

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:458669>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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

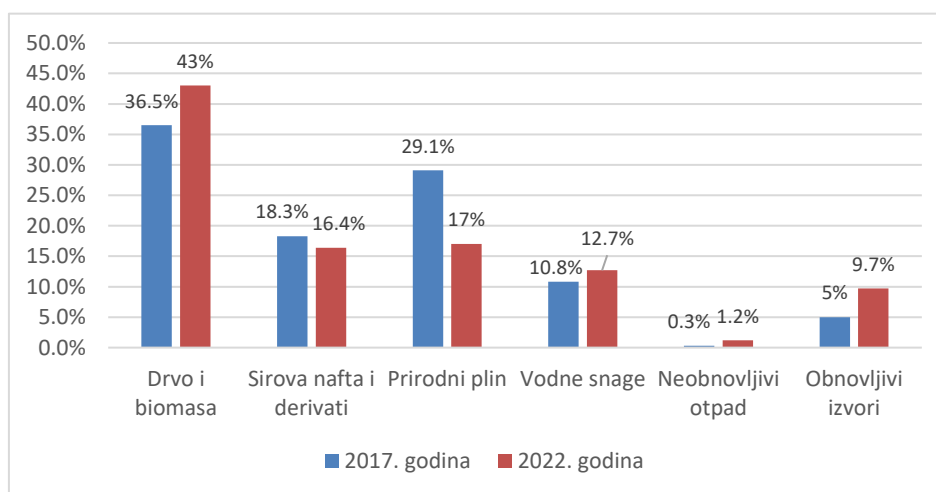
1.1 Energetska učinkovitosti u zgradarstvu

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.



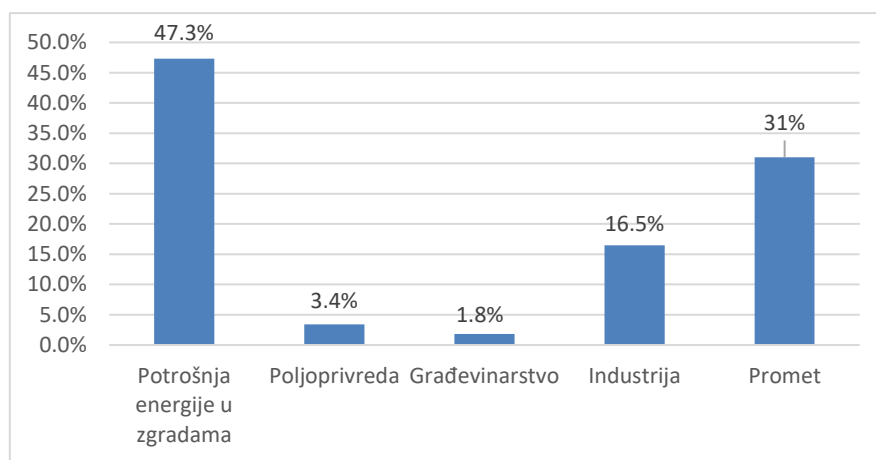
Slika 1: Udjeli u proizvodnji primarne energije u Hrvatskoj [4]

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].

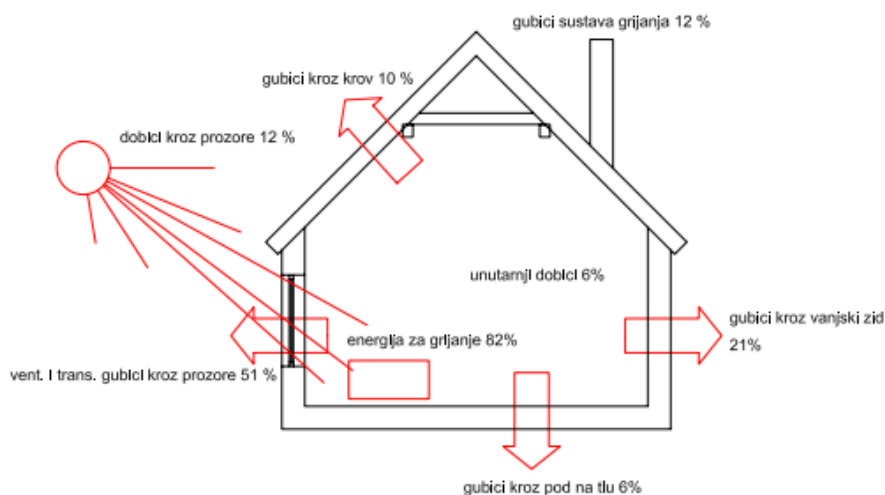


Slika 2: Udjeli ukupne potrošnje finalne energije za 2022. godinu u Hrvatskoj [4]

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.

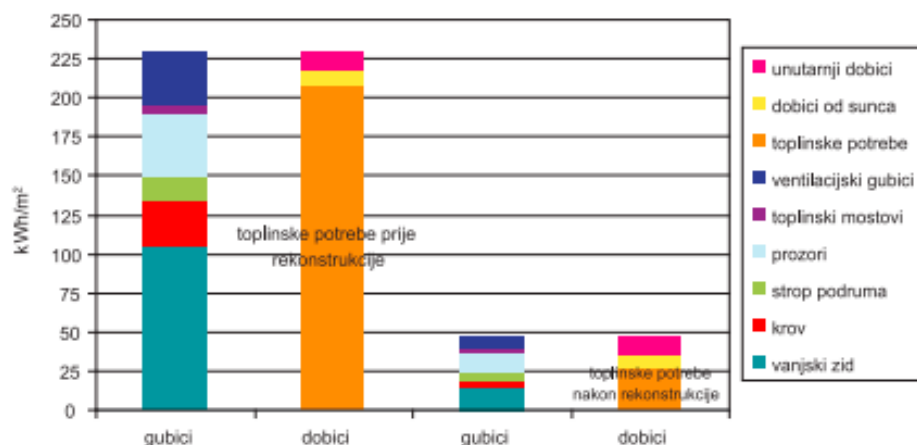
U prvom dijelu rada pokazan je proračun zatečenog stanja muzeja Mimare na temelju podataka koji su dobiveni mjerenjima na licu mjesta, a detaljan proračun se nalazi u Prilogu. Analiza objekta Maškovića Han provedena je isključivo aproksimativnim proračunom iz razloga što je izvorna struktura objekta 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]

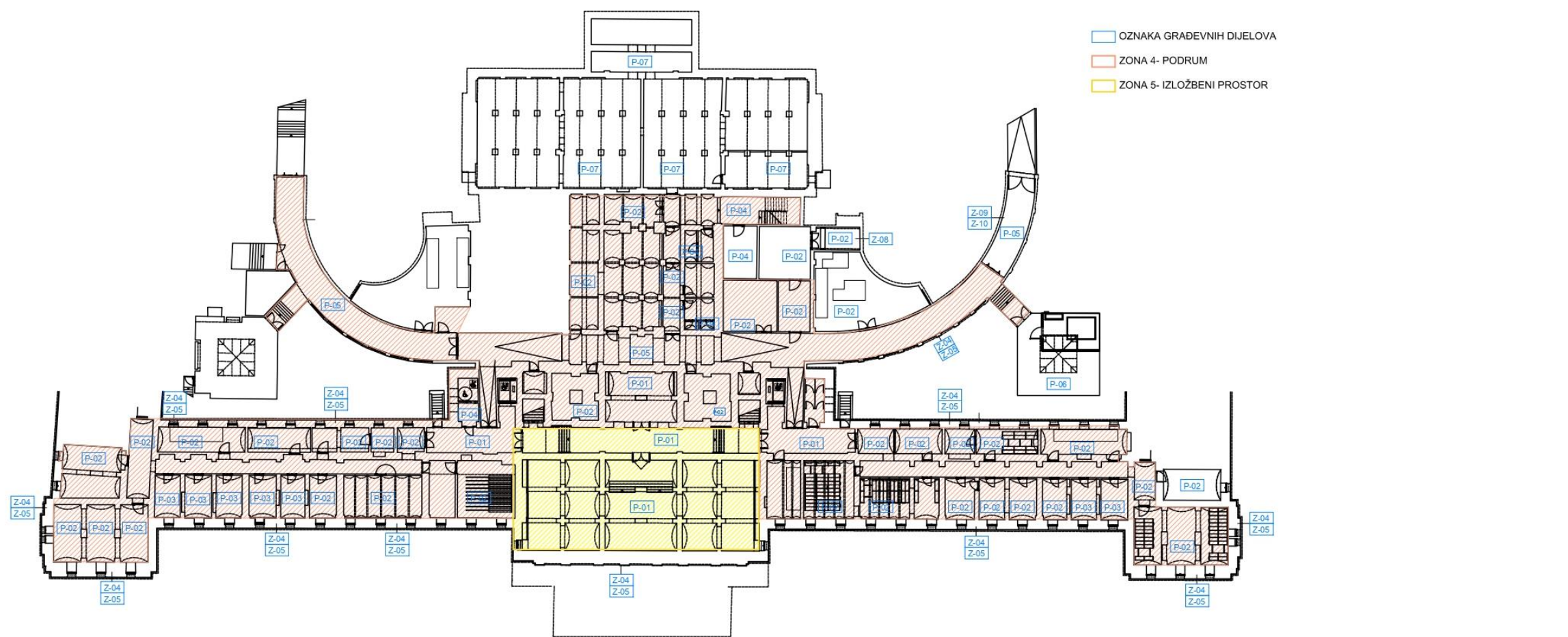
- otvaranje stropne konstrukcije i utvrđivanje vrste i rasporeda slojeva
- određivanje debljine i vrste zidova ručnim otvaranjem i bušenjem
- ručno otvaranje i utvrđivanje vrste i dimenzije nadvoja
- ručno otvaranje krovne konstrukcije, određivanje dimenzija i vrste materijala
- obrada dobivenih rezultata 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- SANITARIJUE 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 FRCM	1,0 cm
VANJSKA ŽBUKA	3,0 cm

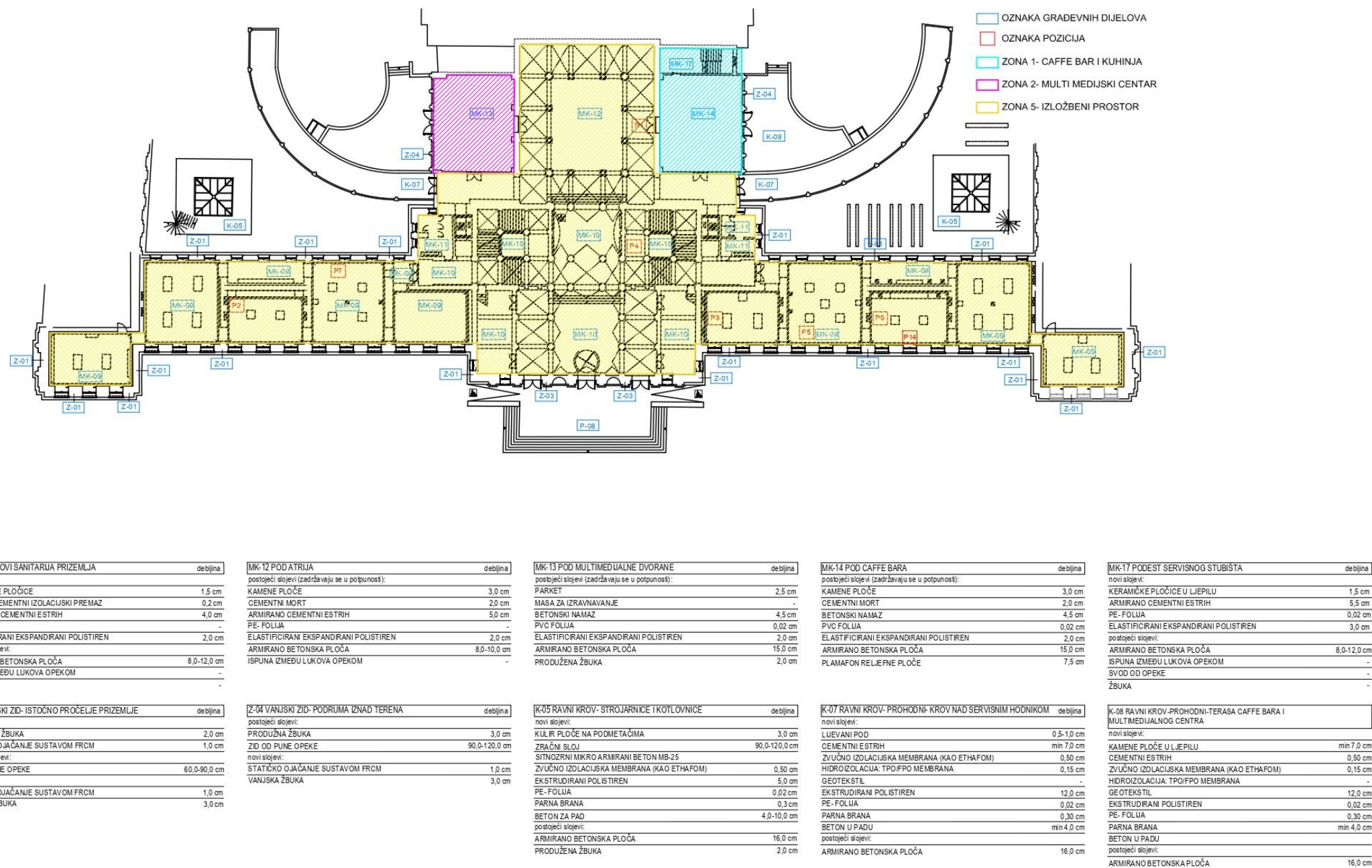
Z-05 VANJSKI ZID - PODRUMA IZNAD TERENA	debljina
postojeći slojevi:	
PRODUŽNA ŽBUKA	3,0 cm
ZID OD PUNE OPEKE	90-120,0 cm
novi slojevi:	
REPROFILACIJA ZIDANE POVRŠINE	-
HIDROIZOLACIJSKI PAROPROPUSNI PREMAZ	0,3 cm
EKSTRUDIRANI POLISTIREN (XPS)	min 10,0 cm
PERFORIRANE DRENAŽNE TRAKE SA ČEPIĆIMA	0,8 cm
DRENAŽNI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

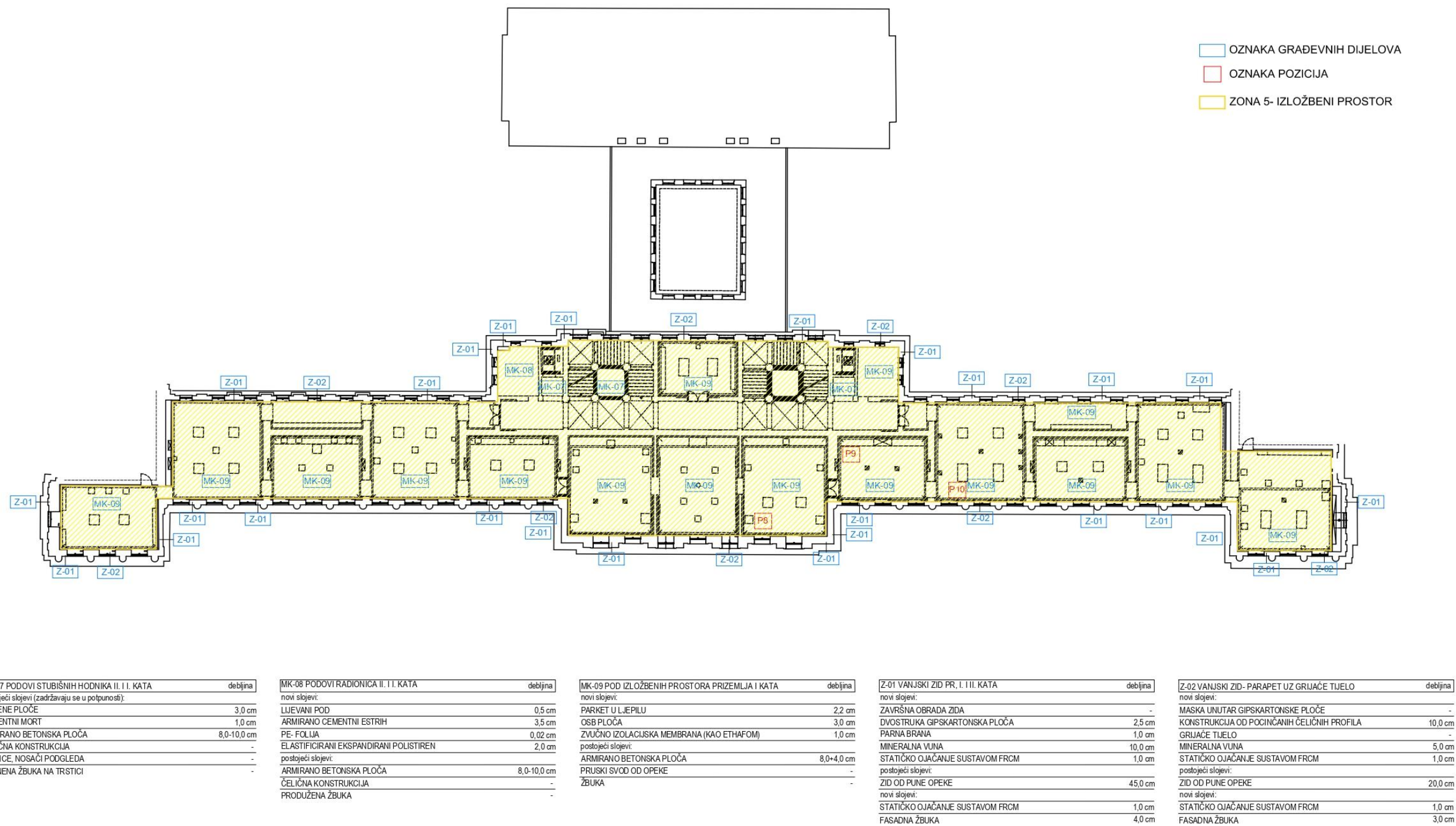
Z-09 VANJSKI ZID - SPOJ SERVISNOG HODNIKA- IZNAD TERENA	debljina
novi slojevi:	
ZAVRŠNA OBRADA	-
HIDROIZOLACIJA ZIDA CEMENTNIM PREMAZOM	-
STATIČKO OJAČANJE SA SUSTAVOM KARBONSKJE TKANINE	-
postojeći slojevi:	
ARMIRANO BETONSKI ZID	20,0 cm
OKIPOR PLOČE	5,0 cm
PUNA OPEKA	12,0 cm
PRODUŽNA ŽBUKA	3,0 cm

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

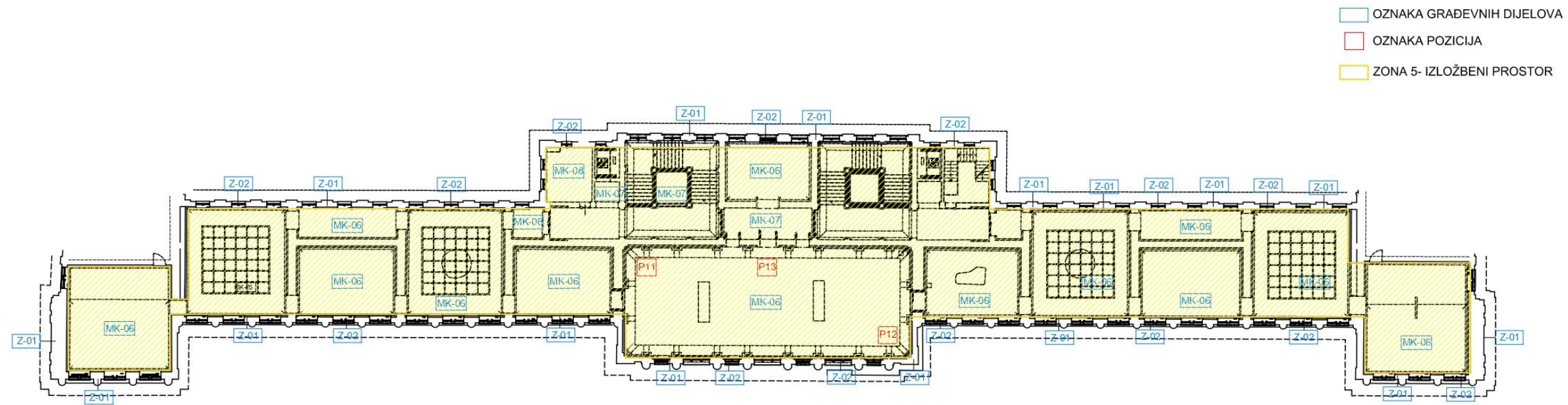
Slika 9: Tlocrt podruma muzeja s oznakama zona i pripadajućim građevnim dijelovima [13] te oznakama pozicija [14]



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:

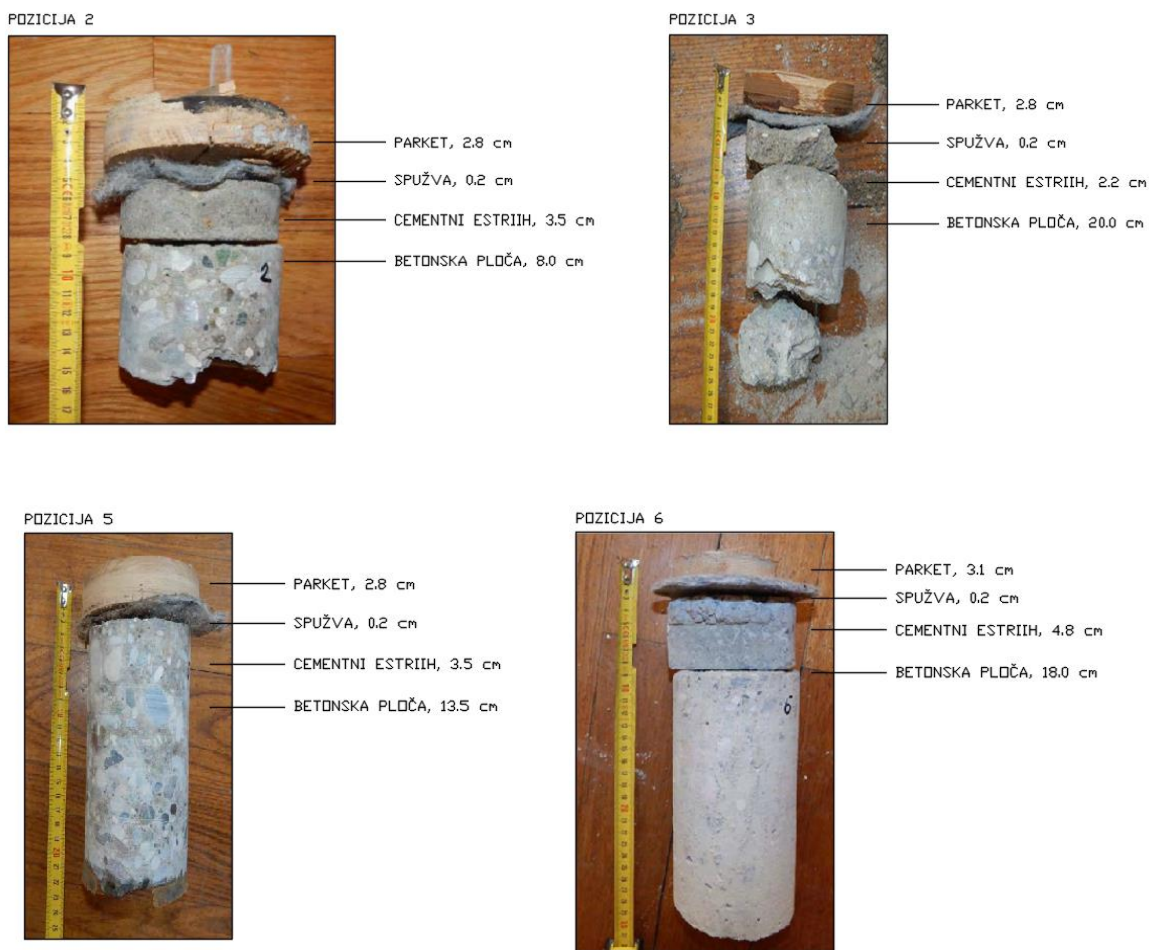
- kameni obluci, 16-32 mm ($\geq 5,0$ cm)
- HDPE čepasta membrana (0,8 cm)
- geotekstil 300 g/m²
- hidroizolacija, TPO/FPO membrana, dvostruko armirana, debljine min. 1.5 mm, slobodno položene i samo obodno mehanički pričvršćene (0,15 cm)
- geotekstil, poliesterski, 300 g/m²
- beton u padu, C20 ($\geq 5,0$ 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]

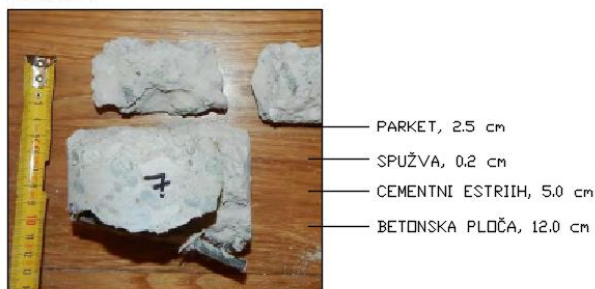
Pozicije 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 i 10

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.

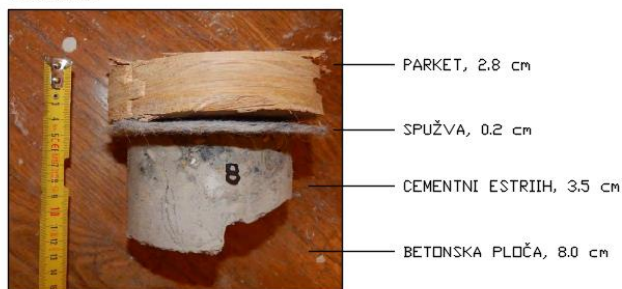


Slika 14: Fotografija uzoraka pozicija 2, 3, 5 i 6 s definiranim pripadajućim slojevima [13]

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.

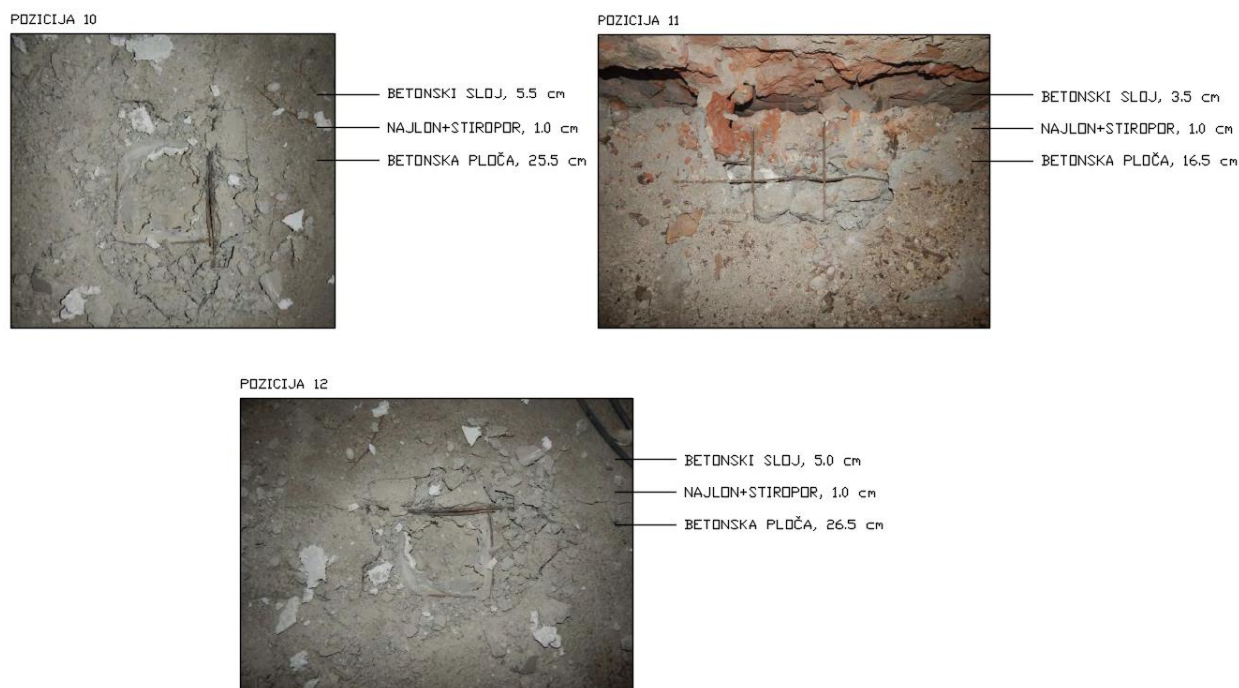
POZICIJA 4



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

Pozicije 11,12 i 13

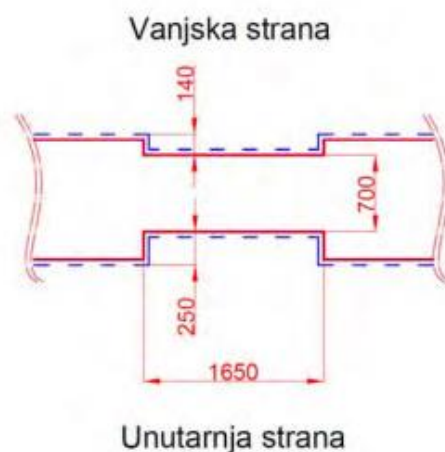
Jednak raspored slojeva s različitim dimenzijama visine pojavljuje se i na pozicijama stropova ispod izložbenog prostora drugog kata. Na slici 11 označene su pozicije ispitivanja te je iz njih vidljivo da je za sve navedene pozicije usvojen jedan građevni dio pod nazivom MK-06. Iznad armiranobetonske 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 spušenog 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

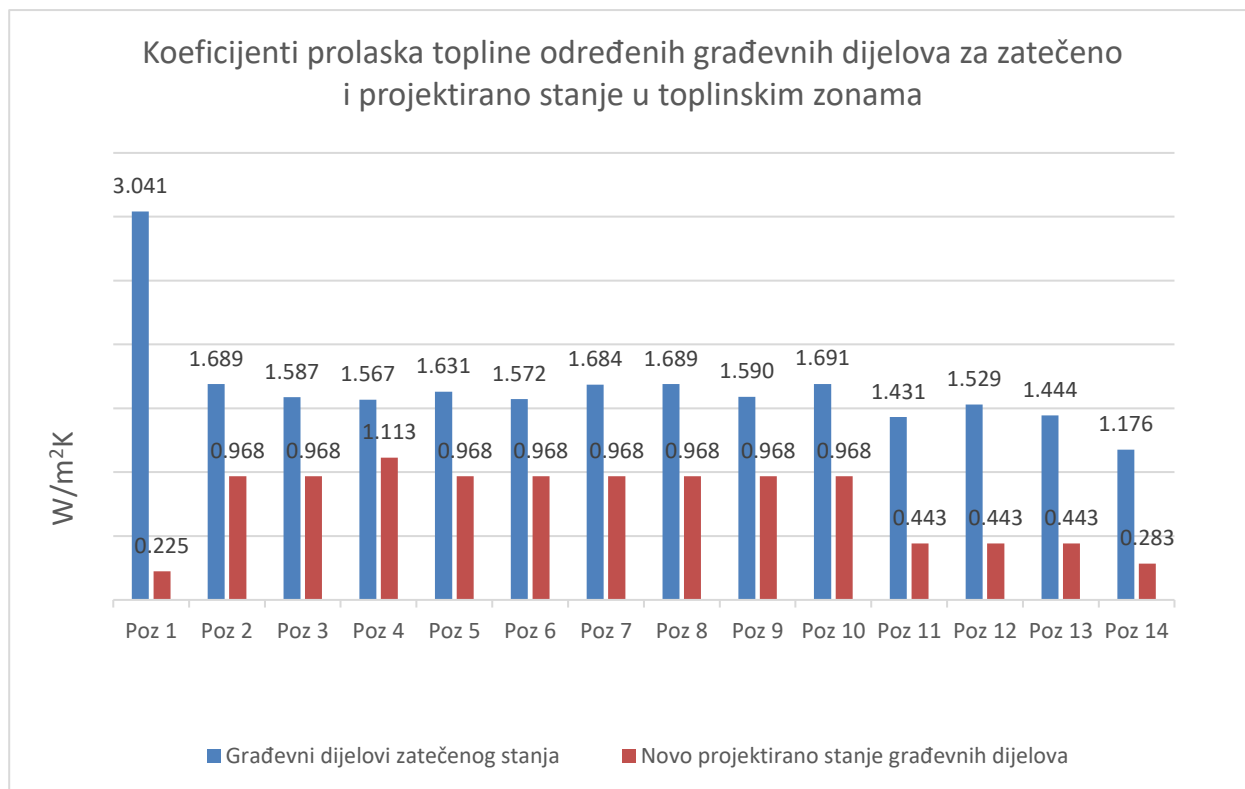
Pozicija 14 nalazi se na vanjskom fasadnom zidu sjeverne strane objekta u prizemlju, a na slici 9 predstavlja građevni dio pod nazivom Z-01. Bušenjem je utvrđeno da je zid zidan punom opekom, a s unutarnje i vanjske strane je obložen žbukom kako je prikazano na slici 16. Zadržava se postojeći zid od 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, krovnih prozora, prozirnih elemenata 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]

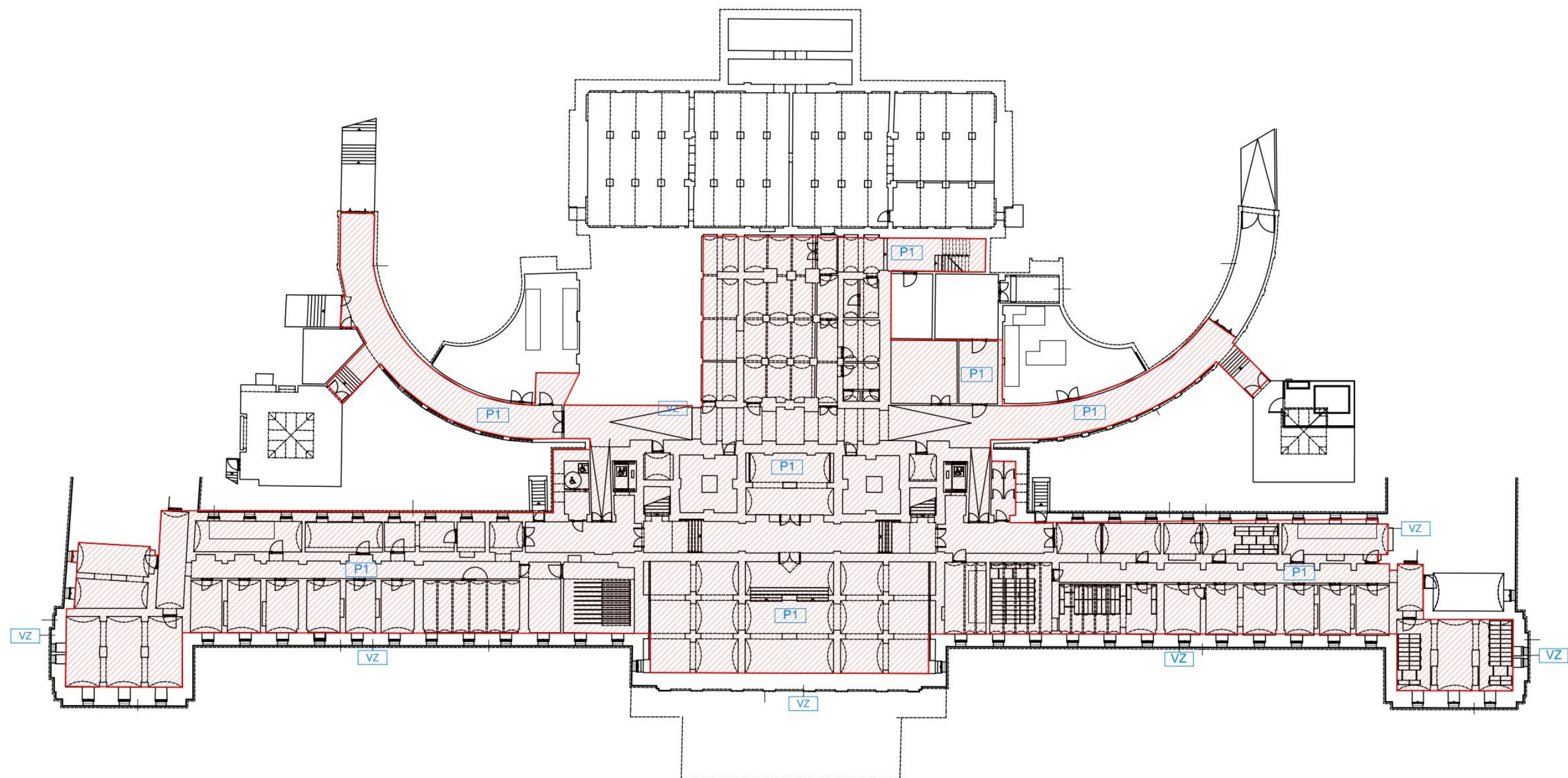
3.4 Opis građevnih dijelova uključenih u aproksimativnom proračunu

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).

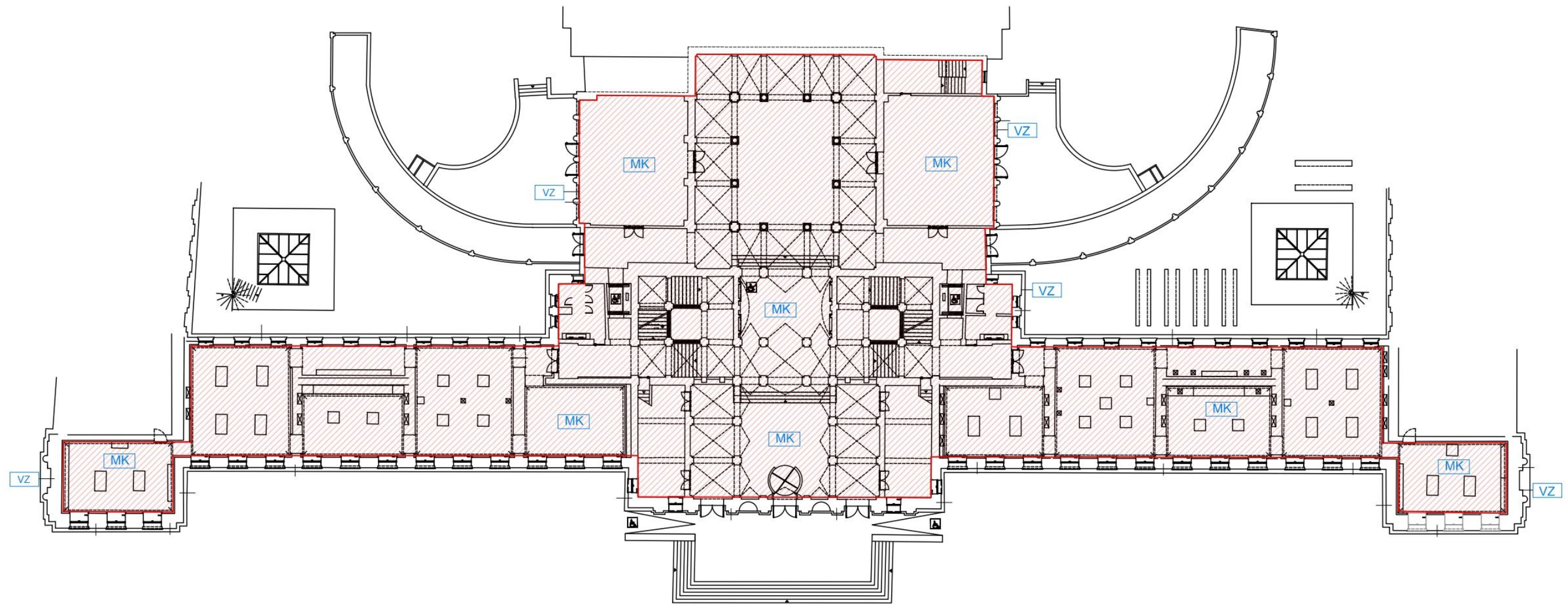
Podjela na toplinske zone se provodi za dijelove zgrade ako se razlikuju: [10]

- 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.

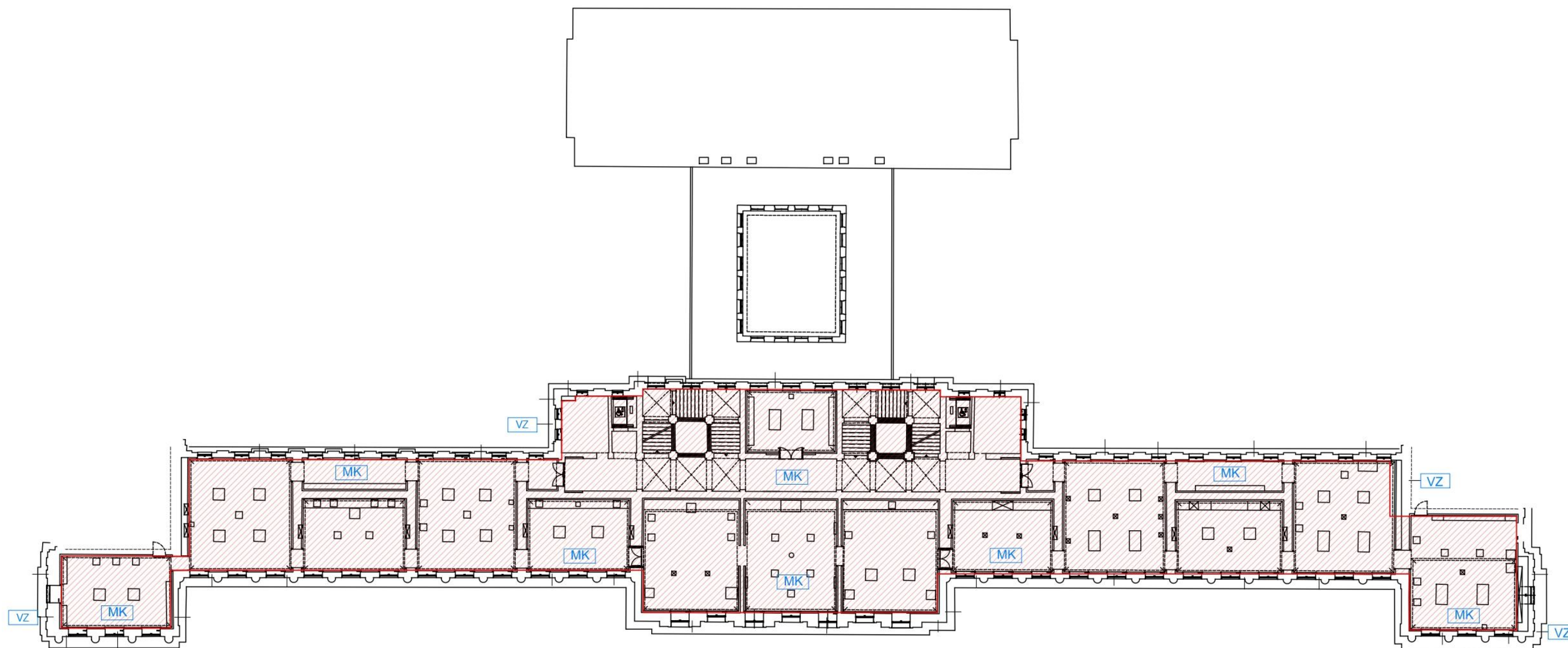
Na slikama 20, 21, 22 i 23, crvenom bojom su osjenčani tlocrti prizemlja, prvog i drugog kata koji se za proračun promatraju kao grijani prostori. Stvarno stanje zgrade sastoji se od više građevnih dijelova za pojedini element zgrade, ali je prilikom odabira slojeva građevnih dijelova, izabran građevni 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].



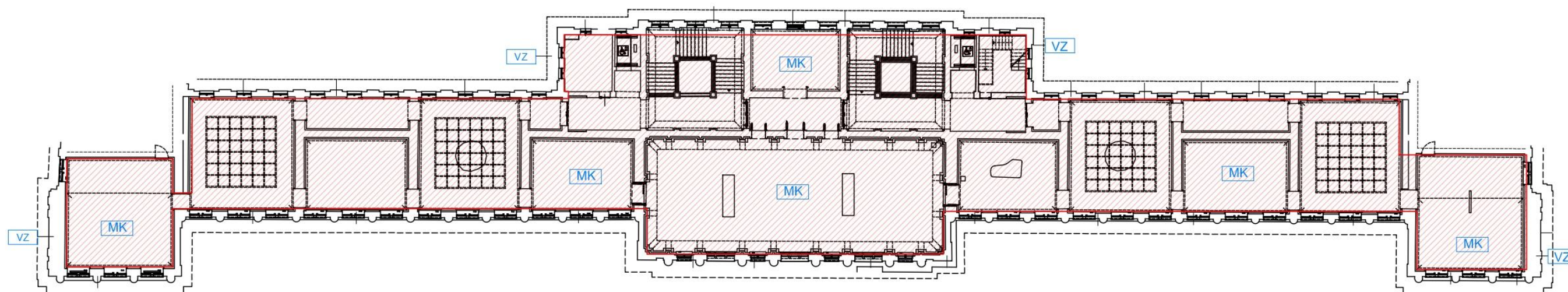
Slika 20: Tlocrt podruma muzeja s oznakama građevnih dijelova [14]



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

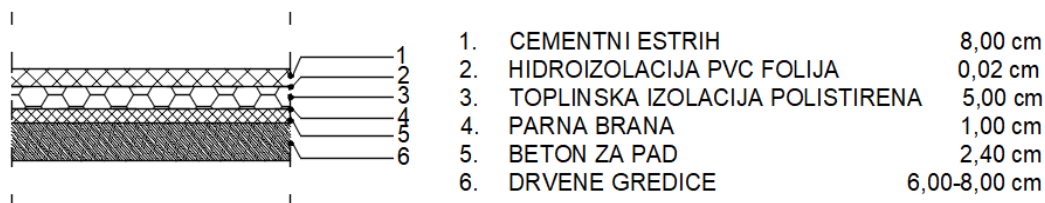
KK*	KOSI KROV-STAKLO	debljina
	Zatečeno stanje:	
-	IZO staklo u čeličnom okviru	cm
-	zračni prostor	-
-	podgled: mliječno staklo u čeličnom okviru kao spuštenu strop	cm

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

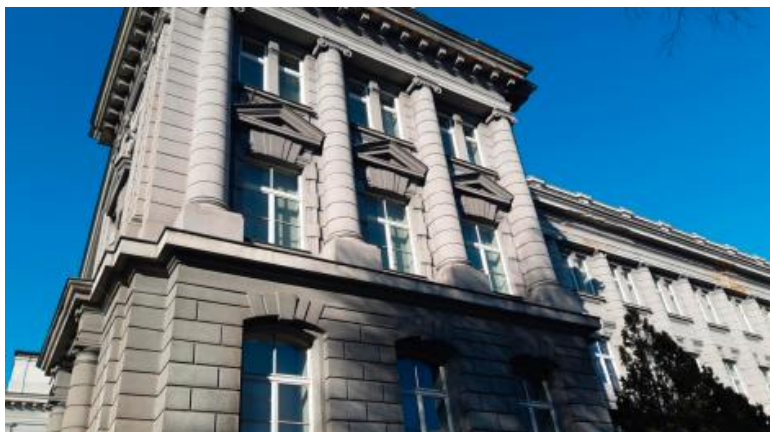


Slika 28: Ravni krov nad objektom za sanaciju [15]

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
	6	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.

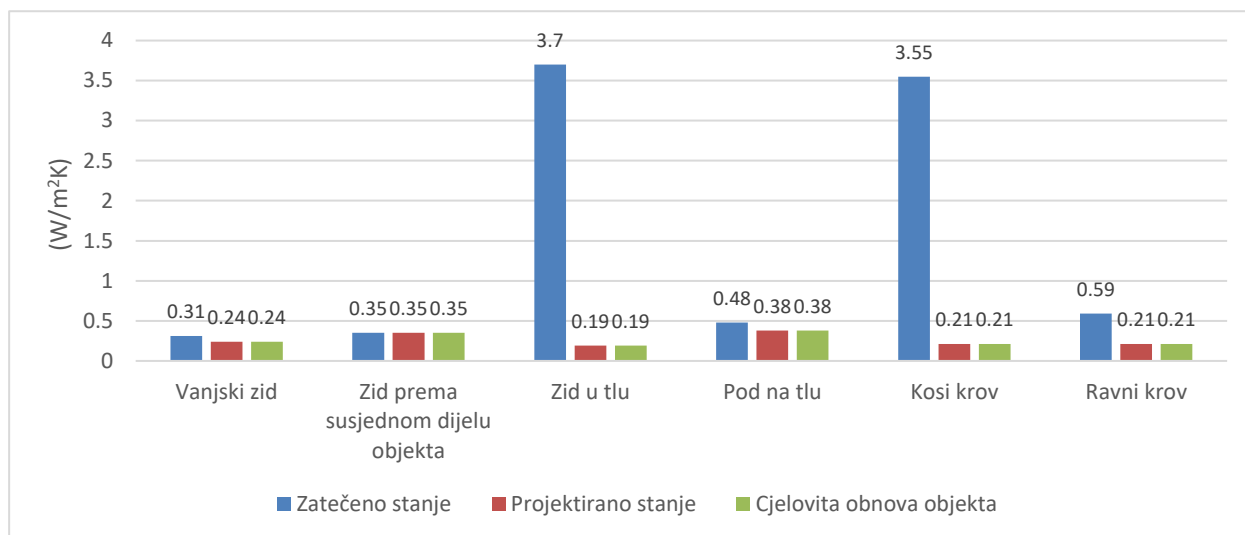
Tablica 5: Uvjeti o zadovoljavanju energetske zahtjeva

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.

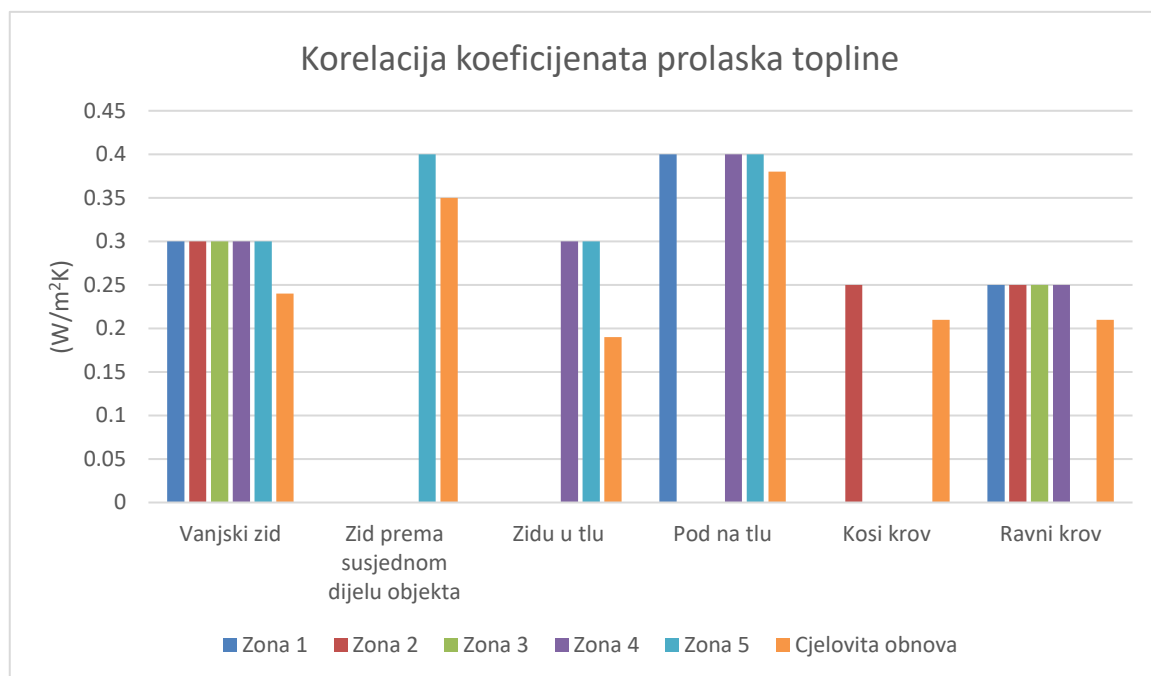


Dijagram 2: Koeficijenti prolaska topline kroz građevne dijelove, muzej Mimara

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 koeficijenta 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

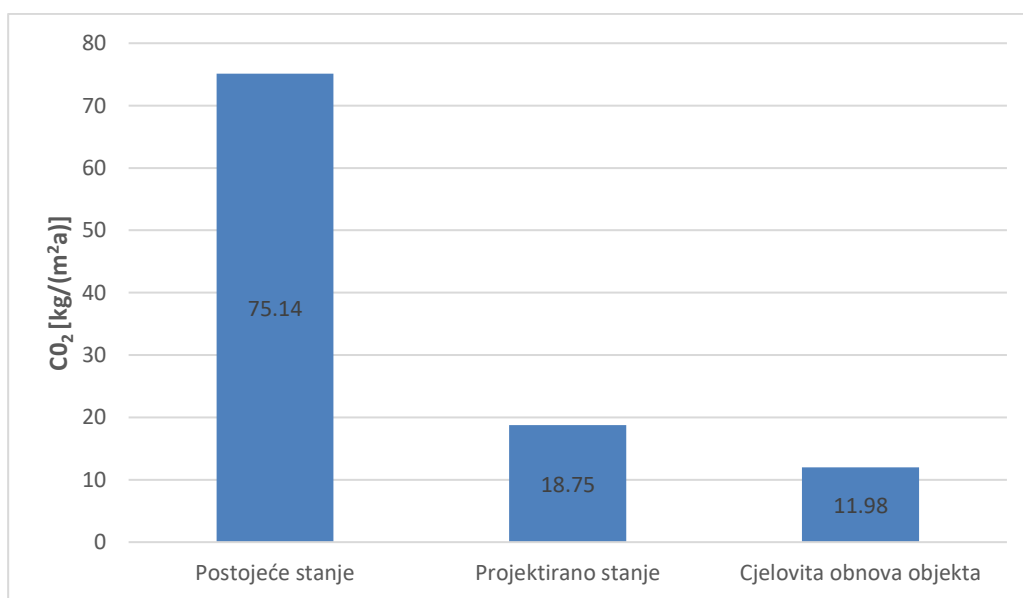
Tablica 9: Godišnji gubici topline za stanje cjelovite obnove objekta

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 imponantnoj 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.

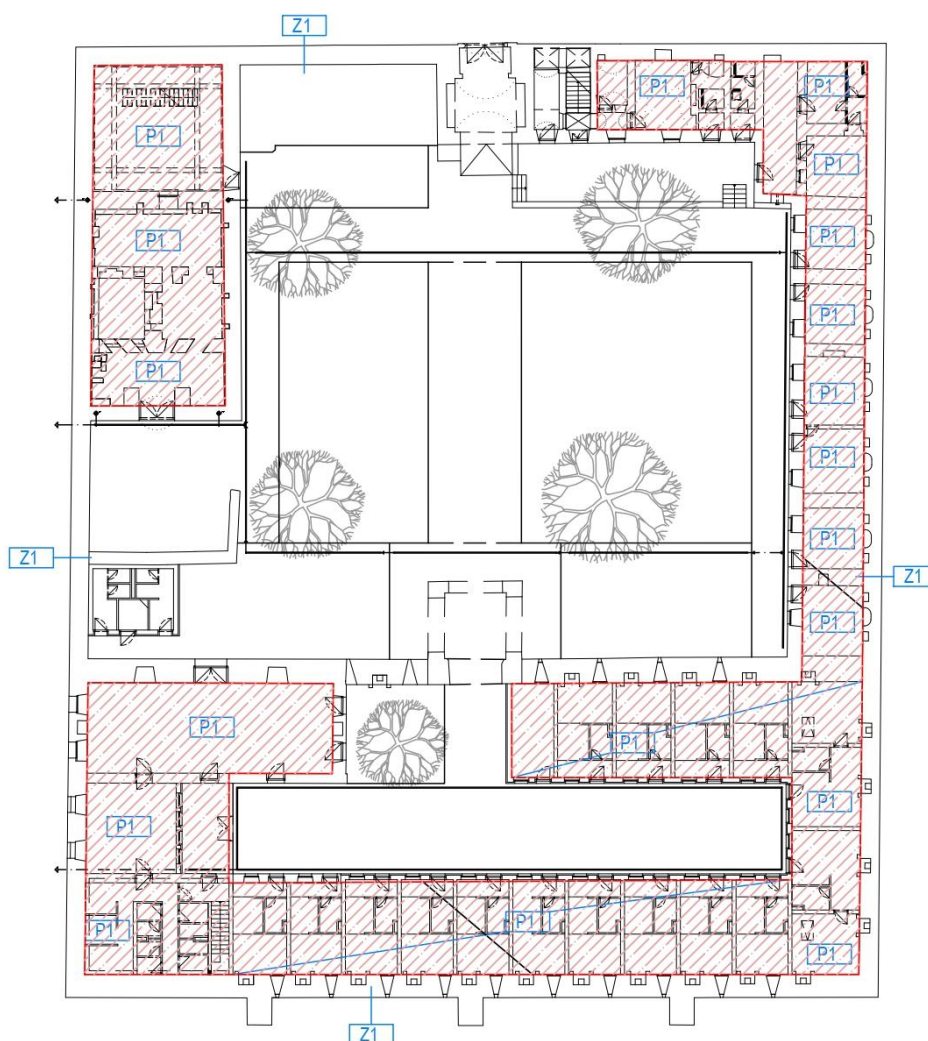
U sjeverozapadnom dijelu manjeg dvorišta nalazi se kuća pravokutnog tlocrta, koja je kako je utvrđeno analizom postojećeg stanja vjerovatno izvorno bila planirana većih dimenzija i monumentalnijeg izgleda od ove koju smo mi zatekli. Navedena kuća rekonstruirana je u okvirima zatečenih gabarita pa se 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 energetskim blokom.

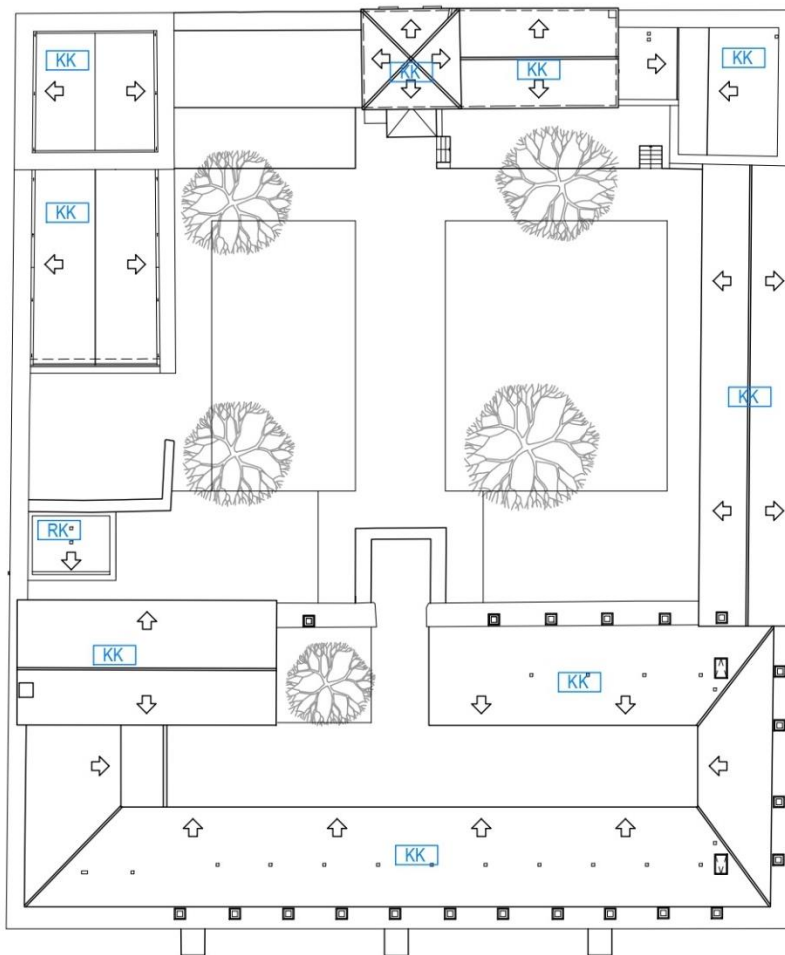
Uz jugozapadni i jugoistočni perimetralni zid te pregradni prema većem dvorištu nalaze se smještajne jedinice, sobe i dva apartmana te servisna prostorija. Navedeni opis objekta pokazuje različitost sadržaja u pogledu toplinskih zona što je indikativno za kasniji proračun.

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 kanalice
- 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 kanalice	-
-	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 vjetrova (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	

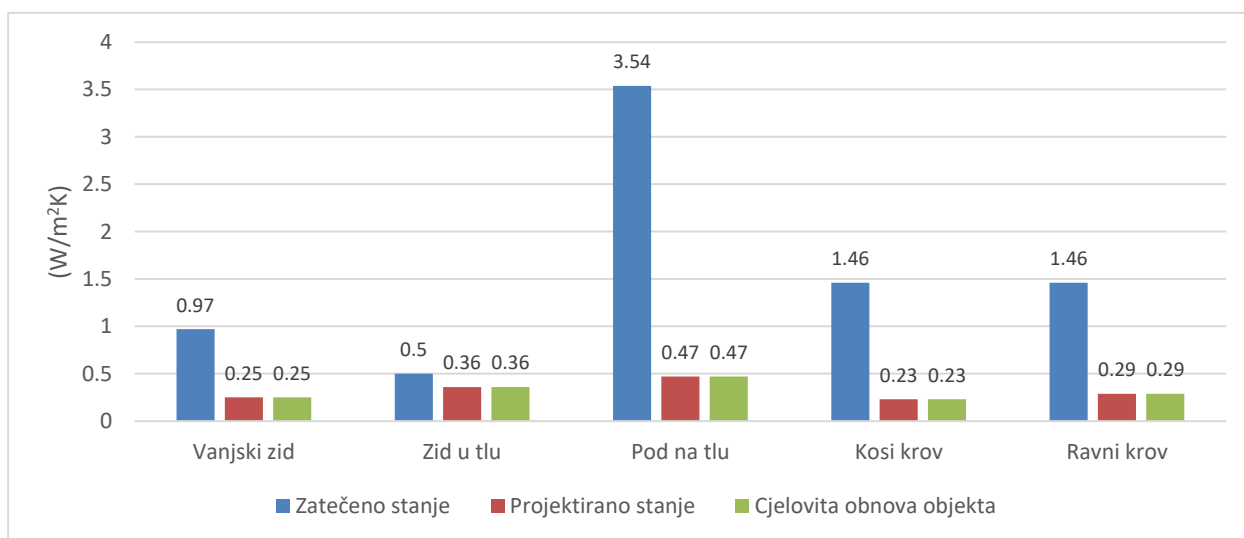
Tablica 12: Podaci o lokaciji objekta

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.

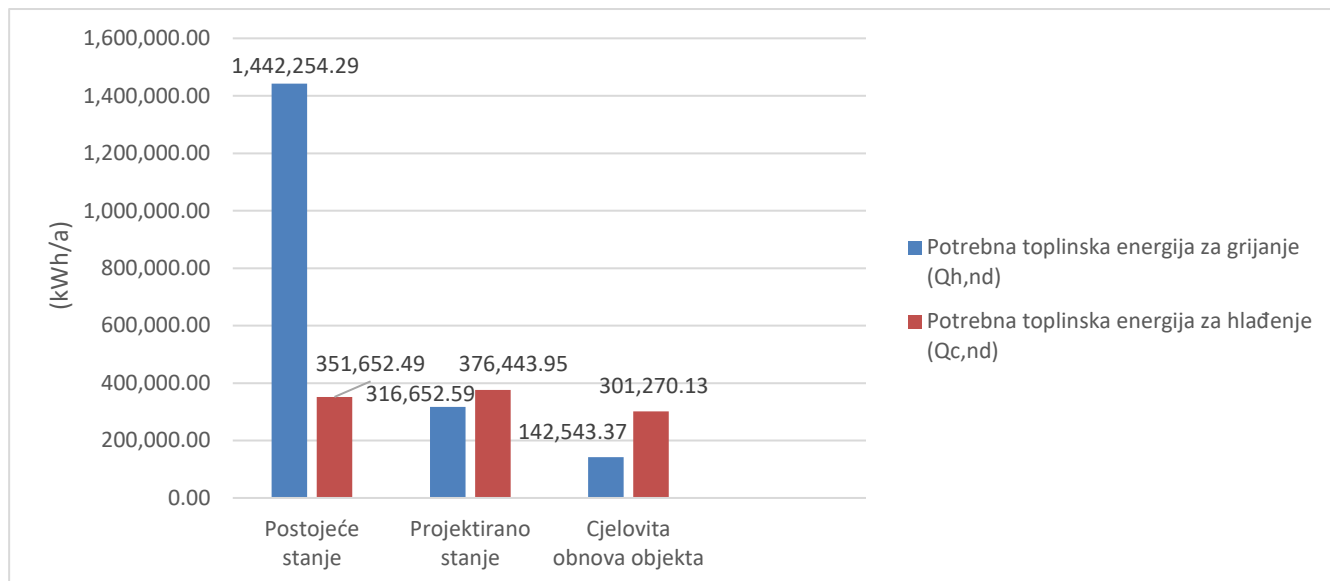
QC,nd (kWh/a) – godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje

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.

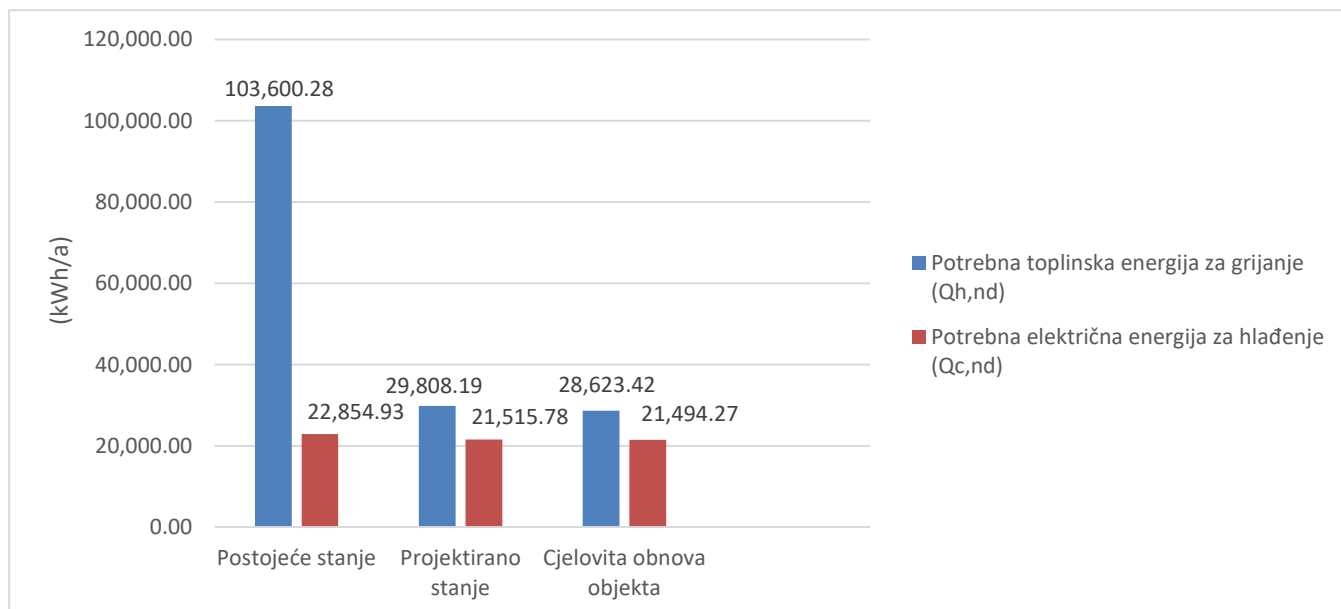
Analizom dvaju povijesnih objekata dobiveni su rezultati o godišnjoj potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje za tri različita stupnja toplinske zaštite. Zatečena stanja oba objekta sadržavaju velike razlike u iznosima potrebne energije za grijanje i energije za hlađenje. Dijagram 6 i 7 prikazuju smanjenje 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 energetske 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 gradnju, 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-ojaccanja/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-multimedijski 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	Uw [W/m ²]	Orientacija	Aw [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	μ [-]	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	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]:					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 (pričvrščena 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 (pričvrščena 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 (pričvrščena 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	μ [-]	sd [m]	ρ [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	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	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	✔