš, energetske učinkovitost zgrada i gospodarenje otpadom od gradnje i rušenja građevina [2]. Energetski i ekološki održivo graditeljstvo teži smanjiti gubitke topline iz zgrade poboljšanjem toplinske zaštite vanjskih elemenata i povoljnim odnosom oplošja i volumena zgrade te povećanjem toplinskih dobitaka u zgradi povoljnom orijentacijom zgrade i korištenjem sunčeve energije [3]. Energetska učinkovitost je danas neizostavan imperativ i jasan indikator stupnja tehnološkog, gospodarskog i socijalnog razvoja svakog društva.

1.2 Proizvodnja primarne energije u Hrvatskoj

Pozitivni trend u sektoru energetike djeluje poticajno na zaustavljanje ubrzanih klimatskih promjena. Ljudska aktivnost je povećala atmosfersku koncentraciju stakleničkih plinova što je za posljedicu imalo globalno zatopljenje, odnosno povišenja prosječne površinske temperature planete. Porast temperature za ishod ima negativne promjene na okoliš i različite aspekte ljudskog zdravlja. Informacije o klimatskim promjenama, odnosno o njihovim uzrocima i posljedicama nam omogućuju lakšu prilagodbu i otklanjanje problema. Jedan od puteva ka održivoj budućnosti je što veća primjena obnovljivih izvora energije. Tijekom šestogodišnjeg razdoblja od 2017. godine do 2022. godine, rezultati istraživanja pokazali su da je smanjen udio sirove nafte i derivata za 1,9% i prirodnog plina za 12,1% tijekom razvoja proizvodnje pojedinih primarnih oblika energije, slika 1 [4]. Suprotno tome, povećava se udio toplinske energije nastale iz obnovljivih izvora, vodnih snaga te drva i biomase što kao rezultat ima usporavanje negativnih klimatskih promjena.



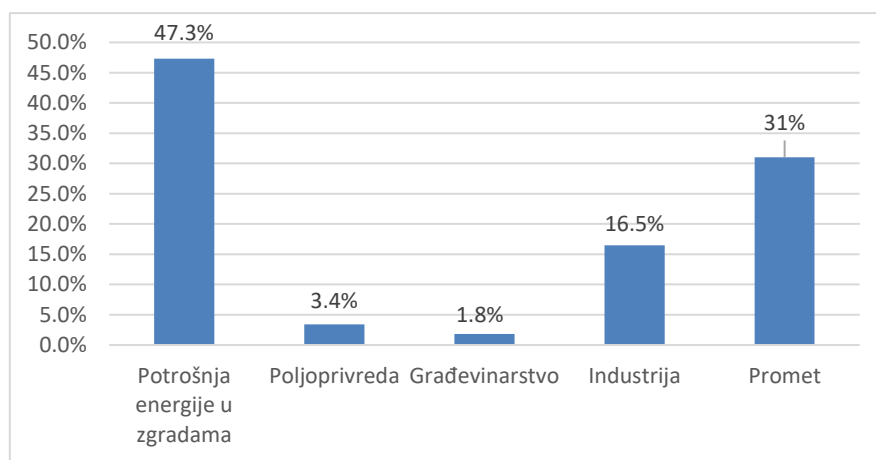
Slika 1: Udjeli u proizvodnji primarne energije u Hrvatskoj [4]

Potrošnja kao i udio primarne energije su različiti, ali s obzirom da se ovaj rad fokusira na građevinarstvo konkretno na uštedu u zgradama u nastavku će se dati naglasak na taj dio.

1.3 Potrošnja energije u zgradama

Potrošnja energije u zgradama jedna je od najbrže rastućih potrošnji u odnosu na ostale segmente ukupne potrošnje energije. Ona ovisi o mnogo čimbenika kao što su faktor oblika zgrade, orijentacija zgrade, toplinska svojstva zgrade, karakteristike termotehničkih sustava itd [5]. Smanjenje potrošnje energije se ostvaruje mjerama povećanja toplinske zaštite zgrade, povećanju učinkovitosti sustava grijanja, hlađenja i ventilacije te podizanjem znanja i svijesti stanara o racionalnom korištenju energije, poput gašenja klimatizacije i rasvjete u prostorijama u kojima se trenutno ne boravi te pravilnim korištenjem sunčeve svjetlosti može se osjetno pridonijeti uštedi energije.

Slika 2 prikazuje veliki udio potrošnje energije u zgradarstvu u odnosu na potrošnju finalne energije stoga je energetska učinkovitost zgrada postala neizostavno suvremeno rješenje u sektoru energetike. Općeniti pojmovi za analizu potrošnje energije u zgradama su toplinski gubici i dobici, koeficijent prolaza topline, stupanj-dan grijanja, stupanj korisnog djelovanja i oni su neophodni za definiranje energetske bilance [3].

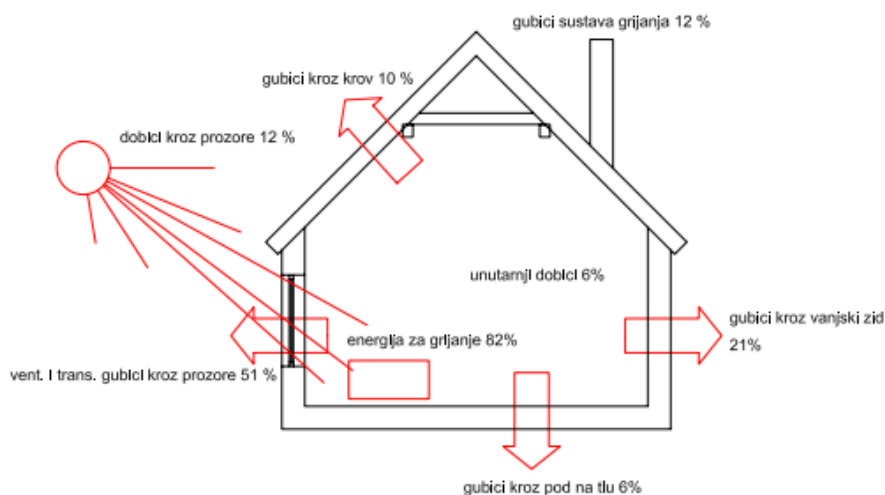


Slika 2: Udjeli ukupne potrošnje finalne energije za 2022. godinu u Hrvatskoj [4]

Kao što se vidi na pokazanoj analizi udjela ukupne potrošnje energije u 2022. godini (slika 2) skoro polovina udjela ukupne potrošnje energije odnosi se na potrošnju energije u zgradama. To treba biti motivacija za osmišljavanje boljih i racionalnijih sustava gradnje, osmišljavanje i uporabu novih ekološki prihvatljivih materijala, provođenju sustavne analize definiranja položaja same zgrade kako bi se maksimalno iskoristili prirodni izvori energije te minimizirala potreba za potrošnjom.

1.4 Energetska bilanca zgrade

Potrebna količina energije u zgradi ovisi o obliku zgrade, orijentaciji, sastavu konstrukcije i nivou toplinske izolacije vanjske ovojnice zgrade te o klimatskim uvjetima [6]. Energetska bilanca zgrade podrazumjeva sve energetske gubitke i dobitke zgrade, odnosno koliko je energije potrebno da bi se zadovoljile toplinske potrebe zgrade [3].



Slika 3: Energetska bilanca zgrade [6]

Kao što je vidljivo na slici 3, stanje toplinske ravnoteže se postiže tako da primarna energija goriva te unutarjni toplinski dobici i dobici od sunca budu izjednačeni s transmisijskim, ventilacijskim i gubicima u sustavu grijanja.

Sukladno tome, izraz za proračun energetska bilanca zgrade prema literature [3] glasi:

$$Q + Q_{in} + Q_{sun} = Q_{trans} + Q_{vent} + Q_{\mu} \quad (1)$$

Osnovna svrha razumijevanja energetske bilance zgrade je pravilna primjena određenih postupaka koji bi utjecali na smanjenje potrebne energije za sustave grijanja i hlađenja, a da se pri tome ne ugrožava kvaliteta i udobnost stanovanja.

1.5 Prikaz rada

Iz samo kratke analize u uvodu jasna je važnost izgradnje energetske učinkovitih zgrada što i nije veliki izazov za novogradnju, za koju su i važećim propisima regulirani načini proračuna i gradnje. Međutim, obnova postojećih objekata iz različitih perioda gradnje su poseban izazov i u graditeljskom i financijskom smislu, a osobito ako se radi o objektima koji su u kategoriji povjesne kulturne baštine. U tom slučaju potrebno je postići optimalni omjer uštede energije i sačuvati izvornost građevine kao svjedoka jednog vremena i značajnog kulturnog naslijeđa. U ovom diplomskom radu analizirat će se sanacija objekata koja pripadaju skupini zaštićenih nepokretnih kulturnih dobara s aspekta energetske učinkovitosti. Odabrani objekti su izgrađeni u različitim povijesno-stilskim i geografskim razdobljima te od specifičnih građevinskih materijala koja su bila karakteristična za referentno doba.

Svaka građevina ima svoj vijek trajanja, koji ovisi o različitim faktorima, a jedan od najznačajnijih je interakcija građevine i njenog okruženja, kao i način održavanja i uporaba tijekom vremena. Kod objekata koji su kulturne i povijesne važnosti, veliki izazov kod cjelovite obnove predstavlja pretpostavka da su objekti građeni trošnim materijalima i činjenica da je te objekte potrebno sanirati na način da se očuva njihova povijesna vrijednost. U ovom radu će se pokazati analiza sanacije dva objekta koji spadaju u skupinu zaštićenog kulturnog dobra Republike Hrvatske. To je muzej Mimara iz Zagreba i Maškovića Han. Radi se o dva različita objekta iz različitih povijesnih kultura i vremena te samim tim i različitog načina gradnje.

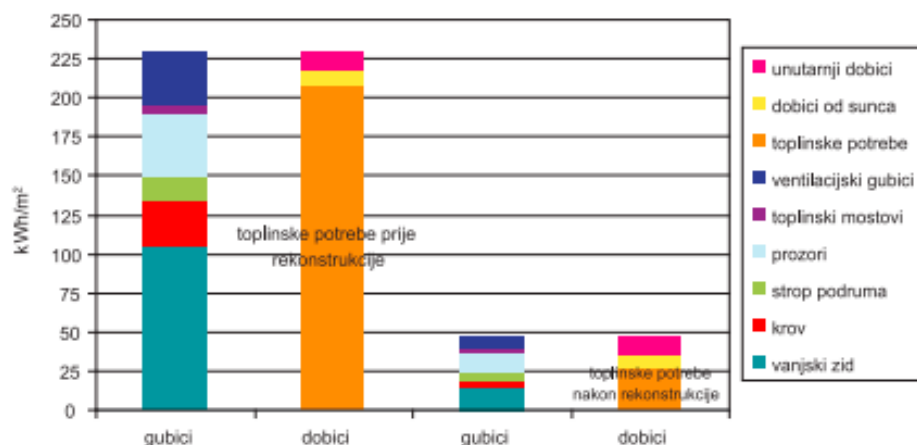
U prvom dijelu rada pokazan je proračun zatečenog stanja muzeja Mimare na temelju podataka koji su dobiveni mjerenjima na licu mjesta, a detaljan proračun se nalazi u Prilogu. Analiza objekta Maškovića Han provedena je isključivo aproksimativnim proračunom iz razloga što je izvorna struktura objekta bila u jako lošem stanju te je za posljedicu imalo izgradnju novih sadržaja s upotrebom suvremenih materijala prilikom gradnje. Aproksimativnim proračunom analizira se jedan građevni dio za svaki element zgrade u zatečenom stanju, projektiranom stanju i stanju cjelovite obnove objekta. Na osnovu dobivenih rezultata proračuna zatečenog stanja, ispituje se cjelovita energetska obnova objekta, gdje se u prvoj verziji korigiraju svi slojevi građevnih dijelova, sve u skladu sa smjernicama konzervatora, a u drugoj verziji se dodatno u proračun uvrštavaju poboljšani koeficijent prolaska topline za ostakljenja i okvire kod prozirnih konstrukcija. Proračun je izrađen u skladu s Algoritmom za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790 [22] u software-u pod nazivom "KI Expert Plus". U zaključku će se dokazati koliko je energetska obnova u zgradarstvu nužan uvjet za postizanje ciljeva uštede energije i smanjenja emisija ugljičnog dioksida.

2. ENERGETSKA OBNOVA ZAŠTIĆENE NEPOKRETNE KULTURNE BAŠTINE

Program energetske obnove zaštićenih nepokretnih kulturnih dobara ima za cilj poboljšanje energetske učinkovitosti pripadajućih zgrada s velikim naglaskom na zaštitu i očuvanje kulturne baštine u skladu sa zaštitom okoliša, koje je ključno za održivi razvoj [7]. U Republici Hrvatskoj do danas je postupno vrednovano i upisano u Registar kulturnih dobara 460 kulturno-povijesnih cjelina, a od toga 189 povijesnih gradskih jezgri, odnosno kulturnopovijesnih cjelina gradskih obilježja [8]. Prema usvojenoj hrvatskoj normi HRN EN 16883 Očuvanje kulturne baštine-smjernice za poboljšanje energijskih svojstava povijesnih zgrada (EN 16883: 2017) definirani su svi pojmovi, načela i procedure iz šireg područja planiranja, građenja i energetske obnove građevina nepokretne kulturne baštine [7].

Prilikom energetske obnove ove vrste graditeljske baštine, najveći značaj se posvećuje obnovi nedovoljne toplinske izolacije koja uzrokuje povećane toplinske gubitke zimi, oštećenja uslijed kondenzacije te pregrijavanje prostora ljeti. Kako bi se postiglo stanje toplinske ravnoteže, kod takvih objekata je nužna veća potrošnja energije prilikom grijanja prostora što za posljedicu ima skuplje stanovanje i veće onečišćenje okoliša. Poboljšanjem toplinsko-izolacijskih karakteristika zgrade moguće je postići smanjenje ukupnih gubitaka topline građevine za više od 40% [1]. Osnovni uvjet za postizanje energetske učinkovitosti zgrade je dobra educiranost o toplinskim karakteristikama građevinskih materijala. Toplinski gubici kroz građevni element ovise o sastavu elementa, orijentaciji i koeficijentu toplinske provodljivosti [9]. Koeficijent prolaska topline kroz građevinske dijelove bitno je svojstvo vanjske ovojnice objekta iz razloga što drastično doprinosi toplinskim gubicima, a time i povećanju potrebne energije za grijanje. Što je koeficijent prolaska topline građevnih elemenata manji, to je toplinska zaštita zgrade bolja.

Za zgrade koje su građene prije 1980. godine, energetsom obnovom moguće je postići uštedu u potrošnji toplinske energije od preko 60% [1]. Najveće energetske uštede postižu se kvalitetnom izolacijom vanjskog zida i ugradnjom novog ostakljenja. Na slici 4, prikazana je energetska bilanca prosječne zgrade građene tijekom 70-tih godina prošlog stoljeća [1]. Nakon rekonstrukcije, godišnja potrošnja energije zgrade smanjila se za više od 75 posto.



Slika 4: Postojeće stanje i stanje nakon rekonstrukcije zgrada izgrađenih 1970-ih godina [1]

Energetske obnove zgrada koje su pod zaštitom spomenika kulture, uz postizanje energetske učinkovitosti kao najteži zadatak imaju očuvanje izvornog oblika i arhitektonskog izgleda zgrade. S financijskog aspekta, poseban izazov predstavlja poštivanje smjernica konzervatora, iz razloga što nerijetko najjeftinije i najjednostavnije i energetske učinkovitije rješenje nije često zakonom dopušteno rješenje. Primjerice, jedna od smjernica konzervatora, postavljanje je toplinske izolacije na objekt, gdje zbog očuvanja autohtonosti fasade na takvim zgradama moguće je mineralnu vunu postaviti samo s unutarnje strane objekta. U ovom slučaju takav način postavljanja toplinske izolacije je ekonomičniji od postavljanja vanjskog toplinsko-izolacijskog sustava. Stoga, glavni zadatak energetske obnove zgrada koje su u kategoriji kulturne baštine je pronaći najbolji mogući omjer između očuvanja arhitekture zgrade i poboljšanja energetske svojstava. U nastavku će se pokazati analiza dva objekta koji su u kategoriji graditeljske baštine te navesti prednosti i nedostaci predloženih rješenja.

3. JAVNA USTANOVA “ZBIRKA UMJETNINA ANTE I WILTRUDE TOPIĆ MIMARA”- MUZEJ MIMARA

3.1 O građevini

Javna ustanova “Zbirka umjetnina Ante i Wiltrude Topić Mimara”- muzej Mimara u Zagrebu otvorena je 17. srpnja 1987. godine [12]. Riječ je o jednoj od najimpozantnijih zagrebačkih donjogradskih zgrada podignutih u stilu monumentalnog historicizma, odnosno neorenesanse [12]. Građevina je dvokatna zgrada tlocrtnog “U” oblika. Muzej je smješten u središnjem dijelu zgrade, izdužen je u smjeru sjever-jug, s glavnim ulazom na istočnom pročelju te sporednim pristupom kroz aneks sa zapadne, dvorišne strane. Muzej Mimara pojedinačno je zaštićeno kulturno dobro upisano u Registar kulturnih dobara Republike Hrvatske pod reg. brojem Z – 0459.



Slika 5: Snimka iz zraka, muzej Mimara [12]

3.2 Tehnički opis

Predmetna građevina se ukupno sastoji od 4 etaže: ukopani podrum, prizemlje, dva kata i potkrovlje (krovište). Tlocrtna dužina predmetnog dijela građevine je 129,7 metara, a širina varira od minimalno 11 m na lijevom i desnom krilu zgrade do 40,5 m u središnjem dijelu. Ukupna visina zgrade od kote uređenog terena iznosi oko 28 metara. Tijekom potresa u ožujku 2020.g., muzej je pretrpio velika oštećenja te je do daljnjeg zatvoren za javnost. Teško je oštećeno krovište i strop središnje dvorane na II. katu te krovište atrija muzeja krovište zgrade. U skladu s analizom arhitektonskih načela i slijeda gradnje zgrade, cjelovitom obnovom je predviđeno čuvanje i poštivanje njene autohtonosti te reduciranje zahvata koji bi mogli narušiti njezinu baštinsku vrijednost [12]. Zadržavaju se postojeće podne obloge interijera te zatečeni izričaj u interijeru i eksterijeru, primjeren muzejskoj funkciji.



Slika 6: Istočno pročelje muzeja Mimara [12]

U podrumu zgrade smješteni su izložbeni prostori za povremene izložbe te restauratorske radionice, uredi s knjižnicom, depoi, skladišta i tehničke prostorije. Iz dvorišnog dijela podruma ulazi se u unutarnje dvorište ispod atrija s aneksima i u gimnastičku dvoranu te odvojeni prostor za depoe, skladišta i tehničke prostorije te kuhinju i sanitarije povezane s caffeom u prizemlju [12]. Podrum sadrži dva lučna hodnika iz kojih se ulazi u tehničke prostorije i kotlovnice.



Slika 7: Podrumske prostorije [12]

U reprezentativni vestibul vodi ulaz kroz kružni vjetrobrani prostor smješten u osi centralnog od triju simetričnih portala u prostor podijeljen na tri dijela [12]. Longitudinalni hodnik uz reprezentativna stubišta iz središnjeg dijela vodi u sjeverno i južno krilo u kojima su izložbeni prostori. Tlocrt prvog kata u krilima zgrade ponavlja se kao i u prizemlju, dok je u središnjem dijelu prostor simetrično podijeljen u tri prostorije, međusobno povezane prolazima u centralnoj osi [12]. Na drugom katu, smještena je svečana dvorana u središnjem dijelu zgrade, u koju se ulazi kroz središnje postavljena troja vrata, a ostatak prostora je organiziran kao i na katu niže [12]. Prostor potkrovlja zauzimaju strojarnice i instalacijski kanali te tehničke prostorije.



Slika 8: Potkrovlje muzeja [12]

Navedeni opis prostora pokazuje različitost sadržaja objekta po svojoj namjeni i orijentaciji što jasno upućuje na podjelu objekta na više zone u svhu proračuna.

Prvo uređenje i sanacija zgrade urađena je neposredno prije samog otvorenja muzeja. Ulično i dvorišno pročelje obnovljeno je 1997.g., a jedanaest godina poslije je rekonstruirano krovništvo. Prilikom ranijih obnova, zbog nedovoljno razvijene tehnologije, velika količina izvornika nije očuvana. Obnova je započela konzervatorsko-restauratorskim istražnim radovima na eksterijeru i interijeru zgrade. Za analizu i racionalne upotrebe toplinske energije bilo je potrebno poznavati postojeće slojeve te stanje ugrađenih materijala u građevinu. U tu svrhu poslužio je dostavljeni izvještaj o provedenim nerazornim ispitivanjima i analizi koji je obuhvaćao: [13]

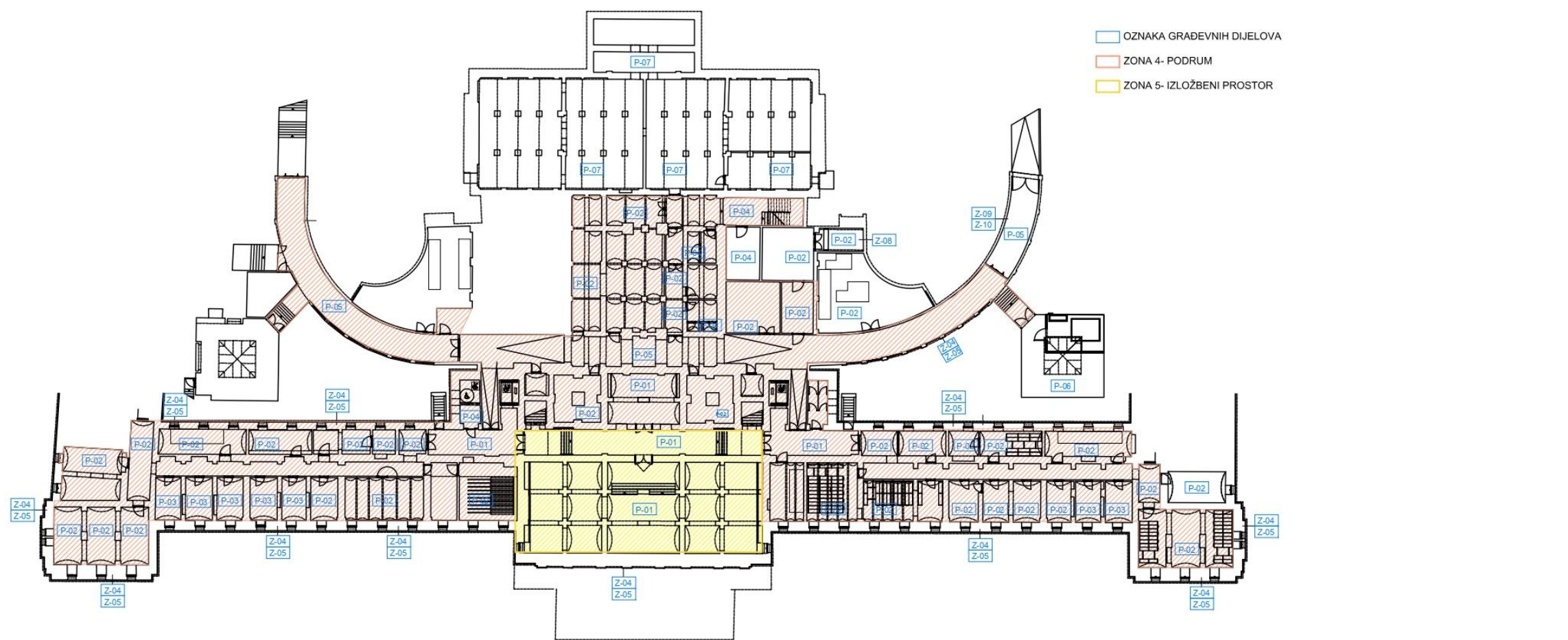
- otvaranje stropne konstrukcije i utvrđivanje vrste i rasporeda slojeva
- određivanje debljine i vrste zidova ručnim otvaranjem i bušenjem
- ručno otvaranje i utvrđivanje vrste i dimenzije nadvoja
- ručno otvaranje krovne konstrukcije, određivanje dimenzija i vrste materijala
- obrada dobivenih rezultata te izrada izvještaja o provedenim ispitivanjima s analizom.

Na temelju dostupnog izvještaja ispitivanja definirani su materijali i slojevi relevantnih dijelova konstrukcije te je proveden proračun i analiza energetske učinkovitosti objekta.

3.3 Opis građevnih dijelova

Otvaranjem stropne konstrukcije izvršeno je uzimanje uzorka na 13 ispitnih pozicija objekta te određivanje debljine i vrste nosivog zida bušenjem na poziciji 14, slika 9, [13]. S obzirom na vizualni pregled, pogodnost pojedinog elementa za provedbu određenih ispitivanja te pristupačnost lokacijama definirani su postojeći slojevi objekta. Nerazornim metodama ispitivanja, ustanovljena je uporaba zastarjele tehnike građenja te zatečeno stanje ne zadovoljava propisane zahtjeve iz Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Potrebna je temeljita rekonstrukcija građevnih dijelova s naglaskom na poštivanje smjernica konzervatora. Kao što se može vidjeti iz prethodnog tehničkog opisa objekta cijeli kompleks ima različite sadržaje od kuhinje s *caffe barom*, do izložbenih prostora što jasno upućuje na potrebu podjele kompleksa u nekoliko zona kako bi se svaka analizirala sa specifičnog aspekta.

Poštujući kriterij zadovoljenja projektirane temperature i po vrsti i režimu korištenja termotehničkih sustava objekt je podijeljen u 5 toplinskih zona. Zona 1 označava prostor *caffe bara* i kuhinje, zona 2 predstavlja multi medijski centar, zona 3 su uredi potkrovlja, zona 4 je podrum, a zona 5 su izložbeni prostori [14]. Na slikama 8, 9, 10 i 11 prikazani su detaljni opisi slojeva svakog pojedinog građevnog dijela, granice toplinskih zona kao i pozicije uzimanja uzoraka ispitivanja. Opisi građevnih dijelova preuzeti su iz projekta racionalne uporabe energije i toplinske zaštite, [19].



| P-01 POD NA TLU U HODNICIMA I IZLOŽBENIM PR. PODRUMA | debljina |
|--|------------|
| novi slojevi: | |
| KAMENE PLOČE | 3,0 cm |
| ARMIRANO CEMENTNI ESTRIH | 5,0-7,0 cm |
| PE- FOLIJA | 0,02 cm |
| ELASTIFICIRANI EKSPANDIRANI POLISTIREN | 2,0 cm |
| EKSTRUDIRANI POLISTIREN | 5,0 cm |
| PE- FOLIJA | 0,02 cm |
| HIDROIZOLACIJA: FLEKSIBILNA ELASTOMERNA POLIMERBITUMENSKA HI TRAKA | 1,0 cm |
| postojeći slojevi: | |
| ARMIRANO BETONSKA PODLOGA | 10,0 cm |
| NABIJENI ŠLIJUNAK | 15,0 cm |

| P-02 POD NA TLU U DEPOU, HODNICIMA, RADIONICAMA, TEHNIČKIM PROSTORIMA, KNJIŽNICAMA | debljina |
|--|----------|
| novi slojevi: | |
| LJEVANI POD NA BAZI CEMENTA | 0,5 cm |
| ARMIRANO CEMENTNI ESTRIH | 6,5 cm |
| PE- FOLIJA | 0,02 cm |
| ELASTIFICIRANI EKSPANDIRANI POLISTIREN | 2,0 cm |
| EKSTRUDIRANI POLISTIREN | 6,0 cm |
| PE- FOLIJA | 0,02 cm |
| HIDROIZOLACIJA: FLEKSIBILNA ELASTOMERNA POLIMERBITUMENSKA HI TRAKA | 1,0 cm |
| postojeći slojevi: | |
| ARMIRANO BETONSKA PODLOGA | 10,0 cm |
| NABIJENI ŠLIJUNAK | 15,0 cm |

| P-03 POD NA TLU U PROSTORIMA KUŠTOSA, UREDIMA | debljina |
|--|----------|
| novi slojevi: | |
| PARKET U LJEPILU | 3,0 cm |
| ARMIRANO CEMENTNI ESTRIH | 7,0 cm |
| PE- FOLIJA | 0,02 cm |
| ELASTIFICIRANI EKSPANDIRANI POLISTIREN | 2,0 cm |
| EKSTRUDIRANI POLISTIREN | 6,0 cm |
| PE- FOLIJA | 0,02 cm |
| HIDROIZOLACIJA: FLEKSIBILNA ELASTOMERNA POLIMERBITUMENSKA HI TRAKA | 1,0 cm |
| postojeći slojevi: | |
| ARMIRANO BETONSKA PODLOGA | 10,0 cm |
| NABIJENI ŠLIJUNAK | 15,0 cm |

| P-04 POD NA TLU- SANITARIJU OSOBLJA, KUHINJA | debljina |
|--|----------|
| novi slojevi: | |
| KERAMIČKE PLOČICE U LJEPILU | 1,5 cm |
| POLIMER CEMENTNI IZOLACIJSKI PREMAZ | 0,2 cm |
| ARMIRANO CEMENTNI ESTRIH | 5,0 cm |
| PE- FOLIJA | 0,02 cm |
| ELASTIFICIRANI EKSPANDIRANI POLISTIREN | 2,0 cm |
| EKSTRUDIRANI POLISTIREN | 6,0 cm |
| PE- FOLIJA | 0,02 cm |
| HIDROIZOLACIJA: FLEKSIBILNA ELASTOMERNA POLIMERBITUMENSKA HI TRAKA | 1,0 cm |
| postojeći slojevi: | |
| ARMIRANO BETONSKA PODLOGA | 10,0 cm |
| NABIJENI ŠLIJUNAK | 15,0 cm |

| P-05 POD NA TLU SERVISNOG HODNIKA | debljina |
|--|------------|
| novi slojevi: | |
| CEMENTNA SAMORAZLIJEVAJUĆA IZRAVNAJUĆA MASA | 2,0 cm |
| STATIČKO OJAČANJE SA SUSTAVOM KARBONSKJE TKANINE | 1,0 cm |
| ZALJEVANJE PUKOTINA NISKOVIKOZNOG EPOKSIDNOM SMOLOM | - |
| ARMIRANO BETONSKA PLOČA | 16,0 cm |
| HIDROIZOLACIJA: FLEKSIBILNA ELASTOMERNA POLIMERBITUMENSKA HI TRAKA | 1,0 cm |
| PODLOŽNI BETON | min 5,0 cm |
| NABIJENI ŠLIJUNAK | 15,0 cm |

| P-06 POD NA TLU POSTOJEĆE KOTLOVNICE I STROJARNICE | debljina |
|--|----------|
| postojeći slojevi (zadržavaju se u potpunosti): | |
| KERAMIČKE PLOČICE U LJEPILU | 1,0 cm |
| CEMENTNI MORT | 2,0 cm |
| BETONSKA PODLOGA MB-30 | 12,0 cm |
| HIDROIZOLACIJA: FLEKSIBILNA ELASTOMERNA POLIMERBITUMENSKA HI TRAKA | 1,0 cm |
| ARMIRANO BETONSKA PODLOGA | 10,0 cm |
| NABIJENI ŠLIJUNAK | 15,0 cm |

| P-07 POD NA TLU ISPOD GIMNASTIČKE DVORANE | debljina |
|--|----------|
| novi slojevi: | |
| ARMIRANO CEMENTNI ESTRIH | 1,5 cm |
| PE- FOLIJA | 0,02 cm |
| ELASTIFICIRANI EKSPANDIRANI POLISTIREN | 2,0 cm |
| EKSTRUDIRANI POLISTIREN | 6,0 cm |
| PE- FOLIJA | 0,02 cm |
| HIDROIZOLACIJA: FLEKSIBILNA ELASTOMERNA POLIMERBITUMENSKA HI TRAKA | 1,0 cm |
| ARMIRANO BETONSKA PODLOGA | 10,0 cm |
| NABIJENI ŠLIJUNAK | 15,0 cm |

| Z-04 VANJSKI ZID - PODRUMA IZNAD TERENA | debljina |
|---|-------------|
| postojeći slojevi: | |
| PRODUŽNA ŽBUKA | 3,0 cm |
| ZID OD PUNE OPEKE | 90-120,0 cm |
| novi slojevi: | |
| STATIČKO OJAČANJE SUSTAVOM FRMC | 1,0 cm |
| VANJSKA ŽBUKA | 3,0 cm |

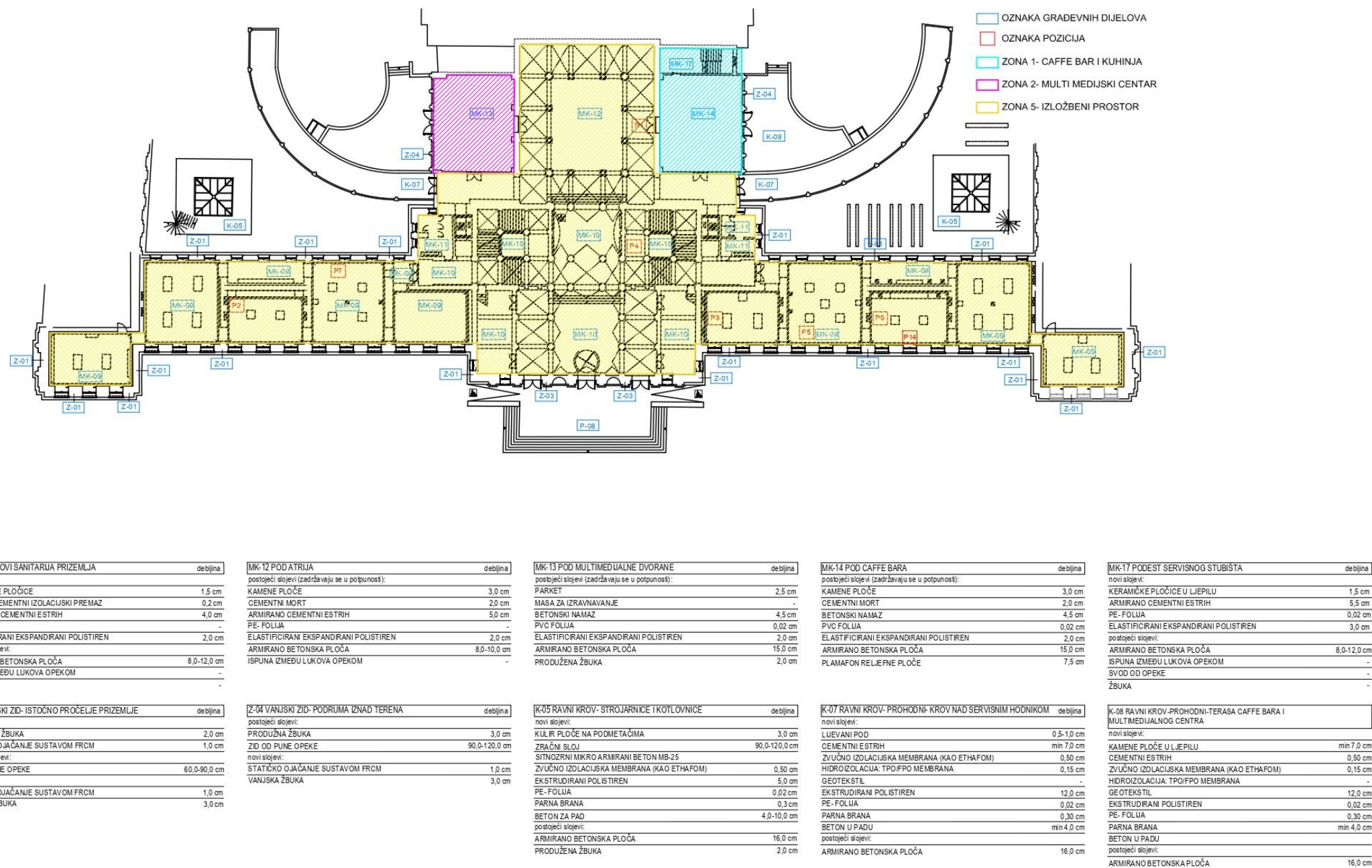
| Z-05 VANJSKI ZID - PODRUMA IZNAD TERENA | debljina |
|---|-------------|
| postojeći slojevi: | |
| PRODUŽNA ŽBUKA | 3,0 cm |
| ZID OD PUNE OPEKE | 90-120,0 cm |
| novi slojevi: | |
| REPROFILACIJA ZIDANE POVRŠINE | - |
| HIDROIZOLACIJSKI PAROPROPUSNI PREMAZ | 0,3 cm |
| EKSTRUDIRANI POLISTIREN (XPS) | min 10,0 cm |
| PERFORIRANE DRENAŽNE TRAKE SA ČEPIĆIMA | 0,8 cm |
| DRENAŽNI SLOJ | - |
| NASP ZEMLJOM | - |

| Z-08 VANJSKI ZID - U TERENU | debljina |
|---|----------|
| postojeći slojevi (zadržavaju se u potpunosti): | |
| PRODUŽNA ŽBUKA | 2,0 cm |
| ARMIRANO BETONSKI ZID | 20,0 cm |
| CEMENTNA GLAZURA | 1,0 cm |
| HIDROIZOLACIJA: BITUMENSKA TRAKA | 1,0 cm |
| OKIPOR PLOČE | 4,0 cm |
| POLILETILSKA FOLIJA | 0,2 cm |
| PUNA OPEKA SJEKOMICE | 6,5 cm |

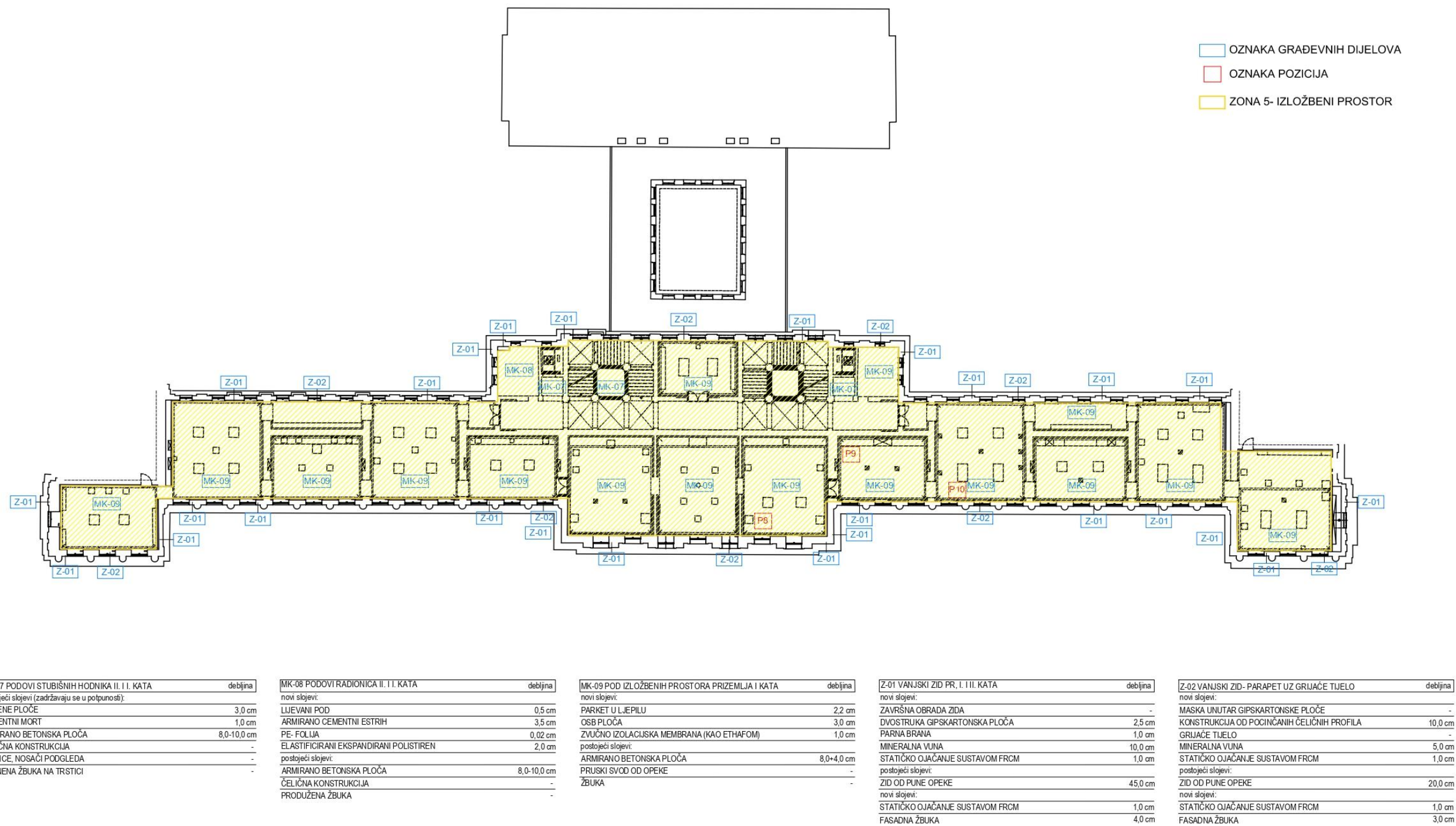
| Z-09 VANJSKI ZID - SPOJ SERVISNOG HODNIKA- IZNAD TERENA | debljina |
|---|----------|
| novi slojevi: | |
| ZAVRŠNA OBRADA | - |
| HIDROIZOLACIJA ZIDA CEMENTNIM PREMAZOM | - |
| STATIČKO OJAČANJE SA SUSTAVOM KARBONSKJE TKANINE | - |
| postojeći slojevi: | |
| ARMIRANO BETONSKI ZID | 20,0 cm |
| OKIPOR PLOČE | 5,0 cm |
| PUNA OPEKA | 12,0 cm |
| PRODUŽNA ŽBUKA | 3,0 cm |

| Z-10 VANJSKI ZID - SPOJ SERVISNOG HODNIKA- SOKL | debljina |
|--|----------|
| novi slojevi: | |
| ZAVRŠNA OBRADA | - |
| HIDROIZOLACIJA ZIDA CEMENTNIM PREMAZOM | - |
| STATIČKO OJAČANJE SA SUSTAVOM KARBONSKJE TKANINE | - |
| postojeći slojevi: | |
| ARMIRANO BETONSKI ZID | 16,0 cm |
| CEMENTNA GLAZURA ZA IZRAVNAVANJE | 1,0 cm |
| HIDROIZOLACIJA: BITUMENSKA TRAKA | 1,0 cm |
| OKIPOR PLOČE | 4,0 cm |
| PUNA OPEKA SJEKOMICE | 6,5 cm |
| KULIR | 4,0 cm |

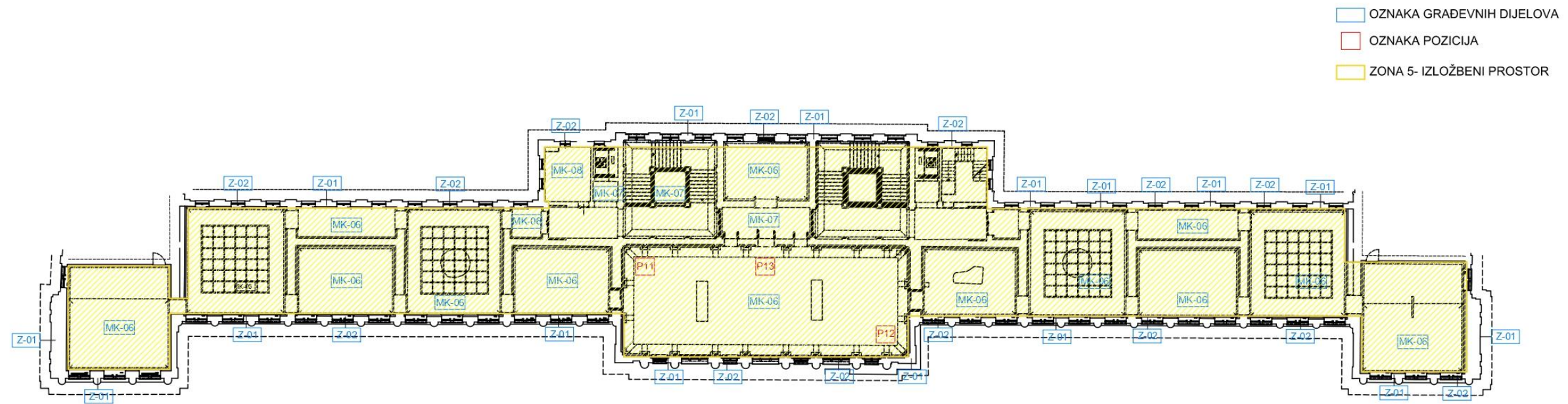
Slika 9: Tlocrt podruma muzeja s oznakama zona i pripadajućim građevnim dijelovima [13] te oznakama pozicija [14]



Slika 10: Tlocrt prizemlja muzeja s oznakama zona i pripadajućim građevnim dijelovima [13] te oznakama pozicija [14]



Slika 11: Tlocrt 1. kata muzeja s oznakama zona i pripadajućim građevnim dijelovima [13] te oznakama pozicija [14]



| MK-06 PODOVI IZLOŽBENIH PROSTORA II. KATA | debljina |
|---|-------------|
| novi slojevi: | |
| PARKET U LJEPILU | 2,2 cm |
| OSB PLOČA | 3,0 cm |
| ZVUČNO IZOLACIJSKA MEMBRANA (KAO ETHAFOM) | 0,5 cm |
| postojeći slojevi: | |
| ARMIRANO BETONSKA PLOČA | 6,0-14,0 cm |
| NOSIVI DIO STROPA | - |
| novi slojevi: | |
| MINERALNA VUNA | 5,0 cm |
| GIPSKARTONSKA PLOČA | 2,5 cm |
| ZAVRŠNA OBRADA PODGLEDA | - |

| MK-07 PODOVI STUBIŠNIH HODNIKA II. I. KATA | debljina |
|---|-------------|
| postojeći slojevi (zadržavaju se u potpunosti): | |
| KAMENE PLOČE | 3,0 cm |
| CEMENTNI MORT | 1,0 cm |
| ARMIRANO BETONSKA PLOČA | 8,0-10,0 cm |
| ČELIČNA KONSTRUKCIJA | - |
| LETVICE, NOSAČI PODGLEDA | - |
| VAPNENA ŽBUKA NA TRSTICI | - |

| MK-08 PODOVI RADIONICA II. I. KATA | debljina |
|--|-------------|
| novi slojevi: | |
| LJEVANI POD | 0,5 cm |
| ARMIRANO CEMENTNI ESTRIH | 3,5 cm |
| PE- FOLIJA | 0,02 cm |
| ELASTIFICIRANI EKSPANDIRANI POLISTIREN | 2,0 cm |
| postojeći slojevi: | |
| ARMIRANO BETONSKA PLOČA | 8,0-10,0 cm |
| ČELIČNA KONSTRUKCIJA | - |
| PRODUŽENA ŽBUKA | - |

| Z-01 VANJSKI ZID PR. I. I. II. KATA | debljina |
|-------------------------------------|----------|
| novi slojevi: | |
| ZAVRŠNA OBRADA ZIDA | - |
| DVOSTRUKA GIPSKARTONSKA PLOČA | 2,5 cm |
| PARNA BRANA | 1,0 cm |
| MINERALNA VUNA | 10,0 cm |
| STATIČKO OJAČANJE SUSTAVOM FRCM | 1,0 cm |
| postojeći slojevi: | |
| ZID OD PUNE OPEKE | 45,0 cm |
| novi slojevi: | |
| STATIČKO OJAČANJE SUSTAVOM FRCM | 1,0 cm |
| FASADNA ŽBUKA | 4,0 cm |

| Z-02 VANJSKI ZID- PARAPET UZ GRIJAČE TUJELO | debljina |
|---|----------|
| novi slojevi: | |
| MASKA UNUTAR GIPSKARTONSKE PLOČE | - |
| KONSTRUKCIJA OD POCINČANIH ČELIČNIH PROFILA | 10,0 cm |
| GRIJAČE TUJELO | - |
| MINERALNA VUNA | 5,0 cm |
| STATIČKO OJAČANJE SUSTAVOM FRCM | 1,0 cm |
| postojeći slojevi: | |
| ZID OD PUNE OPEKE | 20,0 cm |
| novi slojevi: | |
| STATIČKO OJAČANJE SUSTAVOM FRCM | 1,0 cm |
| FASADNA ŽBUKA | 3,0 cm |

Slika 12: Tlocrt 2. kata muzeja s oznakama zona i pripadajućim građevnim dijelovima [13] te oznakama pozicija [14]

3.3.1 Utvrđivanje vrste i rasporeda slojeva po pozicijama

Pozicija 1

Pozicija 1 nalazi se na vanjskom ravnom dijelu krovne konstrukcije iznad prizemlja, a usvojena je kao građevni dio naziva K-03. Iznad betonske ploče postavljaju se novi slojevi ravnog krova:

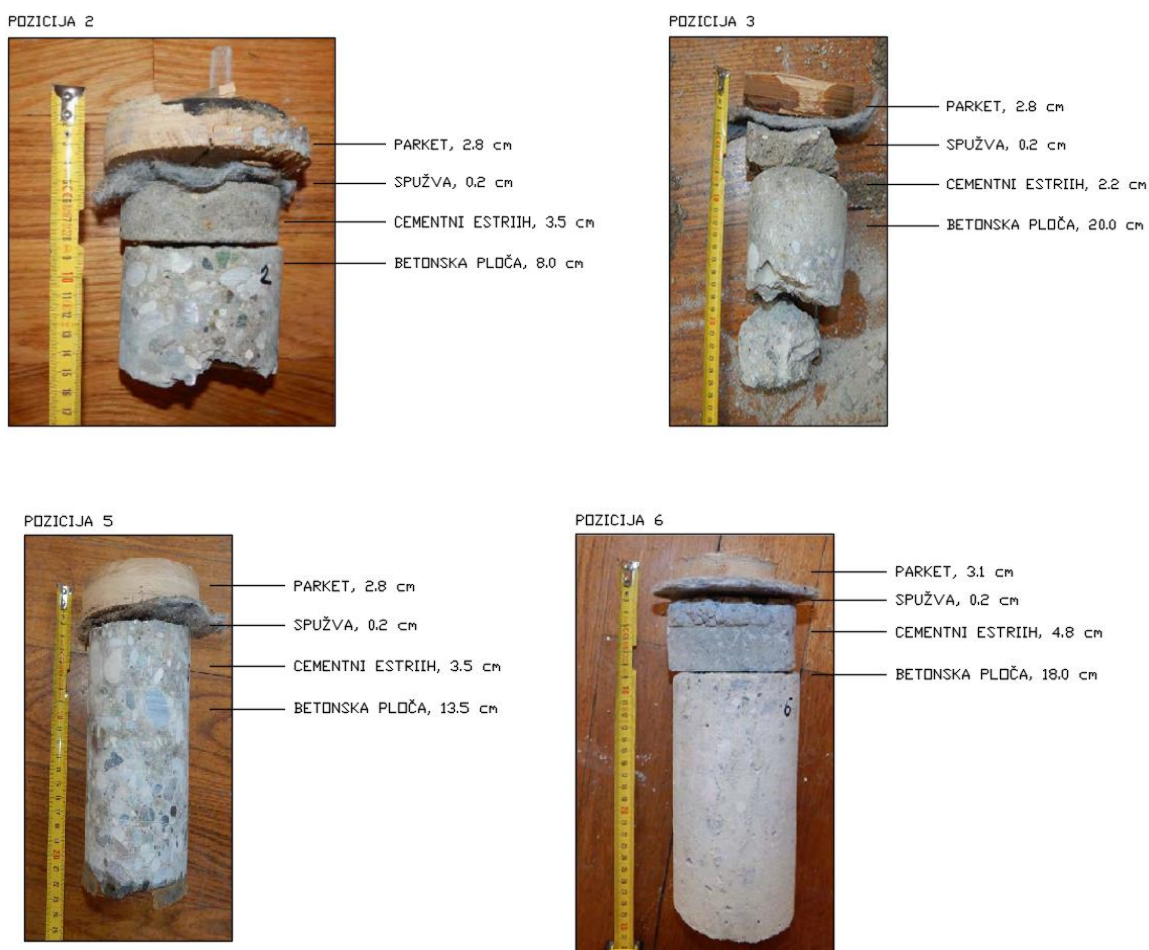
- kameni obluci, 16-32 mm ($\geq 5,0$ cm)
- HDPE čepasta membrana (0,8 cm)
- geotekstil 300 g/m²
- hidroizolacija, TPO/FPO membrana, dvostruko armirana, debljine min. 1.5 mm, slobodno položene i samo obodno mehanički pričvršćene (0,15 cm)
- geotekstil, poliesterski, 300 g/m²
- beton u padu, C20 ($\geq 5,0$ cm)
- PE folija s preklopima (0,02 cm)
- toplinska izolacija: ekstrudirani polistiren (kao XPS) u dva sloja s preklopima (15 cm)
- razdjelni sloj-PE alumizirana folija (0,02 cm)
- parna brana: elastomerna bitumenska traka na hladnom bitumenskom prednamazu s uloškom od AL folije (0,3 cm)



Slika 13: Fotografija uzorka pozicije 1 s definiranim pripadajućim slojevima [13]

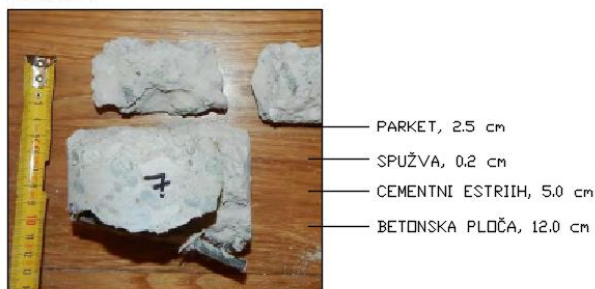
Pozicije 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 i 10

Stropovi ispod izložbenog prostora imaju isti raspored slojeva, ali se međusobno razlikuju po debljini slojeva. Na slikama 10 i 11 označene su pozicije ispitivanja te je iz njih vidljivo da je za sve navedene pozicije usvojen jedan građevni dio pod nazivom MK-09. Iznad armiranobetonske ploče skidaju se slojevi cementnog estriha, spužve i parketa te se dodaje zvučno-izolacijska membrana od ekstrudiranog polietilena u debljini od 1 cm. Na membranu se postavlja OSB ploča u debljini od 3,0 cm, a kao završnu obradu poda se postavlja parket u visini od 2,2 cm.

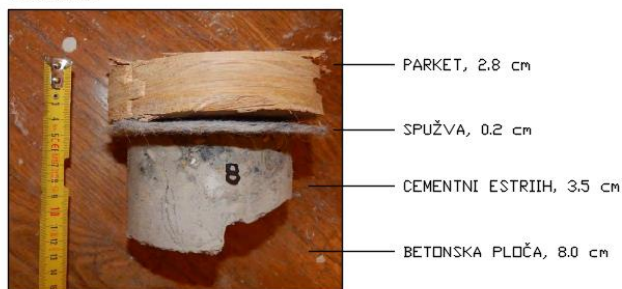


Slika 14: Fotografija uzoraka pozicija 2, 3, 5 i 6 s definiranim pripadajućim slojevima [13]

POZICIJA 7



POZICIJA 8



POZICIJA 9



POZICIJA 10



Slika 15: Fotografija uzoraka pozicija 7,8,9 i 10 s definiranim pripadajućim slojevima [13]

Pozicija ispitivanja stropa ispod ulaznog hola i hodnika prizemlja prikazana je na slici 10 te je usvojen građevni dio pod nazivom MK-10. Iznad armiranobetonske ploče skidaju se slojevi cementnog estriha, spužve i parketa te se dodaje toplinsko-zvučna izolacija od elastificiranog ekspaniranog polistirena u debljini od 2 cm. Izolacija se odvaja polietilenskom folijom od sljedećeg sloja armirano betonske podloge MB-25 debljine 4,0 cm. Na nju se postavlja cementni mort u debljini od 3,0 cm, a kao završnu obradu poda se postavljaju kamene ploče u visini od 3,0 cm.

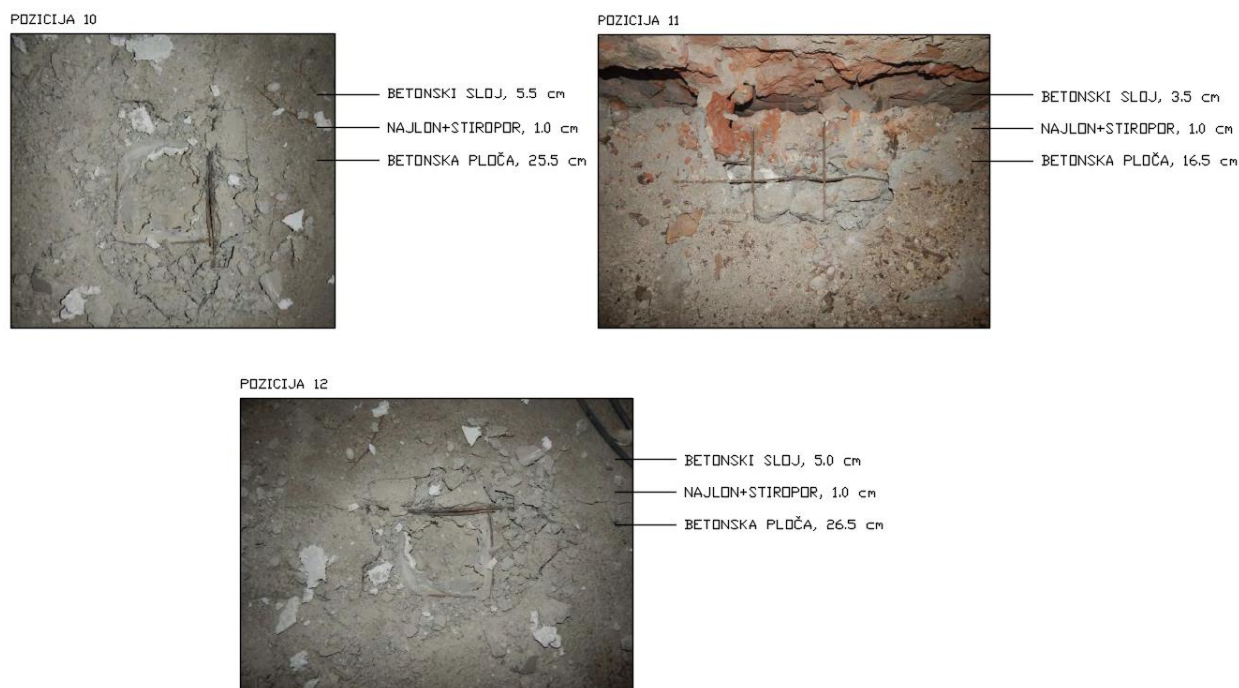
POZICIJA 4



Slika 16: Fotografija uzorka pozicije 4 s definiranim pripadajućim slojevima [13]

Pozicije 11,12 i 13

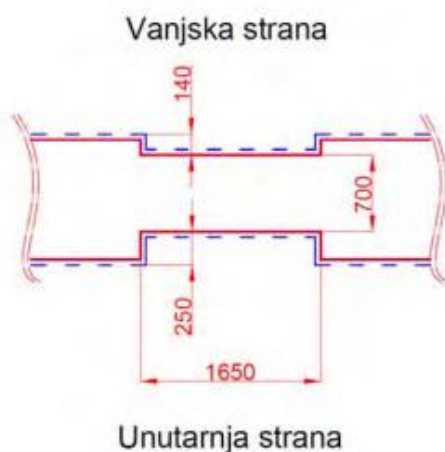
Jednak raspored slojeva s različitim dimenzijama visine pojavljuje se i na pozicijama stropova ispod izložbenog prostora drugog kata. Na slici 11 označene su pozicije ispitivanja te je iz njih vidljivo da je za sve navedene pozicije usvojen jedan građevni dio pod nazivom MK-06. Iznad armiranobetonske ploče skidaju se slojevi betona i najlon + stiropor te se dodaje zvučno-izolacijska membrana od ekstrudiranog polietilena u debljini od 0,5 cm. Na membranu se postavlja OSB ploča u debljini od 3,0 cm, a kao završnu obradu poda se postavlja parket u visini od 2,2 cm. Zbog dovoljne toplinske izolacije u podgledu se dodaje 5 cm spuštenog stropa na podkonstrukciji s ispunom između profila mineralnom vunom ($\lambda \leq 0,039$ W/mK). Dodatna toplinska izolacija se zatvara gips-kartonskim pločama u debljini od 2,5 cm.



Slika 17: Fotografija uzoraka pozicija 11, 12 i 13 s definiranim pripadajućim slojevima [13]

Pozicija 14

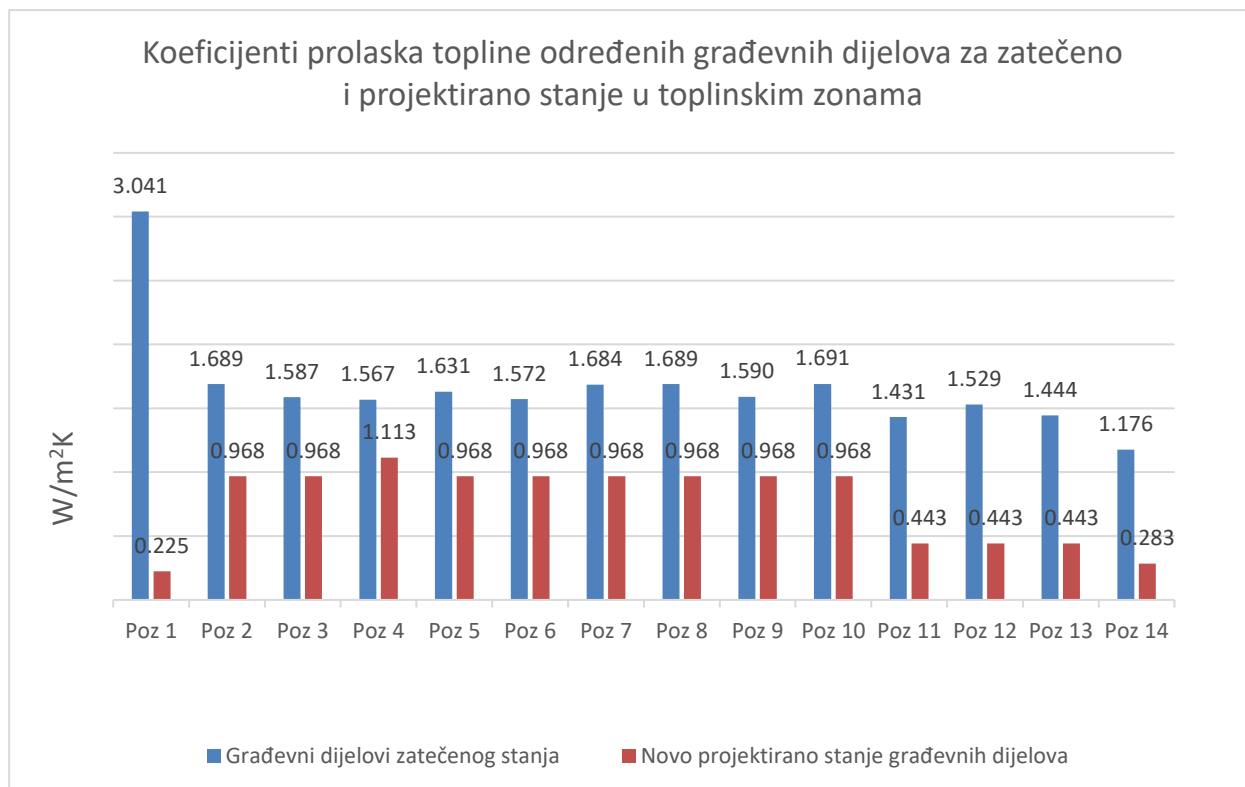
Pozicija 14 nalazi se na vanjskom fasadnom zidu sjeverne strane objekta u prizemlju, a na slici 9 predstavlja građevni dio pod nazivom Z-01. Bušenjem je utvrđeno da je zid zidan punom opekom, a s unutarnje i vanjske strane je obložen žbukom kako je prikazano na slici 16. Zadržava se postojeći zid od pune opeke dok se s obje strane zid dodatno ojačava sa sustavom FCRM (Fibre Reinforced Cementitious Matrix) radi zadovoljenja mehaničke otpornosti. Sustav FCRM sastoji se od posebnih mortova ojačanih vlaknima koji se primjenjuju u kombinaciji s različitim mrežama za ojačanje izrađenih od različitih materijala [20]. Kako bi se zadovoljili kriteriji toplinske izolacije, zbog konzervatorskih smjernica se s unutarnje strane zida postavlja mineralna vuna debljine 10 cm. Na nju se postavlja parna brana kako vlaga ne bi doprijela do toplinske izolacije i na taj način uništila njena izolacijska svojstva. Sve se zatvara s dvostrukom gipskartonskom pločom i radi se završna obrada zida, dok se s vanjske strane na sustav FCRM nastavlja fasadna žbuka.



Slika 18: Skica uzorka pozicije 14 s definiranim pripadajućim debljinama slojeva [13]

3.3.2 Usporedba koeficijenata prolaska topline

Dijagram 1 prikazuje usporedbu koeficijenata prolaska topline na određenim pozicijama ispitivanja. Vrijednosti koeficijenata topline dobiveni su uvrštavanjem slojeva u program Ki Expert.



Dijagram 1: Koeficijenti prolaska topline određenih građevnih dijelova za zatečeno i projektirano stanje u toplinskim zonama

Usporedbom rezultata na dijagramu 1 jasno se vidi kako nijedan građevni dio zatečenog stanja ne zadovoljava današnje kriterije u pogledu toplinske izolacije i racionalne potrošnje energije propisane u Tablici 1 Priloga B Tehničkog propisa prikazane na slici 19. Posebno je zanimljivo uočiti kako krovna konstrukcija iznad prizemlja na Poziciji 1, ima 13 puta veći koeficijent prolaska topline u zatečenom stanju u odnosu na novo projektirano slojeva krova, stoga je primjetno da se preko njega gubi najviše toplinske energije zbog stvaranja toplinskog mosta na spoju između krovne ploče i vanjskog zida. Toplinski mostovi se javljaju na mjestima promjene materijala, debljine ili geometrije građevnog dijela što se najčešće pojavljuje kod građevnih dijelova kao što su pod, zida ili krov. Također, ako se usporede vrijednosti koeficijenata za pozicije ispitivanja od broja 2 do 10 izuzevši poziciju 4, neznatna odstupanja nastaju zbog malih promjena u debljini slojeva. Koeficijent prolaska topline vanjskog zida se smanjio za 4 puta iz razloga što u zatečenom stanju nije imao nikakvu toplinsku izolaciju.

Tablica 1: Koeficijenti prolaska topline građevnih dijelova prije i nakon energetske obnove

| Građevni dio | U (W/m ² K) | U _{max} (W/m ² K) | Zadovoljava |
|--|---------------------------|--|-------------|
| Z-01 (Vanjski zidovi) | 0,283 | 0,30 | DA |
| MK-06 (Stropovi između grijanih dijelova različitih korisnika) | 0,443 | 0,60 | DA |
| MK-09 (Stropovi između grijanih dijelova različitih korisnika) | 0,986 | 0,60 | NE |
| MK-10 (Stropovi između grijanih dijelova različitih korisnika) | 1,113 | 0,60 | NE |
| K-03 (Ravni krov) | 0,225 | 0,25 | DA |

Iz tablice 1 je uočljivo da građevni dijelovi MK-09 i MK-10 ne zadovoljavaju uvjet najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline koje su propisane u Tehničkim propisom o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Međutim, takvi gubici znatno manje utječu na energetska učinkovitost za razliku od gubitaka građevnih dijelova drugih skupina jer ne čine vanjsku ovojnicu zgrade. S obzirom da se radi o objektu koje je upisan u Registar kulturnih dobara RH, i zbog konzervatorskih smjernica koje ne dopuštaju velika odstupanja od postojećih dimenzija slojeva, takvi slojevi su prihvatljivi i imaju znatno bolja energetska svojstva od stanja prije obnove.

| Redni broj | Građevni dio | U [W/(m ² K)] | | | |
|------------|--|---|--|---|--|
| | | $\theta_{\text{interijer}} \geq 18^\circ\text{C}$ | | $12^\circ\text{C} < \theta_{\text{interijer}} < 18^\circ\text{C}$ | |
| | | $\theta_{\text{exterior}} \leq 3^\circ\text{C}$ | $\theta_{\text{exterior}} > 3^\circ\text{C}$ | $\theta_{\text{exterior}} \leq 3^\circ\text{C}$ | $\theta_{\text{exterior}} > 3^\circ\text{C}$ |
| 1. | Vanjski zidovi, zidovi prema garaži, zidovi prema provjetravnom tavanu | 0,30 | 0,45 | 0,50 | 0,60 |
| 2. | Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, ostali prozirni elementi ovojnice zgrade | 1,60 | 1,80 | 2,50 | 2,80 |
| 3. | Ostakljeni dio prozora, balkonskih vrata, krovni prozori, prozirni elementi ovojnice zgrade (U) | 1,10 | 1,40 | 1,40 | 1,40 |
| 4. | Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora, stropovi prema provjetravnom tavanu | 0,25 | 0,30 | 0,40 | 0,50 |
| 5. | Stropovi iznad vanjskog zraka, stropovi iznad garaže | 0,25 | 0,30 | 0,40 | 0,50 |
| 6. | Zidovi i stropovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temperature više od 0 °C | 0,40 | 0,60 | 0,90 | 1,20 |
| 7. | Zidovi prema tlu, podovi na tlu | 0,40 ¹⁾ | 0,50 ¹⁾ | 0,65 ¹⁾ | 0,80 ¹⁾ |
| 8. | Vanjska vrata, vrata prema negrijanom stubištu, s neprozirnim vratnim krilom i ostakljene pregrade prema negrijanom ili provjetravnom prostoru | 2,00 | 2,40 | 2,90 | 2,90 |
| 9. | Stienke kutija za rjele | 0,60 | 0,80 | 0,80 | 0,80 |
| 10. | Stropovi i zidovi između stanova ili između različitih grijanih posebnih dijelova zgrade (poslovnih prostora i sl.) | 0,60 | 0,80 | 1,20 | 1,20 |
| 11. | Kupole i svjetlosne trake | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| 12. | Vjetrobrani, promatrano u smjeru otvaranja vrata | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |

Slika 19: Najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline, tablica 1, prilog B Tehničkog propisa [10]

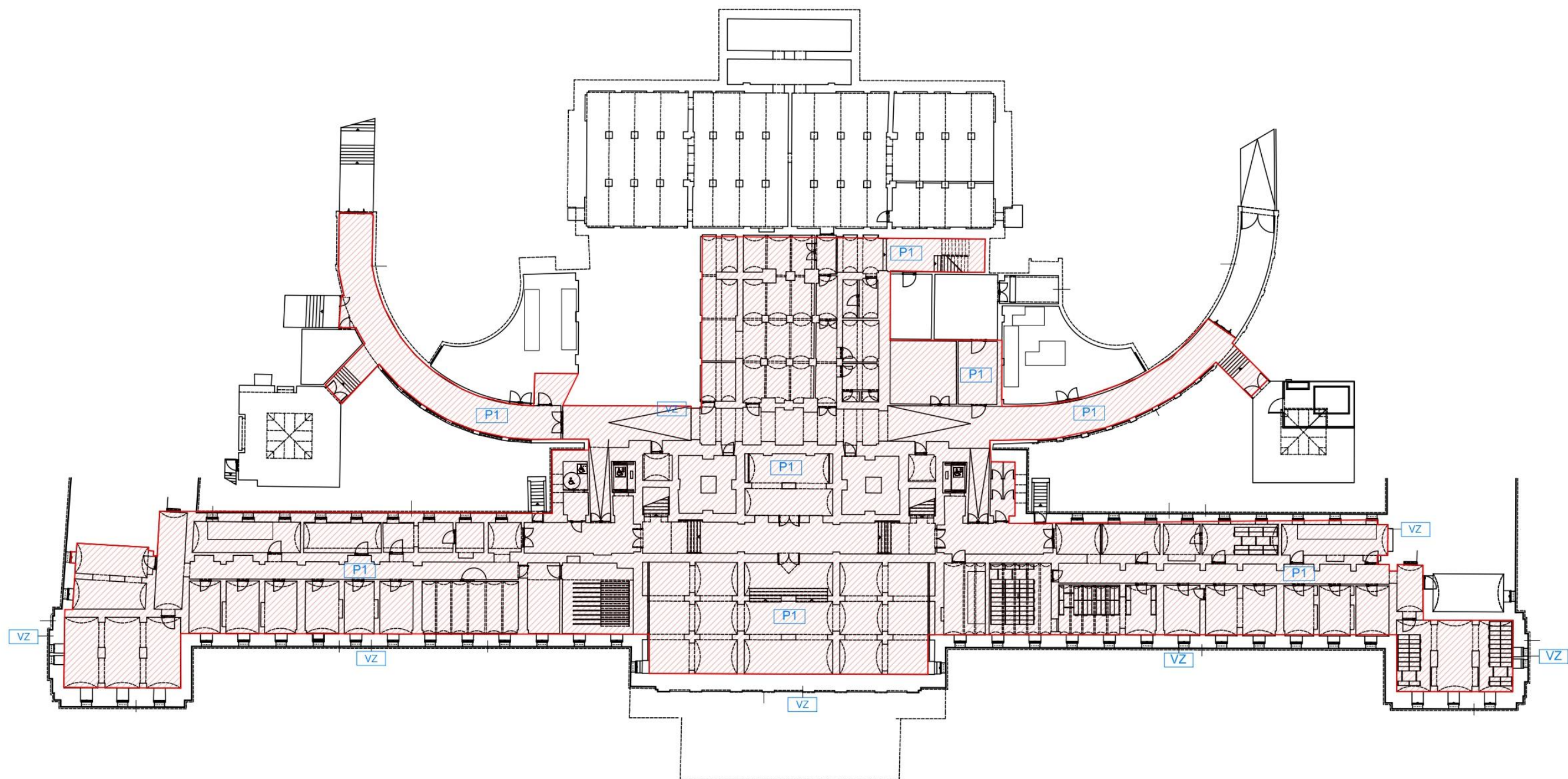
3.4 Opis građevnih dijelova uključenih u aproksimativnom proračunu

Zbog jednostavnijeg proračuna i jasnijeg prikaza rezultata, prostori unutar predmetne zgrade definirani su kao grijani prostori neovisno o njihovoj namjeni, a zgrada se promatra kao jedna toplinska zona. Rezultati dobiveni jednostavnijim proračunom usporediti će se s podacima stvarnog stanja sadržanima u Projektu racionalne uporabe energije i toplinske zaštite u zgradama, koji je izrađen u skladu sa zahtjevima Tehničkog propisa, Zakonom o gradnji ("Narodne novine" broj 153/13, 20/17, 39/19, 125/19) te Zakonom o energetskej učinkovitosti ("Narodne novine" broj 127/14, 116/18, 25/20).

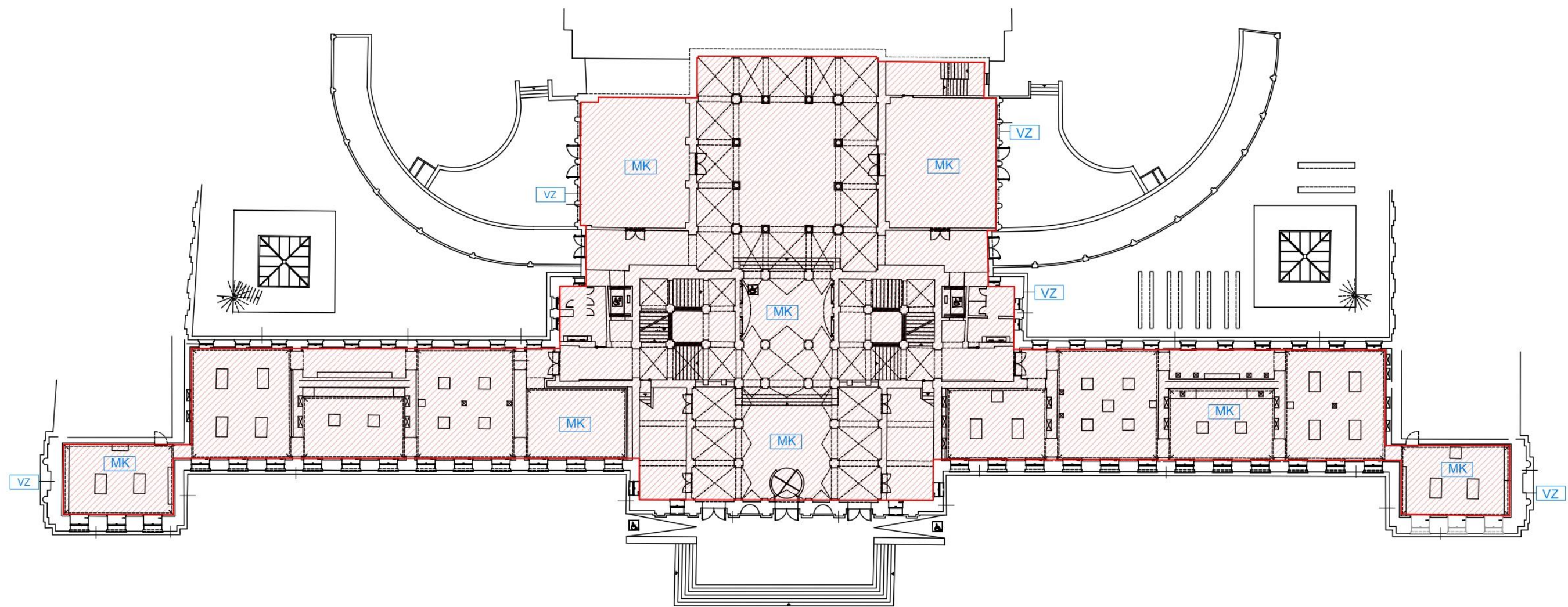
Podjela na toplinske zone se provodi za dijelove zgrade ako se razlikuju: [10]

- prema namjeni,
- prema unutarnjoj projektnoj temperature za više od 4°C,
- prema unutarnjoj projektnoj temperaturi ($\theta_{int, set, H} \geq 18 \text{ °C}$ ili $12 \text{ °C} < \theta_{int, set, H} < 18 \text{ °C}$),
- po vrsti i režimu korištenja termotehničkih sustava.

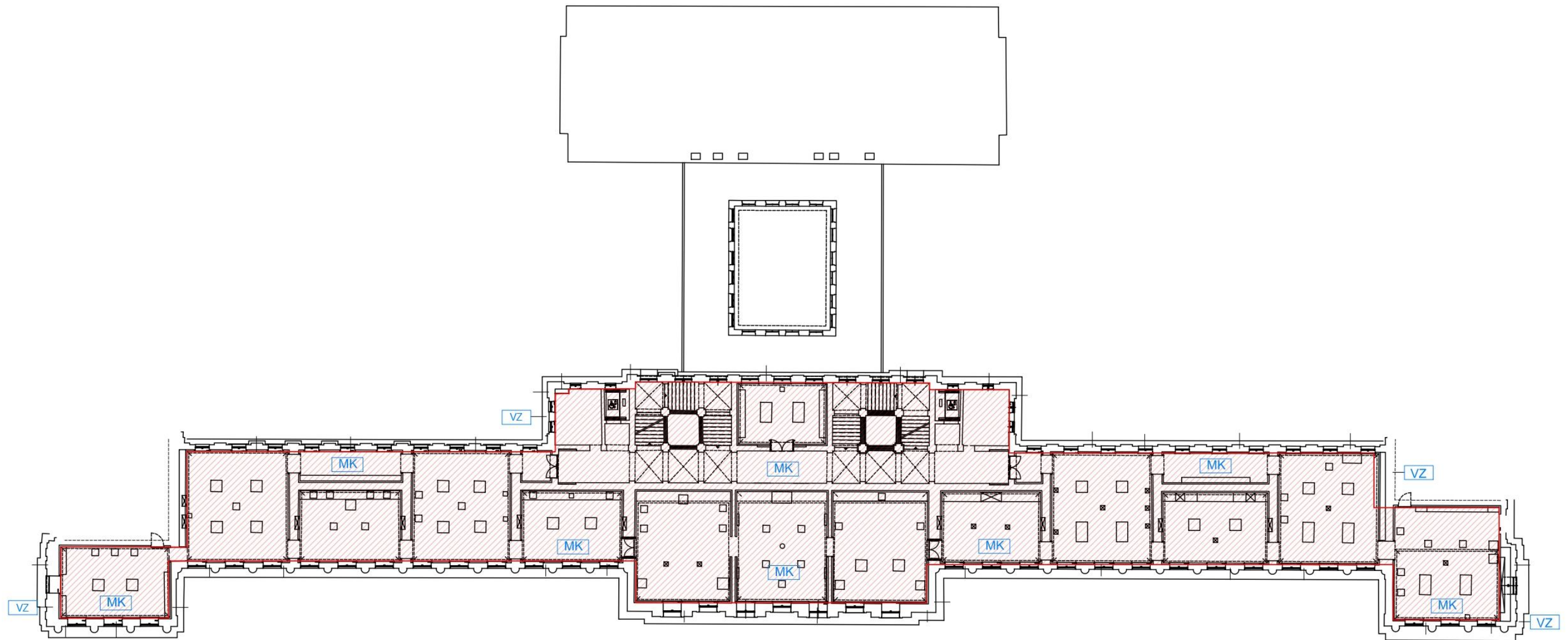
Na slikama 20, 21, 22 i 23, crvenom bojom su osjenčani tlocrti prizemlja, prvog i drugog kata koji se za proračun promatraju kao grijani prostori. Stvarno stanje zgrade sastoji se od više građevnih dijelova za pojedini element zgrade, ali je prilikom odabira slojeva građevnih dijelova, izabran građevni dio za svaki pojedini element zgrade, odnosno slojevi građevnog dijela koji zadovoljavaju uvjete toplinske zaštite. Odabir građevnih dijelova koja posjeduju lošija svojstva od stvarnih implicira da smo na strani sigurnosti. Plavom bojom označene su pozicije građevnih dijelova na slikama 20, 21, 22 i 23. Analizi vanjske ovojnice zgrade prethodi definiranje svih građevnih dijelova koji razdvajaju grijani prostor od vanjskog ili negrijanog prostora te onih koji graniče s tlom [11].



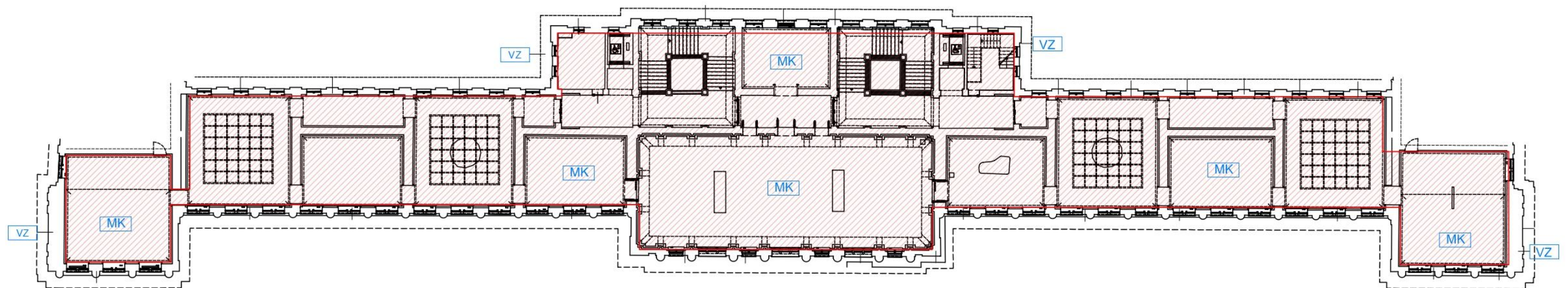
Slika 20: Tlocrt podruma muzeja s oznakama građevnih dijelova [14]



Slika 21: Tlocrt prizemlja muzeja s oznakama građevnih dijelova [14]



Slika 22: Tlocrt 1. kata muzeja s oznakama građevnih dijelova [14]



Slika 23: Tlocrt 2. kata muzeja s oznakama građevnih dijelova [14]

3.4.1 Pod na tlu

Toplinska izolacija poda na tlu nije zahtjevna jer se ona izvodi s gornje strane postojeće betonske podloge. Predviđeno je skidanje svih slojeva do betonske ploče. Prethodna toplinska izolacija pločama ekstrudiranog polistirena nema zadovoljavajuću visinu i zbog toga se nadopunjuje s 2 cm toplinsko-zvučne izolacije od elastificiranog ekspaniranog polistirena. Završna obrada poda zamjenjuje kamenim pločama u građevinskom ljepilu u visini od 3 cm.

| POD NA TLU | debljina |
|---|----------|
| Zatečeno stanje: | |
| Završna obrada | - |
| Plivajući armirano cementni estrih, dilatiran od obodnih konstrukcija, zaglađen | 8,0 cm |
| Razdjelni sloj | 0,02 cm |
| Toplinska izolacija pločama polistirena | 5,0 cm |
| Hidroizolacija: flebitumenska ljepenka | ≈1,0 cm |
| Armirano betonska podloga, izravnata sa reparaturnim mortom | 10,0 cm |
| Nabijeni šljunak | 15,0 cm |



Slika 24: Detalj- pod na tlu

3.4.2 Međukatna konstrukcije

Međukatne konstrukcije nemaju dovoljnu visinu toplinske izolacije pa se u podgledu dodaje 5 cm spuštenog stropa na podkonstrukciji s ispunom između profila mineralnom vunom ($\lambda \leq 0,039$ W/mK). Dodatna toplinska izolacija se zatvara gips-kartonskim pločama u debljini od 1,25 cm.

| MEĐUKATNA KONSTRUKCIJA | debljina |
|---|----------|
| Zatečeno stanje: | |
| Protupožarni premaz | - |
| armirani betonski namaz | 5,0 cm |
| KOMBI ploče – “troslojne” (drvolit 0,5 + okipor 4,0 + drvolit 0,5) | 5,0 cm |
| armirano betonska ploča | 16,0 cm |
| bitumenska ljepenka | 0,2 cm |
| daščana oplata | 2,4 cm |
| drvene gredice u nosačima 13/10 cm | 10,0 cm |
| drvena oplata | 2,4 cm |
| završna obrada podgleda | - |



Slika 25: Detalj- međukatna konstrukcija

3.4.3 Krovne konstrukcije

Krovna ploha zgrade se sastoji od kosog drvenog krova, ravnog krova i krova od stakla. Pokrov kosog krova se zamjenjuje s dvostrukim pokrovom od vlakno-cementnih ploča dimenzije 40/40 cm. Umjesto daščane oplata se postavlja OSB ploča, a ispod nje se nastavlja mineralna vuna za kose krovove smještena između drvenih rogova 13/16 cm.

| KK | KOSI KROV | debljina |
|----|---|----------|
| | Zatečeno stanje: | |
| - | pokrov: crijep | - |
| - | poletvanje za pokrov 3/5 cm | 3,0 cm |
| - | kontraletve 5/8 cm postavljene u smjeru okomito na strehu, formiraju provjetravani sloj zraka | 5,0 cm |
| - | rezervna hidroizolacija | 0,2 cm |
| - | daščana oplata | 2,4 cm |
| - | drveni rogovi 13/16 cm | 16,0 cm |
| - | završna obrada podgleda | |



Slika 26: Detalj- kosi krov

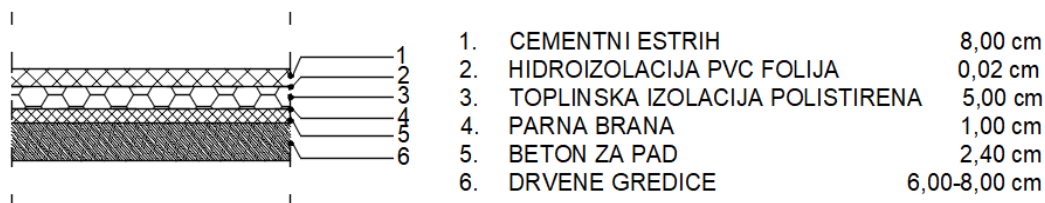
| KK* | KOSI KROV-STAKLO | debljina |
|-----|---|----------|
| | Zatečeno stanje: | |
| - | IZO staklo u čeličnom okviru | cm |
| - | zračni prostor | - |
| - | podgled: mliječno staklo u čeličnom okviru kao spuštenu strop | cm |

Dotrajali i oštećeni slojevi ravnog krova se uklanjaju sve do čiste i čvrste armiranobetonske konstrukcije. Preko armiranobetonske konstrukcije se nalazi beton u padu koji se također uklanja.

Slojevi ravnog krova iznad nosive svodne konstrukcije se zamjenjuju s:

- kamenim oblucima, 16-32 mm ($\geq 5,0$ cm)
- HDPE čepastom membranom (0,8 cm)
- geotekstilom 300 g/m²
- hidroizolacijom, TPO/FPO membranom, dvostruko armiranom, debljine min. 1.5 mm, slobodno položene i samo obodno mehanički pričvršćene (0,15 cm)
- geotekstilom, poliesterski, 300 g/m²
- betonom u padu, C20 ($\geq 5,0$ cm)
- PE folijom s preklopima (0,02 cm)
- toplinskom izolacijom: ekstrudirani polistiren (kao XPS) u dva sloja s preklopima (15 cm)
- razdjelnim slojem-PE alumizirana folija (0,02 cm)
- parnom branom: elastomerna bitumenska traka na hladnom bitumenskom prednamazu s uloškom od AL folije (0,3 cm)

| RK | Ravni krov | debljina |
|----|---|---------------|
| | Zatečeno stanje: | |
| - | završna obrada | - |
| - | armirano cementni estrih | 4,0 cm |
| - | hidroizolacija PVC folija | 0,02 cm |
| - | toplinska izolacija polistirena | 5,0 cm |
| - | parna brana | 0,02 cm |
| - | beton za pad | $\geq 4,0$ cm |
| - | nosiva svodna konstrukcija ojačana AB tlačnom pločom (d=6-8 cm) | - |
| - | žbuka | - |



Slika 27: Detalj- ravni krov

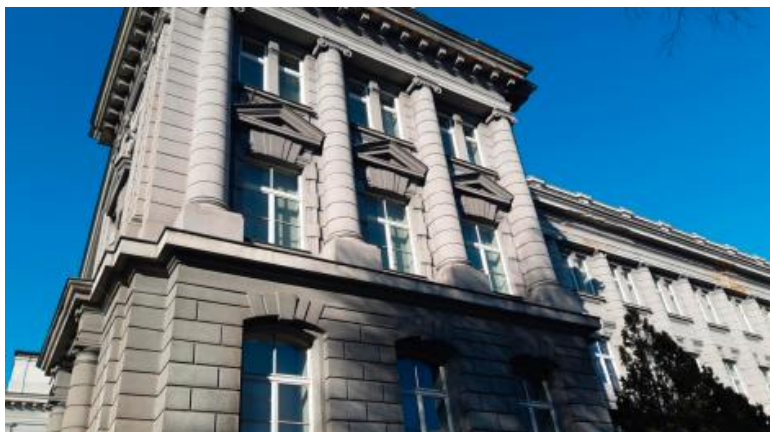


Slika 28: Ravni krov nad objektom za sanaciju [15]

3.4.4 Vanjski zid

Vanjski nosivi zidovi su masivni i izrađeni od dvostrukog reda pune opeke starog formata u vapnenom mortu najmanje debljine 45 cm i obostrane žbuke koja varira u debljini ovisno o postojanju ukrasa na fasadi. Zid je s unutarnje strane izoliran mineralnom vunom debljine 3 cm, na koju se nadovezuje šupljina neprovjetranog zraka debljine 3 cm koja je zatvorena negorivim pločama debljine 1,25 cm. Novi sloj zida je statički ojačan sustavom FRCM s obje strane postojećeg zida od opeke. Mineralna vuna debljine 10 cm se postavlja s unutarnje strane zida kako se ne bi narušio ukupni izgled zgrade i uništio izvorni materijal.

| VZ | VANJSKI ZID | debljina |
|----|---|------------------|
| | Zatečeno stanje: | |
| - | završna unutarnja obrada zida – glet + boja | - |
| - | gipskartonska ploča 12,5 mm | 1,25 cm |
| - | sloj zraka | 3,0 cm |
| - | konstrukcija od čeličnih profila, ispunjena između profila mineralnom vunom | 3,0 cm |
| - | zid od pune opeke | cca 45,0-90,0 cm |
| - | fasadna žbuka | 2,0 cm |



Slika 29: Pogled na pročelje zgrade [15]

3.4.5 Zid u tlu

Za izolaciju zidova prema tlu previđen je zahvat koji podrazumijeva iskop s vanjske strane. Nakon što se očiste zidovi od pune opeke na njih se prvo postavlja hidroizolacija, a potom se ugrađuje XPS ploča u debljini od 10 cm. Postupak iskopa predstavlja financijski skuplju varijantu nego izoliranje s unutarnje strane, međutim kako bi hidroizolacija bila kvalitetnija poželjnija varijanta s iskopom jer se na hidroizolaciju postavljaju perforirane drenažne trake sa čepićima izrađene od polietilena visoke gustoće.

| ZT | ZID U TLU | debljina |
|----|-------------------------|-------------------|
| | Zatečeno stanje: | |
| - | produžna žbuka | 3,0 cm |
| - | zid od pune opeke | 90,0- 120,0 cm |
| - | hidroizolacija | - |
| - | drenažni sloj | - |
| - | nasip zemljom | - |

3.5 Proračun i analiza

Rezultati numeričkog proračuna

Analiza prikazana u nastavku napravljena je na temelju numeričkog proračuna u računalnom programu „Ki Expert Plus (v.7.11.4.0)” [19].

3.5.1 Geometrijske karakteristike zgrade, namjena zgrade i podjela u toplinske zone

Faktor oblika zgrade je pokazatelj geometrijskih karakteristika zgrade. Zgrade se na temelju njega svrstavaju u pripadajući energetska razred.

Tablica 2: Geometrijske karakteristike zgrade

| Potrebni podaci | Zona 1 |
|--|----------|
| Oplošje grijanog dijela zgrade – A [m^2] | 11477,50 |
| Obujam grijanog dijela zgrade – V_e [m^3] | 46122,31 |
| Obujam grijanog zraka – V [m^3] | 29737,38 |
| Faktor oblika zgrade – f_0 [m^{-1}] | 0,25 |
| Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade – A_K [m^2] | 6804,90 |
| Proračunska korisna površina grijanog dijela zgrade – A_K' | 7610,06 |
| Ukupna ploština pročelja – A_{uk} [m^2] | 9587,57 |
| Ukupna ploština prozora – A_{wuk} [m^2] | 1199,26 |

Tablica 3: Namjena zgrade i podjela u toplinske zone

| Zgrada | | |
|---|--------------------------------------|-------|
| Namjena zgrade | Nestambena zgrada | |
| Podjela zgrade u toplinske zone | ne | |
| Toplinska zona 1 | | |
| Naziv zone | Zona 1 | |
| Namjena zone | Nestambeni dio | |
| Vrsta zgrade | Ostale nestambene zgrade | |
| Vrsta prostora | Ostalo | |
| Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja | $\Theta_{int,set,H}$ [$^{\circ}C$] | 20,00 |
| Unutarnja projektna temperatura u sezoni hlađenja | $\Theta_{int,set,C}$ [$^{\circ}C$] | 22,00 |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade | $\Theta_{e,mj,max}$ [$^{\circ}C$] | 22,70 |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade | $\Theta_{e,mj,min}$ [$^{\circ}C$] | 2,20 |
| Srednja godišnja vlažnost zraka izvan zone | φ_e [%] | 69,00 |
| Relativna unutarnja vlažnost zraka | φ_i [%] | 50,00 |
| Vrijeme rada sustava | Muzeji | |
| Period korištenja sustava za grijanje/hlađenje | 00:00 - 24:00 | |
| Period korištenja sustava za mehaničku ventilaciju | 00:00 - 24:00 | |
| Broj dana korištenja sustava grijanja/hlađenja u tjednu | $d_{use,ti}$ [dan/tj] | 7,00 |
| Broj sati rada sustava grijanja/hlađenja | t_d [h] | 24,00 |
| Broj sati korištenja prostora za mehaničku ventilaciju | t_{kor} [h] | 24,00 |
| Broj sati rada sustava mehaničke ventilacije/klimatizacije | $t_{v,mech}$ [h] | 24,00 |
| Minimalno potrebni protok vanjskog zraka po jedinici površine | V_A [$m^3/m^2 h$] | 4,00 |

3.5.2 Podaci o lokaciji objekta

Predmetna građevina se nalazi u 2. zoni globalnog Sunčevog zračenja sa srednjom mjesečnom temperaturom vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade $\Theta_{e,mj,min} \leq 3^\circ\text{C}$ i unutarnjom temperaturom $\Theta_i \geq 18^\circ\text{C}$

Lokacija: Zagreb
Referentna postaja: Zagreb Grič

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | God. | |
|--|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|-------|------|------|
| Temperature zraka ($^\circ\text{C}$) | | | | | | | | | | | | | | |
| m | 2,2 | 4,3 | 8,3 | 12,9 | 17,6 | 20,9 | 22,7 | 22,3 | 17,2 | 12,4 | 7,5 | 2,5 | 12,6 | |
| min | -9,6 | -7,8 | -5,1 | 1,4 | 6,2 | 10,2 | 14,1 | 11 | 8,8 | 1,7 | -3,8 | -9,8 | -9,8 | |
| max | 14 | 14,8 | 18,9 | 21,7 | 27 | 29,1 | 30,7 | 29,9 | 26 | 21,2 | 20 | 14,8 | 30,7 | |
| Tlak vodene pare (Pa) | | | | | | | | | | | | | | |
| m | 520 | 570 | 670 | 840 | 1180 | 1500 | 1620 | 1640 | 1410 | 1080 | 780 | 590 | 1040 | |
| Relativna vlažnost zraka (%) | | | | | | | | | | | | | | |
| m | 76 | 67 | 62 | 60 | 62 | 64 | 63 | 65 | 71 | 76 | 78 | 81 | 69 | |
| Brzina vjetra (m/s) | | | | | | | | | | | | | | |
| m | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,2 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | |
| Broj dana grijanja | | | | | | | | | | | | | | |
| Temperatura vanjskog zraka | | | | | | | | | | | < 10 $^\circ\text{C}$ | 151,7 | | |
| | | | | | | | | | | | < 12 $^\circ\text{C}$ | 172,8 | | |
| | | | | | | | | | | | < 15 $^\circ\text{C}$ | 197,1 | | |
| Orij | [$^\circ$] | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | God. |
| Globalno Sunčevo zračenje (MJ/m²) | | | | | | | | | | | | | | |
| S | 0 | 108 | 164 | 329 | 456 | 593 | 629 | 671 | 561 | 421 | 259 | 125 | 82 | 4398 |
| | 15 | 131 | 192 | 367 | 479 | 597 | 622 | 670 | 582 | 468 | 308 | 152 | 97 | 4664 |
| | 30 | 148 | 212 | 389 | 481 | 578 | 592 | 643 | 577 | 493 | 342 | 172 | 109 | 4736 |
| | 45 | 158 | 221 | 392 | 463 | 536 | 541 | 591 | 547 | 493 | 359 | 184 | 116 | 4603 |
| | 60 | 162 | 221 | 378 | 424 | 474 | 471 | 516 | 494 | 469 | 359 | 188 | 118 | 4272 |
| | 75 | 157 | 210 | 346 | 368 | 396 | 386 | 425 | 421 | 422 | 340 | 182 | 114 | 3767 |
| | 90 | 145 | 189 | 298 | 299 | 309 | 296 | 324 | 334 | 356 | 305 | 167 | 106 | 3127 |
| SE, SW | 0 | 108 | 164 | 329 | 456 | 593 | 629 | 671 | 561 | 421 | 259 | 125 | 82 | 4398 |
| | 15 | 124 | 184 | 356 | 473 | 596 | 624 | 671 | 577 | 455 | 293 | 144 | 92 | 4588 |
| | 30 | 135 | 196 | 370 | 475 | 582 | 602 | 652 | 574 | 473 | 316 | 156 | 100 | 4630 |
| | 45 | 140 | 200 | 370 | 459 | 550 | 562 | 612 | 551 | 471 | 324 | 162 | 103 | 4505 |
| | 60 | 139 | 195 | 354 | 428 | 501 | 506 | 554 | 509 | 449 | 318 | 161 | 102 | 4216 |
| | 75 | 131 | 183 | 324 | 381 | 436 | 436 | 479 | 450 | 410 | 298 | 153 | 96 | 3779 |
| E, W | 0 | 108 | 164 | 329 | 456 | 593 | 629 | 671 | 561 | 421 | 259 | 125 | 82 | 4398 |
| | 15 | 108 | 164 | 328 | 452 | 586 | 621 | 663 | 556 | 419 | 259 | 125 | 81 | 4362 |
| | 30 | 107 | 162 | 322 | 440 | 568 | 600 | 641 | 541 | 412 | 256 | 124 | 80 | 4254 |
| | 45 | 104 | 157 | 310 | 420 | 538 | 566 | 608 | 516 | 398 | 249 | 121 | 78 | 4063 |
| | 60 | 98 | 147 | 291 | 391 | 496 | 521 | 561 | 479 | 374 | 236 | 114 | 73 | 3782 |
| | 75 | 90 | 134 | 264 | 353 | 445 | 466 | 503 | 432 | 342 | 217 | 104 | 66 | 3416 |
| | 90 | 79 | 118 | 233 | 308 | 386 | 403 | 436 | 377 | 301 | 192 | 92 | 58 | 2982 |
| NE, NW | 0 | 108 | 164 | 329 | 456 | 593 | 629 | 671 | 561 | 421 | 259 | 125 | 82 | 4398 |
| | 15 | 92 | 143 | 254 | 425 | 570 | 613 | 649 | 528 | 376 | 220 | 106 | 70 | 4086 |
| | 30 | 80 | 124 | 259 | 384 | 527 | 572 | 601 | 480 | 328 | 188 | 92 | 62 | 3696 |
| | 45 | 69 | 109 | 229 | 342 | 473 | 516 | 538 | 427 | 287 | 163 | 77 | 55 | 3286 |
| | 60 | 63 | 89 | 197 | 305 | 421 | 458 | 478 | 379 | 251 | 129 | 69 | 51 | 2889 |
| | 75 | 56 | 79 | 151 | 256 | 368 | 404 | 420 | 325 | 190 | 106 | 62 | 45 | 2461 |
| | 90 | 49 | 69 | 124 | 183 | 286 | 323 | 328 | 237 | 136 | 95 | 55 | 39 | 1923 |
| E, N | 0 | 108 | 164 | 329 | 456 | 593 | 629 | 671 | 561 | 421 | 259 | 125 | 82 | 4398 |
| | 15 | 82 | 130 | 277 | 412 | 558 | 601 | 635 | 513 | 355 | 199 | 94 | 63 | 3917 |
| | 30 | 73 | 101 | 215 | 349 | 493 | 537 | 560 | 439 | 273 | 139 | 80 | 59 | 3318 |
| | 45 | 69 | 95 | 167 | 274 | 407 | 449 | 459 | 347 | 190 | 125 | 125 | 55 | 2710 |
| | 60 | 63 | 87 | 153 | 204 | 307 | 344 | 341 | 246 | 161 | 116 | 69 | 51 | 2141 |
| | 75 | 56 | 79 | 139 | 181 | 229 | 236 | 235 | 206 | 148 | 106 | 62 | 45 | 1722 |
| | 90 | 49 | 69 | 124 | 163 | 206 | 214 | 214 | 186 | 135 | 95 | 55 | 39 | 1548 |

Tablica 3: Podaci o lokaciji objekta

3.5.3 Koeficijent prolaska topline

Proračun za zatečeno stanje objekta prikazuje podatke u kojem zgrada ne zadovoljava današnje zahtjeve u pogledu racionalne uporabe energije i toplinske zaštite odnosno zgrada ostvaruje velike toplinske gubitke. Zbog toga je potrebna sanacija vanjske ovojnice predmetne građevine s maksimalnim poštivanjem smjernica konzervatora. Planiranim zahvatima se ne smije mijenjati oblikovanje zgrade, njena visina i broj etaža te građevinska bruto površina zgrade i neto površina svih dijelova zgrade.

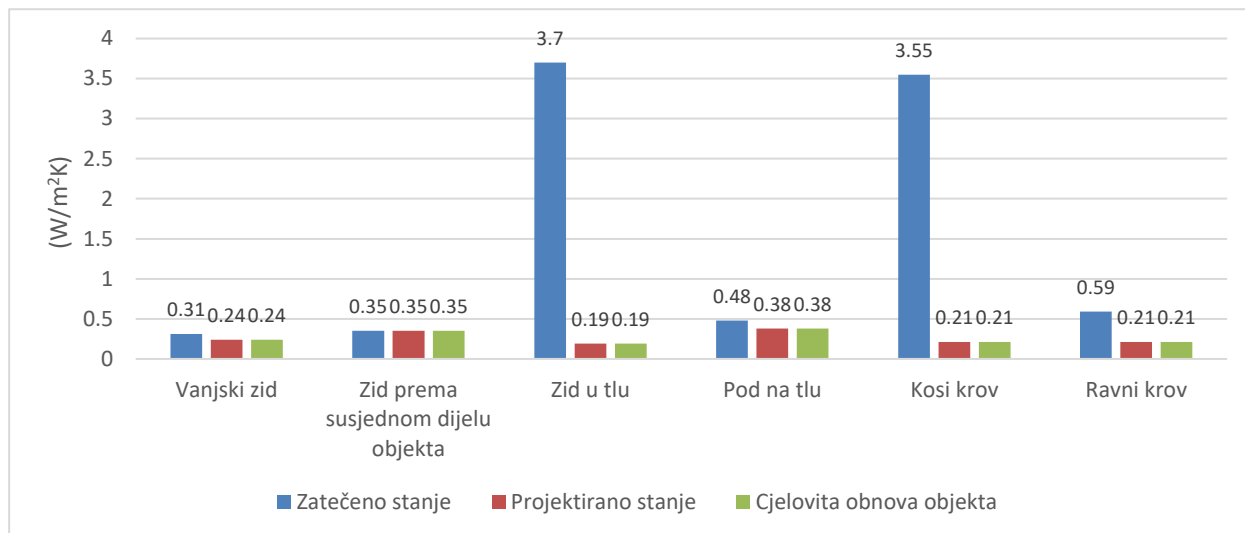
Tablica 5: Uvjeti o zadovoljavanju energetske zahtjeva

| Uvjet | Status |
|------------------------------------|-----------------------|
| Koeficijenti prolaska topline | NE ZADOVOLJAVA |
| Difuzija | NE ZADOVOLJAVA |
| Dinamičke toplinske karakteristike | NE ZADOVOLJAVA |
| Korisna energija | NE ZADOVOLJAVA |
| Primarna energija | NE ZADOVOLJAVA |

| | | | | |
|--|------------|--|-----------|-----------------------|
| A [m ²] | 11477,50 | f _o [m ⁻¹] | 0,25 | |
| A _k [m ²] | 6804,90 | A _k ' [m ²] | 7610,06 | |
| V _e [m ³] | 46122,31 | | | |
| Q _{H,nd} [kWh/a] | 1442254,29 | | | |
| Q' _{H,nd} [kWh/m ² a] | 31,27 | Q' _{H,nd} (max) [kWh/m ² a] | 10,63 | NE ZADOVOLJAVA |
| Q'' _{H,nd} [kWh/m ² a] | 189,52 | Q'' _{H,nd} (max) [kWh/m ² a] | 42,49 | NE ZADOVOLJAVA |
| Q _{C,nd} [kWh/a] | 351675,15 | | | |
| Q'' _{C,nd} [kWh/m ² a] | 46,21 | Q'' _{C,nd} (max) [kWh/m ² a] | 50,00 | ZADOVOLJAVA |
| E _{del} [kWh/a] | 2354765,25 | | | |
| E'' _{del} [kWh/(m ² a)] | 309,43 | | | |
| E _{prim} [kWh/a] | 2783010,62 | | | |
| E'' _{prim} [kWh/(m ² a)] | 365,70 | E'' _{prim} (max) [kWh/(m ² a)] | 150,00 | NE ZADOVOLJAVA |
| H' _{tr,adj} [W/m ² K] | 0,57 | H' _{tr,adj} (max) [W/m ² K] | 0,90 | ZADOVOLJAVA |
| H _{tr,adj} [W/K] | 6542,82 | | | |
| H _{ve,adj} [W/K] | 33723,37 | | | |
| Q _l [kWh] | 1929826,63 | Q _s [kWh] | 526749,67 | |
| Q _g [kWh] | 357665,53 | Q _g [kWh] | 884415,20 | |

Slika 30: Rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje

Dijagram 2 prikazuje koeficijente prolaska topline građevnih dijelova koji su dobiveni proračunima za tri različita stanja objekta. U zatečenom stanju, objekt ne zadovoljava koeficijente prolaska topline kroz građevne dijelove zbog nedostatka toplinske izolacije. Rezultati zatečenog stanja objekta na terenu znatno se razlikuju od rezultata dobivenih projektiranim stanjem objekta prema smjernicama konzervatora.

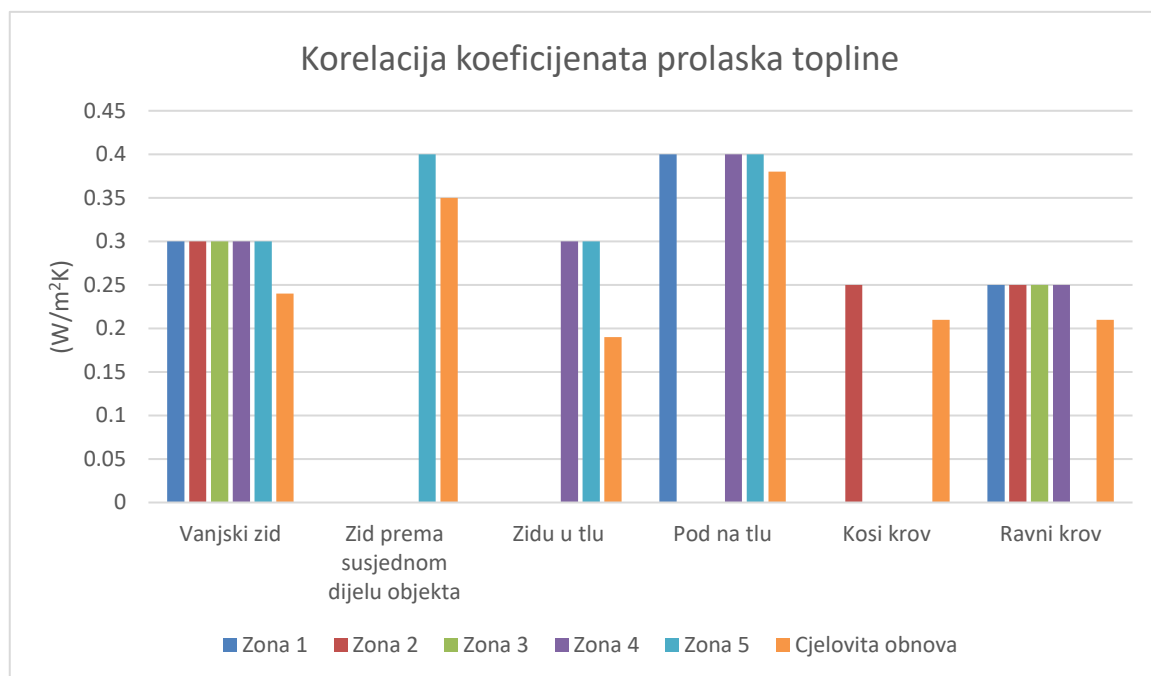


Dijagram 2: Koeficijenti prolaska topline kroz građevne dijelove, muzej Mimara

Za sva tri stanja objekta, vrijednost koeficijenta prolaska topline za sekciju vanjskog zida nema veliku razliku, dok je za element zida prema susjednom dijelu objekta ta vrijednost ista iz razloga što debljina zida od opeke iznosi od 45 cm do 90 cm. Građevni dijelovi projektiranog stanja prema smjernicama konzervatora i cjelovite obnove objekta se nisu mijenjali, stoga su rezultati koeficijenta prolaska topline za oba slučaja jednaki.

3.5.4 Korelacija koeficijenata prolaska topline

Na slikama 9, 10, 11 i 12 prikazana je podijela objekta na pet toplinskih zona s obzirom na unutarnju projektnu temperaturu te prema vrsti i režimu korištenja termotehničkih sustava. Ovisno o poziciji, svaka zona ne obuhvaća sve građevne dijelove stoga je na dijagramu 3 naznačen koeficijent prolaska topline za pet različitih zona. Rezultati stvarnog stanja objekta uspoređeni su sa rezultatima pojednostavljenog proračuna cjelovite obnove objekta. Iako koeficijenti prolaska topline nisu identični za oba slučaja, oni su približno jednaki za svaki građevni dio i zadovoljavaju vrijednosti propisane u tablici te se koriste za daljnji proračun.



Dijagram 3: Koeficijenti prolaska topline kroz građevne dijelove, muzej Mimara

3.5.5 Toplinski gubici

Modelirani sustav grijanja mora zadovoljiti vrijednost gubitka topline proporcionalno unutarnjoj toplinskoj ugodnosti koja je određena propisom ili je navedena u projektnom zadatku, ako je stroža od propisane [10].

Tablica 7: Godišnji gubici topline za zatečeno stanje

| Godišnji gubici topline [kWh] | | |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Toplinski gubici hlađenja | Toplinski gubici grijanja |
| Godišnje | 965244,13 | 1929826,63 |

Tablica 8: Godišnji gubici topline za projektirano stanje

| Godišnji gubici topline [kWh] | | |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Toplinski gubici hlađenja | Toplinski gubici grijanja |
| Godišnje | 932918,00 | 778272,88 |

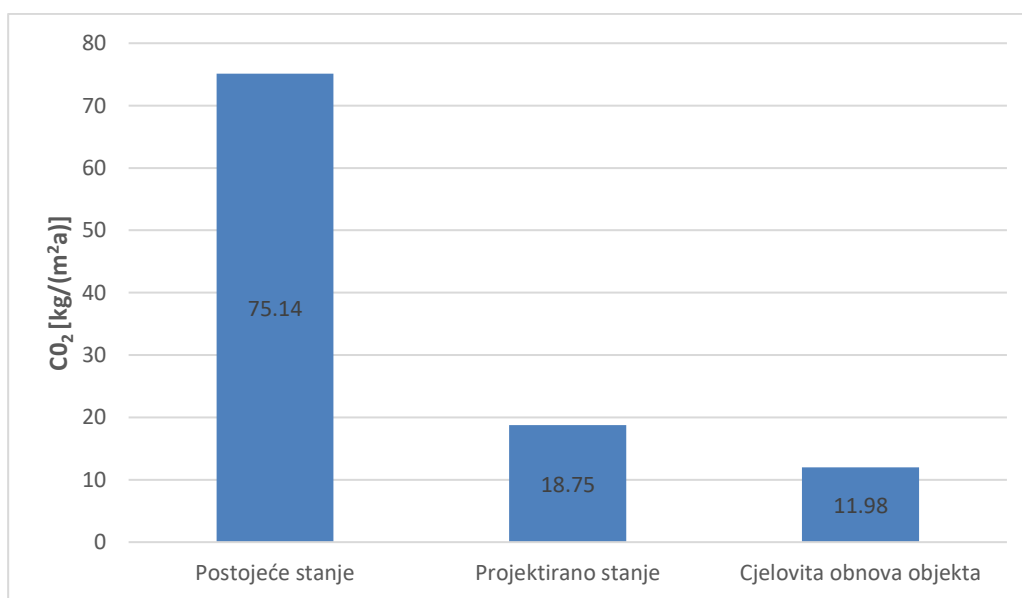
Tablica 9: Godišnji gubici topline za stanje cjelovite obnove objekta

| Godišnji gubici topline [kWh] | | |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Toplinski gubici hlađenja | Toplinski gubici grijanja |
| Godišnje | 580510,19 | 483677,19 |

Vrijednost toplinskih gubitaka u sezoni grijanja za zatečeno stanje objekta iznosi 1929826,63 kWh, dok toplinskih gubitci u sezoni hlađenja iznose 965244,13 kWh. Za projektirano stanje vrijednost gubitaka topline u sezoni grijanja se smanjila za 59,67 %, a u sezoni hlađenja za 3,5 %. Za stanje cjelovite obnove objekta su te vrijednosti poprilično smanjene iz razloga što je predviđena ugradnja otvora s poboljšanim koeficijentom prolaska topline za ostakljenja i okvire se te vrijednost gubitka topline u sezoni grijanja smanjila za 39,86%, a u sezoni hlađenja za 74,47%. Jedan od glavnih ciljeva za sprečavanje prekomjernih gubitaka topline je utjecati na zrakopropusnost vanjske ovojnice. Za to je potrebno valjano ugraditi vanjske otvore i pobrinuti se da brtvljenje na svim građevnim dijelovima bude takvo da je moguće zadovoljiti visoke zahtjeve.

3.5.6 Godišnja emisija CO₂

Ukoliko se električna energija koristi iz obnovljivih izvora energije, količine emisije CO₂ će biti niže u odnosu na količine proizvedene korištenjem fosilnih goriva. Godišnja emisija CO₂ se odnosi na količinu CO₂ koja se oslobađa u atmosferu iz različitih izvora tokom jedne godine. U zgradama ona često proizlazi tijekom grijanja, hlađenja i osvjetljenja. S obzirom da je zgrada starije gradnje te su prilikom projektiranja i gradnje korištena starija i manje učinkovita tehnička rješenja, postoji veliki potencijal za provedbu mjera za poboljšanje energetske svojstva zgrade koje su ekonomski isplative. Poželjno je koristiti trošila energije što višeg energetskeg razreda, odnosno trošila sa što manjom potrošnjom energije. Također, potrebno je redovito servisiranje i podešavanje sustava grijanja i hlađenja te ugradnja štednih žarulja u rasvjetna tijela. Dijagram 4 prikazuje ukupno godišnje smanjenje emisije CO₂ primjenom ovih mjera poboljšanja energetske učinkovitosti.



Dijagram 4: Specifična godišnja emisija CO₂

3.5.7 Prozirni dijelovi konstrukcije

Velika većina otvora zaštićena su od sunčeva zračenja s unutarnje strane, rolo zavjesama. Na objektu je izvedena stolarija od drvenih profila, ostakljena dvostrukim staklom s nedostatnim brtvljenjem. U cjelovitoj obnovi objekta proračun se vršio s iznosom koeficijenta prolaza topline cijelog otvora od $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Rezultati proračuna su prikazali znatno manje toplinske gubitke kroz otvor za razliku od stvarnog stanja stolarije što u konačnici rezultira većom uštedom energije.

| PR | PROZIRNE KONSTRUKCIJE |
|----|---|
| - | okvir: drveni profil, jednostruki prozor |
| - | Dvostruko IZO staklo |
| - | koeficijent prolaza topline ostakljenja: $U_g = 2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| - | koeficijent prolaza topline cijelog otvora uključivo okvir najviše: $U_{max} = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| | zaštita od Sunčeva zračenja |
| - | unutarnji elementi: rolo zavjese $F_c = 1,0$ |

| VR | VANJSKA VRATA |
|----|---|
| - | Drveni okvir/puno krilo/krilo s ostakljenjem IZO staklom |
| - | koeficijent prolaza topline cijelog otvora uključivo okvir najviše: $U = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ |



Slika 31: Stanje vanjske stolarije [15]

4. HAN JUSUFA MAŠKOVIĆA

4.1 O građevini

Han Jusufa Maškovića nalazi se u Vrani, a nakon višegodišnje rekonstrukcije otvara se za javnost u srpnju 2017. godine. Han je najzapadnija građevina islamske kulture na tlu nekadašnje turske države te je najvrijednija povijesna islamska građevina na tlu Republike Hrvatske [19]. Godine 1646. obustavljen je nastavak izgradnje hana koji je dugi niz godina ostao nedovršen. Ovaj svojevrsni spomenik kulture u Hrvatskoj značajan je zbog neuobičajenog tlocrta, tehnike gradnje i uporabe materijala, arhitektonskog uređenja i smještaja u prostoru. Riječ je o izrazito monumentalnoj i impozantnoj građevini pravokutnog tlocrta dimenzija 61 m x 52 m [19]. Maškovića han ima status pojedinačno zaštićenog kulturnog dobra i kulturnog dobra od nacionalnog značaja te je upisano u Registar kulturnih dobara RH pod brojem Z-1230 i na Listu kulturnih dobara od nacionalnog značaja pod brojem N-38.



Slika 32: Snimka iz zraka, Maškovića han [16]

4.2 Tehnički opis građevine

Predmetna građevina se sastoji od prizemlja i kata te ukopane prostorije koja je bila u funkciji septičke jame i manjeg spremišta [19]. U središtu cijelog kompleksa hana nalaze se dva dvorišta koja su međusobno odjeljena kamenim zidovima. Veće dvorište smješteno je na sjeveroistoku te čini 2/3 ukupne zelene površine dok manje dvorište na jugozapadu zahvaća 1/3 zelene površine.

Han nije dovršen u planiranom obliku i ima dosta kasnijih nadogradnji koje se lako razlikuju od originala. Od originalne građevinske strukture najočuvaniji dijelovi osim zidina su konaci s istočne strane, glavna zgrada, ostaci zgrada na zapadnoj strani i paviljon po sredini [19]. Popriličan dio registriranih oštećenja je posljedica devastacije građevine požarom, potom zapostavljenosti te degradacija dijela zidova zbog korištenja materijala u druge svrhe. Prirodne pojave i urušavanja nestabilnih struktura ogradnih zidova su rezultirali potpunim stradavanjem krovnih te međukatnih konstrukcija pojedinih objekata. Time su zidovi objekata i njihova unutrašnjost, dugi niz godina, bili izloženi direktnim utjecajima atmosferilija, temperaturnim promjenama te neprekinutom rastu vegetacije koja dodatno razara njihovu strukturu [19]. Na temelju preostalih ostataka građevine moguće je rekonstruirati tlocrt cijelog objekta i uspostaviti njegovu izvornu funkciju.



Slika 33: Han Jusufa Maškovića prije rekonstrukcije [17]

4.3 Opis zahvata

Projektom rekonstrukcije predviđena je obnova i restauracija građevine na način da se u cjelosti sačuva izvorna struktura gdje je u dobrom stanju, izvrši sanacija i popravak degradiranih zona izvornim gradivom te izvrši rekonstrukcija obrušenih i nedostajućih dijelova pojedinih zidova istovjetnim materijalom [19]. Pored obnove postojećih objekata, obzirom da građevina u cijelosti nikada nije bila dovršena, za potrebe oživotvorenja izvorne funkcije kompleksa predviđena je izgradnja i potpuno novih sadržaja. Ovo se u prvom redu odnosi na smještajne kapacitete poput apartmana i sobe za noćenje te sanitarnih čvorova. U pravilu se novo projektirani objekti izvode suvremenim materijalima i suvremenim načinom gradnje kako bi se jasno razlikovali od izvornih dijelova kompleksa i tradicionalnih struktura.



Slika 34: Han prije rekonstrukcije [17]

Ulaz u kompleks Hana je sa sjeveroistočne strane i njime se pristupa u veće dvorište. Kula nad glavnim ulazom i jednokatna stambena kuća jugoistočno od nje obnovit će se u dimenzijama zatečenog tlocrta uz poštivanje svih evidentiranih oblikovnih i konstruktivnih elemenata poput svodova i stubišta [19].

Na sjeveroistoku kompleksa smještena je prizemna građevina koja je omeđena perimetralnim zidovima kompleksa, odvojena manjim otvorenim dvorištem od katnice. Nad kućom koja će biti stambene namjene rekonstruirat će se jednostrešno krovnište. U zgradi, kojoj se pristupa iz unutarnjeg dvorišta, organizirat će se izložbeni prostor na dvije etaže. Krovna konstrukcija, dvostrešno krovnište nagiba 10%, izradit će se od čeličnih nosača, termo i hidro izolirano s pokrovom olovnom limom. Kota sljemena krova definirana je kotom vrha vjenca obodnih zidova.



Slika 35: Prizemna građevina s jednostrešnim krovom [18]

Južno od potonje zgrade nalazi se prostor u kojem je bilo smješteno tursko kupalište hamam i koje će se konzervirati i prezentirati kao arheološki lokalitet. U svrhu očuvanja zatečenih struktura, izvest će se krovna konstrukcija s pokrovom od olovnog lima. U kamenom zidu između izložbene dvorane i hamama razgradit će se otvor prema zatečenim tragovima te će se na toj poziciji ugraditi fiksna ostakljena stijena.

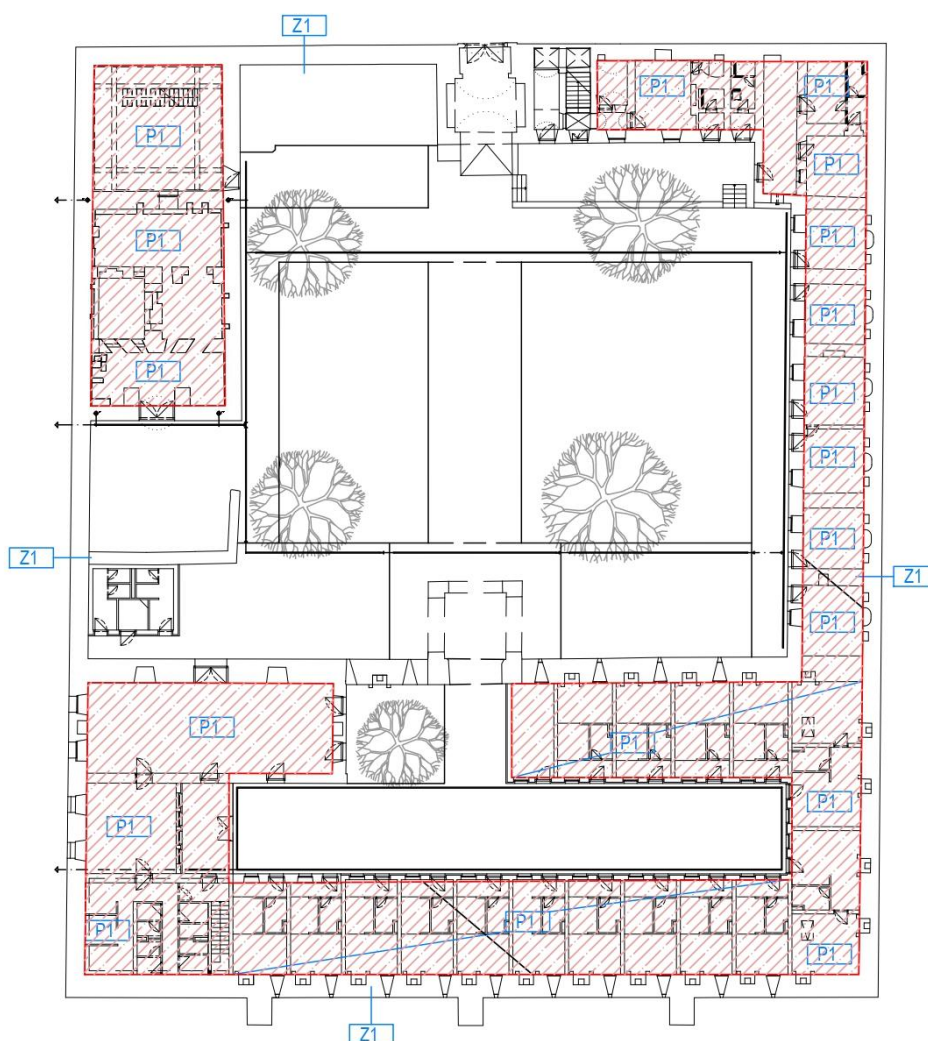
U sjeverozapadnom dijelu manjeg dvorišta nalazi se kuća pravokutnog tlocrta, koja je kako je utvrđeno analizom postojećeg stanja vjerovatno izvorno bila planirana većih dimenzija i monumentalnijeg izgleda od ove koju smo mi zatekli. Navedena kuća rekonstruirana je u okvirima zatečenih gabarita pa se u skladu s tim izvodi dvostrešno krovništvo s pokrovom od kupa kanalicama čija će drvene konstrukcija biti vidljiva u prostoru.

Novi sanitarni čvor, dilatiran od postojećih kamenih zidanih struktura, prizemna je građevina s ravnim krovom završno popločanim tavelama. Prostor je organiziran u tri zasebne cjeline. U jugozapadnom uglu, funkcionalno povezana s restoranom, smještena je kuhinja s pripadajućim spremištima, sanitarijama i garderobom za osoblje te u podrumskoj etaži energetske blokove.

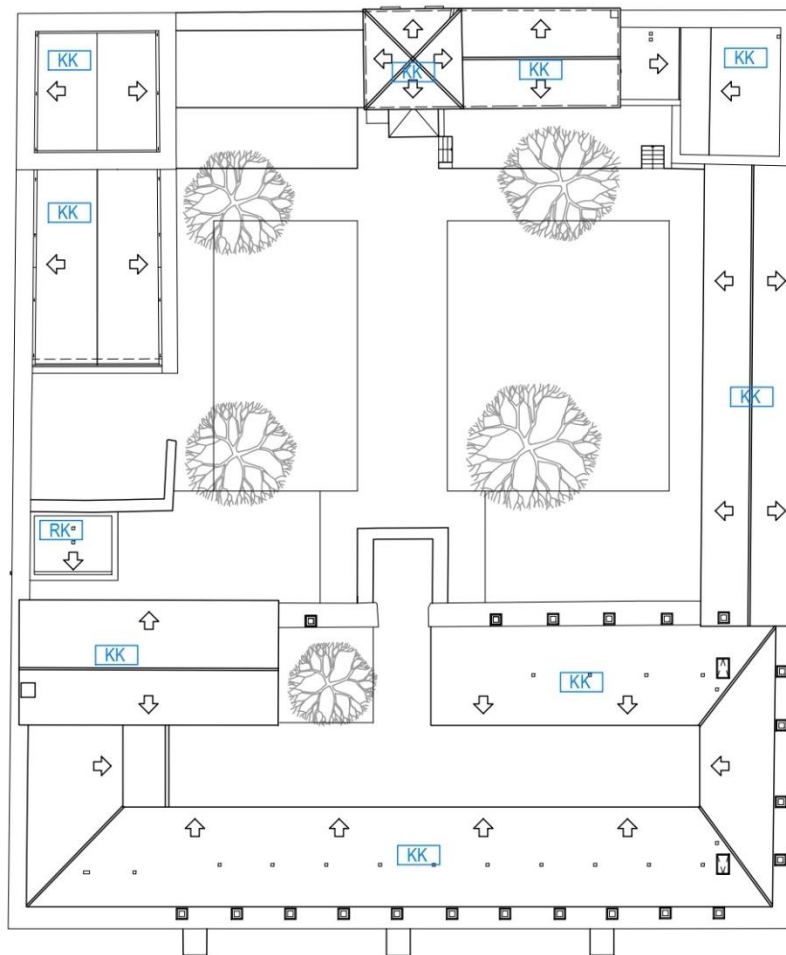
Uz jugozapadni i jugoistočni perimetralni zid te pregradni prema većem dvorištu nalaze se smještajne jedinice, sobe i dva apartmana te servisna prostorija. Navedeni opis objekta pokazuje različitost sadržaja u pogledu toplinskih zona što je indikativno za kasniji proračun.

4.4 Opis građevnih dijelova

Slojevi građevnih dijelova dobiveni su vizualnim pregledom građevine te prilagodljivošću pojedinog elementa za provedbu ispitivanja. U vrijeme rekonstrukcije Hana, smjernice konzervatorskog elaborata nisu bile striktno određene zakonom već su se odluke donosile na licu mjesta s obzirom na zatečeno stanje objekta. Kao i u prethodnom primjeru, svi prostori unutar predmetne zgrade su grijani, a zgrada se promatra kao jedna toplinska zona. Također, nisu se raspisivali svi građevni dijelovi već su izabrani samo oni čiji koeficijenti prolaska topline zadovoljavaju uvjet najveće dopuštene vrijednosti propisane Tehničkim propisom o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Opisi slojeva u nastavku preuzeti su iz projekta fizike zgrade, [19].



Slika 36: Tlocrt prizemlja s oznakama konstrukcija [19]



Slika 37: Tlocrt krova s oznakama konstrukcija [19]

4.4.1 Pod na tlu

Detaljnomo analizom objekta ustanovljen je nedostatak toplinsko-izolacijskih materijala čiji je uzrok gradnja objekta u vrijeme kada nisu postojali izolacijski materijali. Kod podova na tlu planira se skidanje zatečenih slojeva do betonske ploče, zatim se postavlja 1 cm hidroizolacije na koju se nastavlja 6 cm toplinske izolacije od elastificiranog ekspaniranog polistirena. Završna obrada poda ovisi o namjeni prostorije.

| P | POD NA TLU | debljina |
|---|---------------------------|----------|
| | Zatečeno stanje: | |
| - | završna obrada | - |
| - | betonska ploča, zaglađena | 8,0 cm |
| - | hidroizolacija | ≈1,0 cm |
| - | donja betonska podloga | 10,0 cm |
| - | nabijeni šljunak | 15,0 cm |

4.4.2 Međukatne konstrukcije

Međukatne konstrukcije kao i konstrukcije stropa u objektima na sjeveroistoku su svodovi izrađeni od pravilno obrađenih blokova sedre. Debljina svodova je cca. 30 cm, a ravna ploha na ekstradosu svodova se dobila ispunom od lomljenog kamena utopljenog u masu vapnenog morta. Prethodni cementni mort iznad međukatne konstrukcije se zamjenjuje s toplinsko-zvučnom izolacijom od elastificiranog polistirena na koju se naknadno postavlja plivajući mikroarmirani cementni estrih.

| MK | MEĐUKATNA KONSTRUKCIJA | debljina |
|----|-------------------------|----------|
| | Zatečeno stanje: | |
| - | podna obloga | - cm |
| - | cementni mort | 3,0 cm |
| - | međ. konst. /ili svod | 30,0 cm |
| - | završna obrada podgleda | - |

Pored obnove postojećih objekata, predviđena je izgradnja potpuno novih sadržaja. Iz tog razloga se javlja potreba za izvođenjem nove međukatne konstrukcije od armiranog betona koja se izolira toplinsko-zvučno izolacijom pločama elastificiranog polistirena. Novo projektirani objekti izvode se suvremenim materijalima kako bi se jasno razlikovali od izvornih dijelova kompleksa.

| MK* | MEĐUKATNA KONSTRUKCIJA | debljina |
|-----|--|----------|
| | Novo: | |
| - | podna obloga | - |
| - | hidroizolacija, polimer-cementni premaz u dva sloja | 0,2 cm |
| - | plivajući mikroarmirani cementni estrih | 5,8 cm |
| - | razdjelni sloj | 0,02 cm |
| - | toplinsko-zvučna izolacija: elastificirani polistiren EPS 2x1.0 cm | 2,0 cm |
| - | armiranobetonska ploča | 20,0 cm |
| - | završna obrada podgleda | - |

4.4.3 Krovne konstrukcije

Kosi krov se u potpunosti mijenja zbog devastacije građevine požarom i korištenja materijala u druge svrhe. Prilikom rekonstrukcije zadržava se raspored slojeva kao i prije uz korištenje suvremenih materijala.

Slojevi novog krova su:

- kupa kanalica
- letve 3 x 7 cm
- kontra lerve 5 x 8 cm
- ventilirani sloj zraka ($\geq 4,0$ cm)
- paropropusna vodonepropusna folija (0,02 cm)
- letve (1,0 cm)
- daščana oplata (2,5 cm)
- toplinska izolacija pločama mineralne vune postavljena između drvenih greda (8,0 cm)
- toplinska izolacija pločama mineralne vune postavljena između metalne potkonstrukcije (5,0 cm)
- pe alumizirana folija (0,02 cm)
- gipskartonska ploča na podkonstrukciji (1,25 cm)

| KK | KOSI KROV | debljina |
|----|-------------------------|-----------|
| | Zatečeno stanje: | |
| - | kupa kanalica | - |
| - | letve (3x7cm) | - |
| - | kontra letve (5x8cm) | - |
| - | krovnja ljepenka | 0,5cm |
| - | daščana oplata | 2, 50 cm |
| - | drveni grednik 12/14 cm | 14, 00 cm |
| - | daščana oplata | 2,5 cm |

Novi ravni krov je izgrađen iznad sanitarnih prostorija. Kako bi se razlikovao nadograđeni dio objekta od ostatka, kao završna obrada na krovu postavljaju se tavele u vapnenom mortu. Takva vrsta završne obrade se svojim oblikom i kombinacijom boja uklapa u okolinu.

| RK | RAVNI KROV | debljina |
|----|---|------------|
| | Novo: | |
| - | tavele u vapnenom mortu | 3,5 cm |
| - | hidroizolacija: polimer-cementni premaz u dva sloja | 0,2 cm |
| - | armirano cementni estrih | ≥4,00 cm |
| - | geotekstil | 0,30 cm |
| - | toplinska izolacija: ekstrudirani polistiren u dva sloja 2 x 5 cm | 10,0 cm |
| - | Bitumenska traka s uloškom od staklenog voala | 0,50 cm |
| - | betonska podloga u padu | 2,0-6,0 cm |
| - | armirano betonska ploča | 20,0 cm |
| - | završna obrada podgleda: žbuka | 2,0 cm |

4.4.4 Vanjski zid

Kao konstruktivni, nosivi, element zida korišten je prirodni kamen debljine 120 cm i više. Prema konzervatorskim preporukama, na zid od prirodnog kamena postavlja se toplinska izolacija pločama mineralne vune postavljene između pocinčanih profila u debljini od 10 cm. Na nju se lijepi PE folija kako vlaga iz unutarnjeg prostora ne bi uništila svojstva mineralne vune. Zbog zaštite PE folije i boljeg estetskog izgleda postavlja se gipskartonska ploča u dva sloja.

| VZ | VANJSKI ZID | debljina |
|----|-------------------------|-------------------|
| | Zatečeno stanje: | |
| - | zid od prirodnog kamena | cca 120 cm i više |

Nosiva konstrukcija vanjskog novog zida izvodi se punim blokovima od opeke. Nadograđivani dio može se izolirati vanjskim fasadnim sustavom zbog toga što ne utječe na arhitektonski izgled fasade objekta.

| VZ* | VANJSKI NOVI ZID | debljina |
|------------|--|-----------------|
| | Novo: | |
| - | završna obrada, glet + boja | - |
| - | vapneno-cementna žbuka | 2,0 cm |
| - | blok opeka | 30,0 cm |
| - | polimer cementno ljepilo s utisnutom tekstilno staklenom mrežicom | 0,50 cm |
| - | toplinska izolacija: lamelama kamene vune | 8,0 cm |
| - | dvostrukom polimer cementno ljepilo s utisnutom staklenom mrežicom | 0,5 cm |
| - | završna obrada: fasadna žbuka | 0,3 cm |

4.4.5 Zid u tlu

Za izolaciju zidova prema tlu nije previđen iskop s vanjske strane već se uz kameni zid s unutarnje strane nadograđuje armirano betonski zid. Između te dvije nosive konstrukcije se ugrađuje ekstrudirani polistiren u debljini od 10 cm i hidroizolira se jednoslojnom bentonitnom membranom u debljini od 0,64 cm. Bentonitna membrana sprječava prodor podzemne voda kako ne bi uzrokovala jaku degradaciju betonske konstrukcije.

| ZT | Zid u tlu | debljina |
|-----------|-------------------------|-----------------|
| | Zatečeno stanje: | |
| - | kameni zid | cca 100 cm |

4.5 Proračun i analiza

Rezultati numeričkog proračuna

Analiza prikazana u nastavku napravljena je na temelju numeričkog proračuna u računalnom programu „Ki Expert Plus (v.7.11.4.0)” [19].

4.5.1 Geometrijske karakteristike zgrade, namjena zgrade i podjela u toplinske zone

Tablica 10: Geometrijske karakteristike zgrade

| Potrebni podaci | Zona 1 |
|--|---------|
| Oplošje grijanog dijela zgrade – A [m^2] | 2417,44 |
| Obujam grijanog dijela zgrade – V_e [m^3] | 2769,89 |
| Obujam grijanog zraka – V [m^3] | 2105,12 |
| Faktor oblika zgrade - f_0 [m^{-1}] | 0,87 |
| Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade – A_K [m^2] | 713,13 |
| Proračunska korisna površina grijanog dijela zgrade – A_K' [m^2] | 713,13 |
| Ukupna ploština pročelja – A_{uk} [m^2] | 1626,83 |
| Ukupna ploština prozora – A_{wuk} [m^2] | 87,46 |

Tablica 11: Namjena zgrade i podjela u toplinske zone

| Zgrada | | |
|---|--------------------------------------|-------|
| Namjena zgrade | Nestambena zgrada | |
| Podjela zgrade u toplinske zone | ne | |
| Toplinska zona 1 | | |
| Naziv zone | Zona 1 | |
| Namjena zone | Nestambeni dio | |
| Vrsta zgrade | Ostale nestambene zgrade | |
| Vrsta prostora | Ostalo (ručni unos) | |
| Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja | $\Theta_{int,set,H}$ [$^{\circ}C$] | 20,00 |
| Unutarnja projektna temperatura u sezoni hlađenja | $\Theta_{int,set,C}$ [$^{\circ}C$] | 22,00 |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade | $\Theta_{e,mj,max}$ [$^{\circ}C$] | 24,80 |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade | $\Theta_{e,mj,min}$ [$^{\circ}C$] | 7,50 |
| Srednja godišnja vlažnost zraka izvan zone | φ_e [%] | 71,00 |
| Relativna unutarnja vlažnost zraka | φ_i [%] | 50,00 |
| Vrijeme rada sustava | Ostalo (ručni unos) | |
| Period korištenja sustava za grijanje/hlađenje | 00:00 - 24:00 | |
| Period korištenja sustava za mehaničku ventilaciju | 00:00 - 24:00 | |
| Broj dana korištenja sustava grijanja/hlađenja u tjednu | $d_{use,tj}$ [dan/tj] | 7,00 |
| Broj sati rada sustava grijanja/hlađenja | t_d [h] | 24,00 |
| Broj sati korištenja prostora za mehaničku ventilaciju | t_{kor} [h] | 24,00 |
| Broj sati rada sustava mehaničke ventilacije/klimatizacije | $t_{v,mech}$ [h] | 24,00 |
| Minimalno potrebni protok vanjskog zraka po jedinici površine | V_A [$m^3/m^2 h$] | 0,00 |

4.5.2 Podaci o lokaciji objekta

Predmetna građevina se nalazi u 4. zoni globalnog Sunčevog zračenja sa srednjom mjesečnom temperaturom vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade $\Theta_{e,mj,min} \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$ i unutarnjom temperaturom $\Theta_i \geq 18^\circ\text{C}$.

Lokacija:

Vrana

Referentna postaja:

Zadar

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | God. | |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|-------|------|------|
| Temperature zraka (° C) | | | | | | | | | | | | | | |
| m | 7,5 | 7,5 | 10,1 | 13,5 | 18,4 | 22,3 | 24,8 | 24,5 | 20,1 | 16,4 | 12,2 | 8,6 | 15,5 | |
| min | -1,6 | -2,3 | -2,2 | 3,8 | 8,8 | 14,8 | 17,7 | 16,7 | 13,1 | 5,7 | 1,4 | -4,6 | -4,6 | |
| max | 14,8 | 13,4 | 16,5 | 19,7 | 25,1 | 28,6 | 30,7 | 29,8 | 26,1 | 22,8 | 20 | 16 | 30,7 | |
| Tlak vodene pare (Pa) | | | | | | | | | | | | | | |
| m | 750 | 770 | 880 | 1110 | 1480 | 1810 | 1970 | 1980 | 1730 | 1360 | 1050 | 820 | 750 | |
| Relativna vlažnost zraka (%) | | | | | | | | | | | | | | |
| m | 71 | 69 | 71 | 73 | 71 | 70 | 66 | 69 | 70 | 73 | 74 | 71 | 71 | |
| Brzina vjetra (m/s) | | | | | | | | | | | | | | |
| m | 2,4 | 2,6 | 2,5 | 2,4 | 2,1 | 2 | 2 | 1,8 | 1,8 | 2 | 2,7 | 2,6 | 2,2 | |
| Broj dana grijanja | | | | | | | | | | | | | | |
| Temperatura vanjskog zraka | | | | | | | | | | | < 10 ° C | 100,5 | | |
| | | | | | | | | | | | < 12 ° C | 137,1 | | |
| | | | | | | | | | | | < 15 ° C | 183,5 | | |
| Orij | [°] | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | God. |
| Globalno Sunčevo zračenje (MJ/m²) | | | | | | | | | | | | | | |
| S | 0 | 169 | 249 | 413 | 535 | 682 | 741 | 763 | 655 | 485 | 348 | 190 | 133 | 5362 |
| | 15 | 222 | 312 | 470 | 565 | 687 | 731 | 761 | 681 | 542 | 429 | 249 | 174 | 5823 |
| | 30 | 264 | 359 | 505 | 569 | 663 | 692 | 727 | 676 | 572 | 488 | 296 | 206 | 6019 |
| | 45 | 292 | 388 | 514 | 547 | 612 | 626 | 663 | 640 | 573 | 520 | 327 | 229 | 5931 |
| | 6 | 305 | 395 | 496 | 500 | 536 | 537 | 573 | 574 | 544 | 524 | 340 | 239 | 5564 |
| | 75 | 301 | 381 | 454 | 431 | 441 | 431 | 463 | 484 | 488 | 499 | 335 | 237 | 4944 |
| SE, SW | 0 | 169 | 249 | 413 | 535 | 682 | 741 | 763 | 655 | 485 | 348 | 190 | 133 | 5362 |
| | 15 | 205 | 293 | 454 | 557 | 686 | 734 | 763 | 675 | 527 | 405 | 231 | 161 | 5691 |
| | 30 | 233 | 325 | 477 | 561 | 671 | 707 | 740 | 674 | 548 | 445 | 262 | 182 | 5824 |
| | 45 | 249 | 340 | 480 | 544 | 632 | 659 | 694 | 648 | 547 | 463 | 279 | 195 | 5730 |
| | 60 | 253 | 339 | 462 | 507 | 574 | 590 | 625 | 597 | 522 | 458 | 283 | 198 | 5407 |
| | 75 | 244 | 321 | 425 | 451 | 498 | 505 | 538 | 527 | 475 | 432 | 272 | 191 | 4878 |
| E, W | 0 | 169 | 249 | 413 | 535 | 682 | 741 | 763 | 655 | 485 | 348 | 190 | 133 | 5362 |
| | 15 | 169 | 249 | 411 | 530 | 674 | 732 | 755 | 649 | 483 | 349 | 191 | 133 | 5326 |
| | 30 | 170 | 249 | 405 | 517 | 653 | 707 | 730 | 632 | 475 | 347 | 191 | 133 | 5209 |
| | 45 | 167 | 244 | 392 | 494 | 619 | 668 | 691 | 603 | 458 | 340 | 189 | 131 | 4996 |
| | 60 | 160 | 233 | 369 | 460 | 572 | 615 | 638 | 561 | 431 | 325 | 181 | 125 | 4671 |
| | 75 | 148 | 216 | 337 | 416 | 513 | 550 | 573 | 507 | 394 | 300 | 168 | 116 | 4238 |
| NE, NW | 0 | 169 | 249 | 413 | 535 | 682 | 741 | 763 | 655 | 485 | 348 | 190 | 133 | 5362 |
| | 15 | 132 | 202 | 362 | 495 | 654 | 722 | 738 | 613 | 430 | 285 | 149 | 105 | 4886 |
| | 30 | 107 | 164 | 311 | 443 | 602 | 671 | 681 | 552 | 371 | 233 | 119 | 87 | 4342 |
| | 45 | 84 | 138 | 270 | 391 | 537 | 601 | 607 | 487 | 320 | 197 | 94 | 71 | 3797 |
| | 60 | 76 | 101 | 231 | 345 | 475 | 530 | 534 | 429 | 280 | 147 | 80 | 66 | 3294 |
| | 75 | 69 | 88 | 167 | 289 | 415 | 466 | 469 | 367 | 210 | 111 | 73 | 60 | 2784 |
| E, N | 0 | 169 | 249 | 413 | 535 | 682 | 741 | 763 | 655 | 485 | 348 | 190 | 133 | 5362 |
| | 15 | 108 | 174 | 336 | 478 | 640 | 707 | 721 | 594 | 404 | 250 | 122 | 86 | 4621 |
| | 30 | 86 | 108 | 246 | 398 | 560 | 625 | 631 | 500 | 304 | 149 | 90 | 75 | 3774 |
| | 45 | 82 | 101 | 173 | 302 | 453 | 511 | 508 | 384 | 199 | 126 | 126 | 71 | 2996 |
| | 60 | 76 | 95 | 157 | 209 | 330 | 377 | 365 | 255 | 159 | 119 | 80 | 66 | 2286 |
| | 75 | 69 | 88 | 144 | 183 | 226 | 235 | 227 | 201 | 149 | 111 | 73 | 60 | 1766 |
| 90 | 62 | 80 | 132 | 167 | 208 | 212 | 210 | 186 | 139 | 102 | 66 | 53 | 1617 | |

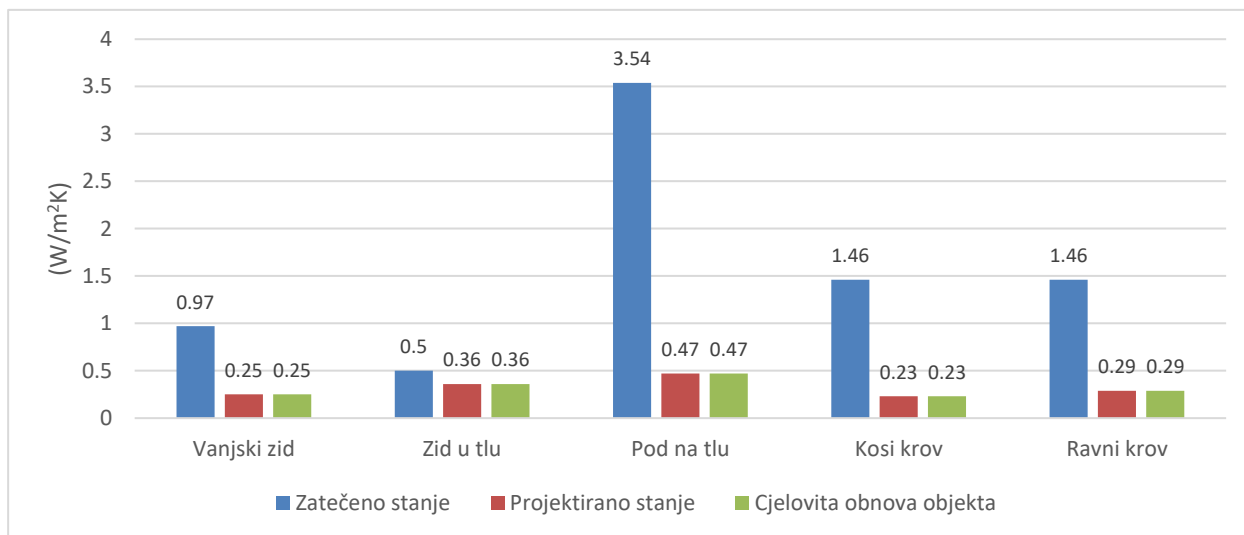
Tablica 12: Podaci o lokaciji objekta

4.5.3 Koeficijent prolaska topline

Zatečeno stanje objekta ne zadovoljava današnje zahtjeve u pogledu racionalne uporabe jer se način gradnje u dalekoj prošlosti uvelike razlikuje od današnjeg principa gradnje.

Izuzetno loše stanje objekta i činjenica da se zgrada nikad nije u cijelosti dovršila, omogućeni su zahvati prilikom kojih se mijenja oblikovanje zgrade te građevinska bruto površina zgrade.

Dijagram 5 prikazuje velike razlike u vrijednostima koeficijenata prolaska topline građevnih dijelova prije i nakon rekonstrukcije objekta. Ekstremno nepovoljni koeficijenti prolaska topline razlog su zapuštenosti objekta i neredovitog održavanja.



Dijagram 5: Koeficijent prolaska topline kroz građevne dijelove, Maškovića Han

4.5.4 Prozirni dijelovi konstrukcije

Na objektu je izvedena stolarija od drvenih profila s jednostrukim IZO staklom. Zaštita od sunčevog zračenja osigurana je na dijelu objekta drvenim škurama s vanjske strane, a kod prozora na konacima koji imaju s vanjske strane rešetku od kovanog željeza zaštita je postavljena s unutarnje strane prozora. Na žalost, zgrada je dugi niz godina bila u jako lošem stanju pa je koeficijent prolaza topline cijelog otvora za zatečeno stanje izrazito nepovoljan. Tijekom rekonstrukcije objekta ugrađivala se nova vanjska stolarija s puno boljim svojstvima i koeficijentom prolaska topline od $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Zaštita od sunčevog zračenja je uvelike smanjila potrebnu energiju za hlađenje.

| PR | PROZIRNE KONSTRUKCIJE |
|----|---|
| | Zatečeno stanje: |
| - | okvir: drveni profil |
| - | jednostruko IZO staklo LOW-E |
| - | koeficijent prolaza topline ostakljenja: $U_g = 2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| - | koeficijent prolaza topline cijelog otvora uključivo okvir najviše: $U_{max} = 3,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| | zaštita od Sunčeva zračenja |
| - | drvene škure |

| VR | VANJSKA VRATA |
|----|---|
| | Zatečeno stanje: |
| - | drveni okvir/puno krilo |
| - | koeficijent prolaza topline cijelog otvora uključivo okvir najviše: $U = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ |



Slika 38: Stanje vanjske stolarije [18]

5. PROJEKTIRANA UŠTEDA PRILIKOM OBNOVE OBJEKTA

Preko mjernih oznaka QH,nd i QC,nd prikazuje se godišnja potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje nekog objekta. Definiranje pojmova se nalazi u nastavku:

QH,nd (kWh/a) – godišnja potrebna toplinska energija za grijanje

Računski je određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja zgrade.

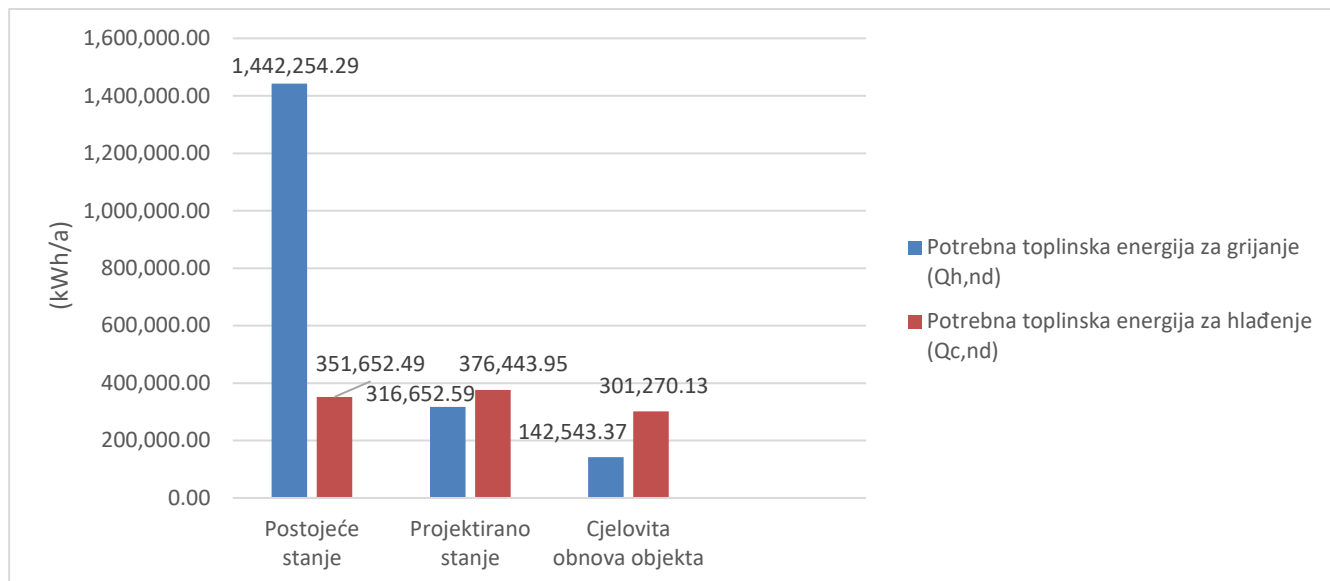
QC,nd (kWh/a) – godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje

Računski je određena količina topline koju sustavom hlađenja treba tijekom jedne godine odvesti iz zgrade za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja hlađenja zgrade.

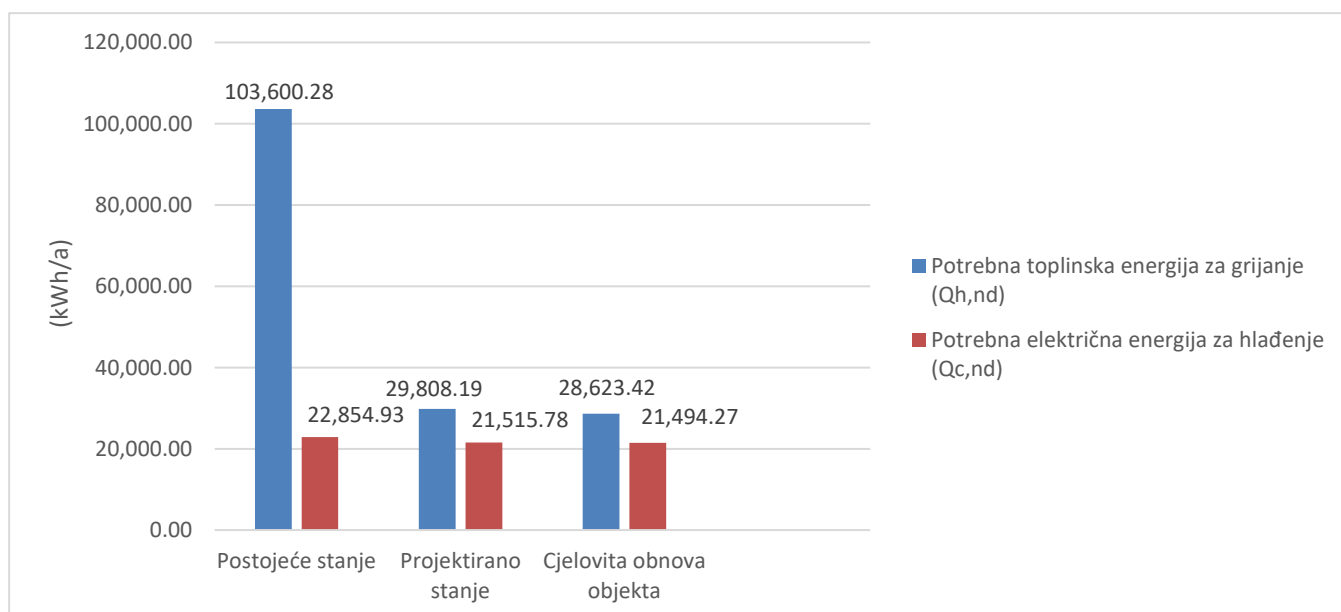
Analizom dvaju povijesnih objekata dobiveni su rezultati o godišnjoj potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje za tri različita stupnja toplinske zaštite. Zatečena stanja oba objekta sadržavaju velike razlike u iznosima potrebne energije za grijanje i energije za hlađenje. Dijagram 6 i 7 prikazuju smanjenje vrijednosti godišnje potrebne energije za grijanje projektiranog stanja objekta prema smjernicama konzervatora s obzirom na zatečeno stanje objekta. Za prvi povijesni objekat, muzej Mimare, projektirana ušteda energije za grijanje iznosi čak 78% dok je za drugi povijesni objekat, Maškovića han ta vrijednost nešto manja i ona iznosi 71,5%. Značajno manja potreba za energijom kod projektiranog stanja u odnosu na zatečeno stanje objekta proizlazi iz činjenice što je postojeća vanjska ovojnica objekta slabo ili nikako izolirana te se zbog toga ostvaruju veliki toplinski gubici. Pokazatelj dobrih energetskih svojstava zgrade je kada su potrebna energija za grijanje i hlađenje otprilike jednake.

U cjelovitoj obnovi muzeja, odnos potrebne energije za grijanje i hlađenje razlikuje se zbog toga što je koeficijent prolaska topline cijelog otvora smanjen sa $2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ na $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Transmisijski toplinski gubici i toplinski gubici provjetranjem iznose do 35% ukupnih gubitaka toplinske energije pa je činjenica da se uz smanjenje koeficijenta prolaska topline cijelog otvora smanjuje i potreba za grijanjem. Potrebna energija za hlađenje se nije značajno smanjila jer je konzervatorskom odlukom zabranjena upotreba vanjske zaštite od sunčevog zračenja već je samo

dopuštena unutarnja zaštita zavjesama. Kod Maškovića Hana, odnos potrebne energije za grijanje i energije za hlađenje nije velik iz razloga što je na dijelu prozora osigurana zaštita od sunca drvenim škurama.



Dijagram 6: Potrebna godišnja energija za grijanje/hlađenje, muzej Mimara



Dijagram 7: Potrebna godišnja energija za grijanje/hlađenje, Maškovića Han

6. ZAKLJUČAK

Održiva budućnost u zgradarstvu za cilj ima povećati broj energetski učinkovitih zgrada i na taj način pozitivno djelovati na smanjenje potrošnje energije i suzbijanje proizvodnje štetnih plinova, naročito CO₂. Stambene i nestambene zgrade su na vrhu ljestvice potrošača ukupne potrošnje energije u Hrvatskoj. Primjenom niza energetskih rješenja tijekom energetskih obnova postojećih zgrada cilj je zadovoljiti kriterij stanja zgrade gotovo nulte energije. Specifičnost zgrada kategoriziranih kao zaštićeno kulturno dobro očituje se ispunjenjem kriterija energetske učinkovitosti u skladu sa definiranim zakonom i propisima o zaštiti kulturne baštine. Poštivanjem i primjenom konzervatorskih smjernica nastoji se ne mijenjati arhitektonske karakteristike koje zgrada posjeduje i očuvati njen izvorni izgled.

Aproksimativnim proračunom analizirana su tri stanja dva objekta kategorizirani kao zaštićeno kulturno dobro. Analiza zatečenog stanja objekta provodi se na temelju podataka koji su dobiveni mjerenjima na licu mjesta. Projektirano stanje objekta se razlikuje od zatečenog stanja prema ulaznim podacima građevnih dijelova, gdje je u slojevima dodana minimalna potrebna toplinska izolacija prema smjernicama konzervatora. Treće stanje objekta, tkzv. cjelovita obnova objekta ima jednake slojeve građevnih dijelova kao i projektirano stanje objekta ali se razlikuje po korigiranom koeficijentu prolaska topline kod ostakljenja koji izlazi van okvira preporučenih konzervatorskih smjernica. U analizi se uzima jedan građevni dio za svaki element zgrade zbog detaljnijeg prikaza pozitivnog učinka povećanja toplinske izolacije i ugradnje otvora s poboljšanim koeficijentom prolaska topline na konačne rezultate.

Potrebna godišnja energija za grijanje u cjelovitoj obnovi muzeja Mimare s obzirom na projektirano stanje je smanjena za 55%, dok je energija za hlađenje smanjena za 20%. Veliki udio ostakljenja na objektu značajno utječe na toplinske gubitke kroz vanjsku ovojnicu stoga je za uštedu energije neophodno postavljanje vanjske stolarije s visokim standardom kvalitete i njena stručna ugradnja. Nesrazmjer potrebne energije za grijanjem u odnosu na hlađenje uvjetuje ograničavanje postavljanja zaštite od sunca na otvorima pa je shodno tome u ljetnom razdoblju znakovit gubitak topline za hlađenje.

Usporedbom analiza projektiranog stanja prema smjernicama konzervatora i stanja cjelovite obnove Maškovića Hana, ukupna godišnja potrebna energija za grijanje se smanjila za 4% dok se energija za hlađenje smanjila za manje od 1%. Glavni razlog je projektirani nadograđeni dio Hana koji čini većinu cjelokupnog kompleksa izgrađen s novom vanjskom stolarijom s izuzetno povoljnim koeficijentom prolaska topline kroz otvor. Na taj način se novogradnja razlikuje od

izvorne gradnje, a zahtjevi konzervatora su usklađeni sa suvremenim načinom gradnje. Također, skoro svi otvori imaju zaštitu od sunca s unutarnje ili vanjske strane što povoljno utječe na cjelokupnu uštedu energije.

Na temelju iznesenoga može se zaključiti kako bi bilo dobro kategorizirati objekte prema vremenu i načinu njihove gradnje te na osnovu toga odrediti koji postupak i u kojoj mjeri primijeniti kako bi adekvatno i ekonomično spriječili toplinske gubitke u zakvim objektima i na taj način smanjili količinu utrošene energije prilikom njenog korištenja.

Literatura

- [1] Energetska učinkovitost u zgradarstvu, HEP toplinarstvo d.o.o., Zagreb, 2007.
- [2] Internetski izvor: <https://www.ra-igra.hr/odrziva-gradnja/>
- [3] Priručnik za energetske savjetnike, Poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj, 2008.
- [4] Energija u Hrvatskoj 2022, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske, Zagreb, 2023.
- [5] Program energetske obnove zgrada koje imaju status kulturnog dobra za razdoblje do 2030. godine, Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine, 2021.
- [6] Vodič kroz energetske efikasne gradnje, Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Zagreb 2005.
- [7] Preporuke za primjenu mjera energetske učinkovitosti na graditeljskoj baštini, Ministarstvo kulture
- [8] Standardi i kriteriji za izradu konzervatorskih podloga za kulturnopovijesne cjeline gradskih obilježja, Ministarstvo kulture i medija
- [9] Internetski izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Toplinska_izolacija_zgrada
- [10] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama ("Narodne novine" broj 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, 102/20), ThoriumSoftware d.o.o., 2020.
- [11] Metodologija provođenja energetskog pregleda građevina, Zagreb, 2014.
- [12] Muzej Mimara, Povijest gradnje, valorizacija i prijedlog konzervatorskih smjernica, Institut za povijest umjetnosti, Zagreb, 2021.
- [13] Izvještaj o istražnim radovima provedenim na javnoj ustanovi zbirke umjetnina Ante i Wiltrude Topić Mimara, Muzej Mimara, Trg F. Roosevelta 5, 10 000 Zagreb“, Geoexpert- I.G.M. d.o.o., Zagreb, 2021.
- [14] Građevinski projekt- projekt racionalne uporabe energije i toplinske zaštite“, M.L. Projekt d.o.o., Split, 2022.
- [15] Izvješće o provedenom energetskom pregledu građevine“, Plavo za pet d.o.o., Zagreb, 2023.
- [16] Internetski izvor: <https://www.maskovicahan.hr/hr>
- [17] Internetski izvor: <https://tockanai.hr/biznis/turizam/maskovica-han-4569/>
- [18] Internetski izvor: <https://internova.hr/maskovica-han/>
- [19] Glavni projekt- projekt fizike zgrade, M.L. Projekt d.o.o., Split, 2011.
- [20] Internetski izvor: <https://www.bitpromet.hr/web/mapei-sustavi-i-rjesenja-za-protupotresna-ojavanja/338/>
- [21] Računalni program KI EXPERT PLUS (v.7.11.4.0), Knauf Insulation d.o.o.
- [22] Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2017.

Prilog- Proračun po zonama za zatečeno stanje muzeja Mimare

Namjena zgrade i podjela u toplinske zone

| Zgrada | |
|---------------------------------|-------------------|
| Namjena zgrade | Nestambena zgrada |
| Podjela zgrade u toplinske zone | da |

| Toplinska zona 1 | | |
|---|--|-------|
| Naziv zone | Zona 1 -kuhinja i restoran | |
| Namjena zone | Nestambeni dio | |
| Vrsta zgrade | Ostale nestambene zgrade | |
| Vrsta prostora | Ostalo (ručni unos) | |
| Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja | $\Theta_{int,set,H}$ [°C] | 20,00 |
| Unutarnja projektna temperatura u sezoni hlađenja | $\Theta_{int,set,C}$ [°C] | 24,00 |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade | $\Theta_{e,mj,max}$ [°C] | 22,70 |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade | $\Theta_{e,mj,min}$ [°C] | 2,20 |
| Srednja godišnja vlažnost zraka izvan zone | φ_e [%] | 69,00 |
| Relativna unutarnja vlažnost zraka | φ_i [%] | 50,00 |
| Vrijeme rada sustava | Kuhinje | |
| Period korištenja sustava za grijanje/hlađenje | 10:00 - 23:00 | |
| Period korištenja sustava za mehaničku ventilaciju | 10:00 - 23:00 | |
| Broj dana korištenja sustava grijanja/hlađenja u tjednu | $d_{use,tj}$ [dan/tj] | 6,00 |
| Broj sati rada sustava grijanja/hlađenja | t_d [h] | 15,00 |
| Broj sati korištenja prostora za mehaničku ventilaciju | t_{kor} [h] | 13,00 |
| Broj sati rada sustava mehaničke ventilacije/klimatizacije | $t_{v,mech}$ [h] | 15,00 |
| Minimalno potrebni protok vanjskog zraka po jedinici površine | V_A [m ³ /m ² h] | 90,00 |

| Toplinska zona 2 | | |
|---|---|-------|
| Naziv zone | Zona 2-multimedijски centar | |
| Namjena zone | Nestambeni dio | |
| Vrsta zgrade | Ostale nestambene zgrade | |
| Vrsta prostora | Ostalo (ručni unos) | |
| Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja | $\Theta_{int,set,H}$ [°C] | 20,00 |
| Unutarnja projektna temperatura u sezoni hlađenja | $\Theta_{int,set,C}$ [°C] | 24,00 |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade | $\Theta_{e,mj,max}$ [°C] | 22,70 |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade | $\Theta_{e,mj,min}$ [°C] | 2,20 |
| Srednja godišnja vlažnost zraka izvan zone | φ_e [%] | 69,00 |
| Relativna unutarnja vlažnost zraka | φ_i [%] | 50,00 |
| Vrijeme rada sustava | Kongresni centri | |
| Period korištenja sustava za grijanje/hlađenje | 09:00 - 18:00 | |
| Period korištenja sustava za mehaničku ventilaciju | 09:00 - 18:00 | |
| Broj dana korištenja sustava grijanja/hlađenja u tjednu | $d_{use,tj}$ [dan/tj] | 3,00 |
| Broj sati rada sustava grijanja/hlađenja | t_d [h] | 11,00 |
| Broj sati korištenja prostora za mehaničku ventilaciju | t_{kor} [h] | 9,00 |
| Broj sati rada sustava mehaničke ventilacije/klimatizacije | $t_{v,mech}$ [h] | 11,00 |
| Minimalno potrebni protok vanjskog zraka po jedinici površine | V_A [m ³ /m ²] | 7,00 |

| Toplinska zona 3 | | |
|---|---|-------|
| Naziv zone | Zona 3-uredi potkrovlja | |
| Namjena zone | Nestambeni dio | |
| Vrsta zgrade | Ostale nestambene zgrade | |
| Vrsta prostora | Ostalo (ručni unos) | |
| Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja | $\Theta_{int,set,H}$ [°C] | 20,00 |
| Unutarnja projektna temperatura u sezoni hlađenja | $\Theta_{int,set,C}$ [°C] | 24,00 |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade | $\Theta_{e,mj,max}$ [°C] | 22,70 |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade | $\Theta_{e,mj,min}$ [°C] | 2,20 |
| Srednja godišnja vlažnost zraka izvan zone | φ_e [%] | 69,00 |
| Relativna unutarnja vlažnost zraka | φ_i [%] | 50,00 |
| Vrijeme rada sustava | Uredske, administrativne i | |
| Period korištenja sustava za grijanje/hlađenje | 07:00 - 18:00 | |
| Period korištenja sustava za mehaničku ventilaciju | 07:00 - 18:00 | |
| Broj dana korištenja sustava grijanja/hlađenja u tjednu | $d_{use,tj}$ [dan/tj] | 5,00 |
| Broj sati rada sustava grijanja/hlađenja | t_d [h] | 13,00 |
| Broj sati korištenja prostora za mehaničku ventilaciju | t_{kor} [h] | 11,00 |
| Broj sati rada sustava mehaničke ventilacije/klimatizacije | $t_{v,mech}$ [h] | 13,00 |
| Minimalno potrebni protok vanjskog zraka po jedinici površine | V_A [m ³ /m ²] | 4,00 |

| Toplinska zona 4 | | |
|---|---|-------|
| Naziv zone | Zona 4-podrum | |
| Namjena zone | Nestambeni dio | |
| Vrsta zgrade | Ostale nestambene zgrade | |
| Vrsta prostora | Ostalo (ručni unos) | |
| Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja | $\Theta_{int,set,H}$ [°C] | 20,00 |
| Unutarnja projektna temperatura u sezoni hlađenja | $\Theta_{int,set,C}$ [°C] | 26,00 |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade | $\Theta_{e,mj,max}$ [°C] | 22,70 |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade | $\Theta_{e,mj,min}$ [°C] | 2,20 |
| Srednja godišnja vlažnost zraka izvan zone | φ_e [%] | 69,00 |
| Relativna unutarnja vlažnost zraka | φ_i [%] | 50,00 |
| Vrijeme rada sustava | Spremišta opreme, arhive | |
| Period korištenja sustava za grijanje/hlađenje | 07:00 - 18:00 | |
| Period korištenja sustava za mehaničku ventilaciju | 07:00 - 18:00 | |
| Broj dana korištenja sustava grijanja/hlađenja u tjednu | $d_{use,tj}$ [dan/tj] | 5,00 |
| Broj sati rada sustava grijanja/hlađenja | t_d [h] | 13,00 |
| Broj sati korištenja prostora za mehaničku ventilaciju | t_{kor} [h] | 11,00 |
| Broj sati rada sustava mehaničke ventilacije/klimatizacije | $t_{v,mech}$ [h] | 13,00 |
| Minimalno potrebni protok vanjskog zraka po jedinici površine | V_A [m ³ /m ²] | 0,15 |

| Toplinska zona 5 | | |
|---|---|-------|
| Naziv zone | Zona 5-izložbeni prostori | |
| Namjena zone | Nestambeni dio | |
| Vrsta zgrade | Ostale nestambene zgrade | |
| Vrsta prostora | Ostalo (ručni unos) | |
| Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja | $\Theta_{int,set,H}$ [°C] | 20,00 |
| Unutarnja projektna temperatura u sezoni hlađenja | $\Theta_{int,set,C}$ [°C] | 24,00 |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade | $\Theta_{e,mj,max}$ [°C] | 22,70 |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade | $\Theta_{e,mj,min}$ [°C] | 2,20 |
| Srednja godišnja vlažnost zraka izvan zone | φ_e [%] | 69,00 |
| Relativna unutarnja vlažnost zraka | φ_i [%] | 50,00 |
| Vrijeme rada sustava | Muzeji | |
| Period korištenja sustava za grijanje/hlađenje | 00:00 - 24:00 | |
| Period korištenja sustava za mehaničku ventilaciju | 00:00 - 24:00 | |
| Broj dana korištenja sustava grijanja/hlađenja u tjednu | $d_{use,tj}$ [dan/tj] | 7,00 |
| Broj sati rada sustava grijanja/hlađenja | t_d [h] | 24,00 |
| Broj sati korištenja prostora za mehaničku ventilaciju | t_{kor} [h] | 24,00 |
| Broj sati rada sustava mehaničke ventilacije/klimatizacije | $t_{v,mech}$ [h] | 24,00 |
| Minimalno potrebni protok vanjskog zraka po jedinici površine | V_A [m ³ /m ²] | 4,00 |

ZONA 1- KUHINJA I RESTORAN

| Uvjet | Status |
|------------------------------------|-----------------------|
| Koeficijenti prolaska topline | NE ZADOVOLJAVA |
| Difuzija | ZADOVOLJAVA |
| Dinamičke toplinske karakteristike | NE ZADOVOLJAVA |
| Korisna energija | ZADOVOLJAVA |
| Primarna energija | ZADOVOLJAVA |

Geometrijske karakteristike zgrade

| Potrebni podaci | Zona 1 |
|--|--------|
| Oplošje grijanog dijela zgrade – $A [m^2]$ | 596,46 |
| Obujam grijanog dijela zgrade – $V_e [m^3]$ | 895,30 |
| Obujam grijanog zraka – $V [m^3]$ | 680,43 |
| Faktor oblika zgrade - $f_0 [m^{-1}]$ | 0,67 |
| Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade – A_K | 165,56 |
| Proračunska korisna površina grijanog dijela zgrade – | 165,56 |
| Ukupna ploština pročelja – $A_{uk} [m^2]$ | 219,96 |
| Ukupna ploština prozora – $A_{wuk} [m^2]$ | 18,96 |

Građevni dijelovi zgrade, slojevi i obrada

1.3.2.1 Vanjski zidovi 1 - Z-04: Vanjski zid – podruma iznad terena

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | $\mu [-]$ | sd [m] | $\rho [kg/m^3]$ |
|--------------------------------|--------------------------|---------|-----------|-----------|--------|-----------------|
| 1 | 3.02 Vapnena žbuka | 3,000 | 0,800 | 10,00 | 0,30 | 1600,00 |
| 2 | 1.02 Puna opeka od gline | 100,000 | 0,680 | 7,00 | 7,00 | 1600,00 |
| 3 | 3.02 Vapnena žbuka | 3,000 | 0,800 | 10,00 | 0,30 | 1600,00 |
| Definirane ploštine [m^2]: | | | | Istok | 56,60 | |

1.3.2.2 Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 1 - Zu^* unutarnji zid između grijanih prostora

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | $\mu [-]$ | sd [m] | $\rho [kg/m^3]$ |
|--------------------------------|--------------------------|--------|-----------|-----------|--------|-----------------|
| 1 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| 2 | 1.02 Puna opeka od gline | 60,000 | 0,680 | 7,00 | 4,20 | 1600,00 |
| 3 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| Definirana ploština [m^2]: | | | | | 231,69 | |

1.3.2.3 Stropovi između grijanih dijelova različitih korisnika 1 - MK-17: Podest servisnog stubišta

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|---|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | 3.19 Cementni estrih | 5,500 | 1,600 | 50,00 | 2,75 | 2000,00 |
| 2 | PE - folija (pričvršćena metalnim spojnicama) | 0,020 | 0,600 | 54000,00 | 10,80 | 980,00 |
| 3 | 7.02 Ekspandirani polistiren | 3,000 | 0,037 | 60,00 | 1,80 | 21,00 |
| 4 | 2.01 Armirani beton | 10,000 | 2,600 | 110,00 | 11,00 | 2500,00 |
| 5 | 1.11 Šuplji blokovi od gline | 20,000 | 0,390 | 5,00 | 1,00 | 800,00 |
| 6 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | 30,06 | |

1.3.2.4 Stropovi između grijanih dijelova različitih korisnika 2 - MK-14: Pod caffe bara – postojeće stanje

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|------------------------------|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | 4.04 Kamene ploče | 3,000 | 2,800 | 170,00 | 5,10 | 2500,00 |
| 2 | 3.18 Cementni mort | 2,000 | 1,600 | 25,00 | 0,50 | 2000,00 |
| 3 | 3.19 Cementni estrih | 4,500 | 1,600 | 50,00 | 2,25 | 2000,00 |
| 4 | PVC folija | 0,020 | 0,200 | 42000,00 | 8,40 | 1200,00 |
| 5 | 7.02 Ekspandirani polistiren | 2,000 | 0,037 | 60,00 | 1,20 | 21,00 |
| 6 | 2.01 Armirani beton | 15,000 | 2,600 | 110,00 | 16,50 | 2500,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | 93,62 | |

1.3.2.5 Podovi na tlu 1 - P-04 Pod na tlu – sanitarije osoblja, kuhinja

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|---|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | 3.19 Cementni estrih | 5,000 | 1,600 | 50,00 | 2,50 | 2000,00 |
| 2 | PE - folija (pričvršćena metalnim spojnicama) | 0,020 | 0,600 | 54000,00 | 10,80 | 980,00 |
| 3 | 7.02 Ekspandirani polistiren | 2,000 | 0,037 | 60,00 | 1,20 | 21,00 |
| 4 | 7.03 Ekstrudirana polistir. | 6,000 | 0,033 | 80,00 | 4,80 | 28,00 |
| 5 | PE - folija (pričvršćena metalnim spojnicama) | 0,020 | 0,600 | 54000,00 | 10,80 | 980,00 |
| 6 | 2.01 Armirani beton | 10,000 | 2,600 | 110,00 | 11,00 | 2500,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | 21,13 | |

1.3.2.6 Ravni krovovi iznad grijanog prostora 1 - K-04:Ravni krov restorana i multimedijalnog prostora

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | u [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|---|--------|-----------|------------|--------|-----------------------------|
| 1 | 2.01 Armirani beton | 16,000 | 2,600 | 110,00 | 17,60 | 2500,00 |
| 2 | 2.06 Beton s laganim | 4,000 | 1,350 | 100,00 | 4,00 | 2000,00 |
| 3 | Bitumenska traka s uloškom | 0,400 | 160,000 | 3000000,00 | 400,00 | 1600,00 |
| 4 | PE - folija (pričvršćena metalnim spojnicama) | 0,020 | 0,600 | 54000,00 | 10,80 | 980,00 |
| 5 | 7.03 Ekstrudirana polistir. | 12,000 | 0,033 | 80,00 | 9,60 | 28,00 |
| 6 | Geotekstil 150-200 g/m ² | 0,300 | 0,200 | 1000,00 | 3,00 | 900,00 |
| 7 | 5.10 Polim. hidro. traka na bazi FPO/TPO | 0,200 | 0,260 | 90000,00 | 180,00 | 1600,00 |
| 8 | Zvučno-izolacijska membrana "ETHAFOAM" | 0,500 | 0,040 | 150,00 | 0,75 | 33,00 |
| 9 | 3.19 Cementni estrih | 7,000 | 1,600 | 50,00 | 3,50 | 2000,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | 144,40 | |

Otvori (prozirni i neprozirni elementi) zgrade

| Naziv otvora | U _w [W/m ²] | Orientacija | A _w [m ²] | n |
|----------------|------------------------------------|-------------|----------------------------------|------|
| pr 1(1.13x2,8) | 1,40 | Istok | 3,16 | 6,00 |

Proračun građevnih dijelova zgrade

| Naziv građevnog dijela | A [m ²] | U [W/m ² K] | U _{max} [W/m ² K ⁻¹] | OK |
|--|---------------------|------------------------|--|----|
| Z-04: Vanjski zid – podruma iznad terena | 56,60 | 0,58 | 0,30 | ✘ |
| Zu*_unutarnji zid između grijanih prostora | 231,69 | 0,84 | - | ✔ |
| MK-17: Podest servisnog stubišta | 30,06 | 0,59 | 0,60 | ✔ |
| MK-14:Pod caffe bara – postojeće stanje | 93,62 | 1,09 | - | ✔ |
| P-04 Pod na tlu – sanitarije osoblja, kuhinja | 21,13 | 0,38 | 0,40 | ✔ |
| K-04:Ravni krov restorana i multimedijalnog prostora | 144,40 | 0,25 | 0,25 | ✔ |

ZONA 2 – MULTIMEDIJSKI CENTAR

| Uvjet | Status |
|------------------------------------|-----------------------|
| Koeficijenti prolaska topline | NE ZADOVOLJAVA |
| Difuzija | ZADOVOLJAVA |
| Dinamičke toplinske karakteristike | NE ZADOVOLJAVA |
| Korisna energija | ZADOVOLJAVA |
| Primarna energija | ZADOVOLJAVA |

Geometrijske karakteristike zgrade

| Potrebni podaci | Zona 2 |
|--|--------|
| Oplošje grijanog dijela zgrade – $A [m^2]$ | 844,47 |
| Obujam grijanog dijela zgrade – $V_e [m^3]$ | 666,15 |
| Obujam grijanog zraka – $V [m^3]$ | 506,27 |
| Faktor oblika zgrade - $f_0 [m^{-1}]$ | 1,27 |
| Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade – A | 111,30 |
| Proračunska korisna površina grijanog dijela zgrade | 111,30 |
| Ukupna ploština pročelja – $A_{uk} [m^2]$ | 185,27 |
| Ukupna ploština prozora – $A_{wuk} [m^2]$ | 18,96 |

Građevni dijelovi zgrade, slojevi i obrada

Vanjski zidovi 1 - Z-04: Vanjski zid – podruma iznad terena

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | $\mu [-]$ | sd [m] | $\rho [kg/m^3]$ |
|--------------------------------|--------------------------|---------|-----------|-----------|--------|-----------------|
| 1 | 3.02 Vapnena žbuka | 3,000 | 0,800 | 10,00 | 0,30 | 1600,00 |
| 2 | 1.02 Puna opeka od gline | 100,000 | 0,680 | 7,00 | 7,00 | 1600,00 |
| 3 | 3.02 Vapnena žbuka | 3,000 | 0,800 | 10,00 | 0,30 | 1600,00 |
| | | | | | | |
| Definirane ploštine [m^2]: | | | | Zapad | 36,96 | |

Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 1 - Zu*_unutarnji zid između grijanih prostora

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | $\mu [-]$ | sd [m] | $\rho [kg/m^3]$ |
|--------------------------------|--------------------------|--------|-----------|-----------|--------|-----------------|
| 1 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| 2 | 1.02 Puna opeka od gline | 60,000 | 0,680 | 7,00 | 4,20 | 1600,00 |
| 3 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| | | | | | | |
| Definirana ploština [m^2]: | | | | | 545,90 | |

Stropovi između grijanih dijelova različitih korisnika 1 - MK-13: Pod multimedijalne dvorane – postojeće stanje

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|---|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | Tepih | 2,500 | 0,060 | 5,00 | 0,13 | 200,00 |
| 2 | 3.19 Cementni estrih | 4,500 | 1,600 | 50,00 | 2,25 | 2000,00 |
| 3 | PE - folija (pričvršćena metalnim spoinicama) | 0,020 | 0,600 | 54000,00 | 10,80 | 980,00 |
| 4 | 7.02 Ekspandirani polistiren | 2,000 | 0,037 | 60,00 | 1,20 | 21,00 |
| 5 | 2.01 Armirani beton | 15,000 | 2,600 | 110,00 | 16,50 | 2500,00 |
| 6 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | 113,30 | |

Ravni krovovi iznad grijanog prostora 1 - K-04: Ravni krov restorana i multimedijalnog prostora

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|---|--------|-----------|------------|--------|-----------------------------|
| 1 | 2.01 Armirani beton | 16,000 | 2,600 | 110,00 | 17,60 | 2500,00 |
| 2 | 2.06 Beton s laganim | 4,000 | 1,350 | 100,00 | 4,00 | 2000,00 |
| 3 | Bitumenska traka s uloškom | 0,400 | 160,000 | 3000000,00 | 400,00 | 1600,00 |
| 4 | PE - folija (pričvršćena metalnim spoinicama) | 0,020 | 0,600 | 54000,00 | 10,80 | 980,00 |
| 5 | 7.03 Ekstrudirana polistir. | 12,000 | 0,033 | 80,00 | 9,60 | 28,00 |
| 6 | Geotekstil 150-200 g/m ² | 0,300 | 0,200 | 1000,00 | 3,00 | 900,00 |
| 7 | 5.10 Polim. hidro. traka na bazi FPO/TPO | 0,200 | 0,260 | 90000,00 | 180,00 | 1600,00 |
| 8 | Zvučno-izolacijska membrana "ETHAFOAM" | 0,500 | 0,040 | 150,00 | 0,75 | 33,00 |
| 9 | 3.19 Cementni estrih | 7,000 | 1,600 | 50,00 | 3,50 | 2000,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | 129,35 | |

Otvori (prozirni i neprozirni elementi) zgrade

| Naziv otvora | Uw [W/m ² K] | Orientacija | Aw [m ²] | n |
|----------------|-------------------------|-------------|----------------------|------|
| pr1 (1.13x2.8) | 1,40 | Istok | 3,16 | 6,00 |

Proračun građevnih dijelova zgrade

| Naziv građevnog dijela | A [m ²] | U [W/m ² K] | U _{max} [W/m ² K] | OK |
|---|---------------------|------------------------|---------------------------------------|----|
| Z-04: Vanjski zid – podruma iznad terena | 36,96 | 0,58 | 0,30 | ✘ |
| Zu*_unutarnji zid između grijanih prostora | 545,90 | 0,84 | - | ✔ |
| MK-13: Pod multimedijalne dvorane – postojeće stanje | 113,30 | 0,75 | - | ✔ |
| K-04: Ravni krov restorana i multimedijalnog prostora | 129,35 | 0,25 | 0,25 | ✔ |

ZONA 3 – UREDI POTKROVLJA

| Uvjet | Status |
|------------------------------------|-------------|
| Koeficijenti prolaska topline | ZADOVOLJAVA |
| Difuzija | ZADOVOLJAVA |
| Dinamičke toplinske karakteristike | ZADOVOLJAVA |
| Korisna energija | ZADOVOLJAVA |
| Primarna energija | ZADOVOLJAVA |

Geometrijske karakteristike zgrade

| Potrebni podaci | Zona 3 |
|--|---------|
| Oplošje grijanog dijela zgrade – A [m^2] | 961,49 |
| Obujam grijanog dijela zgrade – V_e [m^3] | 1760,90 |
| Obujam grijanog zraka – V [m^3] | 1338,28 |
| Faktor oblika zgrade - f_0 [m^{-1}] | 0,55 |
| Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade – A_K | 318,22 |
| Proračunska korisna površina grijanog dijela zgrade – | 318,22 |
| Ukupna ploština pročelja – A_{uk} [m^2] | 450,67 |
| Ukupna ploština prozora – A_{wuk} [m^2] | 0,00 |

Građevni dijelovi zgrade, slojevi i obrada

Vanjski zidovi 1 - Z-10.1: Vanjski zid – potkrovlje

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | u [-] | sd [m] | ρ [kg/m^3] |
|--------------------------------|---|--------|-----------|----------|--------|---------------------|
| 1 | 4.01 Gipskartonske ploče | 2,500 | 0,250 | 8,00 | 0,20 | 900,00 |
| 2 | PE - folija (pričvršćena metalnim spojnica) | 0,020 | 0,600 | 54000,00 | 10,80 | 980,00 |
| 3 | 7.01 Mineralna vuna (MW) | 10,000 | 0,034 | 1,00 | 0,10 | 25,00 |
| 4 | 2.01 Armirani beton | 20,000 | 2,600 | 110,00 | 22,00 | 2500,00 |
| 5 | 1.02 Puna opeka od gline | 75,000 | 0,680 | 7,00 | 5,25 | 1600,00 |
| 6 | 3.02 Vapnena žbuka | 3,000 | 0,800 | 10,00 | 0,30 | 1600,00 |
| Definirane ploštine [m^2]: | | | | Istok | | 6,82 |
| | | | | Zapad | | 8,14 |
| | | | | Jug | | 57,71 |

Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 1 - Z-11 Unutarnji zid tavan

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | u [-] | sd [m] | ρ [kg/m^3] |
|--------------------------------|------------------------------|--------|-----------|-------|--------|---------------------|
| 1 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| 2 | 1.08 Šuplji blokovi od gline | 30,000 | 0,480 | 10,00 | 3,00 | 1100,00 |
| 3 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| Definirana ploština [m^2]: | | | | | | 96,30 |

Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 2 - Z-15:Novi lagani pregradni zid, d=15 cm, protupožarni

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|--|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | Knauf protupožarna gips-kartonska ploča tip DF | 2,500 | 0,230 | 4,00 | 0,10 | 800,00 |
| 2 | 7.01 Mineralna vuna (MW) | 10,000 | 0,034 | 1,00 | 0,10 | 25,00 |
| 3 | Knauf protupožarna gips-kartonska ploča tip DF | 2,500 | 0,230 | 4,00 | 0,10 | 800,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | | 96,30 |

Stropovi između grijanih dijelova različitih korisnika 1 - MK-05: Pod potkrovlja iznad dvorane II. kata

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|--|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | Parket | 2,200 | 0,150 | 60,00 | 1,32 | 550,00 |
| 2 | 4.09 Drvene ploče od usmierenog iveria (OSB) | 2,400 | 0,130 | 50,00 | 1,20 | 650,00 |
| 3 | Zvučno-izolacijska membrana "ETHAFOAM" | 0,500 | 0,040 | 150,00 | 0,75 | 33,00 |
| 4 | 4.06 Drvo - tvrdo - | 6,000 | 0,180 | 200,00 | 12,00 | 700,00 |
| 5 | Neprovjetran sloj zraka | 65,000 | - | 1,00 | 0,01 | - |
| 6 | 2.01 Armirani beton | 16,000 | 2,600 | 110,00 | 17,60 | 2500,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | | 318,22 |

Kosi krovovi iznad grijanog prostora 1 - K-01:Kosi krov (dvostruki pokrov od vlakno-cementnih ploča)

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|--|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | Knauf protupožarna gips-kartonska ploča tip DF | 2,000 | 0,230 | 4,00 | 0,08 | 800,00 |
| 2 | PE - folija (pričvršćena metalnim spoinicama) | 0,020 | 0,600 | 54000,00 | 10,80 | 980,00 |
| 3 | 7.01 Mineralna vuna (MW) | 16,000 | 0,034 | 1,00 | 0,16 | 25,00 |
| 4 | Paropropusna pričuvna | 0,200 | 0,200 | 1000,00 | 2,00 | 900,00 |
| Definirane ploštine [m ²]: | | | | Siever | 189,00 | |
| | | | | Jug | 189,00 | |

Otvori (prozirni i neprozirni elementi) zgrade

Nema definiranih otvora!

Proračun građevnih dijelova zgrade

| Naziv građevnog dijela | A [m ²] | U [W/m ² K] | U _{max} [W/m ² K] | OK |
|---|---------------------|------------------------|---------------------------------------|----|
| Z-10.1: Vanjski zid – potkrovlje | 72,67 | 0,23 | 0,30 | ✓ |
| Z-11 Unutarnji zid tavan | 96,30 | 1,07 | - | ✓ |
| Z-15: Novi lagani pregradni zid, d=15 cm, protupožarni | 96,30 | 0,29 | 0,60 | ✓ |
| MK-05: Pod potkrovlja iznad dvorane II. kata | 318,22 | 0,74 | - | ✓ |
| K-01: Kosi krov (dvostruki pokrov od vlakno- cementnih ploča) | 378,00 | 0,20 | 0,25 | ✓ |

ZONA 4 - PODRUM

| Uvjet | Status |
|------------------------------------|-----------------------|
| Koeficijenti prolaska topline | NE ZADOVOLJAVA |
| Difuzija | ZADOVOLJAVA |
| Dinamičke toplinske karakteristike | NE ZADOVOLJAVA |
| Korisna energija | ZADOVOLJAVA |
| Primarna energija | ZADOVOLJAVA |

Geometrijske karakteristike zgrade

| Potrebni podaci | Zona 4 |
|---|---------|
| Oplošje grijanog dijela zgrade – A [m ²] | 5645,37 |
| Obujam grijanog dijela zgrade – V _e [m ³] | 8480,99 |
| Obujam grijanog zraka – V [m ³] | 6445,55 |
| Faktor oblika zgrade - f ₀ [m ⁻¹] | 0,67 |
| Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade – A _K | 1971,90 |
| Proračunska korisna površina grijanog dijela zgrade – | 1971,90 |
| Ukupna ploština pročelja – A _{uk} [m ²] | 797,12 |
| Ukupna ploština prozora – A _{wuk} [m ²] | 47,61 |

Građevni dijelovi zgrade, slojevi i obrada

Vanjski zidovi 1 - Z-04: Vanjski zid – podruma iznad terena

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | u [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|--------------------------|---------|-------|--------|--------|------------------------|
| 1 | 3.02 Vapnena žbuka | 3,000 | 0,800 | 10,00 | 0,30 | 1600,00 |
| 2 | 1.02 Puna opeka od gline | 100,000 | 0,680 | 7,00 | 7,00 | 1600,00 |
| 3 | 3.02 Vapnena žbuka | 3,000 | 0,800 | 10,00 | 0,30 | 1600,00 |
| | | | | | | |
| Definirane ploštine [m ²]: | | | | Istok | 49,25 | |
| | | | | Siever | 101,54 | |
| | | | | Zapad | 84,52 | |
| | | | | Jug | 225,80 | |

Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 1 - Zu*_unutarnji zid između grijanih prostora

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | u [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|--------------------------|--------|-------|-------|--------|------------------------|
| 1 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| 2 | 1.02 Puna opeka od gline | 60,000 | 0,680 | 7,00 | 4,20 | 1600,00 |
| 3 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| | | | | | | |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | 527,92 | |

Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 2 - zona 1 - 4 : Zu* _unutarnji zid između grijanih prostora

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|--------------------------|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| 2 | 1.02 Puna opeka od gline | 60,000 | 0,680 | 7,00 | 4,20 | 1600,00 |
| 3 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | | 21,08 |

Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 3 - zona 4-5 : Zu* _unutarnji zid između grijanih prostora

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|--------------------------|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| 2 | 1.02 Puna opeka od gline | 60,000 | 0,680 | 7,00 | 4,20 | 1600,00 |
| 3 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | | 158,44 |

Zidovi prema tlu 1 - Z-05:Vanjski zid – podruma u terenu

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|-----------------------------|---------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| 2 | 1.01 Puna opeka od gline | 100,000 | 0,810 | 10,00 | 10,00 | 1800,00 |
| 3 | Tekući hidroizolacijski | 0,300 | 0,250 | 6000,00 | 18,00 | 1200,00 |
| 4 | 7.03 Ekstrudirana polistir. | 10,000 | 0,033 | 80,00 | 8,00 | 28,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | | 485,43 |

Stropovi između grijanih dijelova različitih korisnika 1 - MK-09-MK-12:Podovi izložbenih prostora prizemlja i kata

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|----------------------|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | Parket | 2,200 | 0,150 | 60,00 | 1,32 | 550,00 |
| 2 | 3.19 Cementni estrih | 3,500 | 1,600 | 50,00 | 1,75 | 2000,00 |
| 3 | 2.01 Armirani beton | 8,000 | 2,600 | 110,00 | 8,80 | 2500,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | | 1683,50 |

Podovi na tlu 1 - P-01-P0-4:Pod na tlu u -podrum

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | u [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|---|--------|-----------|----------|---------|-----------------------------|
| 1 | 3.19 Cementni estrih | 5,000 | 1,600 | 50,00 | 2,50 | 2000,00 |
| 2 | PE - folija (pričvršćena metalnim spojnicama) | 0,020 | 0,600 | 54000,00 | 10,80 | 980,00 |
| 3 | 7.02 Ekspandirani polistiren | 2,000 | 0,037 | 60,00 | 1,20 | 21,00 |
| 4 | 7.03 Ekstrudirana polistir. | 6,000 | 0,033 | 80,00 | 4,80 | 28,00 |
| 5 | PE - folija (pričvršćena metalnim spojnicama) | 0,020 | 0,600 | 54000,00 | 10,80 | 980,00 |
| 6 | 2.01 Armirani beton | 10,000 | 2,600 | 110,00 | 11,00 | 2500,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | 1971,88 | |

Ravni krovovi iznad grijanog prostora 1 - K-07:Ravni krov - prohodni - Krov nad servisnim hodnikom

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | u [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|---|--------|-----------|------------|--------|-----------------------------|
| 1 | 2.01 Armirani beton | 16,000 | 2,600 | 110,00 | 17,60 | 2500,00 |
| 2 | 2.06 Beton s laganim | 4,000 | 1,350 | 100,00 | 4,00 | 2000,00 |
| 3 | Bitumenska traka s uloškom | 0,400 | 160,000 | 3000000,00 | 400,00 | 1600,00 |
| 4 | PE - folija (pričvršćena metalnim spojnicama) | 0,020 | 0,600 | 54000,00 | 10,80 | 980,00 |
| 5 | 7.03 Ekstrudirana polistir. | 12,000 | 0,033 | 80,00 | 9,60 | 28,00 |
| 6 | Geotekstil 150-200 g/m ² | 0,300 | 0,200 | 1000,00 | 3,00 | 900,00 |
| 7 | 5.10 Polim. hidro. traka na bazi FPO/TPO | 0,200 | 0,260 | 90000,00 | 180,00 | 1600,00 |
| 8 | Zvučno-izolacijska membrana "ETHAFOAM" | 0,500 | 0,040 | 150,00 | 0,75 | 33,00 |
| 9 | 3.19 Cementni estrih | 7,000 | 1,600 | 50,00 | 3,50 | 2000,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | 288,40 | |

Otvori (prozirni i neprozirni elementi) zgrade

| Naziv otvora | Uw [W/m ² K] | Orientacija | Aw [m ²] | n |
|---------------|-------------------------|-------------|----------------------|-------|
| pr1 (0,9x0,9) | 1,40 | Istok | 0,81 | 1,00 |
| | 1,40 | Zapad | 0,81 | 2,00 |
| | 1,40 | Sjever | 0,81 | 18,00 |
| | 1,40 | Jug | 0,81 | 30,00 |
| pr2 (0,7x0,9) | 1,40 | Istok | 0,63 | 2,00 |
| | 1,40 | Zapad | 0,63 | 2,00 |
| pr3 (0,9x2.1) | 1,40 | Sjever | 1,89 | 2,00 |

Proračun građevnih dijelova zgrade

| Naziv građevnog dijela | A [m ²] | U [W/m ² K] | U _{max} [W/m ² K] | OK |
|---|---------------------|------------------------|---------------------------------------|----|
| Z-04: Vanjski zid – podruma iznad terena | 461,11 | 0,58 | 0,30 | ✘ |
| Zu*_unutarnji zid između grijanih prostora | 527,92 | 0,84 | - | ✔ |
| zona 1 - 4 : Zu*_unutarnji zid između grijanih prostora | 21,08 | 0,84 | - | ✔ |
| zona 4-5 : Zu*_unutarnji zid između grijanih prostora | 158,44 | 0,84 | - | ✔ |
| Z-05: Vanjski zid – podruma u terenu | 485,43 | 0,23 | 0,40 | ✔ |
| MK-09-MK-12: Podovi izložbenih prostora prizemlja i kata | 1683,50 | 2,13 | 0,60 | ✘ |
| P-01-P0-4: Pod na tlu u -podrum | 1971,88 | 0,38 | 0,40 | ✔ |
| K-07: Ravni krov - prohodni - Krov nad servisnim hodnikom | 288,40 | 0,25 | 0,25 | ✔ |

ZONA 5 – IZLOŽBENI PROSTORI

| Uvjet | Status |
|------------------------------------|-----------------------|
| Koeficijenti prolaska topline | NE ZADOVOLJAVA |
| Difuzija | ZADOVOLJAVA |
| Dinamičke toplinske karakteristike | NE ZADOVOLJAVA |
| Korisna energija | NE ZADOVOLJAVA |
| Primarna energija | ZADOVOLJAVA |

Geometrijske karakteristike zgrade

| Potrebni podaci | Zona 5 |
|--|----------|
| Oplošje grijanog dijela zgrade – $A [m^2]$ | 7320,06 |
| Obujam grijanog dijela zgrade – $V_e [m^3]$ | 45086,00 |
| Obujam grijanog zraka – $V [m^3]$ | 36068,80 |
| Faktor oblika zgrade - $f_0 [m^{-1}]$ | 0,16 |
| Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade – A_K | 5763,92 |
| Proračunska korisna površina grijanog dijela zgrade – | 5763,92 |
| Ukupna ploština pročelja – $A_{uk} [m^2]$ | 3542,78 |
| Ukupna ploština prozora – $A_{wuk} [m^2]$ | 700,77 |

Građevni dijelovi zgrade, slojevi i obrada

Vanjski zidovi 1 - Z-01: Vanjski zid Pr, I. i II. kata

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | $\mu [-]$ | sd [m] | $\rho [kg/m^3]$ |
|--------------------------------|--------------------------|--------|-----------|-----------|---------|-----------------|
| 1 | 3.03 Vapneno-cementna | 2,500 | 1,000 | 20,00 | 0,50 | 1800,00 |
| 2 | 1.02 Puna opeka od gline | 45,000 | 0,680 | 7,00 | 3,15 | 1600,00 |
| 3 | 3.02 Vapnena žbuka | 4,000 | 0,800 | 10,00 | 0,40 | 1600,00 |
| Definirane ploštine [m^2]: | | | | Istok | 257,56 | |
| | | | | Sjever | 1030,34 | |
| | | | | Zapad | 257,29 | |
| | | | | Jug | 1033,62 | |

Vanjski zidovi 2 - Z-03: Vanjski zid – istočno pročelje prizemlje (ulazni prostor, atrij)

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | $\mu [-]$ | sd [m] | $\rho [kg/m^3]$ |
|--------------------------------|--------------------------|--------|-----------|-----------|--------|-----------------|
| 1 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| 2 | 1.01 Puna opeka od gline | 80,000 | 0,810 | 10,00 | 8,00 | 1800,00 |
| 3 | 3.02 Vapnena žbuka | 3,000 | 0,800 | 10,00 | 0,30 | 1600,00 |
| Definirane ploštine [m^2]: | | | | Jug | 263,20 | |

Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 1 - zona 2-5 : Zu* _unutarnji zid između grijanih prostora

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|--------------------------|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| 2 | 1.02 Puna opeka od gline | 60,000 | 0,680 | 7,00 | 4,20 | 1600,00 |
| 3 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | | 197,90 |

Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika 2 - zona 1-5 : Zu* _unutarnji zid između grijanih prostora

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|--------------------------|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| 2 | 1.02 Puna opeka od gline | 60,000 | 0,680 | 7,00 | 4,20 | 1600,00 |
| 3 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | | 197,82 |

Zidovi prema tlu 1 - Z-05:Vanjski zid – podruma u terenu

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|-----------------------------|---------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | 3.02 Vapnena žbuka | 2,000 | 0,800 | 10,00 | 0,20 | 1600,00 |
| 2 | 1.01 Puna opeka od gline | 100,000 | 0,810 | 10,00 | 10,00 | 1800,00 |
| 3 | Tekući hidroizolacijski | 0,300 | 0,250 | 6000,00 | 18,00 | 1200,00 |
| 4 | 7.03 Ekstrudirana polistir. | 10,000 | 0,033 | 80,00 | 8,00 | 28,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | | 299,85 |

Stropovi između grijanih dijelova različitih korisnika 1 - MK-09-MK-12:Podovi izložbenih prostora prizemlja i kata

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|----------------------|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | Parquet | 2,800 | 0,150 | 60,00 | 1,68 | 550,00 |
| 2 | 3.19 Cementni estrih | 3,500 | 1,600 | 50,00 | 1,75 | 2000,00 |
| 3 | 2.01 Armirani beton | 8,000 | 2,600 | 110,00 | 8,80 | 2500,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | | 1499,23 |

Stropovi između grijanih dijelova različitih korisnika 2 - MK-01: Pod tavana (puni presjek) – POSTOJEĆE,

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|-----------------------------|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | 4.01 Gipskartonske ploče | 2,500 | 0,250 | 8,00 | 0,20 | 900,00 |
| 2 | 7.01 Mineralna vuna (MW) | 5,000 | 0,034 | 1,00 | 0,05 | 25,00 |
| 3 | 4.10 Drvene ploče od iverja | 2,500 | 0,100 | 50,00 | 1,25 | 300,00 |
| 4 | Neprovjetravan sloj zraka | 10,000 | - | 1,00 | 0,01 | - |
| 5 | 4.10 Drvene ploče od iverja | 2,400 | 0,100 | 50,00 | 1,20 | 300,00 |
| 6 | 2.01 Armirani beton | 16,000 | 2,600 | 110,00 | 17,60 | 2500,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | | 1204,96 |

Podovi na tlu 1 - P-01: Pod na tlu u hodnicima i izložbenim pr. poduma – javni dio

| R.b. | Materijal | d [cm] | λ | μ [-] | sd [m] | ρ [kg/m ³] |
|--|---|--------|-----------|-----------|--------|-----------------------------|
| 1 | 3.19 Cementni estrih | 5,000 | 1,600 | 50,00 | 2,50 | 2000,00 |
| 2 | PE - folija (pričvršćena metalnim spoinicama) | 0,020 | 0,600 | 54000,00 | 10,80 | 980,00 |
| 3 | 7.02 Ekspandirani polistiren | 2,000 | 0,037 | 60,00 | 1,20 | 21,00 |
| 4 | 7.03 Ekstrudirana polistir. | 6,000 | 0,033 | 80,00 | 4,80 | 28,00 |
| 5 | PE - folija (pričvršćena metalnim spoinicama) | 0,020 | 0,600 | 54000,00 | 10,80 | 980,00 |
| 6 | 2.01 Armirani beton | 10,000 | 2,600 | 110,00 | 11,00 | 2500,00 |
| Definirana ploština [m ²]: | | | | | | 377,52 |

Otvori (prozirni i neprozirni elementi) zgrade

| Naziv otvora | Uw [W/m ² K] | Orijentacija | Aw [m ²] | n |
|-----------------|-------------------------|--------------|----------------------|-------|
| pr1 (1.6x2.18) | 1,40 | Istok | 3,49 | 2,00 |
| | 1,40 | Zapad | 3,49 | 1,00 |
| | 1,40 | Jug | 3,49 | 90,00 |
| pr2(1.16x2.43) | 1,40 | Istok | 2,81 | 6,00 |
| | 1,40 | Zapad | 2,81 | 6,00 |
| | 1,40 | Sjever | 2,81 | 4,00 |
| | 1,40 | Jug | 2,81 | 4,00 |
| pr3(1.22x2.14) | 1,40 | Istok | 2,61 | 1,00 |
| | 1,40 | Zapad | 2,61 | 2,00 |
| | 1,40 | Sjever | 2,61 | 60,00 |
| pr4(1.05x2.04) | 1,40 | Sjever | 2,14 | 16,00 |
| pr6(0.89x2.12) | 1,40 | Istok | 1,88 | 2,00 |
| | 1,40 | Zapad | 1,88 | 2,00 |
| | 1,40 | Sjever | 1,88 | 12,00 |
| pr7(1.85x2.8) | 1,40 | Istok | 5,18 | 1,00 |
| pr8(1.6x2.18) | 1,40 | Istok | 3,49 | 14,00 |
| pr9(1.23x2.184) | 1,40 | Istok | 8,00 | 2,00 |
| VVr | 2,00 | Istok | 7,07 | 3,00 |

Proračun građevnih dijelova zgrade

| Naziv građevnog dijela | A [m ²] | U [W/m ² K] | U _{max} [W/m ² K] | OK |
|--|---------------------|------------------------|---------------------------------------|----|
| Z-01: Vanjski zid Pr, I. i II. kata | 2578,81 | 1,10 | 0,30 | ✘ |
| Z-03: Vanjski zid – istočno pročelje prizemlje (ulazni prostor, atrij) | 263,20 | 0,82 | 0,30 | ✘ |
| zona 2-5 : Zu*_unutarjni zid između grijanih prostora | 197,90 | 0,84 | - | ✔ |
| zona 1-5 : Zu*_unutarjni zid između grijanih prostora | 197,82 | 0,84 | - | ✔ |
| Z-05: Vanjski zid – podruma u terenu | 299,85 | 0,23 | 0,40 | ✔ |
| MK-09-MK-12: Podovi izložbenih prostora prizemlja i kata | 1499,23 | 1,96 | 0,60 | ✘ |
| MK-01: Pod tavana (puni presjek) – POSTOJEĆE | 1204,96 | 0,38 | 0,60 | ✔ |
| P-01: Pod na tlu u hodnicima i izložbenim pr. poduma – javni dio | 377,52 | 0,38 | 0,40 | ✔ |