

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Jankovič, G., 2015. Stroškovna analiza energetske sanacije in konstrukcijske utrditve objekta Tobačne tovarne v Ljubljani. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Bosiljkov, V., somentorja Antolinc, D., Cotič, P.): 91 str.

Datum arhiviranja: 07-09-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Jankovič, G., 2015. Stroškovna analiza energetske sanacije in konstrukcijske utrditve objekta Tobačne tovarne v Ljubljani. Master Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Bosiljkov, V., co-supervisors Antolinc, D., Cotič, P.): 91 p.

Archiving Date: 07-09-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE STOPNJE
GRADBENIŠTVO
GRADBENE KONSTRUKCIJE

Kandidatka:

GABRIJELA JANKOVIČ

**STROŠKOVNA ANALIZA ENERGETSKE SANACIJE IN
KONSTRUKCIJSKE UTRDITVE OBJEKTA TOBAČNE
TOVARNE V LJUBLJANI**

Magistrsko delo št.: 8/II.GR

**COST BENEFIT ANALYSIS OF ENERGY
RENOVATION AND STRUCTURAL RETROFITTING
OF TOBAČNA LJUBLJANA FACTORY BUILDING**

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

Mentor:

izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

asist. dr. David Antolinc

Ljubljana, 03. 09. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana Gabrijela Jankovič izjavljam, da sem avtorica magistrskega dela z naslovom: »Stroškovna analiza energetske sanacije in konstrukcijske utrditve objekta Tobačne tovarne v Ljubljani«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 20. 8. 2015

Gabrijela Jankovič

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

| | |
|-------------------------|--|
| UDK: | 624.042.7:699.8(497.4)(043.3) |
| Avtor: | Gabrijela Jankovič |
| Mentor: | izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov |
| Somentorja: | asist. dr. David Antolinc asist. dr. Patricia Cotič |
| Naslov: | Stroškovna analiza energetske sanacije in konstrukcijske utrditve objekta Tobačne tovarne v Ljubljani |
| Tip dokumenta: | Magistrsko delo |
| Obseg in oprema: | 91 str., 37 pregl., 56 sl., 9 en., 2 pril. |
| Ključne besede: | kulturna dediščina, nedestruktivne preiskave, energetska učinkovitost, protipotresna odpornost, sanacija, stroški |

Izvleček

V magistrskem delu smo obravnavali celovito sanacijo objekta Tobačne tovarne v Ljubljani. Najprej smo pridobili potrebne podatke o trenutnem stanju objekta. Pri tem smo uporabili tudi termokamero in merilnik toplotnega toka. Posnetke in meritve, pridobljene z neporušnimi preiskavami, smo uporabili kot del vhodnih podatkov za analizo energetske učinkovitosti objekta. Energetsko izkaznico smo izdelali s programom ArchiMAID in pokazali, da energetske lastnosti stavbe niso zadovoljive glede na sedanje zahteve standardov. Nato smo preverili učinek posameznih ukrepov energetske sanacije in ob upoštevanju zahtev spomeniškega varstva izbrali najprimernejše. Za objekte kulturne dediščine velja, da lahko odstopajo od minimalnih zahtev glede učinkovite rabe energije, zato smo energetska učinkovitost stavbe nadgradili v okviru danih robnih pogojev. Merodajne lokalne porušne mehanizme zaradi potresne obtežbe smo določili z analizo FaMIVE, s programom SREMB pa smo preverili etažni odziv konstrukcije. S primernimi utrditvenimi ukrepi smo zvišali potresno odpornost objekta. Le-ta je še vedno manjša od predpisane potresne odpornosti, saj obravnavana stavba stoji na zelo neugodnih tleh. Pripravili smo grobo oceno in primerjavo stroškov posameznih sanacijskih in utrditvenih ukrepov. Odločili smo se za najprimernejšo izvedbo ter izdelali optimalni predlog sanacije objekta, ki temelji na hkratni izvedbi gradbenih del. V nalogi smo pokazali, da pri hkratni izvedbi lahko prihranimo približno 9 % celotne investicije v prenavo.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.042.7:699.8(497.4)(043.3)

Author: Gabrijela Jankovič

Supervisor: Associate Prof. Vlatko Bosiljkov, Ph. D.

Co-advisors: Assist. David Antolinc, Ph. D.
Assist. Patricia Cotič, Ph. D.

Title: Cost benefit analysis of energy renovation and structural retrofitting of Tobačna Ljubljana factory building

Document type: M. Sc. Thesis

Notes: 91 p., 37 tab., 56 fig, 9 eq., 2 ann.

Key words: cultural heritage, non-destructive techniques, energy efficiency, earthquake resistance, retrofitting, costs

Abstract

The thesis presents design of energy renovation and structural retrofitting of the building of Tobačna Ljubljana factory. First, we have obtained the necessary information about the current state of object. For this purpose, we have also used infrared thermography and the heat flow meter. Images and measurements, obtained by non-destructive techniques, were used as a part of input data for the analysis of building energy efficiency. In ArchiMAID program we created energy performance certificate for our case study. It showed that energy efficiency of building is not adequate according to current code requirements. Further, we have analyzed different measures of energy renovation and have chosen the most optimal combination of measures by considering the protection of cultural heritage. Building that have historical values do not necessarily need to achieve all requirements for energy efficiency. Therefore we upgraded the energy performance of building within the limits provided by protection requirements. For the seismic assessment we have used FaMIVE analysis for determination of relevant local failure mechanisms and with SREMB we verified storey response of the structure. With appropriate measures we have increased seismic resistance of the building in significant amount. Because the building is located on poor clay soft soils its seismic resistance can not match current code requirements. A rough cost estimation of various retrofitting measures has been done and the most optimal solution of retrofitting measures has been chosen. With cost benefit analysis, an optimal proposal was created for the retrofitting of the building that is based on the simultaneous execution of both works. We have showed that is possible to save around 9 % of the total investment in the complete retrofitting.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Vlatku Bosiljkovu in somentorju asist. dr. Davidu Antolincu za uspešno vodenje, strokovno svetovanje in pomoč pri pisanju magistrskega dela. Prav tako se zahvaljujem somentorici asist. dr. Patricii Cotič za strokovne nasvete in potrpežljivost pri izvajanju meritev s termokamero in interpretaciji rezultatov.

Zahvala gre tudi Zavodu za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Območna enota Ljubljana, za vso pomoč in nudenje potrebnih virov in informacij.

Zahvaljujem se Ani Starešinič za lektoriranje. Hvala tudi vsem, ki so kakorkoli prispevali k nastanku magistrskega dela.

Največja zahvala gre mami, očetu, Katji in Marku, ki so mi med študijem vedno stali ob strani in me na tej poti podpirali.

KAZALO VSEBINE

| | |
|---|------------|
| IZJAVE | II |
| BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK | III |
| BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT | IV |
| ZAHVALA | V |
| | |
| 1 UVOD | 1 |
| | |
| 2 OPIS OBJEKTA | 3 |
| 2.1 Gradnja in adaptacija | 4 |
| 2.2 Sestava konstrukcijskih sklopov | 7 |
| 2.3 Stavbno pohištvo | 14 |
| 2.4 Konservatorske smernice | 16 |
| | |
| 3 NEPORUŠNE PREISKAVE | 18 |
| 3.1 Termovizija | 18 |
| 3.2 Meritve toplotnega toka | 21 |
| 3.3 Diskusija rezultatov | 26 |
| | |
| 4 ENERGETSKA UČINKOVITOST OBJEKTA | 28 |
| 4.1 Zakonodaja | 28 |
| 4.1.1 Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES2010) | 30 |
| 4.1.2 Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskega izkaznika stavb (PEI) | 32 |
| 4.1.3 Tolmačenje glede stavbne dediščine | 34 |
| 4.2 Račun energetske izkaznice | 34 |
| 4.2.1 Cona | 35 |
| 4.2.2 Konstrukcijski sklopi in ovoj stavbe | 35 |
| 4.2.3 Linijski toplotni mostovi | 36 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 4.2.4 | Ogrevanje in hlajenje..... | 37 |
| 4.2.5 | Ostali podatki | 37 |
| 4.2.6 | Diskusija rezultatov | 37 |
| 4.3 | Ukrepi za izboljšavo | 40 |
| 4.3.1 | U1 – Prenova stavbnega pohištva | 40 |
| 4.3.2 | U2 – Menjava energenta | 41 |
| 4.3.3 | U3 – Izolacija tal na terenu | 41 |
| 4.3.4 | U4 – Izolacija na notranji strani..... | 41 |
| 4.3.5 | U5 – Toplotnoizolacijski omet..... | 43 |
| 4.3.6 | Diskusija rezultatov | 44 |
| 5 | POTRESNA ANALIZA OBJEKTA..... | 49 |
| 5.1 | Analiza FaMIVE | 49 |
| 5.1.1 | Računska podlaga programa..... | 52 |
| 5.2 | Porušni mehanizmi | 55 |
| 5.2.1 | Ravninski porušni mehanizmi | 55 |
| 5.2.2 | Izvenravninski porušni mehanizmi | 56 |
| 5.2.3 | Kombinirani porušni mehanizmi..... | 57 |
| 5.2.4 | Delne porušitve..... | 58 |
| 5.3 | Faktor zaupanja | 59 |
| 5.4 | SREMB..... | 61 |
| 5.5 | Diskusija rezultatov in ukrepi za izboljšavo..... | 63 |
| 5.5.1 | Načini saniranja in utrditve stavbe..... | 64 |
| 5.5.2 | Rezultati analize FaMIVE | 65 |
| 5.5.3 | Rezultati analize s programom SREMB..... | 71 |
| 6 | OCENA STROŠKOV SANACIJE | 76 |
| 6.1 | Ukrepi energetske sanacije | 76 |
| 6.2 | Ukrepi konstrukcijske sanacije..... | 81 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 6.3 | Stroškovno optimalna rešitev | 83 |
| 7 | ZAKLJUČEK | 85 |
| | VIRI..... | 88 |

KAZALO PREGLEDNIC

| | |
|---|----|
| Preglednica 1: Kronološki potek sprememb na objektu..... | 4 |
| Preglednica 2: Zunanja stena v kleti | 8 |
| Preglednica 3: Zunanja stena v pritličju | 8 |
| Preglednica 4: Zunanja stena v 1. nadstropju | 9 |
| Preglednica 5: Zunanja stena v 2. nadstropju | 9 |
| Preglednica 6: Tla na terenu | 9 |
| Preglednica 7: Strop v kleti | 10 |
| Preglednica 8: Strop v pritličju | 11 |
| Preglednica 9: Strop v 1. nadstropju | 12 |
| Preglednica 10: Strop v 2. nadstropju | 13 |
| Preglednica 11: Skica in sestava strehe..... | 13 |
| Preglednica 12: Notranja in zunanja temperatura..... | 19 |
| Preglednica 13: Senzor toplotnega toka ALMEMO tip 118, FQA018C..... | 22 |
| Preglednica 14: Termini meritev | 23 |
| Preglednica 15: Povprečne vrednosti izračunanih toplotnih prehodnosti U | 26 |
| Preglednica 16: Razredi energetske učinkovitosti | 33 |
| Preglednica 17: Primerjava toplotnih prehodnosti..... | 36 |
| Preglednica 18: Rezultati stavbnega ovoja..... | 39 |
| Preglednica 19: Energenti | 40 |
| Preglednica 20: Primerjava vrednosti energetske izkaznice po izvedenih posamičnih ukrepih in izboljšanja posameznih parametrov v odstotkih..... | 46 |
| Preglednica 21: Primerjava vrednosti energetske izkaznice po izvedenih kombinacijah ukrepov in izboljšanja posameznih parametrov v odstotkih..... | 47 |
| Preglednica 22: Kinematični modeli za izvenravninske mehanizme porušitve (Vir: Modena, 2004 cit. po Sevšek, 2011)..... | 54 |
| Preglednica 23: Izbira faktorja zaupanja (Vir: SIST EN 1998-3:2005)..... | 60 |
| Preglednica 24: Rezultati analize FaMIVE za obstoječe stanje..... | 65 |
| Preglednica 25: Rezultati za severno fasado pri izvedbi različnih ukrepov | 67 |
| Preglednica 26: Rezultati za južno fasado pri izvedbi različnih ukrepov..... | 68 |
| Preglednica 27: Rezultati za vzhodno in zahodno fasado pri izvedbi različnih ukrepov | 68 |
| Preglednica 28: Vhodni podatki | 71 |
| Preglednica 29: Strošek oken | 77 |
| Preglednica 30: Strošek energentov..... | 78 |
| Preglednica 31: Cena materiala za izolacije na notranji strani sten | 78 |

| | |
|--|----|
| Preglednica 32: Strošek ometa | 79 |
| Preglednica 33: Stroški izvedbe ometa | 79 |
| Preglednica 34: Stroški energetske ukrepov | 80 |
| Preglednica 35: Stroški sidranja fasad v armiranobetonski estrih | 82 |
| Preglednica 36: Stroški navzkrižnega povezovanja zidov v vogalih | 83 |
| Preglednica 37: Stroški energetske in konstrukcijske sanacije..... | 84 |

KAZALO SLIK

| | |
|---|----|
| Slika 1: Lokacija objekta na Tržaški 4 v Ljubljani (Vir: Google Zemljevidi, 2015)..... | 3 |
| Slika 2: Južna fasada..... | 5 |
| Slika 3: Zahodna fasada..... | 6 |
| Slika 4: Vzhodna fasada..... | 6 |
| Slika 5: Severna fasada..... | 7 |
| Slika 6: Okno v kleti..... | 14 |
| Slika 7: Okno v pritličju in 1. nadstropju..... | 14 |
| Slika 8: Okno v 2. nadstropju..... | 15 |
| Slika 9: Strešno okno v mansardi..... | 15 |
| Slika 10: Zunanja vrata..... | 16 |
| Slika 11: Termografski posnetek južne fasade..... | 19 |
| Slika 12: Termografski posnetek zahodne fasade..... | 20 |
| Slika 13: Termografski posnetek vzhodne fasade..... | 20 |
| Slika 14: Termografski posnetek severne fasade..... | 21 |
| Slika 15: Merilnik toplotnega toka pritrjen na steno v 1. nadstropju in pretvornik (levo) in na preklado v 2. nadstropju (desno)..... | 22 |
| Slika 16: Primerjava toplotnih tokov skozi posamezne konstrukcijske sklope..... | 24 |
| Slika 17: Primerjava temperaturnih razlik v času meritev toplotnega toka..... | 24 |
| Slika 18: Primerjava toplotnih prehodnosti posameznih konstrukcijskih sklopov..... | 25 |
| Slika 19: Pogovorno okno programa ArchiMAID z odprtim vnosom podatkov o projektu (Vir: ArchiMAID, 2015)..... | 35 |
| Slika 20: Rezultati energetske izkaznice (Vir: ArchiMAID, 2015)..... | 38 |
| Slika 21: Dodatna izolacija tal z notranje strani..... | 41 |
| Slika 22: Detajl izvedbe Ca-Si plošč (Vir: Calsitherm, 2015)..... | 42 |
| Slika 23: Poliuretanske PUR/PIR plošče (Vir: Puren gmbh, 2015)..... | 42 |
| Slika 24: Xtra klimatske plošče (Vir: Calsitherm, 2015)..... | 43 |
| Slika 25: Del obrazca z urbanističnimi podatki o objektu in podatki o poziciji objekta za izvedbo analize FaMIVE (Vir: FaMIVE, 2015)..... | 49 |
| Slika 26: Del obrazca z geometrijskimi karakteristikami fasade in tlorisom stavbe za izvedbo analize FaMIVE (Vir: FaMIVE, 2015)..... | 50 |
| Slika 27: Del obrazca s konstrukcijskimi lastnostmi za izvedbo analize FaMIVE (Vir: FaMIVE, 2015)..... | 50 |
| Slika 28: Del obrazca s podatki o šibkih elementih za izvedbo analize FaMIVE (Vir: FaMIVE, 2015).. | 51 |

| | |
|--|----|
| Slika 29: Del obrazca z informacijami o poškodovanosti fasade in mehanizmih porušitve za izvedbo analize FaMIVE (Vir: FaMIVE, 2015)..... | 51 |
| Slika 30: Prikaz prevrnitve fasade in razporeditve sil (Vir: Modena, 2005 cit. po Sevšek, 2011) | 52 |
| Slika 31: Porušna mehanizma H1 (levo) in H2 (desno) (Vir: FaMIVE, 2015) | 55 |
| Slika 32: Porušna mehanizma M1 (levo) in M2 (desno) (Vir: FaMIVE, 2015)..... | 55 |
| Slika 33: Porušni mehanizem A (Vir: FaMIVE, 2015)..... | 56 |
| Slika 34: Porušni mehanizem D (Vir: FaMIVE, 2015)..... | 56 |
| Slika 35: Porušni mehanizem E (Vir: FaMIVE, 2015) | 56 |
| Slika 36: Porušni mehanizem G (Vir: FaMIVE, 2015)..... | 57 |
| Slika 37: Porušni mehanizem B1 (Vir: FaMIVE, 2015)..... | 57 |
| Slika 38: Porušni mehanizem B2 (Vir: FaMIVE, 2015)..... | 57 |
| Slika 39: Porušni mehanizem C (Vir: FaMIVE, 2015)..... | 58 |
| Slika 40: Porušni mehanizem F (Vir: FaMIVE, 2015) | 58 |
| Slika 41: Porušni mehanizem I (Vir: D`Ayala in sod., 2003 cit. po Novak, 2012) | 58 |
| Slika 42: Porušni mehanizem L (Vir: D`Ayala in sod., 2003 cit. po Novak, 2012) | 59 |
| Slika 43: Porušitev strehe (Vir: Abbas in sod., 2010 cit. po Novak, 2012) | 59 |
| Slika 44: Porušitev zidovine (Vir: Abbas in sod., 2010 cit. po Novak, 2012) | 59 |
| Slika 45: Primer vhodne datoteke (Vir: Bosiljkov, 2012)..... | 62 |
| Slika 46: Karta pospeška tal za Mestno občino Ljubljana za povratno dobo 475 let (Vir: ARSO Potresi, 2015) | 66 |
| Slika 47: Povezovanje zidov z jeklenimi ploščami ali mrežami (Vir: Galić in sod., 2012)..... | 69 |
| Slika 48: Povezava armiranobetonskega estriha in obodnih sten z uporabo sidrnih plošč (Vir: Janežič in sod., 2015)..... | 70 |
| Slika 49: Povezava armiranobetonskega estriha in obodnih sten z uporabo poševnih sider (Vir: Janežič in sod., 2015)..... | 70 |
| Slika 50: Povezovanje objekta z jeklenimi vezmi (Vir: Galić in sod., 2012)..... | 72 |
| Slika 51: Geometrija pritličja (Vir: SREMB)..... | 72 |
| Slika 52: Vertikalna obtežba (Vir: SREMB)..... | 73 |
| Slika 53: Krivulja odpornosti za X smer (Vir: SREMB) | 74 |
| Slika 54: Krivulja odpornosti za Y smer (Vir: SREMB) | 74 |
| Slika 55: Stanje na meji elastičnosti d/d_e za smer X (Vir: SREMB) | 75 |
| Slika 56: Stanje na meji elastičnosti d/d_e za smer Y (Vir: SREMB) | 75 |

1 UVOD

Namen naloge je energetska in potresna analiza objekta pod varstvom kulturne dediščine ter izdelava stroškovno optimalnega predloga sanacije objekta, ki temelji na hkratni izvedbi gradbenih del. Osredotočili smo se na hkratno izpolnjevanje bistvenih zahtev glede mehanske odpornosti in stabilnosti objekta ter varčevanja z energijo in ohranjanja toplote. Celovito sodobno sanacijo stavbe lahko izpeljemo s sanacijskimi ukrepi, s katerimi povečamo energetske učinkovitost objekta in rabo obnovljivih virov energije ter z utrditvenimi ukrepi, s katerimi povečamo nosilnost in protipotresno odpornost konstrukcije.

Slovenija velja za potresno območje, kar pričajo številni potresi v preteklosti. Zadnji veliki potres z žariščem v Ljubljani je bil leta 1895 in je povzročil veliko gmotno škodo. Potresni sunki so bili tako močni, da v mestu ni ostalo nepoškodovane stavbe. Vsi dokumentirani potresi so v pomoč pri ugotavljanju tipičnih porušitev objektov in napovedi obnašanja konstrukcij pri morebitnih potresih v prihodnosti. Konstrukcije je možno sanirati in utrditi tako, da postanejo potresno bolj odporne. S tem lahko zmanjšamo gmotno škodo, ohranjamo kulturno dediščino in predvsem povečamo varnost.

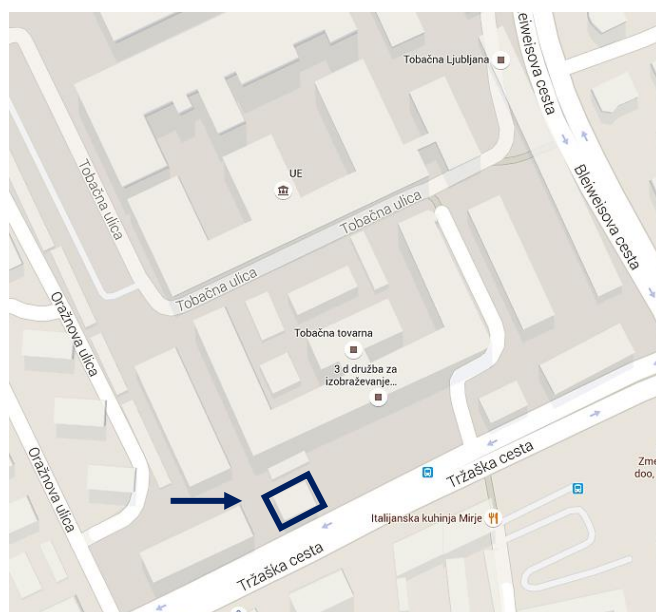
Stavbe porabijo 40 % skupne energije v Evropski uniji in težnja po povečanju energetske učinkovitosti objektov je zato vse večja. To zahtevajo tudi predpisi, ki vse bolj zaostrejuje zahteve glede zmanjšanja porabe energije in rabe energije iz obnovljivih virov. Najprej je potrebno ovrednotiti obstoječe energetske stanje stavb. V ta namen obstajajo različni certifikacijski sistemi (energetska izkaznica, DGNB, CasaClima, BREEAM, LEED ipd.). V magistrskem delu smo izdelali energetske izkaznice in z njeno pomočjo določili primerne sanacijske ukrepe. Glede na obstoječe predpise sicer za objekte kulturne dediščine ni potrebno izdelati energetske izkaznice, po drugi strani pa so prav ti objekti najbolj potratni izmed vseh stavb.

Za učinkovito izvedbo sanacije je potrebno dobro poznavanje obstoječega stanja objekta. Poznati moramo gradbeno-fizikalne lastnosti objekta ter nosilnost konstrukcije. Za določitev navedenih lastnosti so nam v pomoč preiskave in programi za napoved obnašanja objekta. V našem primeru smo nekatere potrebne podatke pridobili z neporušnimi preiskavami. Namen preiskav je pokazati, da posnetke s termovizijsko kamero in meritve toplotnega toka lahko uporabimo kot vhodne podatke za analizo energetske učinkovitosti objekta. Energetske izkaznice smo izdelali s programom ArchiMAID ter preverili učinek posameznih ukrepov energetske sanacije. Ker je bila stavba zgrajena v času pred upoštevanjem protipotresnih predpisov za gradnjo, je treba pozornost posvetiti tudi konstrukcijskim ukrepom za povečanje njene potresne odpornosti. Merodajne lokalne porušne mehanizme zaradi potresne obtežbe smo določili z analizo FaMIVE, s programom SREMB pa preverili tudi globalni odziv konstrukcije. S primernimi utrditvenimi ukrepi smo zvišali potresno odpornost objekta.

Ko imamo rezultate, je potrebno poiskati najprimernejšo izvedbo sanacije glede možnosti izvedbe, trajnosti rešitve in stroškov. Vsaka stavba zahteva individualno obravnavo. Obravnavani objekt se nahaja v Ljubljani na območju Stare tobačne in je pod spomeniškim varstvom, kar predstavlja določene omejitve pri posegih v obstoječo konstrukcijo in stavbni ovoj. Pri sanaciji moramo popolnoma ohraniti obstoječi videz stavbe in s tem ohranjati kulturno dediščino. Cilj magistrskega dela je nadgradnja energetske učinkovitosti in povečanje potresne odpornosti v okviru danih robnih pogojev in omejitev. Pri tem vidimo potencial predlagane metodologije za zmanjšanje stroškov ob hkratni izvedbi gradbenih del energetske in konstrukcijske sanacije.

2 OPIS OBJEKTA

Objekt, ki smo ga obravnavali v tem magistrskem delu, se nahaja v Ljubljani na Tržaški 4 (Slika 1). Spada v velik tovarniški kompleks Tobačne tovarne Ljubljana, zgrajen med letoma 1871 in 1890. Kompleks Tobačne tovarne je vpisan v register kulturne dediščine in se varuje v skladu z režimom, ki velja za kulturno dediščino. Večina stavb Tobačne tovarne, med katerimi je tudi obravnavana, je identificiranih kot nepremična kulturna dediščina, za katero veljajo posebni konservatorski pogoji.



Slika 1: Lokacija objekta na Tržaški 4 v Ljubljani (Vir: Google Zemljevidi, 2015)

S pomočjo podatkov, pridobljenih v Zgodovinskem arhivu Ljubljana, arhivu Zavoda za varstvo kulturne dediščine, v nadaljevanju ZVKDS, in na portalu Geodetske uprave Republike Slovenije (Prostor, 2015), smo dobili izhodišča za opredelitev trenutnega stanja objekta. V Zgodovinskem arhivu Ljubljana smo pridobili nekatere arhitekturne načrte in načrte gradbene konstrukcije, stare približno 100 let. Ker je bila stavba večkrat dograjena, le-ti niso bili popolnoma zadostni za prikaz obstoječega stanja. Zato smo opravili točno izmero objekta in s pomočjo podatkov o izvedenih gradbenih delih (arhiv ZVKDS) določili kronološki potek sprememb na objektu. Posegi v objekt niso bili mogoči in ti podatki o izvedenih delih so nam bili v veliko pomoč pri določanju lastnosti objekta.

V tem poglavju smo zbrali tehnične lastnosti stavbe in bistvene že prej omenjene konservatorske pogoje oziroma smernice za obnovo.

2.1 Gradnja in adaptacija

Prostori objekta na Tržaški 4 so skozi zgodovino spreminjali svojo namembnost. Sprva je bila to požarna čuvajnica, ki je bila nato leta 1950 adaptirana v Dom igre in dela. Kasneje zasledimo podatke o stanovanjski namembnosti hiše, trenutno pa so v stavbi prostori oziroma pisarne Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Območna enota Ljubljana. Kronološko urejene spremembe na objektu so prikazane v preglednici (Preglednica 1).

Preglednica 1: Kronološki potek sprememb na objektu

| Leto | Nadzidava, ukrep, obnova ... |
|------|---|
| 1890 | izgradnja kleti in pritličja (prvi načrti že leta 1874) |
| 1910 | nadzidava 1. nadstropja |
| 1950 | prenova v Dom igre in dela |
| 1960 | adaptacija in nadzidava 2. nadstropja |
| 1988 | ureditev mansarde |
| 1990 | sanacija kleti (izkop in dodatno varovanje stropne konstrukcije v prehodu do kurilnice), adaptacija kurilnice (že urejeno centralno ogrevanje), prenova stanovanja v pritličju in 1. nadstropja |
| 1991 | obnova strehe |
| 1991 | prenova pritlične etaže (vetrolov) in popravila v 1. nadstropju |
| 1993 | strelovod |
| 1995 | obnova fasade, povečanje toplotne izolacije podstrešja |
| 1998 | obnova strehe (popravilo strehe, zamenjava kritine – opečni zareznik, obnova žlebov in zamenjava starih dotrajanih strešnih oken) |

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 1

| | |
|------|--|
| 1999 | dela v mansardi (frčada) |
| 2001 | sanacija temeljev in vlage kletnih prostorov (sistematično injektiranje kamnitih in mešanih zidov s hidrofobno cementno silikatno injekcijsko maso, ki rešuje problem kapilarnega dviga) |
| 2006 | menjava oken v 1. nadstropju |

Kot je razvidno, je bila stavba večkrat nadzidana in obnovljena. Tudi navzven je videti dobro ohranjena (Slika 2 – Slika 5). Vzhodna in zahodna fasada sta si podobni.



Slika 2: Južna fasada



Slika 3: Zahodna fasada



Slika 4: Vzhodna fasada



Slika 5: Severna fasada

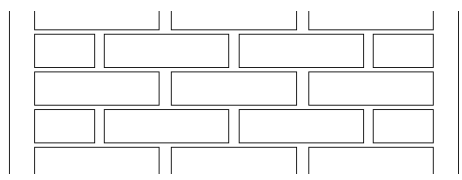
2.2 Sestava konstrukcijskih sklopov

Pri definiranju konstrukcijskih sklopov so nam bili v pomoč podatki iz arhiva ZVKDS ter Zgodovinskega arhiva Ljubljana. Konstrukcijo in mere smo definirali na podlagi starih načrtov, računov o izvedenih delih na objektu, tehničnega poročila o adaptaciji takrat enonadstropnega prostora v Dom igre in dela ter z ogledom in izmero objekta. Nekatere »poševne« stene, manjše razlike med okenskimi odprtinami in podobne malenkosti smo pri izrisu načrtov in konstrukcij poenostavili oziroma poenotili.

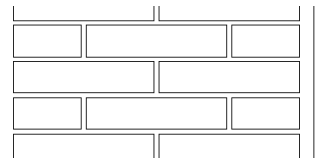
Poslopje je masivno grajeno. Poleg zunanjih nosilnih sten po obodu objekta, so v notranjosti še tri nosilne stene; ena v vzdolžni smeri po sredini tlorisa in dve krajši v prečni smeri. Ob daljši steni je tudi notranje kamnito stopnišče. Zidovje je deloma iz kamna, večina pa iz opeke. Debelina sten se spreminja z višino stavbe, kar je verjetno posledica večkratne nadzidave objekta. Stropi nad kletjo so obokani z opeko, nad pritličjem in prvim nadstropjem pa so v večjem delu sekundarni leseni tramovi med jeklenimi traverzami. V veži sta v pritličju in prvem nadstropju rebrasti armiranobetonski plošči, v kleti pa betonska plošča ojačena z jeklenimi nosilci.

Zunanje mere stavbe so 15,25 m x 11,45 m in višina 14,90 m oziroma 17,25 m skupaj s kletnimi prostori. Arhitekturni načrti so priloženi v prilogi B. Posamezne konstrukcije so prikazane v preglednicah (Preglednica 2-Preglednica 11). V primerih, kjer debelina posameznih slojev konstrukcij ni bila znana, smo upoštevali standardne vrednosti.

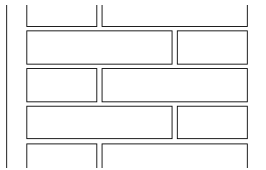
Preglednica 2: Zunanja stena v kleti

| ZUNANJA STENA – KLET | | |
|---|-----------------|--|
| Sestava konstrukcijskega sklopa od znotraj navzven | Debelina | Skica |
| Omet | 0,05 m |  |
| Kamen in opeka 250/120/65 mm | 0,80 m | |
| Omet | 0,05 m | |
| Skupaj | 0,90 m | |

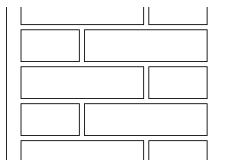
Preglednica 3: Zunanja stena v pritličju

| ZUNANJA STENA – PRITLIČJE | | |
|---|-----------------|--|
| Sestava konstrukcijskega sklopa od znotraj navzven | Debelina | Skica |
| Omet | 0,03 m |  |
| Opeka 290/140/65 mm | 0,59 m | |
| Omet | 0,03 m | |
| Skupaj | 0,65 m | |


Preglednica 4: Zunanja stena v 1. nadstropju

| ZUNANJA STENA – 1. NADSTROPJE | | |
|---|-----------------|---|
| Sestava konstrukcijskega sklopa od znotraj navzven | Debelina | Skica |
| Omet | 0,04 m |  |
| Opeka 290/140/65 mm | 0,44 m | |
| Omet | 0,04 m | |
| Skupaj | 0,52 m | |

Preglednica 5: Zunanja stena v 2. nadstropju

| ZUNANJA STENA – 2. NADSTROPJE | | |
|---|-----------------|---|
| Sestava konstrukcijskega sklopa od znotraj navzven | Debelina | Skica |
| Omet | 0,03 m |  |
| Opeka 250/120/65 mm | 0,38 m | |
| Omet | 0,04 m | |
| Skupaj | 0,45 m | |

Preglednica 6: Tla na terenu

| TLA NA TERENU | | |
|--|-----------------|--|
| Sestava konstrukcijskega sklopa | Debelina | Skica |
| Parket | 0,02 m |  |
| Cementni estrih | 0,05 m | |
| PVC folija | | |
| XPS | 0,05 m | |
| Izotekt | | |
| Cementna malta | 0,01 m | |
| Beton | 0,10 m | |
| Skupaj | 0,23 m | |

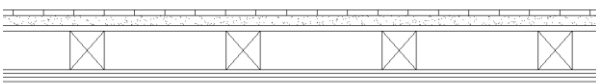

Preglednica 7: Strop v kleti

| STROP – KLET | | |
|---|-----------------|--------------|
| Sestava konstrukcijskega sklopa | Debelina | Skica |
| Hrastov parket | 0,02 m | |
| Izravnalna masa | 0,03 m | |
| Cementni estrih, armiran | 0,05 m | |
| PVC folija | | |
| Tervol (kamena volna) | 0,05 m | |
| Podložni beton | 0,08 m | |
| Opečni obok | 0,12 m | |
| Omet | 0,03 m | |
| Skupaj na sredini oboka | 0,38 m | |
| Sestava konstrukcijskega sklopa – veža | Debelina | Skica |
| Keramika | 0,03 m | |
| Betonska plošča | 0,15 m | |
| Jekleni nosilci UNP14 | 0,14 m | |
| (vmes armaturna mreža in cementna malta) | (0,02 m) | |
| Skupaj | 0,32 m | |

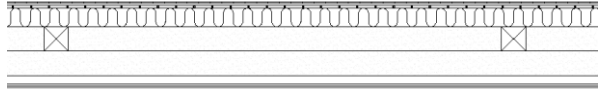
Preglednica 8: Strop v pritličju

| STROP – PRITLIČJE | | |
|---|-----------------|--------------|
| Sestava konstrukcijskega sklopa | Debelina | Skica |
| Laminat | 0,03 m | |
| Ladijski pod | 0,05 m | |
| Nasutje | 0,08 m | |
| Lesene deske | 0,05 m | |
| Leseni tramovi med traverzami | 0,26 m | |
| 2 x lesene deske | 0,04 m | |
| Omet | 0,02 m | |
| Skupaj | 0,53 m | |
| Sestava konstrukcijskega sklopa – veža | Debelina | Skica |
| Keramika | 0,03 m | |
| Betonska rebričasta plošča | 0,20 m | |
| 2 x lesene deske | 0,04 m | |
| Omet | 0,03 m | |
| Skupaj | 0,28 m | |

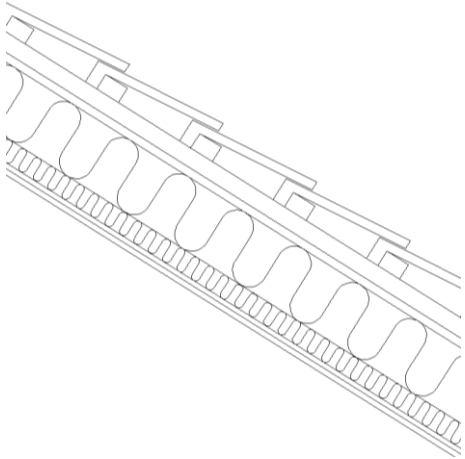
Preglednica 9: Strop v 1. nadstropju

| STROP – 1. NADSTROPJE | | |
|---|-----------------|--|
| Sestava konstrukcijskega sklopa | Debelina | Skica |
| Ladijski pod | 0,03 m | |
| Nasutje | 0,05 m | |
| Lesene deske | 0,03 m |  |
| Leseni tramovi med traverzami | 0,20 m | |
| 2 x lesene deske | 0,02 m | |
| Omet | 0,02 m | |
| Skupaj | 0,37 m | |
| Sestava konstrukcijskega sklopa – veža | Debelina | Skica |
| Ladijski pod | 0,03 m | |
| Betonska rebričasta plošča | 0,18 m |  |
| 2 x lesene deske | 0,04 m | |
| Omet | 0,03 m | |
| Skupaj | 0,28 m | |

Preglednica 10: Strop v 2. nadstropju

| STROP – 2. NADSTROPJE | | |
|--|-----------------|--|
| Sestava konstrukcijskega sklopa | Debelina | Skica |
| Laminat | 0,01 m |  |
| Ladijski pod | 0,02 m | |
| Leseni morali | 0,02 m | |
| Toplotna izolacija | 0,15 m | |
| 2x leseni tramovi + nasutje | 0,40 m | |
| Lesene deske | 0,075 m | |
| 2 x mavčno-kartonske plošče | 0,025 m | |
| Skupaj | 0,70 m | |

Preglednica 11: Skica in sestava strehe

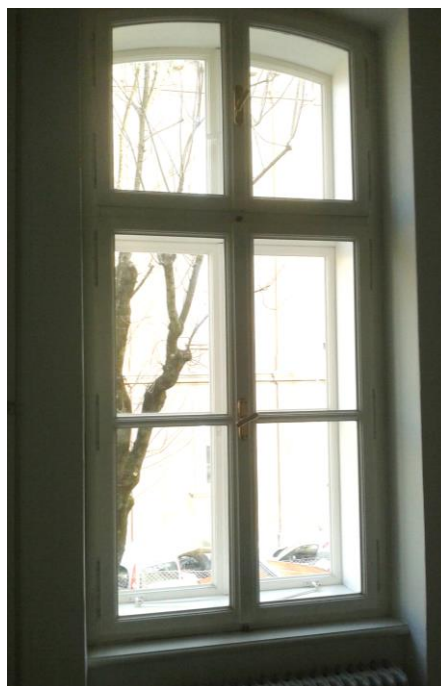
| STREHA | | |
|--|-----------------|--|
| Sestava konstrukcijskega sklopa | Debelina | Skica |
| Strešniki | 0,025 m |  |
| 2 x zračna plast med letvami | 0,08 m | |
| Paroprepustna folija | | |
| Lesene deske | 0,02 m | |
| Steklena volna | 0,15 m | |
| PVC | | |
| Steklena volna | 0,05 m | |
| 2 x mavčno-kartonske plošče | 0,025 m | |
| Skupaj | 0,35 m | |

2.3 Stavbno pohištvo

Večinoma se po etažah pojavljajo različna okna (Slika 6 – Slika 9). V kletnih prostorih so vezana okna v termopan izvedbi dimenzij 100/140 cm. Okna v pritličju in prvem nadstropju so lesena škatlasta z nadsvetlobo. Zunanja so dvokrilna z enojno zasteklitvijo in se odpirajo navzven. Tudi nekatera notranja okna so dvokrilna z enojno zasteklitvijo, v nekaterih prostorih pa enokrilna termopan izvedbe. Pojavljajo se v dveh različnih dimenzijah, in sicer 65/220 cm ter 110/220 cm.



Slika 6: Okno v kleti



Slika 7: Okno v pritličju in 1. nadstropju



Slika 8: Okno v 2. nadstropju

V drugem nadstropju so vgrajena enojna enokrilna okna termopan izvedbe v dveh dimenzijah (63/160 cm in 96/160 cm). V mansardi je nekaj strešnih oken dimenzij 60/110 cm ter 70/110 cm in tri okna na firčadi 95/103 cm. Zunanja vrata dimenzij 150/300 cm so prikazana na sliki (Slika 10).



Slika 9: Strešno okno v mansardi



Slika 10: Zunanja vrata

2.4 Konservatorske smernice

Tukaj smo povzeli le nekatere konservatorske smernice za obnovo obravnavanega objekta oziroma kompleksa Tobačne tovarne Ljubljana (Adamič in Vičič, 2004), ki so pomembne za nadaljnje delo in se tičejo magistrske naloge.

Za posege v objekt je potrebno predhodno pridobiti kulturnovarstvene pogoje in kulturnovarstveno soglasje pristojne območne enote ZVKDS. Spremembe zaradi prilagoditve novim predpisom, novim tehničnim idr. standardom so dopustne. Izvedene morajo biti tako, da čim manj prizadenejo tiste značilnosti objekta, zaradi katerih je bila enota vpisana v register kulturne dediščine. Pri tem pa je potrebno upoštevati posebne lastnosti vsakega objekta.

Bistvene konservatorske smernice za arhitekturno dediščino so predstavljene v nadaljevanju poglavja. Te in še nekatere konservatorske smernice je potrebno upoštevati pri idejnih projektih za spremembo namembnosti kompleksa Tobačne tovarne. Poleg tega je pred izdelavo PGD in PZI za rekonstrukcijo posameznega varovanega objekta potrebno obvestiti in idejni projekt predložiti ZVKDS, OE Ljubljana, kjer bodo podane podrobnejše smernice oziroma kulturnovarstveni pogoji.

Smernice, ki zajemajo posege v varovani stavbni fond:

- **Streha.** Naklona strešine in gabaritov streh ni dopustno spreminjati. Pri prekrivanju streh je potrebno uporabiti strešno kritino, ki ustreza originalnemu načinu polaganja in se v obliki in barvi ujema z originalno kritino. Osvetlitev podstrešij je načeloma dopustna s položenimi strešnimi okni v ravnino strehe.
- **Fasada.** V primeru poškodovanosti ometov v obsegu več kot 50 % je mogoče le-te rekonstruirati v celoti, sicer je potrebno del poškodovanih ometov obnoviti. Ometi morajo biti izvedeni v strukturi in načinu, ki sta enaka originalnima. Uporabiti je potrebno materiale, enake originalnim, ali materiale, ki imajo sorodne lastnosti originalnim – potrebno je uporabiti paropropustne omete in beleže (apnene, sanirne, silikatne, nikakor pa ne akrilnih barv, akrilnih emulzij in podobno). Dekoracijo fasade v ometu, profilirane elemente ter venčne zidce je potrebno v čim večji možni meri ohraniti in obnoviti v vseh detajlih v materialu, enakem prvotnemu.
- **Stavbno pohištvo (okna, vrata, nadstreški ...).** Potrebno ga je varovati in prenavljati po originalnih dimenzijah, obliki, detajlih in materialih. Lesena škatlasta dvokrilna oziroma dvokrilna okna s kasetiranimi krili je potrebno obnoviti. Zamenjati jih je možno le, če so tako poškodovana, da obnova ni več mogoča. V tem primeru mora biti stavbno pohištvo natančna replika originalnega. Za zasteklitev notranjih kril pa je dopustno uporabiti stekla z izboljšanimi izolacijskimi lastnostmi.
- **Komunikacije.** Originalna kamnita reprezentančna stopnišča se varujejo.

Konstrukcija ostrešij se ohrani v čim večji meri.

V primeru statične in protipotresne sanacije je potrebno predhodno pridobiti oceno potresne odpornosti objektov, ki bo poleg konservatorskih smernic izhodišče za pripravo PGD.

3 NEPORUŠNE PREISKAVE

Pri oceni tako energetske učinkovitosti kakor tudi potresne ranljivosti objekta je dobro, če vhodne podatke pridobimo iz različnih virov in na ta način povečamo njihovo zanesljivost. Poleg pregleda obstoječe literature in ogleda objekta na terenu smo uporabili tudi dva različna tipa neporušnih preiskav. Preiskave, ki bi posegale v konstrukcijo, niso bile dovoljene, saj je objekt pod varstvom kulturne dediščine. Zato smo se odločili za pregled s termokamero in meritve toplotnega toka posameznih konstrukcijskih elementov.

3.1 Termovizija

Napake pri gradnji, vgradnji oken in vrat, izvedbi toplotne in hidroizolacije so nekateri izmed vzrokov za povečano porabo energije ter posledično večje stroške ogrevanja. Zaradi naštetih napak prihaja do povečanja vlažnosti sten, kondenziranja vlage in s tem do poškodb konstrukcije in tudi poslabšanja bivalnih pogojev. Take in podobne napake običajno odkrijemo šele, ko že nastopijo posledice npr. v obliki pojava plesni. S pomočjo termovizijske kamere lahko prostemu očesu nevidne napake odkrijemo že prej.

V gradbeništvu se termovizijski pregledi uporabljajo za določitev energijsko šibkih mest in nevidnih gradbeno-fizikalnih poškodb, kot so:

- toplotni mostovi in mesta toplotnih izgub,
- nepravilnosti pri vgradnji in poškodbe stavbnega pohištva,
- vlaga v stenah, zamakanje ter napake hidroizolacije,
- napake instalacijskih toplovodnih sistemov in talnega ogrevanja.

Toplotno oziroma infrardeče sevanje predstavlja del elektromagnetnega spektra, ki našim očem ni vidno. To sevanje ima približno dvajsetkrat daljšo valovno dolžino kot vidna svetloba in ga zaznavamo kot toploto. Višja kot je temperatura predmeta, večje je njegovo infrardeče sevanje. Termovizijska kamera zazna nevidne valove oziroma meri infrardeče sevanje preiskovane površine in beleži temperaturo vsakega piksla. Rezultat posnetkov je barvna skala, ki prikazuje vrednosti temperature na površini fasade. Odkrivanje nehomogenosti s termografijo deluje na razliki v temperaturah na obravnavani površini. Kjer prihaja do večjih nihanj oziroma skokov temperature, lahko identificiramo napako. Večja kot je razlika med notranjo in zunanjo temperaturo, večji je toplotni tok, ki prehaja skozi konstrukcijo, in boljši so posnetki. Minimalna temperaturna razlika, potrebna za zadovoljiv termovizijski pregled, je 10 °C.

Za termovizijski pregled objekta na Tržaški 4 smo uporabili termokamero FLIR A320 (30Hz) s širokokotnim objektivom in ločljivostjo 320 x 240 pikselov. Meritve smo izvajali v treh terminih pri različnih temperaturnih pogojih, in sicer 19. 12. 2014, 12. 01. 2015 ter 10. 02. 2015. Da bi pridobili čim boljše posnetke, smo pregled opravljali v poznih večernih oziroma zgodnjih jutranjih urah, ko je zunaj še mrak. Prisotnost vetra je bila minimalna. Vremenski pogoji ob različnih terminih so zajeti v preglednici (Preglednica 12).

Preglednica 12: Notranja in zunanja temperatura

| Termin posnetkov | Notranja temperatura | Zunanja temperatura |
|------------------|----------------------|---------------------|
| 19. 12. 2014 | 22 °C | 10 °C |
| 12. 01. 2015 | 22 °C | 1 °C |
| 10. 02. 2015 | 22 °C | - 3 °C |

Nekatere nehomogenosti stavbnega ovoja smo sicer zaznali že pri prvem pregledu stavbe, po pričakovanjih pa so bili posnetki najboljši v februarju, ko je bila razlika med notranjo in zunanjo temperaturo največja. Slednji so prikazani na slikah (Slika 11-Slika 14).



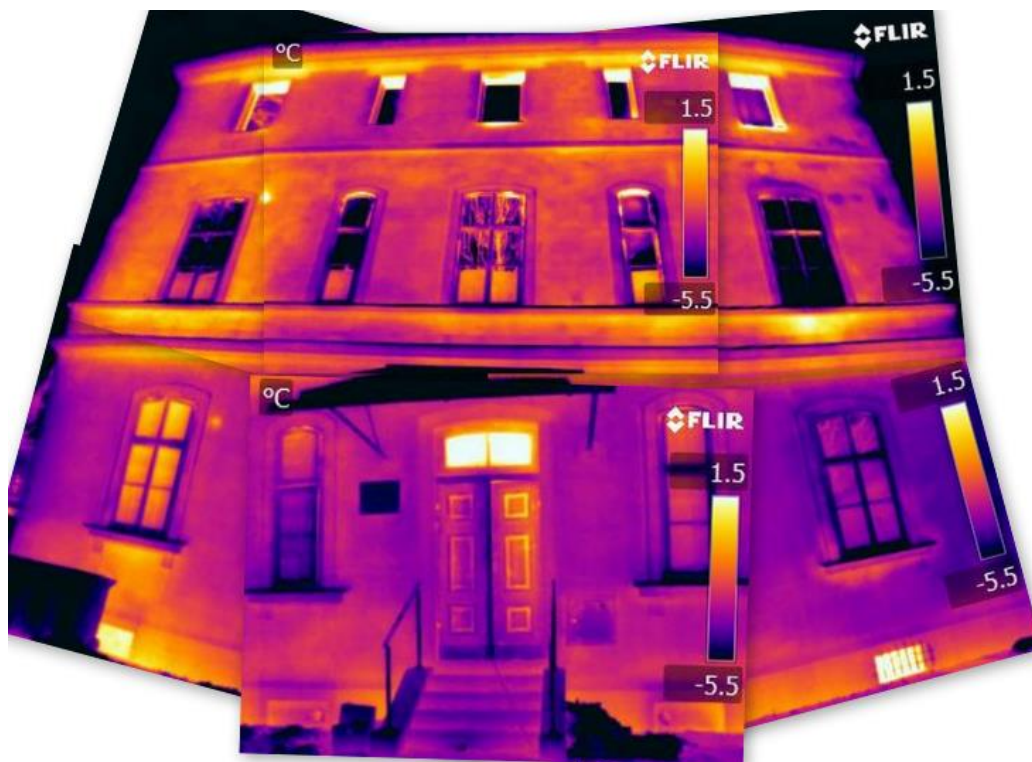
Slika 11: Termografski posnetek južne fasade



Slika 12: Termografski posnetek zahodne fasade



Slika 13: Termografski posnetek vzhodne fasade



Slika 14: Termografski posnetek severne fasade

3.2 Meritve toplotnega toka

Meritve toplotnega toka smo izvajali s t. i. termočlenom (tudi termoelement, termopar). Princip delovanja termočlena temelji na Seebeckovem efektu. Med seboj spojimo dva konca žic iz različnih materialov. Pri Seebeckovem pojavu se temperaturna razlika med dvema koncema žic pretvarja v električno napetost. Če je na spojnih mestih enaka temperatura, toka v električnem krogu ni. Torej, zaradi temperaturnega gradienta v vsaki žici dobimo ustrezno razliko električnih potencialov, ki jo izmerimo. Pri merilcu toplotnega toka se na ploščici izmeri temperatura zgoraj in spodaj. Na osnovi teh temperatur in debeline ploščice se potem izračuna temperaturni gradient.

Merilnik toplotnega toka podaja toplotno prehodnost stavbnega ovoja pod predpostavko, da je toplotni tok enodimenzijski. Posledično mora biti med meritvijo nameščen dovolj stran od toplotnih mostov in vogalov stavbe, ker v teh področjih toplotni tok spremeni svojo naravo in postane dvodimenzionalen. Pri opravljanju meritev smo upoštevali določila standarda EN ISO 10211:2008, ki pravi, da mora biti merilnik nameščen na minimalni razdalji vsaj 1 m od kritičnih mest (Ascione et.al., 2014).

Merilnik smo na steno zalepili s toplotno prevodno pasto in zavarovali z lepilnim trakom (Slika 15). Termo člen je preko pretvornika povezan z računalnikom, kamor so se shranjevali zajeti podatki. Tehnične lastnosti uporabljene naprave so navedene v preglednici (Preglednica 13).

Preglednica 13: Senzor toplotnega toka ALMEMO tip 118, FQA018C

| Tehnične karakteristike | |
|-------------------------|--------------------|
| Velikost | 120 x 120 x 1,5 mm |
| Merilno območje | 90 x 90 mm |
| Delovno območje | - 40 do 80 °C |



Slika 15: Merilnik toplotnega toka pritrjen na steno v 1. nadstropju in pretvornik (levo) in na preklado v 2. nadstropju (desno)

Na osnovi rezultatov, pridobljenih s termografskimi posnetki, smo določili področja, kjer smo izvajali meritve toplotnega toka. Kot je razvidno iz preglednice (Preglednica 14), smo se odločili za meritve toplotnega toka skozi vse zunanje stene, streho in posebej še skozi preklado v drugem nadstropju. Po zajemu meritev smo podatke obdelali v Excelu in rezultate kasneje primerjali z izračunanimi vrednostmi toplotnih prehodnosti posameznih konstrukcij, ki smo jih uporabili kot vhodne podatke pri računu energetske učinkovitosti stavbnega ovoja (poglavje 4.2.2).

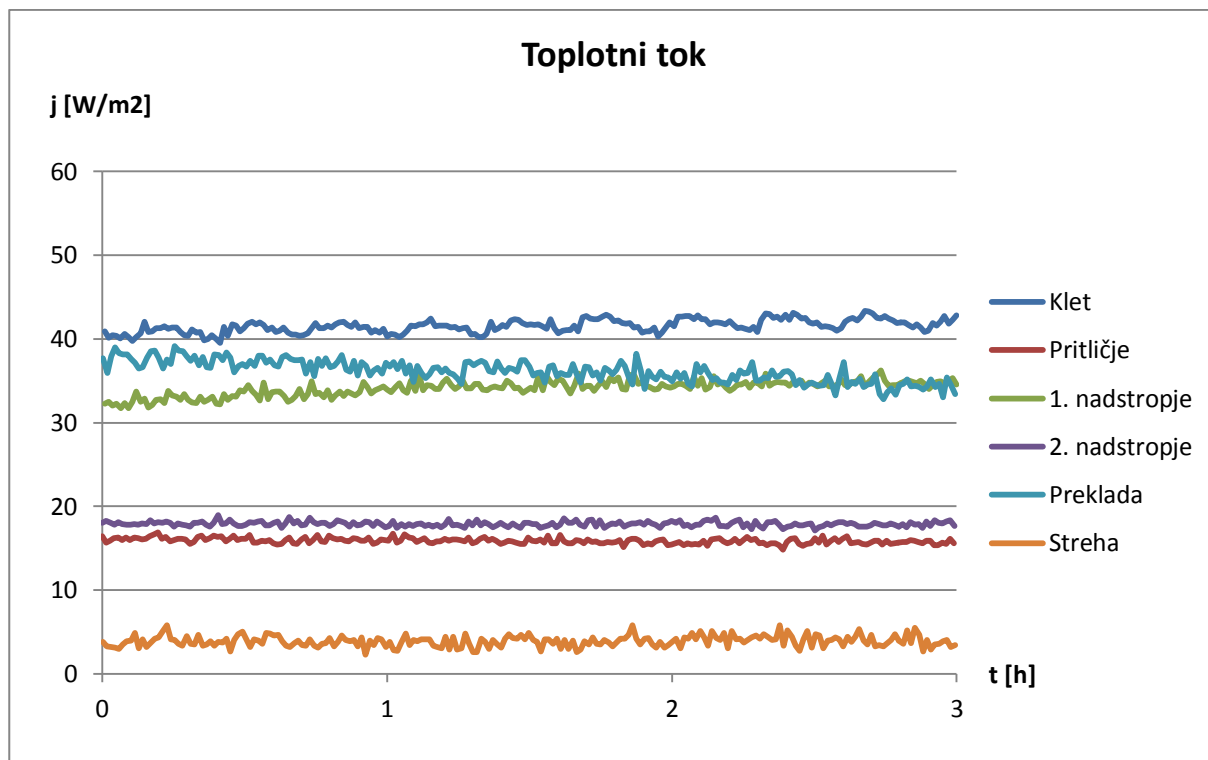
Merilno napravo smo namestili na steno za določeno časovno obdobje. Vrednost toplotnega toka se odčita in zabeleži na vsakih 50 sekund. Zajeti podatki so prikazani na sliki (Slika 16).

Preglednica 14: Termini meritev

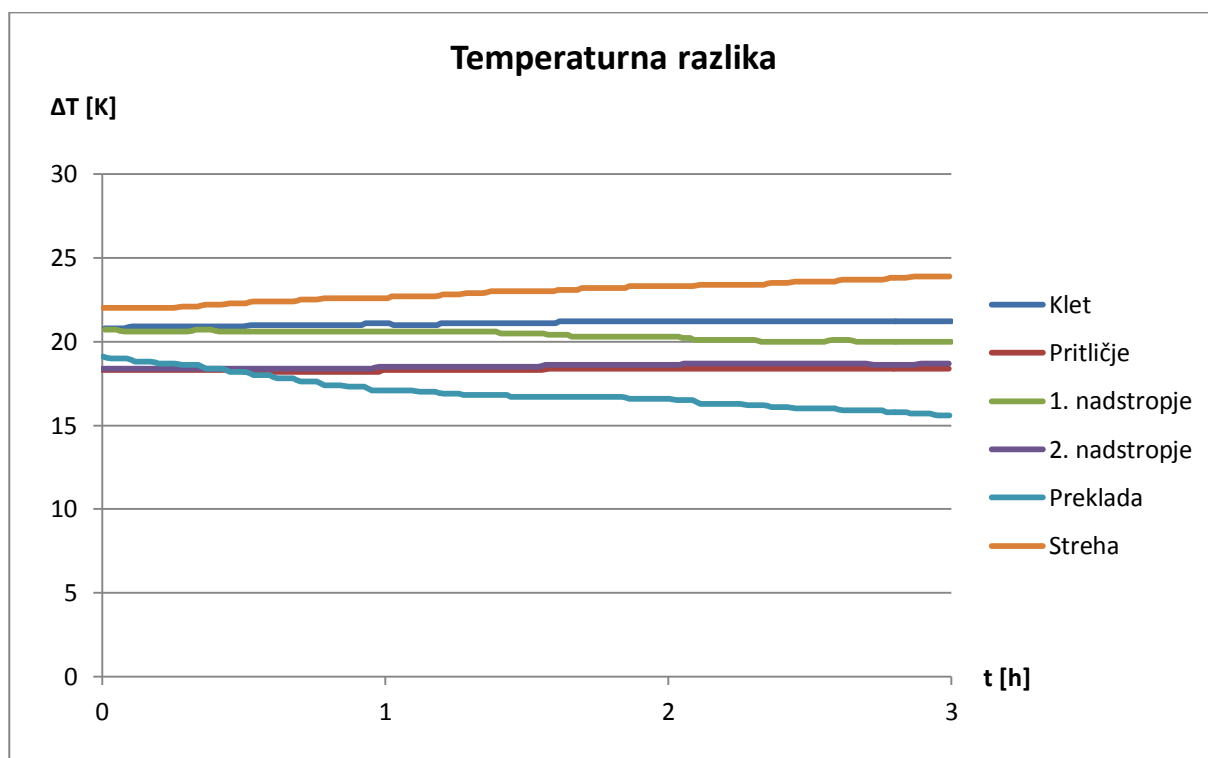
| Konstrukcija | Termin meritve |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Stena v kleti | 11. 02. ob 16:22 – 12. 02. ob 13:20 |
| Stena v pritličju | 12. 02. ob 13:44 – 13. 02. ob 08:42 |
| Stena v 1. nadstropju | 13. 02. ob 09:10 – 13. 02. ob 13:36 |
| Stena v 2. nadstropju | 24. 02. ob 16:46 – 25. 02. ob 08:21 |
| Preklada v 2. nadstropju | 27. 02. ob 08:26 – 27. 02. ob 13:55 |
| Streha | 27. 02. ob 14:21 – 02. 03. ob 07:37 |

Predpostavili smo, da je izmerjena notranja temperatura v posameznem prostoru konstantna skozi celotno obravnavano časovno obdobje. Podatke o zunanji temperaturi smo poiskali na spletu (Weather Underground, 2015). Merilna postaja ILJUBLJA3 je locirana na Erjavčevi cesti v bližini kompleksa Tobačne tovarne, kar omogoča zadostno zanesljivost podatkov. Zunanja temperatura je podana na vsakih 5 minut. Pri analizi podatkov smo predpostavili konstanten potek znotraj 5-minutnih intervalov in izračunali temperaturo razliko med zunanjo in notranjo temperaturo (Slika 17).

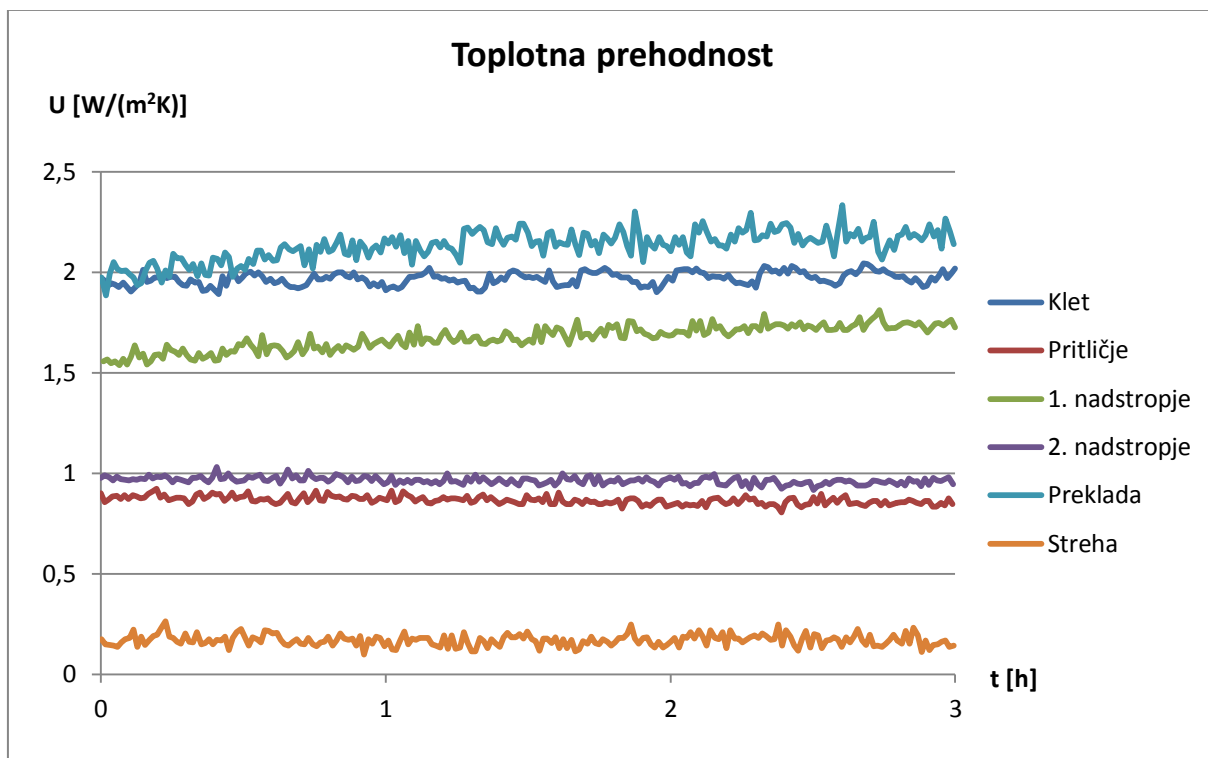
Meritve toplotnega toka skozi posamezne konstrukcijske sklope smo izvajali za daljše časovno obdobje. Znotraj tega obdobja je nekajkrat prišlo do nenadnih sprememb notranje temperature (odpiranje vrat, oken...). Ker smo v notranjosti predpostavili konstantno temperaturo, dogodkov, ki bi povzročili temperaturna nihanja, nismo zabeležili. Zato smo izločili podatke, ki niso primerni za nadaljnjo obdelavo, in določili 3-urni interval meritev, znotraj katerega so vrednosti ustaljene. Zaradi večje preglednosti so rezultati na slikah (Slika 16, Slika 17 in Slika 18) prikazani le za izbrane intervale.



Slika 16: Primerjava toplotnih tokov skozi posamezne konstrukcijske sklope



Slika 17: Primerjava temperaturnih razlik v času meritev toplotnega toka



Slika 18: Primerjava toplotnih prehodnosti posameznih konstrukcijskih sklopov

Iz izmerjenih podatkov in temperature smo nato izračunali vrednosti toplotne prehodnosti U (Slika 18) posamezne konstrukcije po formuli:

$$U = \frac{j}{T_n - T_z} \quad (1)$$

kjer so:

j ... gostota toplotnega toka,

T_n ... notranja temperatura,

T_z ... zunanja temperatura.

Nato smo izračunali povprečno vrednost U za posamezno merilno mesto oziroma konstrukcijski sklop. Rezultati so zbrani v preglednici (Preglednica 15).

Preglednica 15: Povprečne vrednosti izračunanih toplotnih prehodnosti U

| Konstrukcijski sklop | Toplotna prehodnost U [W/m ² K] |
|--------------------------|--|
| Stena v kleti | 1,97 |
| Stena v pritličju | 0,86 |
| Stena v 1. nadstropju | 1,67 |
| Stena v 2. nadstropju | 0,96 |
| Preklada v 2. nadstropju | 2,13 |
| Streha | 0,17 |

3.3 Diskusija rezultatov

Termovizijski posnetki nam kažejo energetske oslavitve konstrukcije v višini kleti ter v področju parapetov in preklad. Na mestu toplotnih mostov je prehod toplote povečan, kar se kaže v višji temperaturi na fasadi kot v območju brez toplotnih mostov. Okvirji oken in vrat v splošnem niso problematični, torej je bila vgradnja dobra. Odstopanja in večja sevanja v področju zasteklitev so posledica odprtih oken.

Vidne so višje temperature v območju cokla, kjer so kletne stene. Le-te so mešano kamnite in opečnate, zato lahko sklepamo, da je njihova toplotna prehodnost bistveno višja od toplotne prehodnosti sten v višjih nadstropjih, kar smo kasneje tudi potrdili z meritvami toplotnega toka. Za kletna okna ne moremo trditi, da so bila dobro vgrajena, saj je vidno precejšnje uhajanje toplote. Ta ugotovitev sovпада s pregledom stavbe, ko smo opazili, da ob okenskih okvirjih nekoliko piha.

Območja lokalno največjih izgub so armiranobetonske preklade v drugem nadstropju. Višja temperatura površine v primerjavi s kletno steno je lahko tudi posledica višje notranje temperature v drugem nadstropju kot v kleti. Vsekakor pa sta oba konstrukcijska dela (cokel in preklade v drugem nadstropju) mesti, kjer pozimi toplota uhaja iz stavbe.

Energetske oslavitve na stavbnem ovoju v področju parapetov so izrazite predvsem na južni strani v prvem nadstropju in jih lahko pripišemo manjši debelini zunanje stene pod okni. Na severni strani sta opazni dve anomaliji pri oknih v pritličju in prvem nadstropju, kjer je lociran zračnik v sanitarijah. Drugih anomalij, kot je morebitno zamakanje, ni opaziti. Prav tako ni vidnih jeklenih vezi, zato lahko trdimo, da zidovje ni povezano.

V prvem in drugem nadstropju so sicer vidne manjše nehomogenosti v obliki lis po celotni fasadi, ki so izrazite predvsem v prvi etaži na južni in zahodni fasadi. S termokamero smo zahodno steno v prvem nadstropju pregledali od znotraj, kjer pa nepravilnosti nismo opazili. Pri pogovoru z zaposlenimi v stavbi smo ugotovili, da je bila fasada v pritličju pred kratkim prebeljena. Poleg tega je v dneh pred meritvami deževalo. Na osnovi tega lahko sklepamo, da je starejša fasada v zgornjih etažah vpila vlago, kar je vidno na termografskih posnetkih. V pritlični etaži pa je novejša fasada bolj odporna na vremenske vplive.

Termovizijske posnetke smo uporabili za določitev mest meritev toplotnega toka. Poleg vseh zunanjih sten smo toplotni tok merili še na strehi in na mestu preklade v drugem nadstropju.

Rezultati meritev toplotnega toka nam dajejo dokaj pričakovane vrednosti toplotnih prehodnosti. Najmanjšo toplotno prehodnost ima streha, saj je precej izolirana. Precej velike vrednosti dobimo v kleti in na prekladi, kar sovpada s termografskimi posnetki in s sestavo konstrukcije – kamen oziroma beton. Toplotni prehodnosti sten v pritličju in 2. nadstropju sta istega velikostnega razreda brez posebnosti. Izstopajo pa rezultati za toplotno prehodnost stene v 1. nadstropju. Ne moremo eksaktno reči, kaj je razlog za takšno odstopanje. Ena možnost je, da se ravno na mestu, kjer smo izvajali meritve, nahaja lokalni toplotni most. Vendar ga pri termografskem pregledu stavbe nismo opazili. Odstopanje bi lahko pripisali tudi morebitni napaki pri izvajanju meritev.

V naslednjem poglavju smo pri analizi energetske učinkovitosti objekta izmerjene vrednosti toplotnih prehodnosti primerjali z izračunanimi in jih uporabili kot vhodne podatke pri računu energetske izkaznice. Poleg tega smo uporabili tudi podatke o toplotnih mostovih. Na termografskih posnetkih smo izmerili dolžine preklad v drugem nadstropju in iz rezultatov meritev toplotnega toka izračunali linijsko toplotno prehodnost. Ker na termografskih posnetkih ni vidnih vezi, smo pri potresni analizi objekta upoštevali dejstvo, da zidovje ni povezano.

Z energetskega pregledom objekta pridobimo podatke, na podlagi katerih se lahko z večjo zanesljivostjo odločimo za primerne ukrepe učinkovite rabe energije, ki bodo omogočili optimalno energetske sanacije. Poleg termografskega pregleda in analize obstoječega gradbeno-fizikalnega stanja je potrebno pregledati in opraviti tudi analizo energetskih sistemov v objektu. Dobro načrtovana stavba je rezultat medsebojnega prepletanja gradbenih elementov in energetskih sistemov (Praznik, 2007). Temu primerno je račun energetske izkaznice v naslednjem poglavju razdeljen na dva dela. Prvi del temelji na lastnostih stavbe, drugi del pa vsebuje podatke o učinkovitosti sistemov v objektu.

4 ENERGETSKA UČINKOVITOST OBJEKTA

Stavbe porabijo 40 % skupne energije v Evropski uniji. Zmanjšanje porabe energije in raba energije iz obnovljivih virov sta v stavbnem sektorju pomembna ukrepa, potrebna za zmanjšanje energetske odvisnosti Unije in emisij toplogrednih plinov (Direktiva EPBDr). Skladno z evropsko zakonodajo so v Sloveniji stopili v veljavo Energetski zakon EZ-1 in nekateri pravilniki, navedeni v nadaljevanju poglavja.

Za stavbe v Evropski uniji obstaja več certifikacijskih sistemov. Eden izmed enostavnejših je energetska izkaznica, tj. listina s podatki o energetske učinkovitosti stavbe in s priporočili za povečanje energetske učinkovitosti. Izraža porabo energije stavbe ali stanovanja, ki je v zadnjem času pomemben parameter pri odločanju o nakupu ali najemu. Energetsko izkaznico je potrebno pridobiti za vse nove stavbe in za vse javne stavbe s površino večjo od 250 m² (EZ-1) ter v primeru prodaje ali oddaje v najem za obdobje enega leta in več.

Za izdelavo osnutka energetske izkaznice lahko uporabimo različne komercialne programe. Odločili smo se za program ArchiMAID, podjetja FIBRAN NORD d.o.o. Le-ta je brezplačno dostopen in omogoča dokazovanje ustreznosti stavbe skladno s *Pravilnikom o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES2010, 2010)* kot tudi izračun energijskega razreda, v katerem je stavba glede na *Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb (PEI, 2014)*.

4.1 Zakonodaja

Tukaj izpostavimo pomembnejše predpise, ki urejajo energetske učinkovitost in certificiranje stavb v Sloveniji.

Zakon o graditvi objektov (ZGO-1, 2004) ureja pogoje za graditev vseh objektov, določa bistvene zahteve in njihovo izpolnjevanje glede lastnosti objektov, predpisuje način in pogoje za opravljanje dejavnosti, ki so v zvezi z graditvijo objektov, ureja organizacijo in delovno področje dveh poklicnih zbornic, ureja inšpekcijsko nadzorstvo, določa sankcije za prekrške, ki so v zvezi z graditvijo objektov, ter ureja druga vprašanja, povezana z graditvijo objektov.

Gradbeni predpisi v nadaljevanju določajo tehnične značilnosti objektov, tako da ti glede na svoj namen izpolnjujejo eno, več ali vse naslednje bistvene zahteve, opredeljene v Zakonu o graditvi objektov:

- mehanske odpornosti in stabilnosti,
- varnosti pred požarom,

- higienске in zdravstvene zaščite in zaščite okolice,
- varnosti pri uporabi,
- zaščite pred hrupom,
- varčevanja z energijo in ohranjanja toplote.

S prenovo, ki je tema te magistrske naloge, želimo predvsem zadostiti prvi in zadnji bistveni zahtevi.

Energetski zakon (EZ-1, 2014) določa načela energetske politike, pravila delovanja trga z energijo, načine in oblike izvajanja gospodarskih javnih služb na področju energetike, načela in ukrepe za doseganje zanesljive oskrbe z energijo, za povečanje energetske učinkovitosti in varčevanja z energijo ter za večjo rabo energije iz obnovljivih virov, določa pogoje za obratovanje energetskih naprav, ureja pristojnosti, organizacijo in delovanje Agencije za energijo ter pristojnosti drugih organov, ki opravljajo naloge po tem zakonu.

Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES2010, 2010) določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja ali njihove kombinacije, priprave tople vode in razsvetljave v stavbah, zagotavljanja lastnih obnovljivih virov energije za delovanje sistemov v stavbi, ter metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavbe v skladu z *Direktivo 31/2010/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (Direktiva EPBDr, 2010)*.

PURES2010 se uporablja pri gradnji novih stavb in rekonstrukciji stavbe oziroma njenega posameznega dela, kjer se posega v najmanj 25 odstotkov površine toplotnega ovoja, če je to tehnično izvedljivo. Poleg tega predpisuje obvezno uporabo *Tehnične smernice za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije (TSG-1-004, 2010)*, v nadaljevanju Tehnična smernica, katera določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za dosego zahtev iz PURES-a ter obravnava arhitekturne zahteve, toplotno zaščito, ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, pripravo tople vode in razsvetljavo v stavbah. Določa tudi metodologijo izračuna energetskih lastnosti stavbe.

Podrobnejšo vsebino in obliko energetske izkaznice stavbe, metodologijo za izdelavo in izdajo energetske izkaznice ter vsebino podatkov, način vodenja registra energetskih izkaznic in način prijave izdane energetske izkaznice za vpis v register določa *Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb (PEI, 2014)*. Prav tako določa podrobnejšo vsebino, obliko, metodologijo in roke za nadzor nad izdanimi energetskimi izkaznicami.

4.1.1 Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES2010)

Pri zagotavljanju učinkovite rabe energije v stavbah je treba upoštevati celotno življenjsko dobo stavbe, njeno namembnost, podnebne podatke, materiale konstrukcije in ovoja, lego in orientiranost, parametre notranjega okolja, vgrajene sisteme in naprave ter uporabo obnovljivih virov energije.

7. člen PURES-a določa mejne vrednosti kazalnikov učinkovite rabe energije oziroma izraze za izračun le-teh. To so:

- koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja stavbe,
- dovoljena letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe, preračunana na enoto kondicionirane površine oziroma prostornine stavbe,
- dovoljen letni potrebni hlad za hlajenje stavbe, preračunan na enoto hlajene površine stavbe,
- letna primarna energija za delovanje sistemov v stavbi, preračunana na enoto ogrevane površine stavbe.

Poleg zgoraj naštetih kazalnikov ne sme biti presežena nobena od mejnih vrednosti toplotnih prehodnosti gradbenih konstrukcij, določenih v tabeli 1 točke 3.1.1 Tehnične smernice.

Pri projektiranju je potrebno stavbo zasnovati tako, da je energijsko ustrezno orientirana, da je razmerje med površino toplotnega ovoja stavbe in njeno kondicionirano prostornino z energijskega stališča ugodno, da so prostori v stavbi energijsko optimalno razporejeni in da materiali in elementi konstrukcije ter celotna zunanja površina stavbe omogočajo učinkovito upravljanje z energijskimi tokovi. S toplotno zaščito površine toplotnega ovoja stavbe in ločilnih elementov delov stavbe z različnimi režimi notranjega toplotnega ugodja je treba:

- zmanjšati prehod energije skozi površino toplotnega ovoja stavbe,
- zmanjšati podhlajevanje ali pregrevanje stavbe,
- zagotoviti tako sestavo gradbenih konstrukcij, da ne prihaja do poškodb ali drugih škodljivih vplivov zaradi difuzijskega prehoda vodne pare,
- nadzorovati (uravnavati) zrakotesnost stavbe.

Poleg tega je treba stavbe projektirati in graditi tako, da je vpliv toplotnih mostov na letno potrebo po energiji za ogrevanje in hlajenje čim manjši in da toplotni mostovi ne povzročajo škode stavbi ali njenim uporabnikom.

Energijska učinkovitost stavbe je dosežena, če je poleg zahtev iz 7. člena PURES-a najmanj 25 odstotkov celotne končne energije za delovanje sistemov v stavbi zagotovljeno z uporabo obnovljivih virov energije v stavbi. Energijska učinkovitost stavbe je dosežena tudi, če je delež končne energije za ogrevanje in hlajenje stavbe ter pripravo tople vode pridobljen na enega od naslednjih načinov:

- najmanj 25 odstotkov iz sončnega obsevanja,
- najmanj 30 odstotkov iz plinaste biomase,
- najmanj 50 odstotkov iz trdne biomase,
- najmanj 70 odstotkov iz geotermalne energije,
- najmanj 50 odstotkov iz toplote okolja,
- najmanj 50 odstotkov iz naprav SPTE z visokim izkoristkom v skladu s predpisom, ki ureja podpore električni energiji, proizvedeni v soproizvodnji toplote in električne energije z visokim izkoristkom,
- je stavba najmanj 50 odstotkov oskrbovana iz sistema energijsko učinkovitega daljinskega ogrevanja oziroma hlajenja.

Šteje se, da je energijska učinkovitost stavbe dosežena, če je dovoljena letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe, preračunana na enoto kondicionirane površine oziroma površino stavbe, za najmanj 30 odstotkov nižja od mejne vrednosti iz 7. člena pravilnika. Ne glede na prej navedeno se za enostanovanjske stavbe šteje tudi, da je energijska učinkovitost dosežena, če je vgrajenih najmanj 6 m² (svetle površine) sprejemnikov sončne energije z letnim donosom najmanj 500 kWh/(m²a).

Doseganje učinkovite rabe energije v stavbah oziroma izpolnjevanje zahtev se dokazuje v elaboratu gradbene fizike za področje učinkovite rabe energije v stavbah. Povzetki izračunov iz elaborata morajo biti navedeni na obrazcu »Izkaz energijskih lastnosti stavbe«.

Izpusti CO₂, ki nastanejo pri delovanju sistemov v stavbi, se določijo na podlagi podatkov za specifične izpuste CO₂ za posamezne vire energije. Slednje poda dobavitelj ali pa se uporabijo vrednosti, določene v 11. točki Tehnične smernice. Za izračun letne primarne energije se uporabijo faktorji pretvorbe za posamezne vrste energentov, s katerimi pomnožimo letno dovedeno energijo za delovanje sistemov v stavbi. Celotne izpuste CO₂ dobimo tako, da se letna potrebna primarna energija za delovanje sistemov, izračunana za posamezen vir energije, pomnoži s pripadajočim podatkom za specifične izpuste CO₂ in se vrednosti seštejejo.

4.1.2 Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetske izkaznice stavb (PEI)

Postopek izdelave energetske izkaznice obsega pregled stavbe in naprav, analizo podatkov o stavbi in rabi energije, izračun potrebnih energijskih kazalnikov in vpis podatkov v register.

Glede na vrsto stavbe oziroma namen njene uporabe ločimo dve vrsti energetske izkaznice:

- **Računska energetska izkaznica**, ki se določi na podlagi izračunanih energijskih kazalnikov rabe energije stavbe. Lahko se izdela in izda za vsako stavbo. Predpisana je za novozgrajene stavbe in novozgrajene dele stavb, obstoječe stanovanjske stavbe in stanovanja. Pri tej izkaznici se upoštevajo standardni robni pogoji glede klime in režima uporabe stavbe, zato je neodvisna od življenjskih navad uporabnikov.
- **Merjena energetska izkaznica**, ki se določi na podlagi meritev rabe energije. Izda se za obstoječe nestanovanjske stavbe ali nestanovanjske dele stavb, ker se pri prodaji ali najemu take stavbe način uporabe bistveno ne spremeni.

Namesto merjene energetske izkaznice se lahko izda računsko energetska izkaznica, če neodvisni strokovnjak za izdajo energetske izkaznice oceni, da podatki o dejanski rabi energije niso zanesljivi.

Energijski kazalniki za računsko energetska izkaznico so naslednji:

- letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe,
- letna dovedena energija za delovanje stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe,
- letna primarna energija za delovanje stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe,
- letne emisije CO₂ zaradi delovanja stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe.

Energijski kazalniki za merjeno energetska izkaznico so naslednji:

- letna dovedena energija na enoto kondicionirane površine stavbe,
- letna dovedena električna energija na enoto kondicionirane površine stavbe,
- letna primarna energija za delovanje stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe,
- letne emisije CO₂ zaradi delovanja stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe.

V računski energetska izkaznici se stavba uvrsti v razred energetske učinkovitosti, kot je prikazano v preglednici (Preglednica 16). Ostali energijski kazalniki računsko oziroma merjeno izkaznice se

prikažejo na barvnem poltraku. Razreda A in B se pripisujeta pasivnim oz. skoraj ničenergijskim stavbam.

Priporočila, navedena v energetske izkaznici, morajo biti skladna s pravili stroke in stanjem tehnike ter tehnično izvedljiva, da se z njimi lahko ocenijo stroškovne ugodnosti zaradi izboljšanja energetske učinkovitosti stavbe. Primeri priporočil so razdeljeni na naslednja področja:

- izboljšanje kakovosti ovoja,
- izboljšanje energetske učinkovitosti sistemov,
- povečanje učinkovitosti rabe obnovljivih virov energije,
- organizacijski ukrepi.

Preglednica 16: Razredi energetske učinkovitosti

| Razred | Letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe na enoto uporabne površine [kWh/m²a] |
|---------------|---|
| A1 | od 0 do vključno 10 |
| A2 | nad 10 do vključno 15 |
| B1 | nad 15 do vključno 25 |
| B2 | nad 25 do vključno 35 |
| C | nad 35 do vključno 60 |
| D | nad 60 do vključno 105 |
| E | nad 105 do vključno 150 |
| F | nad 150 do vključno 210 |
| G | nad 210 |

Energetska izkaznica se izda z vpisom v register energetskih izkaznic. Tukaj velja pripomniti, da uradno energetske izkaznice lahko izdajo in vpišejo v register le pooblaščen neodvisni strokovnjaki.

Enako velja za izdelavo merjene izkaznice. Zato smo se odločili, da za potrebe magistrske naloge izdelamo osnutek računске izkaznice.

4.1.3 Tolmačenje glede stavbne dediščine

Za stavbe, ki so varovane po predpisih s področja varstva kulturne dediščine, velja, da lahko odstopajo od minimalnih zahtev glede energetske učinkovitosti, če bi njihovo izpolnjevanje ogrozilo varovane vrednote objekta.

Ker zaradi kulturnovarstvenih omejitev pri teh stavbah predpisana energetska izkaznica ne bi dosegla in opravičila svojega namena, je Energetski zakon določil, da v primerih, ko gre za stavbe, ki so varovane po predpisih s področja varstva kulturne dediščine, izkaznica ni obvezna. Ta določba se nanaša le na tisto kulturno dediščino, ki je varovana kot stavbna dediščina, kar pomeni, da ima za tip dediščine določeno: stavbna (profana, sakralna ...) dediščina (Tolmačenje glede stavbne dediščine, 2015).

Ker ima v objektu na Tržaški 4 svoje prostore Zavod za varstvo kulturne dediščine, smo tam tudi dobili vse potrebne informacije. Sicer podatke o tem, ali ima stavba status kulturne dediščine in kakšnega tipa je, lahko poiščemo v spletnem Registru nepremične kulturne dediščine in se prepričamo, da objekt spada med profano stavbno dediščino (Opis enote nepremične kulturne dediščine, 2014).

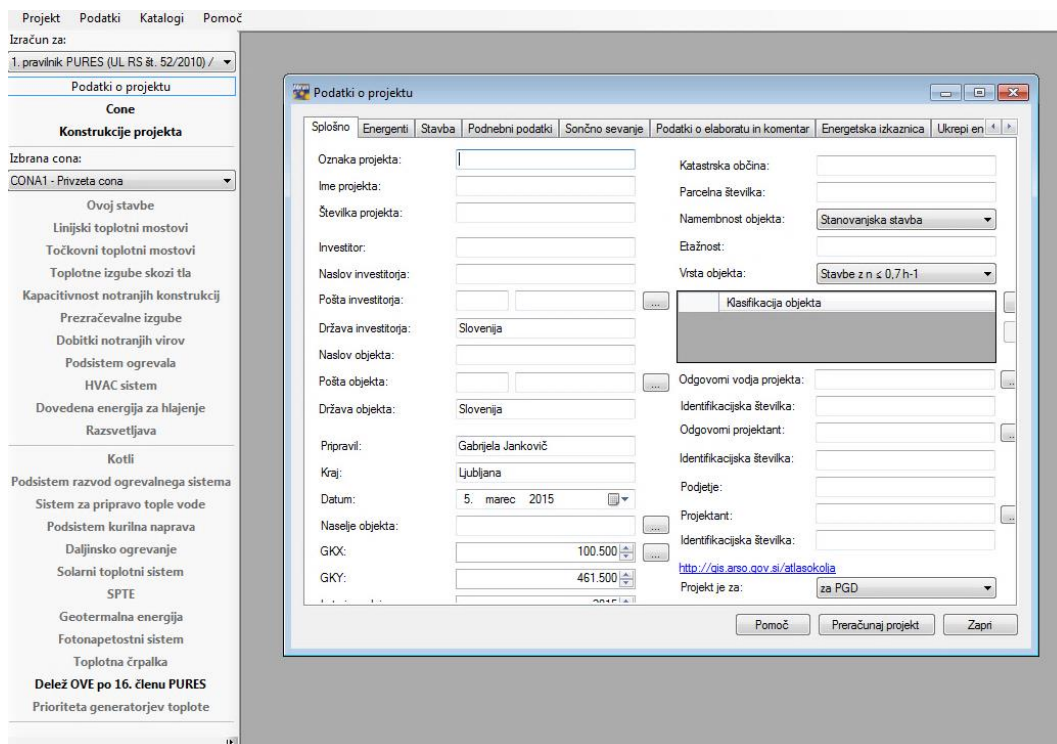
Čeprav po zakonu energetska izkaznica za obravnavani objekt za zdaj ni zahtevana, smo se pri nadaljnjem delu želeli čim bolj približati zahtevam PURES-a. Pri tem so nam bili energetski kazalniki vodilo, kako moramo izboljšati stavbo, da bi bila ta čim bolj energetska učinkovita.

4.2 Račun energetske izkaznice

Račun energetske izkaznice stavbe smo opravili s programom ArchiMAID (Slika 19). Vnos podatkov je v grobem razdeljen na dva dela. Praviloma prvi del računa opravi gradbenik ali arhitekt, drugi del pa zadeva strojniško stroko.

V prvem delu vnesemo glavne podatke o projektu, opredelimo cone in definiramo konstrukcije, ki se pojavijo v obravnavani stavbi. Nato sledi vnašanje podatkov za posamezno cono. To so definicija ovoja stavbe, morebitni toplotni mostovi, toplotne izgube skozi tla, kapacitivnost notranjih konstrukcij, prezračevalne izgube in dobitki notranjih virov. Po vnosu naštetih podatkov lahko že dobimo razred energetske izkaznice.

Razred energetske izkaznice je torej lastnost stavbe in ne sistema ter je neodvisen od uporabnika. V račun razreda EI so zajete transmisijske in ventilacijske izgube ter dobitki notranjih virov in sončnega sevanja.



Slika 19: Pogovorno okno programa ArchiMAID z odprtim vnosom podatkov o projektu (Vir: ArchiMAID, 2015)

Šele v drugem delu programa vnesemo podatke o ogrevalnem oziroma hladilnem sistemu, razsvetljavi, morebitnih solarnih toplotnih sistemih, geotermalni energiji, fotonapetostnih sistemih ipd. Ta del računa ne vpliva na razred energetske izkaznice, vpliva pa na dovedeno energijo za delovanje sistema in emisije CO₂. Ti kazalniki so poleg razreda EI navedeni na energetski izkaznici.

V nadaljevanju so povzeti vhodni podatki in predstavljeni rezultati računa EI. Določitev ogrevalnega sistema in tipa razsvetljave v stavbi na Tržaški 4 ni bila posebej zahtevna, zato smo ta del vnesli brez pomoči inženirja strojništva.

4.2.1 Cona

Stavbo smo obravnavali kot eno cono s petimi etažami, skupnih dimenzij 15,25 x 11,45 x 17,25 m. Izračunana bruto ogrevana prostornina je 3012,1 m³, enostavna neto ogrevana prostornina znaša 80 % bruto prostornine (2409,7 m³), uporabna površina stavbe pa je 573 m².

4.2.2 Konstrukcijski sklopi in ovoj stavbe

Definirali smo vse konstrukcijske sklope, ki jih vsebuje stavba. Primerjali smo vrednosti izmerjenih toplotnih prehodnosti in faktorjev, ki nam jih izračuna program za podane konstrukcijske sklope (opredeljene v poglavju 2.2). V preglednici (Preglednica 17) vidimo, da so v večini primerov vrednosti

primerljive. Že pri analizi meritev gostote toplotnega toka smo opazili, da stena v prvem nadstropju izstopa. S primerjavo rezultatov lahko to izstopanje le še potrdimo. V ostalih primerih je odstopanje manjše od 15 %, zato smo za račun energetske izkaznice uporabili podatke iz programa.

Preglednica 17: Primerjava toplotnih prehodnosti

| Konstruktivski sklop | U [W/m ² K] meritve | U [W/m ² K] izračun | odstopanje izračuna od meritev |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Stena v kleti | 1,97 | 1,75 | 11 % |
| Stena v pritličju | 0,86 | 0,80 | 7 % |
| Stena v 1. nadstropju | 1,67 | 0,97 | 42 % |
| Stena v 2. nadstropju | 0,96 | 1,10 | 13 % |
| Preklada v 2. nadstropju | 2,13 | 2,25 | 5 % |
| Streha | 0,17 | 0,17 | 0 % |

Toplotno prehodnost oken in vrat smo določili s pomočjo tabele v brošuri Energetsko učinkovita zasteklitev in okna (Šijanec Zavrl in Tomšič, 1999), in sicer:

- vezano okno $U = 2,3$ W/m²K (v kleti, 2. nadstropju in mansardi),
- škatlasto okno $U = 2,2$ W/m²K (v pritličju in 1. nadstropju).

Za vhodna vrata smo izbrali prav tako faktor $U = 2,3$ W/m²K.

V naslednjem koraku smo izračunali površino konstrukcijskih elementov, ki pripadajo posamezni usmeritvi fasade, ter podatke vnesli v program.

4.2.3 Linijski toplotni mostovi

Izbrali smo opcijo podrobnega izračuna vpliva toplotnih mostov in vnesli podatke, ki smo jih pridobili s termografskim pregledom stavbe in meritvami toplotnega toka. Slednjega smo merili na prekladi v 2. nadstropju in dobljeno vrednost konservativno privzeli za vse toplotne mostove. Poleg že omenjenih preklad smo upoštevali še parapete v pritličju in prvem nadstropju. Kletna etaža pa je zajeta pri opredelitvi stavbnega ovoja.

Izračunana toplotna prehodnost na kritičnem mestu znaša $2,13 \text{ W/m}^2\text{K}$, višina elementa, kjer se pojavi toplotni most, je $0,25 \text{ m}$, iz česar dobimo linijsko toplotno prehodnost $0,53 \text{ W/mK}$.

Predpostavili smo, da so preklade vpete na razdalji 30 cm levo in desno od oken v drugem nadstropju in izračunali skupno dolžino, ki znaša približno 29 m . Na podoben način smo določili dolžino parapetov v pritličju ($12,3 \text{ m}$) in v prvem nadstropju ($8,8 \text{ m}$).

4.2.4 Ogrevanje in hlajenje

Od leta 1990 se prostori v objektu ogrevajo na kurilno olje z nameščeno zunanjo podtalno cisterno. Kotel z močjo 90 kW se nahaja v kletnih prostorih.

Hlajenje v stavbi je zagotovljeno le v mansardi z eno sobno klimatsko napravo (40 W).

4.2.5 Ostali podatki

Med ostale podatke sodijo podatki o ogrevani kleti, ki so potrebni za račun toplotnih izgub skozi tla, kapacitivnost notranjih sten in medetažnih konstrukcij, dobitki notranjih virov ter razsvetljava.

Kapacitivnost notranjih sten in medetažnih konstrukcij smo upoštevali na poenostavljen način za težko stavbo. »Med težke stavbe uvrščamo stavbe z masivnimi zunanjimi in notranjimi gradbenimi elementi, stavbe z velikim delom zunanjih in notranjih masivnih gradbenih elementov, s plavajočim estrihom in brez visečega stropa.« (Tehnična smernica, točka 9.2.7 (3), 2010)

Dobitke notranjih virov smo upoštevali po SIST EN ISO 13790, pri čemer smo opredelili razred zasedenosti V ($20 \text{ m}^2/\text{osebo}$) in površino prostorov, v katerih upoštevamo dobitke notranjih virov zaradi naprav. V stavbi se za razsvetljava pretežno uporabljajo sijalke ($2,5 \text{ W/m}^2$).

4.2.6 Diskusija rezultatov

Poleg rezultatov energetske izkaznice, podanih na sliki (Slika 20), sta za nas pomembni še dve vrednosti:

- koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi zunanjo površino stavbe

0,877 (izračunana) > 0,455 (dovoljena),

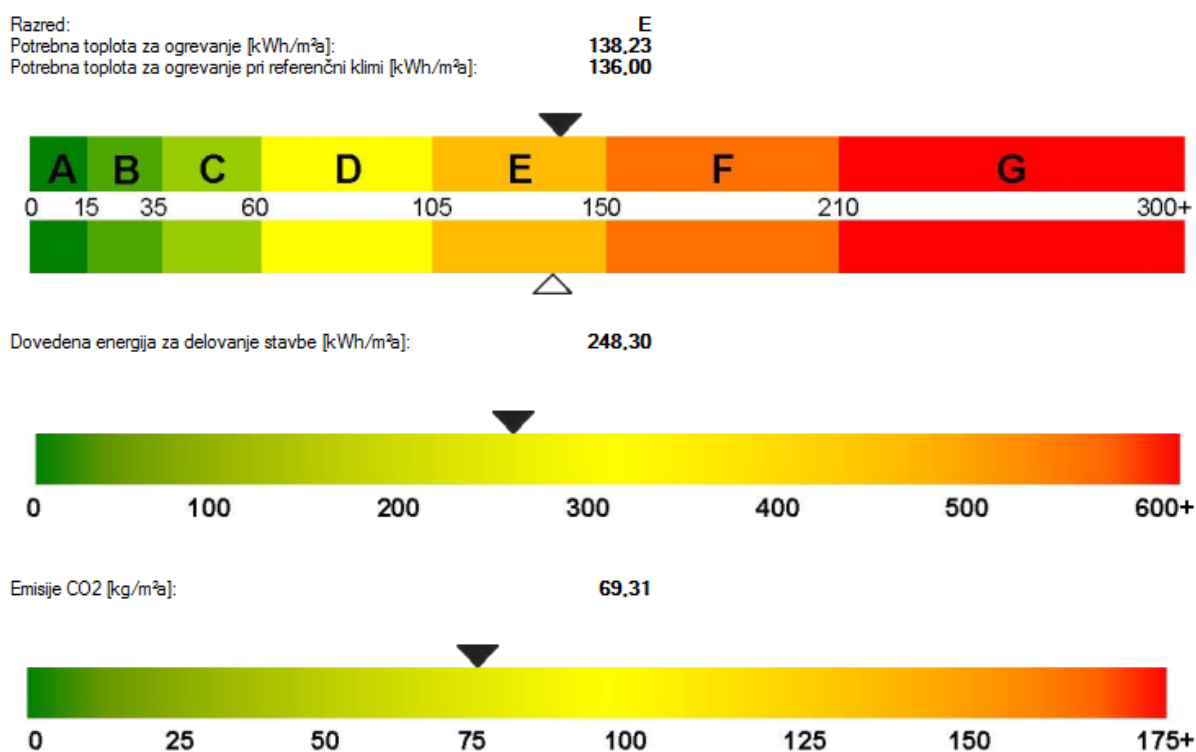
- dovoljena letna potrebna toplota, preračunana na ogrevane prostornine

26,296 (izračunana) > 7,295 (dovoljena).

Zgoraj navedena parametra sta poleg razreda energetske izkaznice podatka, ki opisujeta lastnost same stavbe in sta neodvisna od energetskih sistemov v stavbi. Obe vrednosti presegata dovoljeno mejo, prav tako razred E (Slika 20) ni kazalnik dobre energetske učinkovitosti.

Program sporoči napake pri definiciji konstrukcijskih sklopov objekta. Tehnična smernica določa največje dovoljene toplotne prehodnosti, ki so med drugim tudi kazalniki energijske učinkovitosti stavbe. Pri pregledu rezultatov računa toplotnih prehodnosti posameznih elementov stavbnega ovoja (Preglednica 18) ugotovimo, da zahteve izpolnjuje le strešna konstrukcija. Ostale vrednosti presegajo dovoljene. Tukaj so možnosti za izboljšavo kakovosti stavbnega ovoja in posledično znižanje koeficienta specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi zunanjo površino stavbe ter dovoljene letne potrebne toplote.

Vrednosti dovedene energije za delovanje stavbe in emisije CO₂ sta prav tako dokaj visoki. Ta dva podatka podajata učinkovitost sistemov v stavbi in tudi v tem delu bi lahko z določenimi ukrepi izboljšali rezultate.



Slika 20: Rezultati energetske izkaznice (Vir: ArchiMAID, 2015)

Preglednica 18: Rezultati stavbnega ovoja

| Konstrukcija | U [W/m²K] izračun | U [W/m²K] mejna vrednost |
|------------------------|--|---|
| Stena v kleti | 1,75 | 0,35 (0,28) |
| Stena v pritličju | 0,80 | 0,28 |
| Stena v 1. nadstropju | 0,97 | 0,28 |
| Stena v 2. nadstropju | 1,10 | 0,28 |
| Streha | 0,17 | 0,20 |
| Tla na terenu | 0,51 | 0,35 |
| Vezana okna (termopan) | 2,30 | 1,30 |
| Škatlasta okna | 2,20 | 1,30 |
| Strešna okna | 2,20 | 1,40 |
| Vhodna vrata | 2,30 | 1,60 |

Opravljen analiza upošteva le stacionaren oziroma časovno neodvisen prenos toplote v konstrukcijskih sklopih. »U« faktorji so izračunani in upoštevani v analizi ob predpostavki, da se zunanja in notranja temperatura s časom ne spreminjata. Ob upoštevanju takšnih robnih pogojev je toplotni tok konstanten. Vemo pa, da se robni pogoji spreminjajo in je odziv gradbenih konstrukcij dinamičen pojav. To potrjujejo tudi opravljene meritve gostote toplotnega toka, kjer smo ob spremembi temperature zaznali spremembo gostote toplotnega toka. Nato pa smo toplotne prehodnosti izračunali za interval, v katerem so se robni pogoji stabilizirali. Račun energetske izkaznice torej ne upošteva akumulacije zidov, ki je v splošnem dobra lastnost masivnih zidov.

Eden izmed rezultatov je tudi količina porabljenih energentov, prikazana v preglednici (Preglednica 19).

Preglednica 19: Energenti

| Energent | Količina energenta [enota/leto] | Emisija CO ₂ [kg/leto] | Dovedena energija [kWh/leto] | Primarna energija [kWh/leto] |
|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Ekstra lahko kurilno olje [l] | 14615 | 37998 | 139186 | 153105 |
| Elektrika [kWh] | 3088 | 1636 | 3088 | 7719 |

4.3 Ukrepi za izboljšavo

Ker je obravnavani objekt pod varstvom kulturne dediščine, je poseganje v stavbni ovoj omejeno. Posledično je omejena tudi izbira ukrepov za izboljšavo energetske učinkovitosti. Med najpogostejšimi ukrepi za izboljšavo stavbnega ovoja je izvedba izolacije na zunanji strani, kar pa v tem primeru ni izvedljivo. Zato smo poiskali alternativne rešitve, predstavljene v nadaljevanju poglavja.

4.3.1 U1 – Prenova stavbnega povišstva

Pri prenovi oken dobro ohranjena škatlasta okna v skladu s konservatorskimi smernicami obdržimo. Termografski posnetki ne pokažejo problematičnih tesnitev, zato prenovimo oziroma zamenjamo le notranje okenske okvirje, v katere vgradimo zasteklitev z boljšimi izolacijskimi lastnostmi. Najbolj problematična so kletna okna, kar je razvidno tudi na posnetkih s termografsko kamero. Ta okna je v vsakem primeru potrebno zamenjati in bolje zatesniti.

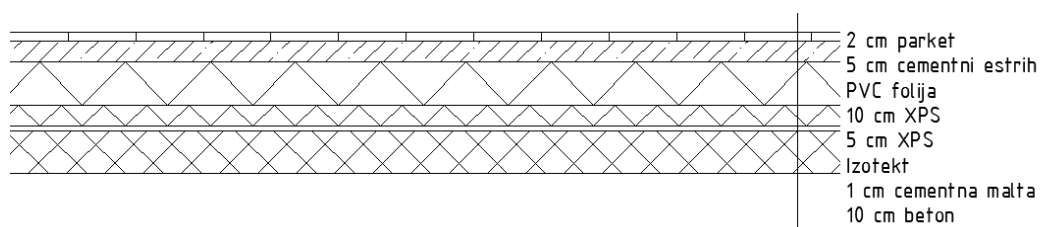
Novejša okna bolj tesnijo, zato pričakujemo v prostoru več vlage, kot je bilo prej. Da bi preprečili nastanek kondenzacije in pojav plesni, moramo zagotoviti zadostno prezračevanje. Vgradnja centralnega prezračevalnega sistema ni smiselna in teh posegov v stavbo ne dovoljujejo konservatorske smernice. Zato se prezračevanje zagotovi naravno, z odpiranjem oken. V stanovanjskih stavbah je v prostorih z visoko relativno vlažnostjo, kot so kopalnice in kuhinje, priporočljivo odpirati okna na stežaj, vsaj 4-krat dnevno po 5 minut (Maier, 2009). V obravnavanem objektu lahko to glede na uporabo prostorov prilagodimo. Prezračevanje je učinkovito predvsem pozimi, ko suh in mrzel zunanji zrak zamenja toplega in vlažnega v notranjih prostorih. Prezračevanje z odpiranjem oken na ventus ne zagotavlja zadostne izmenjave zraka. Poleg tega lahko vodi v pojav plesni nad okni na zunanji strani sten. Vlažen in topel zrak prehaja iz prostora v zunanost koncentrirano le na vrhu okna, kar omogoča dobre pogoje za razvoj plesni v tem predelu fasade.

4.3.2 U2 – Menjava energenta

Emisije CO₂ lahko zmanjšamo z menjavo energenta. Ena izmed možnosti je uporaba kotla na lesno biomaso. Pri menjavi energenta je energijska učinkovitost stavbe dosežena, ker je več kot 50 odstotkov končne energije za ogrevanje in hlajenje stavbe ter pripravo tople vode pridobljeno iz trdne biomase.

4.3.3 U3 – Izolacija tal na terenu

Toplotna prehodnost tal na terenu ne zadostuje mejnim vrednostim, ki jih določa Tehnična smernica. Z dodatno toplotno izolacijo tal lahko konstrukcijo izboljšamo in predvidevamo, da s tem tudi povečamo energetske učinkovitost stavbnega ovojja. Tla lahko dodatno izoliramo z notranje strani, kot je prikazano na sliki (Slika 21).



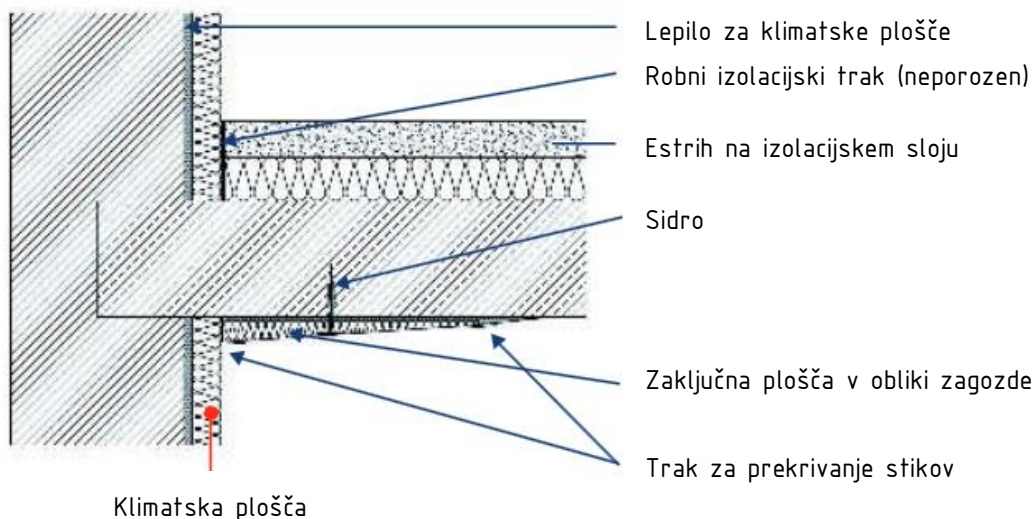
Slika 21: Dodatna izolacija tal z notranje strani

4.3.4 U4 – Izolacija na notranji strani

Izvedba toplotne izolacije na zunanji strani ni možna, lahko pa zunanje stene izoliramo na notranji strani. Pri takšni izvedbi se nam pojavi drug problem, in sicer ustvarimo v območju medetažne konstrukcije nov toplotni most, ki ga težko rešujemo.

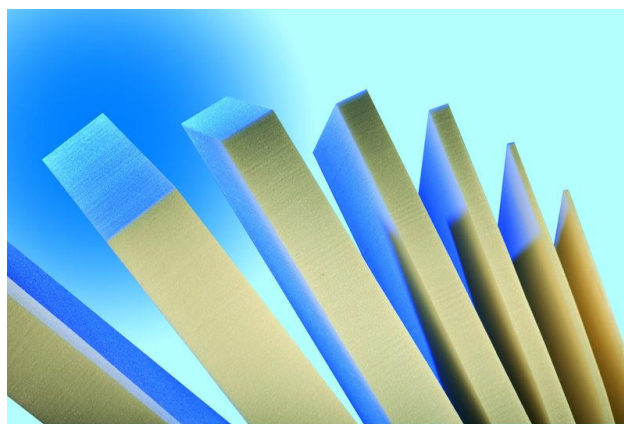
Ena izmed možnih rešitev je izbira toplotnoizolacijskih plošč iz kalcijevega silikata (Izolacijske plošče za notranjo toplotno izolacijo, 2015) s toplotno prevodnostjo med 0,053 in 0,065 W/mK. Ca-Si klimatske plošče zaradi svojih lastnosti preprečujejo kondenziranje vlage na stenah in na mestih toplotnih mostov ter posledično nastajanje plesni. Kalcij-silikatne plošče aktivno sprejemajo vlago iz stene (1 m² lahko sprejme do 20 litrov vode). Ker pa so alkalne in imajo pH med 10,5 in 12, preprečujejo kondenzacijo in posledično nastanek plesni, saj je za slednje potrebna kislina in nevtralna podlaga s pH vrednostmi med 4,5 in 6.

V področju toplotnih mostov ob stropu, pri tleh in v kotih, kjer pričakujemo pojav kondenzacije, lahko uporabimo plošče v obliki zagozde (Slika 22). Plošče na tržišču so različnih dimenzij in debelin od 10 do 80 mm.



Slika 22: Detajl izvedbe Ca-Si plošč (Vir: Calsitherm, 2015)

Drugi material, primeren za izolacijo znotraj, so poliuretanske PUR plošče (Slika 23). Slednje imajo nižjo toplotno prevodnost $\lambda=0,031$ W/mK, s čimer lahko boljšo energetske učinkovitost ovoja dosežemo že z manjšimi debelinami. Na ta način ohranimo večje uporabne površine prostorov. Problem takšnih plošč je slabša požarna odpornost.



Slika 23: Poliuretanske PUR/PIR plošče (Vir: Puren gmbh, 2015)

Tretja varianta so Xtra klimatske plošče (Slika 24). Plašč teh plošč je iz kalcijevega silikata, kar zagotavlja izkoriščanje dobrih lastnosti Ca-Si plošč, sredica pa je narejena iz materiala z boljšimi toplotnoizolacijskimi lastnostmi. Na tržišču so plošče s sredico iz pirogene ortosilicijeve kisline, vakuumskih izolacijskih panelov ali toge poliuretanske pene. Toplotna prevodnost je odvisna od debeline in materiala sredice. Za plošče Xtra PU debeline 50 mm je izmerjena toplotna prevodnost $\lambda=0,034$ W/mK, za debelino 80 mm pa $\lambda=0,031$ W/mK.



Slika 24: Xtra klimatske plošče (Vir: Calsitherm, 2015)

Negativna stran izolacije na notranji strani je, da zmanjšamo akumulacijo obstoječih zidov, ki so v spodnjih etažah precej masivni. Poleg tega spremenimo vpadni kot sončnih žarkov in zmanjšamo naravno osvetlitev, s povečanjem debeline stene na notranji strani pa zmanjšamo tudi uporabno površino prostorov. Zadnja pomanjkljivost je bolj izrazita pri izvedbi izolacije z višjo toplotno prevodnostjo.

Novonastale toplotne mostove lahko rešujemo tako, da izolacijo namestimo po stropu dovolj globoko v prostor ter v tleh. To lahko storimo tako, da v območju ob stenah nasutje v medetažni konstrukciji zamenjamo z izolacijo. V tem primeru ostanejo le točkovni toplotni mostovi na mestih, kjer so leseni tramovi. Vendar pa vse to zahteva večje posege v konstrukcijo, ki niso zaželeni. Poleg tega ostanejo nerešeni toplotni mostovi zaradi obokov med kletjo in pritličjem. Alternativna izbira je, da nastanek plesni preprečujemo s klimatskimi ploščami v obliki zagozde in morebitnimi ogrevalnimi cevmi ob stiku tal s steno. V tem primeru moramo spremeniti razvod cevi po stavbi, poleg tega pa porabljamo dodatno energijo za ogrevanje teh delov, kar ni v skladu z energetsko učinkovitostjo. Kot smo napisali že zgoraj, je potrebno zagotoviti tudi zadostno prezračevanje.

4.3.5 U5 – Toplotnoizolacijski omet

Možni ukrep za izboljšanje energetskih lastnosti stavbnega ovoja je tudi izvedba klasičnega toplotnoizolacijskega ometa. Slednji mora biti enak originalnemu. Dovoljeno je uporabiti apneni ali silikatni omet, pri čemer je potrebno dekoracijo fasade v ometu, profilirane elemente ter venčne zidce v čim večji možni meri ohraniti in obnoviti v vseh detajlih. Takšna izvedba ometa zahteva izkušenega strokovnjaka.

Pri računu smo uporabili izolacijski omet s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,09$ W/mK (Maier, 2009). Minimalna debelina zunanega ometa je 40 mm, debelina večja od 100 mm pa ni priporočljiva. Toplotnoizolacijski omet običajno ni primeren za uporabo v področju cokla, zato je ta del potrebno posebej izolirati.

Obstaja tudi toplotnoizolacijski omet iz vermikulita z boljšimi toplotnoizolacijskimi lastnostmi in toplotno prevodnostjo $\lambda=0,064$ W/mK (TERMOvermit, 2015). Slednji je higroskopičen ter konstantno vpija vlago iz zraka. Zato je primeren za sanacijo starejših objektov in objektov, varovanih kot kulturna dediščina. Običajno se izvede v enem nanosu maksimalne debeline 6 cm. Zaradi primerjave z ostalimi ukrepi smo pri računu uporabili debelino 5 cm. Uporaba posebnih kalupov omogoča tudi izvedbo fasadne dekoracije oziroma robnih vencev. Pri izvedbi morajo biti izvajalci pozorni predvsem na to, da vermikulit ne splava na površje mešanice, saj je v primerjavi s peskom dosti lažji agregat. Primeren je tudi za uporabo v področju cokla in na notranji strani sten.

4.3.6 Diskusija rezultatov

Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi zunanjo površino stavbe in dovoljena letna potrebna toplota, preračunana na ogrevano prostornino, nista pri nobenem posamičnem ukrepu manjša od dovoljenih vrednosti. Ostale bistvene vrednosti energetske izkaznice so zbrane v preglednici (Preglednica 20). Navedeno je tudi izboljšanje parametrov v odstotkih glede na obstoječe stanje.

Nekatera notranja okna so bila že prenovljena. Ob zamenjavi toplotnoizolacijskih lastnosti vseh oken v programu za račun energetske izkaznice se energetska učinkovitost izboljša le za 9 % in razred energetske izkaznice ostane enak prvotnemu. Pri tem smo za okna uporabili faktor toplotne prehodnosti $U = 1,3$ W/m²K.

Kot smo predvidevali, so se ob uporabi kotla na lesno biomaso emisije CO₂ znatno zmanjšale, in sicer za 95 %. Prav tako za 15 % pade dovedena energija za delovanje stavbe, torej je ta ukrep smiseln. Logično bi bilo, da se dovedena energija za delovanje stavbe sploh ne zmanjša, saj stavba še vedno potrebuje enako energijo, ob predpostavki, da nič drugega nismo spremenili. Spremenili smo le vrsto energenta in tip kotla. Iz tega lahko predvidevamo, da se razlog za zmanjšanje dovedene energije skriva v različnih toplotnih izgubah posameznih kotlov.

Za dodatno izolacijo tal smo uporabili XPS s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,033$ W/mK. Prikazani so rezultati za debelino izolacije 5 in 10 cm. Vidimo, da se vsi parametri pri obeh debelinah izboljšajo le za 1 %. Zaključimo lahko, da ta ukrep ni primeren za izboljšanje energijske učinkovitosti stavbe.

Za toplotno izolacijo z notranje strani smo predvideli štiri različne variante, in sicer Ca-Si klimatske plošče debelin 5 cm in 8 cm s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,059$ W/mK ter Xtra klimatske plošče istih debelin. Za plošče Xtra PU debeline 5 cm je izmerjena toplotna prevodnost $\lambda=0,034$ W/mK, za debelino 8 cm pa $\lambda=0,031$ W/mK. Toplotne prehodnosti zunanjih sten se pri uporabi izolacije zmanjšajo, a le v nekaterih primerih dosežejo mejne vrednosti, zahtevane s Tehnično smernico. Do tega pride le v primeru uporabe Xtra klimatskih plošč debeline 8 cm in v pritličju in prvem nadstropju. Če bi hoteli do te mere zmanjšati toplotne prehodnosti vseh konstrukcij, bi bile debeline izolacije

velike in se na ta račun bistveno zmanjša tudi uporabna površina prostorov. Poleg tega smo ugotovili, da energetska učinkovitost po dodanih nekaj centimetrih izolacijskega materiala skokovito naraste, z večanjem debeline izolacije pa se ne poveča toliko. Torej ni linearno odvisna od debeline in k izboljšavi ovoja največ prispeva prvih nekaj centimetrov.

Sicer izolacija sten z notranje strani prispeva k izboljšanju energijskih lastnosti stavbnega ovoja za vsaj 23 % in v nekaterih primerih stavba sodi v razred D. Prav tako se zmanjšajo emisije CO₂. Pri računu smo upoštevali delno rešene toplotne mostove na mestu medetažnih konstrukcij.

Velja omeniti, da izolacija sten z notranje strani ne pomeni le namestitve toplotnoizolacijskih plošč, ampak izvedbo celovitega sistema. Potrebno je izravnati obstoječi omet, nanesti lepilo, morebitno parno zaporo, stene zopet ometati in prebeliti. Proizvajalci običajno ponujajo kompleten sistem. Posebno pozornost je treba nameniti analizi prehoda vodne pare skozi konstrukcijo in reševanju detajlov ob stikih z okni.

Ker ima izolacijski omet višjo toplotno prevodnost kot materiali, uporabljeni pri izolaciji na notranji strani, smo pričakovali nekoliko manjše izboljšanje energetske učinkovitosti kot pri isti debelini notranje izolacije. Poleg tega toplotnoizolacijskega ometa ne moremo uporabiti na zunanji strani vkopanih kletnih sten, zato pri računu izolacije tega dela nismo upoštevali. Se pa pri tem ukrepu znebimo toplotnih mostov v območju medetažnih konstrukcij. Pri dodanem toplotnoizolacijskem ometu debeline 5 cm se potrebna toplota za ogrevanje zmanjša za 20 %, več centimetrov ometa pa prispeva le še 6 %. Zmanjšajo se tudi emisije CO₂. Stavbo želimo tudi protipotresno utrditi in to bo zahtevalo določene posege v stavbni ovoj, ki bodo poškodovali sedanji omet. Ker je potem potrebno omet obnoviti, je v tem primeru smiselna uporaba toplotnoizolacijskega ometa.

Kot zelo dobra izbira izolacije se je izkazal omet iz vermikulita, ki ga lahko uporabimo tudi v območju cokla in se tako znebimo vseh linijskih toplotnih mostov. Pri uporabi na notranji strani je učinek primerljiv z uporabo Ca-Si plošč. Če pa omet iz vermikulita uporabimo na zunanji strani, je prispevek k izboljšanju energetske učinkovitosti še večji, in sicer smo pri debelini ometa 5 cm že znotraj razreda D. Omet iz vermikulita debeline 5 cm je celo nekoliko boljši kot toplotnoizolacijski omet debeline 8 cm.

Nato smo kombinirali aplikacijo več ukrepov hkrati. Pri tem smo uporabili debeline izolacijskih slojev 5 cm, razen pri eni kombinaciji, ko smo želeli preveriti, ali lahko dosežemo C razred energetske izkaznice. Pri kombiniranju različnih ukrepov se kazalniki energetske učinkovitosti izboljšajo, a pri vseh variantah, predstavljenih v preglednici (Preglednica 21), ostanemo znotraj razreda D. Če ne upoštevamo ukrepov, ki vsebujejo aplikacijo Xtra klimatskih plošč, je za izboljšanje energetske učinkovitosti najboljša zadnja kombinacija ukrepov s toplotnoizolacijskim ometom iz vermikulita. Ravno na meji med razredoma C in D smo pri predzadnji kombinaciji ukrepov v preglednici

(Preglednica 21), ko je potrebna toplota za ogrevanje $60,09 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Takrat zadostijo zahtevam Tehnične smernice glede toplotne prehodnosti gradbenih konstrukcij tudi vse zunanje stene.

Preglednica 20: Primerjava vrednosti energetske izkaznice po izvedenih posamičnih ukrepih in izboljšanja posameznih parametrov v odstotkih

| Ukrep | Razred EI | Potrebna toplota za ogrevanje [$\text{kWh/m}^2\text{a}$] | | Dovedena energija za delovanje stavbe [$\text{kWh/m}^2\text{a}$] | | Emisije CO_2 [$\text{kg/m}^2\text{a}$] | |
|---------------------------------|-----------|--|------|--|------|---|------|
| | | | | | | | |
| Obstoječe stanje | E | 138 | / | 248 | / | 69 | / |
| U1 Okna | E | 125 | 9 % | 226 | 9 % | 63 | 9 % |
| U2 Energent | E | 138 | 0 % | 211 | 15 % | 3 | 95 % |
| U3.1 XPS 5 cm | E | 137 | 1 % | 246 | 1 % | 69 | 1 % |
| U3.2 XPS 10 cm | E | 136 | 1 % | 245 | 1 % | 68 | 1 % |
| U4.1 Ca-Si 5 cm | E | 106 | 23 % | 191 | 23 % | 54 | 23 % |
| U4.2 Ca-Si 8 cm | D | 96 | 30 % | 174 | 30 % | 49 | 29 % |
| U4.3 Xtra 5 cm | D | 94 | 32 % | 171 | 31 % | 48 | 31 % |
| U4.4 Xtra 8 cm | D | 84 | 39 % | 152 | 39 % | 43 | 38 % |
| U5.1 Omet 5 cm | E | 110 | 20 % | 200 | 19 % | 56 | 19 % |
| U5.2 Omet 8 cm | D | 102 | 26 % | 186 | 25 % | 53 | 24 % |
| U5.3 Vermikulit 5 cm zunaj | D | 102 | 26 % | 185 | 26 % | 52 | 25 % |
| U5.4 Vermikulit 5 cm znotraj | E | 107 | 22 % | 193 | 22 % | 54 | 22 % |

Preglednica 21: Primerjava vrednosti energetske izkaznice po izvedenih kombinacijah ukrepov in izboljšanja posameznih parametrov v odstotkih

| Ukrep | Razred EI | Potrebna toplota za ogrevanje [kWh/m ² a] | | Dovedena energija za delovanje stavbe [kWh/m ² a] | | Emisije CO ₂ [kg/m ² a] | |
|--|-----------|--|------|--|------|---|------|
| | | | | | | | |
| Obstoječe stanje | E | 138 | / | 248 | / | 69 | / |
| U1 Okna U4.1 Ca-Si 5 cm | D | 93 | 33 % | 169 | 32 % | 47 | 32 % |
| U4.1 Ca-Si 5 cm U5.1 Omet 5 cm | D | 89 | 35 % | 161 | 35 % | 45 | 35 % |
| U5.3 Vermikulit 5 cm zunaj U5.4 Vermikulit 5 cm znotraj | D | 85 | 38 % | 154 | 38 % | 43 | 37 % |
| U1 Okna U4.1 Ca-Si 5 cm U5.1 Omet 5 cm | D | 77 | 44 % | 140 | 43 % | 40 | 43 % |
| U2 Energent U1 Okna U4.1 Ca-Si 5 cm U5.1 Omet 5 cm | D | 77 | 44 % | 119 | 52 % | 3 | 96 % |
| U2 Energent U1 Okna U4.3 Xtra 5 cm U5.1 Omet 5 cm | D | 69 | 50 % | 108 | 56 % | 3 | 96 % |

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 21

| | | | | | | | |
|--|---|----|------|-----|------|---|------|
| U2 Energent U1 Okna U4.4 Xtra 8 cm U5.2 Omet 8 cm | D | 60 | 57 % | 95 | 62 % | 3 | 96 % |
| U2 Energent U1 Okna U5.3 Vermikulit 5 cm zunaj U5.4 Vermikulit 5 cm znotraj | D | 75 | 46 % | 116 | 53 % | 3 | 96 % |

5 POTRESNA ANALIZA OBJEKTA

Oceno in prenovo stavb z vidika projektiranja potresnoodpornih konstrukcij obravnava standard SIST EN 1998-3:2005, v nadaljevanju EC8-3. Zagotavlja merila za ocenjevanje potresne zmogljivosti oziroma ranljivosti obstoječih gradbenih konstrukcij, opisuje pristop pri izbiri potrebnih sanacijskih ukrepov in določa kriterije za projektiranje ukrepov za utrditev konstrukcij.

V nasprotju s projektiranjem novih objektov obstaja pri obstoječih stavbah neka določena stopnja negotovosti, ki je odvisna od poznavanja objekta, možnih napak v konstrukciji ter morebitnih predhodnih potresov. Zato EC8-3 predvideva uporabo različnih materialnih in konstrukcijskih varnostnih faktorjev (glej poglavje 5.3) in različne metode analize v odvisnosti od popolnosti in zanesljivosti razpoložljivih informacij. Obstaja več različnih metod za oceno potresne ranljivosti stavb (Novak, 2012). V tem magistrskem delu smo uporabili dve metodi: FaMIVE za določanje lokalne potresne odpornosti, ki je primerna za obravnavo posameznih fasad objekta, in SREMB za določanje etažne odpornosti objekta.

5.1 Analiza FaMIVE

Analiza potresne odpornosti po metodi FaMIVE (*angl. Failure Mechanisms Identification and Vulnerability Evaluation*) upošteva lokalne porušne mehanizme. Metodo je leta 2005 razvila prof. Dina D'Ayala (University College London, UK). Program temelji na analizi mejnih stanj fasad kamnitih oziroma opečnatih stavb in je primeren za izračun potresne ranljivosti stavb in zgodovinskih stavb v mestnih središčih. Rezultat analize je napoved obtežnega faktorja horizontalnih potresnih obremenitev v % gravitacijskega pospeška, ki povzroči nastanek določenega porušnega mehanizma. Na ta način je možno napovedati tipične poškodbe, potresno ranljivost in indeks poškodovanosti posameznih objektov ali skupine stavb.

| INSPECTION FORM FOR THE SURVEY OF HISTORIC BUILDINGS | | | |
|--|------------------------------------|-------------|---|
| Partner | UL | | |
| Town | Ljubljana | form | zahod |
| Block # | 1 | Type of use | A |
| Address | Tržaška 4 | Building # | 1 |
| % of use | 1.00 | Surveyor | Gabrijela |
| 1 URBAN DATA | | RELIABILITY | |
| 1-1 | Block access and escape routes | G | 1-5 |
| 1-2 | Shape and composition of the block | 7 | 1-5a |
| 1-3 | Number of buildings in the block | 1 | 1-6 |
| 1-4 | Undamaged Building | yes | 1-7 |
| | | | Position of building within the block |
| | | | Close to collapse buildings |
| | | | Connect of the façade to adjacent walls |
| | | | Soil foundation |

Slika 25: Del obrazca z urbanističnimi podatki o objektu in podatki o poziciji objekta za izvedbo analize FaMIVE (Vir: FaMIVE, 2015)

Vse parametre, potrebne za analizo objekta z metodo FaMIVE, lahko pridobimo na terenu. Prvi sklop podatkov vsebuje urbanistične podatke o objektu in njegovi poziciji glede na sosednje objekte (Slika 25). Sledijo geometrijske karakteristike fasade in florisa stavbe (Slika 26). V nadaljevanju v obrazec vnesemo še konstrukcijske lastnosti (Slika 27), eventualne šibke elemente (Slika 28) ter informacije o poškodovanosti fasade in mehanizmih porušitve (Slika 29).

| 2 GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE FAÇADE | | RELIABILITY |
|--|---|--|
| 2-1 | Facade orientation | <input type="text" value="W"/> 2-6 Total height of the facade (vertical additions are neglected) <input type="text" value="10,9"/> |
| 2-2 | Facade position | <input type="text" value="Ext"/> 2-7 First floor height of the façade (m) <input type="text" value="3,88"/> |
| 2-3 | Maximum # of storeys of the building | <input type="text" value="3"/> 2-8 Presence of gable <input type="checkbox"/> |
| 2-4 | Number of storeys of the facade | <input type="text" value="3"/> 2-9 Gable wall height (if present) <input type="text"/> |
| 2-5 | Length of the facade | <input type="text" value="11,5"/> 2-10 Additional corner in the façade <input type="checkbox"/> |
| 3 GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF OPENINGS | | RELIABILITY |
| 3-1 | # of openings | 3-4 Edge piers |
| 5 | width (w) and height (h) opening | storey: E 4 S 2 1 |
| 4 | w (m) | l r l r l r l r |
| 3 | h (m) | 3-5 Average height of upper horizontal spandrel (m) <input type="text" value="0,65"/> |
| 4 | w (m) | 3-6 Prevalent Lintels for each floor of the Façade |
| 3 | h (m) | storey type l (m) mat |
| 2 | w (m) | E <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> |
| 2 | h (m) | storey type l (m) mat storey type l (m) mat |
| 1 | w (m) | 4 <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 2 FA 1,1 B |
| 2 | h (m) | storey type l (m) mat storey type l (m) mat |
| 1 | w (m) | 3 B 1,56 St 1 FA 1,1 B |
| 2 | h (m) | 3-3 storey E 4 3 2 1 |
| Opening layout | | |
| <input type="text"/> <input type="text"/> E2 <input type="text"/> C <input type="text"/> C | | |
| 4 PLAN GEOMETRIC CHARACTERISTICS | | RELIABILITY |
| 4-1 | Thickness at basis of facade wall | <input type="text" value="0,65"/> 4-4 # int. structural walls // to the facade <input type="text" value="2"/> |
| 4-2 | Thickness at top | <input type="text" value="0,45"/> 4-5 Total length perp. to the facade <input type="text" value="15,25"/> |
| 4-3 | # int. structural walls perp. to facade | <input type="text" value="1"/> 4-6 # int. walls perp. to back facade <input type="text" value="1"/> |

Slika 26: Del obrazca z geometrijskimi karakteristikami fasade in florisom stavbe za izvedbo analize FaMIVE (Vir: FaMIVE, 2015)

| 5 STRUCTURAL CHARACTERISTICS | | RELIABILITY |
|------------------------------|--------------------------------------|--|
| 5-1 | N. storeys with vaulted structures | <input type="text"/> |
| 5-2 | Hor. Struc. Type | storey # 4 3 2 1 <input type="text"/> A1 <input type="text"/> A1 |
| 5-3 | Hor. Struc.Direction | storey # 4 3 2 1 <input type="text"/> P <input type="text"/> P |
| 5-4 | Roof struc. Type | <input type="text"/> A1 |
| 5-5 | Roof Direction | <input type="text"/> P |
| 5-6a | Masonry type | <input type="text"/> B2 |
| 5-6b | Mortar type | <input type="text"/> L |
| 5-6c | Average size of units l*h*s | <input type="text" value="0,29"/> <input type="text" value="0,065"/> <input type="text" value="0,14"/> |
| 5-6d | Level of connection in the thickness | <input type="text"/> M |
| 5-11 | Retaining wall type and extension | <input type="text"/> <input type="text"/> |
| 5-7a | Level of maintenance of masonry | <input type="text"/> G |
| 5-7b | Level of Water Infiltration | <input type="text"/> na |
| 5-7c | Level of mortar loss | <input type="text"/> na |
| 5-8 | Connection at edges | left right <input type="text"/> No <input type="text"/> No |
| 5-9 | Out of verticality | # storeys leaning entity <input type="text"/> <input type="text"/> |
| 5-10 | Façade restraining elements | storey # 5 4 3 2 1 |
| | anchors/ties/pegs | <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> |
| | buttresses/quoins | <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> |
| | wall plates | <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> |
| | timber band/ring beams | <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> |

Slika 27: Del obrazca s konstrukcijskimi lastnostmi za izvedbo analize FaMIVE (Vir: FaMIVE, 2015)

6 FURTHER VULNERABILITY ELEMENTS **RELIABILITY** M

6-1 Presence of vertical addition

6-1a # floor (vertical addition)

6-2 Vertical addition/parapet L h t

6-5 Roof overhanging depth # struts

6-7 Jetty/ Oriel/ balcony/CBU D L t # storey: # struts

6-8 Sabat D L # storeys

6-10 Vaulted structures storey span rise t type spring-h profile support supp-w supp-d

top level

bottom levels

6-3 Specific weight reduction (%)

6-4 Chimney flue within the façade wall

6,6 Settlement element entity position

6.9 Porticoes

1 depth Lp # pillars

2 depth Lp # pillars

3 depth Lp # pillars

4 depth Lp # pillars

5 depth Lp # pillars

Slika 28: Del obrazca s podatki o šibkih elementih za izvedbo analize FaMIVE (Vir: FaMIVE, 2015)

7 DAMAGE LEVEL AND MECHANISMS IDENTIFICATIONS **RELIABILITY** M

7-1 Mechanisms identification

| Class | Type | D. level |
|-------|----------------------|----------------------|
| A | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| B1 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| B2 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| C | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| D | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| E | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| F | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| G | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| H | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| I | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| H2 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| M | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| L | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

Other kind of damage or failure not identified

7-2 Crack pattern description per storey

Horizontal cracks

Vertical cracks

Corner cracks

Diagonal cracks

Masonry failure

roof collapse

floor collapse

7-3 Damage extention on the façade (%)

Film number

Pictures numbers

Notes

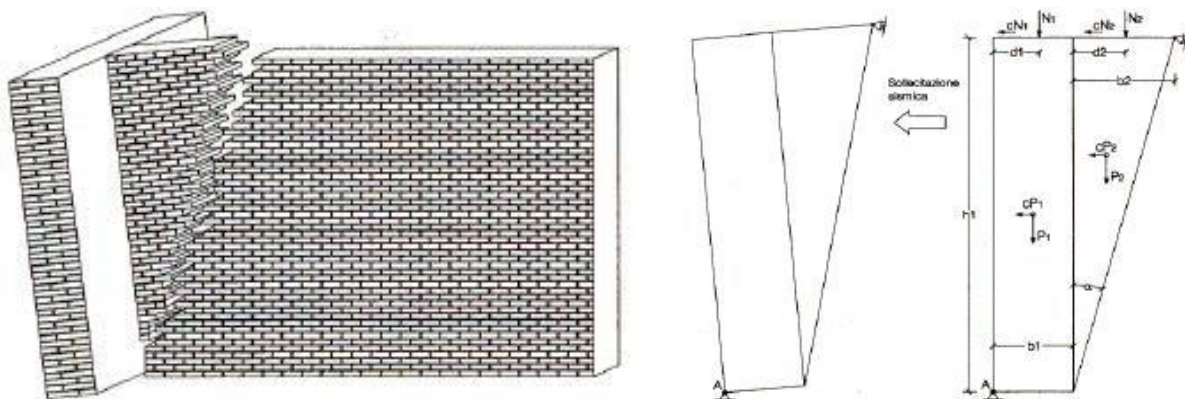
Slika 29: Del obrazca z informacijami o poškodovanosti fasade in mehanizmih porušitve za izvedbo analize FaMIVE (Vir: FaMIVE, 2015)

5.1.1 Računska podlaga programa

Računsko oziroma teoretično ozadje programa FaMIVE je povzeto po diplomski nalogi Daše Novak - Potresna analiza starega mestnega jedra Ljubljane (Novak, 2012).

Iz vnesenih podatkov program izračuna porušni faktor obremenitve (*angl. equivalent shear capacity – ESC*) za obravnavano fasado. ESC je funkcija vitkosti fasade, ki je odvisna od povezave fasade z drugimi zidovi in medetažnimi konstrukcijami, od lastnosti zidovine fasade in od koeficienta trenja med zidaki. Porušni faktor ESC se računa za vsak porušni mehanizem za vsako fasado posebej. Najmanjša vrednost porušnega faktorja ni vedno tudi merodajna vrednost. Najbolj kritični porušni mehanizem s pripadajočim ESC-jem je tisti, ki ima največji učinek na celotno stavbo. To je glavni pogoj za določitev potresne ranljivosti objekta.

Izračun ESC-ja je prikazan na primeru na sliki (Slika 30). Levo je prikazana shema izvenravninske porušitve fasade zaradi povezave le-te z vertikalnim nosilnim zidom s slabimi lastnostmi, desno pa razporeditev akcijskih sil, ki delujejo v trenutku porušitve. Faktor ESC se po enačbi (2) izračuna na osnovi lege težišča fasade in odcepljenega dela zidu glede na temelj fasade – točka A.



Slika 30: Prikaz prevrnitve fasade in razporeditve sil (Vir: Modena, 2005 cit. po Sevšek, 2011)

$$ESC = \frac{P_1 \cdot \frac{b_1}{2} + N_1 \cdot d_1 + P_2 \cdot \left(b_1 + \frac{b_2}{3}\right) + N_2 \cdot (b_1 + d_2)}{P_1 \cdot \frac{h_1}{2} + N_1 \cdot h_1 + P_2 \cdot \frac{2h_1}{3} + N_2 \cdot h_1} \quad (2)$$

kjer so:

ESC ... porušni faktor obremenitve,

P_i ... lastna teža odcepljenega dela konstrukcijskega elementa,

N_i ... osna sila,

b_i ... širina posameznega dela konstrukcijskega elementa,

h_i ... celotna višina konstrukcijskega elementa,

d_i ... dolžina od osne sile do roba konstrukcijskega elementa,

$i=1$... fasada,

$i=2$... odcepljen del stranskega zidu.

Izračun potresne ranljivosti posamezne fasade temelji na vrsti porušnega mehanizma, porušnem faktorju obremenitve ESC in obsegu porušitve konstrukcije (D'Ayala in sod., 2012). Razred potresne ranljivosti se izračuna kot produkt indeksa potresne ranljivosti in indeksa poškodovanosti stavbe, definiranih z enačbama (3) in (4).

$$V_i = \frac{1}{ESC} \quad (3)$$

kjer je:

V_i ... indeks potresne ranljivosti i -te fasade.

$$D_i = d_e \cdot d_c \quad (4)$$

kjer so:

D_i ... indeks poškodovanosti i -te fasade,

d_e ... koeficient, ki se nanaša na dimenzije fasade in medetažnih konstrukcij, ki sodelujejo pri porušitvi,

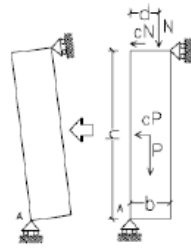
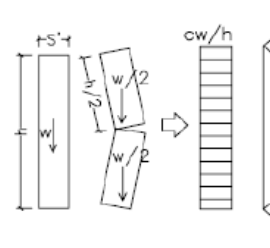
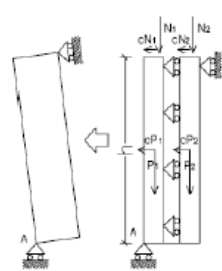
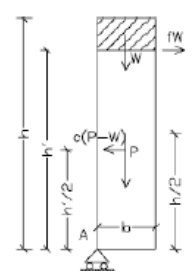
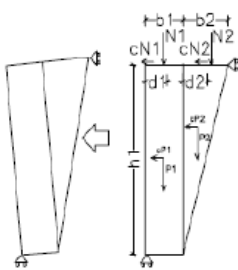
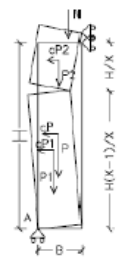
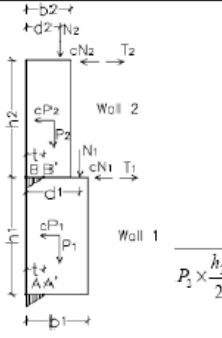
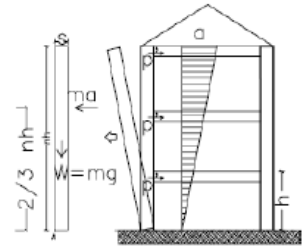
d_c ... koeficient učinka aktivacije posameznega mehanizma na stabilnost celotne konstrukcije.

Opredeljeni so štirje razredi potresne ranljivosti (D'Ayala in sod., 2012):

- **Nizka.** < 3,5.
- **Srednja.** 3,5 - 7.
- **Visoka.** 7 - 15.
- **Zelo visoka.** >15.

V preglednici (Preglednica 22) so prikazani različni kinematični modeli za izvenravninske porušitve in izračuni faktorja ESC za vsak primer.

Preglednica 22: Kinematični modeli za izvenravninske mehanizme porušitve (Vir: Modena, 2004 cit. po Sevšek, 2011)

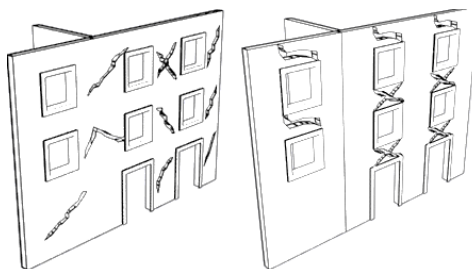
| Prevrnitev monolitne pravokotne fasade | Izven ravninska ločna porušitev |
|---|---|
|  $c = \frac{P \times \frac{b}{2} + N \times d}{P \times \frac{h}{2} + N \times h}$ |  $c = \min\left(\frac{2s'}{h}; \frac{(\sigma_1 + \frac{w}{2})^4 s'^2}{wh^2}\right)$ |
| <p>Prevrnitev dvoslojnega zidu fasade</p> | <p>Prevrnitev fasade na vrhu z zaključno vodoravno vezjo</p> |
|  $c = \frac{P_1 \times \frac{h_1}{2} + N_1 \times d_1}{(P_1 + P_2) \times \frac{h}{2} + (N_1 + N_2) \times h}$ |  $c = 2f \frac{h-h'}{h} + \frac{bh}{h'^2}$ |
| <p>Prevrnitev fasade povezane s pravokotnim zidom slabih karakteristik</p> | <p>Prevrnitev fasade na vrhu ojačane z vezmi</p> |
|  $c = \frac{P_1 \times \frac{h_1}{2} + N_1 \times d_1 + P_2 \times \left(\frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{3}\right) + N_2 \times (d_1 + d_2)}{P_1 \times \frac{h_1}{2} + N_1 \times h_1 + P_2 \times \frac{2h_2}{3} + N_2 \times h_2}$ |  $c = \frac{B}{H} \cdot \frac{2x + \left(\frac{N}{P}\right)(x+1)x}{x-1}$ |
| <p>Prevrnitev fasade s spremenljivo debelino</p> | <p>Globalna prevrnitev celotne fasade</p> |
|  $c = \frac{P_1 \times \frac{h_1}{2} + P_2 \times \frac{h_2}{2} + N_1 \times d_1 + N_2 \times d_2}{P_2 \times \frac{h_2}{2} + N_2 \times h_2 + P_3 \times \left(h_2 + \frac{h_3}{2}\right) + N_3 \times (h_2 + h_3)}$ |  $c = 0.75 \frac{s}{h} \times \frac{1}{n} + \frac{p'}{W} n$ |

5.2 Porušni mehanizmi

Na podlagi dokazov, zbranih pri popotresnih raziskavah, so identificirali 12 možnih mehanizmov porušitve (D'Ayala in sod., 2012), prikazanih v nadaljevanju. Vsak posamezni porušni mehanizem pripada različnim robnim pogojem in povezanosti fasade s preostalim delom konstrukcije, kar omogoča nedvoumno identifikacijo posameznega mehanizma ter račun pripadajočega ESC-ja.

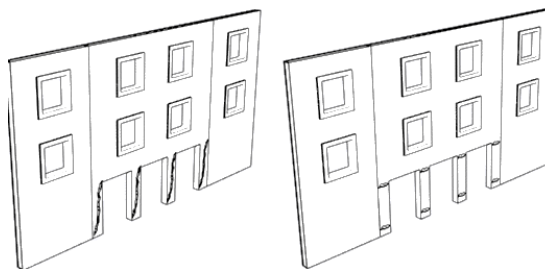
5.2.1 Ravninski porušni mehanizmi

- **H1 – diagonalne razpoke med odprtinami** (*angl. piers*). Pojavi se zaradi premajhne količine zidovja med odprtinami (Slika 31).
- **H2 – diagonalne razpoke nad odprtinami** (*angl. spandrels*). Pojavi se zaradi premajhnega prereza preklade nad odprtinami (Slika 31).



Slika 31: Porušna mehanizma H1 (levo) in H2 (desno) (Vir: FaMIVE, 2015)

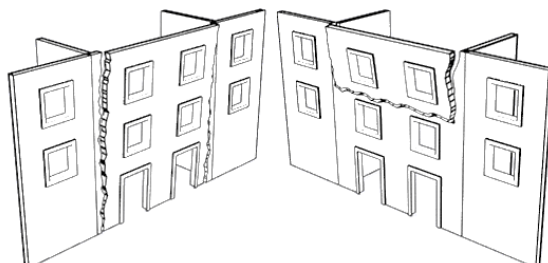
- **M1 – mehka etaža zaradi striga**. Do tega pride pri objektih, ki imajo velike oslavitvene površine (velika okna, izložbe, parkirišča, dvorane ipd.). Nosilni elementi manjšega prereza morajo prevzeti velike sile. Zaradi strižnih obremenitev pride do diagonalnih razpok (Slika 32).
- **M2 – mehka etaža zaradi upogiba**. Vzroki za porušitev so enake pomanjkljivosti objekta kot pri M1, le da so v tem primeru merodajne upogibne obremenitve. Pride do prečnih porušitev (Slika 32).



Slika 32: Porušna mehanizma M1 (levo) in M2 (desno) (Vir: FaMIVE, 2015)

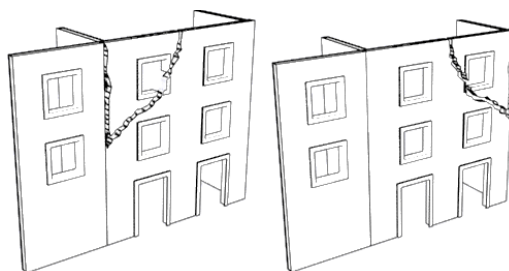
5.2.2 Izvenravninski porušni mehanizmi

- **A – vertikalna prevrnitev fasade.** Navpične razpoke se pojavijo zaradi slabe povezave fasade s stranskim zidovjem oziroma zaradi vrtenja okoli horizontalne osi. Lahko pride do celotnega ali delnega izpada fasade (Slika 33).



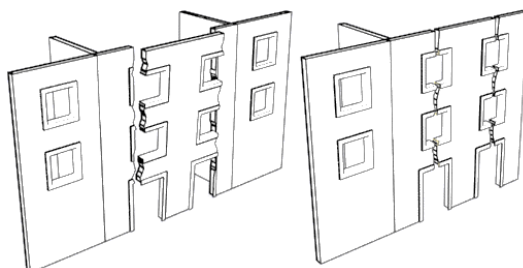
Slika 33: Porušni mehanizem A (Vir: FaMIVE, 2015)

- **D – diagonalna prevrnitev fasade.** Diagonalne razpoke se pojavijo zaradi šibke povezave fasade s stranskim zidom ali zaradi vrtenja okoli nagnjene osi (Slika 34).



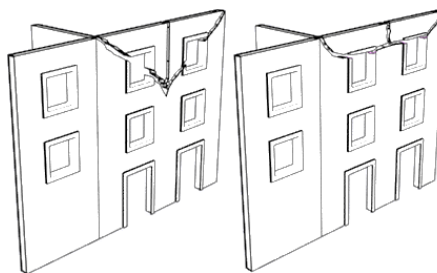
Slika 34: Porušni mehanizem D (Vir: FaMIVE, 2015)

- **E – vertikalna prevrnitev sredinskega pasu fasade.** Pojavijo se navpične razpoke nad odprtinami zaradi navpično poravnanih odprtín v fasadi, šibke povezave pravokotnih sten in slabega stika končnih delov okenskih odprtín.



Slika 35: Porušni mehanizem E (Vir: FaMIVE, 2015)

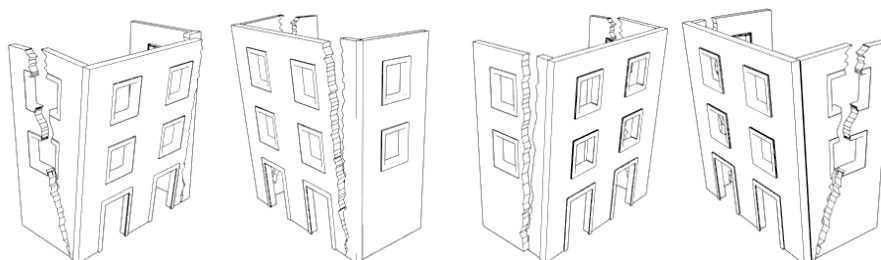
- **G – diagonalni ločni efekt.** Vzroki za porušitev so podobni kot pri mehanizmu F (Slika 36).



Slika 36: Porušni mehanizem G (Vir: FaMIVE, 2015)

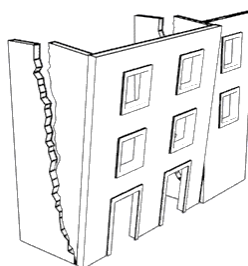
5.2.3 Kombinirani porušni mehanizmi

- **B1 – prevrnitev fasade skupaj z eno pasnico.** Gre za izpad zidu iz ravnine zaradi dobre povezave na eni strani in odlomom na drugem robu fasade zaradi slabe povezave na drugem robu (Slika 37). V primeru slabe vpetosti v preostali del stavbe so razpoke večinoma vertikalne, medtem ko se pri boljšem vpetju pojavijo diagonalne razpoke in prevrnitev dela pravokotno povezane stene. Prevrnitev fasade je lahko tudi posledica vrtenja okoli horizontalne osi.



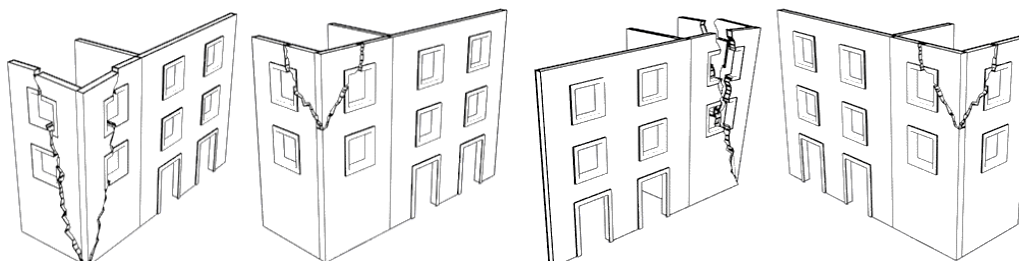
Slika 37: Porušni mehanizem B1 (Vir: FaMIVE, 2015)

- **B2 – prevrnitev fasade skupaj z obema pasnicama.** Podobno kot pri B1, le da je v tem primeru povezava s preostalim delom stavbe slaba na obeh robovih fasade (Slika 38).



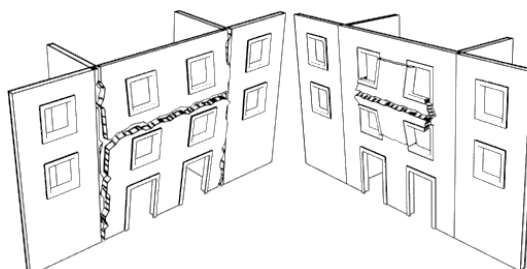
Slika 38: Porušni mehanizem B2 (Vir: FaMIVE, 2015)

- **C – porušitev vogala.** Razpoke se pojavijo na stiku dveh pravokotnih sten (Slika 39). Do take porušitve lahko pride zaradi kombinacije slabe povezanosti dveh pravokotnih sten prostega vogala in dobrega vpetja preostalega dela v sosednje objekte. Druga možnost je razrivanje špirovcev v ostrešju.



Slika 39: Porušni mehanizem C (Vir: FaMIVE, 2015)

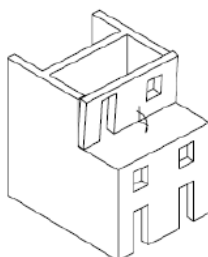
- **F – navpični ločni efekt.** Je posledica šibke povezave med stenami in medetažno konstrukcijo, šibke povezave med zidovi, prisotnosti narivanja zaradi strešne, medetažne konstrukcije ali obokov, nepravilnosti pri projektiranju ali manjkajočih vezi, opornikov in drugih protipotresnih ukrepov (Slika 40).



Slika 40: Porušni mehanizem F (Vir: FaMIVE, 2015)

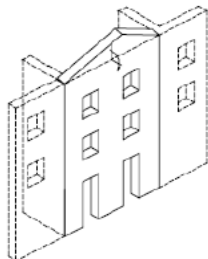
5.2.4 Delne porušitve

- **I – prevrnitev nadzidka.** Pri objektih, ki so nepravilni po višini, prihaja zaradi razlik v togosti do večjih pospeškov v nadzidku. Posledica je izpad tega dela fasade (Slika 41).



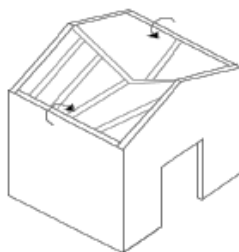
Slika 41: Porušni mehanizem I (Vir: D' Ayala in sod., 2003 cit. po Novak, 2012)

- **L – prevrnitev zatrepnega zidu.** Opečnat ali lesen zatrepni zid ima razmeroma majhno debelino, kar poleg neustrezne povezanosti z glavnim zidom in ostrejšem dodatno povečuje možnost porušitve (Slika 42).



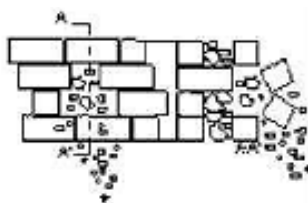
Slika 42: Porušni mehanizem L (Vir: D`Ayala in sod., 2003 cit. po Novak, 2012)

- **Porušitev strehe ali medetažne konstrukcije.** Je posledica nepravilne vpetosti v nosilno vertikalno konstrukcijo ali prevelikih obremenitev (Slika 43).



Slika 43: Porušitev strehe (Vir: Abbas in sod., 2010 cit. po Novak, 2012)

- **Porušitev zidovine.** Pride do razslojevanja ali razpadanja zidovine (Slika 44). Do pojava pride zaradi velike votlikavosti zidu ali nepovezanosti slojev.



Slika 44: Porušitev zidovine (Vir: Abbas in sod., 2010 cit. po Novak, 2012)

5.3 Faktor zaupanja

Podatke o geometrijskih karakteristikah objekta, konstrukcijskih lastnostih, lastnostih materialov in temeljnih tal smo pridobili iz različnih virov ter iz ogleda in izmere objekta na terenu. Poznavanje objekta je odvisno od razpoložljivosti podatkov in to je potrebno upoštevati pri analizi potresne ranljivosti konstrukcije.

Zato je po standardu EC8-3 potrebno določiti stopnjo poznavanja objekta (*angl. knowledge level - KL*) in primerno vrednost faktorja zaupanja (*angl. confidential factor – CF*), s katerim delimo dobljene vrednosti ESC. Tako zagotovimo, da so dobljeni rezultati na varni strani. Dejavniki, ki vplivajo na izbiro primerne stopnje poznavanja, so geometrija konstrukcije, detajli in uporabljeni materiali.

Stopnje poznavanja objekta po EC8-3:

- **KL1.** Omejeno poznavanje (*angl. Limited knowledge*).
- **KL2.** Solidno poznavanje (*angl. Normal knowledge*).
- **KL3.** Popolno poznavanje (*angl. Full knowledge*).

V preglednici (Preglednica 23) je prikazana povezava med posameznimi stopnjami poznavanja objekta, primernimi metodami pridobivanja podatkov in faktorji zaupanja CF, kjer sta:

LF ... metoda s horizontalnimi silami (*angl. Lateral Force procedure*) in

MRS ... modalna analiza s spektri odziva (*angl. Modal Response Spectrum analysis*).

Preglednica 23: Izbira faktorja zaupanja (Vir: SIST EN 1998-3:2005)

| Stopnja poznavanja | Geometrija | Detajli | Material | Metoda analize | CF |
|--------------------|--|---|---|----------------|------|
| KL1 | vizualni pregled ali polni pregled konstrukcije | omejeni pregled | standardne vrednosti v skladu s časom gradnje in omejeno testiranje | LF - MRS | 1,35 |
| KL2 | | nepopolni načrti in omejeni pregled ali razširjeni pregled | originalne specifikacije in omejeno testiranje ali razširjeno testiranje | vse | 1,20 |
| KL3 | | originalni načrti in omejeni pregled ali celovit pregled | poročila originalnih testov omejenega testiranja ali celovito testiranje | vse | 1,00 |

Študija obravnavanega objekta pripada stopnji poznavanja objekta KL2, kar pomeni, da je faktor zaupanja po EC8-3 1,20. Za določitev projektnega porušnega faktorja uporabimo formulo (5).

$$ESC_d = \frac{ESC}{CF} \quad (5)$$

5.4 SREMB

Analiza s programom SREMB (*angl. Seismic Resistance of Masonry Buildings*), ki je bil razvit na ZRMK v Ljubljani, nam poda globalno potresno odpornost obravnavane etaže konstrukcije. Metoda temelji na nelinearni statični (pushover) analizi. Program deluje tako, da konstrukciji postopoma vsiljuje pomike v smeri analize. Pri tem kontrolira, v kolikšni meri se aktivirajo nosilnosti posameznih elementov in kakšna je njihova izkoriščenost duktilnosti. Rezultat analize je ovojnica pomikov in sil kritične etaže, iz katere je ocenjena tudi njena potresna odpornost. Ovojnica je krivulja, ki prikazuje odvisnost vodoravnih pomikov etaže od spreminjajoče se vodoravne sile, tj. potresne obtežbe.

Bistvena predpostavka, na kateri temelji račun s programom SREMB, je, da so zidovi med seboj povezani z vodoravnimi vezmi in stropi, ki so togi v svoji ravnini. Doprinos zidov k odpornosti etaže je odvisen od njihove togosti in nosilnosti ter od njihove deformacije. Slednja je odvisna od njihovega položaja v tlorisu etaže. Zidovi prenašajo svoj delež obtežbe v linearnem in nelinearnem območju, dokler njihove deformacije ne presežejo deformacij na meji porušitve.

Projektna prečna sila v kritični etaži, tj. pritličju, se navadno izrazi v brezdimenzijski obliki s projektnim koeficientom prečne sile v pritličju SRC (*angl. Seismic Resistance Coefficient*):

$$SRC = F_{d,b} / W \quad (6)$$

kjer sta:

$F_{d,b}$... potresna odpornost kritične etaže,

W ... teža stavbe nad obravnavano etažo.

Za oceno potresne varnosti konstrukcije z idealizirano elastoplastično ovojnico etaže moramo kontrolirati dva kriterija: kriterij nosilnosti in kriterij duktilnosti.

Po kriteriju nosilnosti mora biti potresna odpornost zgradbe večja od potresne obtežbe, izražene z BSC (*angl. Base Shear Coefficient*):

$$BSC = \frac{\gamma_1 \cdot a_g \cdot S \cdot 2,5}{q} \quad (7)$$

Veljati mora:

$$SRC > BSC \quad (8)$$

Kriterij duktilnosti pravi, da mora biti duktilnost idealizirane histerezne ovojnice večja od duktilnosti, upoštevane pri računu obtežbe. Duktilnost elementov v primeru zidanih konstrukcij ne pomeni klasične duktilnosti, se pravi sposobnosti plastifikacije materiala, temveč sposobnost zidovja, da pri velikih vodoravnih deformacijah in poškodbah še vedno prenaša navpično obtežbo in dissipira energijo. Faktor duktilnosti definiramo kot razmerje med deformacijo zidu pri njegovi porušitvi in deformacijo zidu na idealizirani meji elastičnosti. (Medved, 2010)

Za račun je potrebno poznati geometrijo etaže oziroma posameznih elementov. Potrebni podatki za analizo in njihov vnos v program SREMB so prikazani na sliki (Slika 45), kjer so:

E ... elastični modul,

G ... strižni modul,

f_{mc} ... tlačna trdnost,

f_t ... natezna trdnost,

μ ... duktilnost,

$\Delta x_i, \Delta y_i$... dimenzije stene i ,

X_i, Y_i ... koordinate težišča,

$\sigma_{0,i}$... napetost zaradi obtežbe,

h_i ... reducirana višina.

Obtežni primer

Dejansko stanje

Etažna višina

E [MPa]

G [MPa]

f_{mc} [MPa]

f_t [MPa]

μ

Število elementov

Zaporedna št. elem.

Δx_i [m]

Δy_i [m]

X_i [m]

Y_i [m]

$\sigma_{0,i}$ [m]

h_i [m]

| Število elementov | Zaporedna št. elem. | Δx_i [m] | Δy_i [m] | X_i [m] | Y_i [m] | $\sigma_{0,i}$ [m] | h_i [m] |
|-------------------|---------------------|------------------|------------------|-----------|-----------|--------------------|-----------|
| 190 | 2.65 | 1000.00 | | | | | |
| 1 | 5.00 | 1.00 | 2.50 | -3.95 | 0.148 | 2.65 | |
| 2 | 1.10 | 1.00 | 23.70 | -2.60 | 0.213 | 2.65 | |
| 3 | 3.25 | 1.00 | 27.15 | -2.60 | 0.236 | 2.65 | |
| 4 | 3.25 | 1.00 | 31.65 | -2.60 | 0.236 | 2.00 | |
| 5 | 3.25 | 1.00 | 36.25 | -2.60 | 0.236 | 2.00 | |
| 6 | 3.90 | 2.00 | 42.05 | -2.60 | 0.254 | 2.00 | |
| 7 | 1.90 | 2.00 | 42.00 | -2.60 | 0.197 | 2.65 | |
| 8 | 3.25 | 1.00 | 45.75 | -1.60 | 0.339 | 2.00 | |
| 9 | 3.25 | 1.00 | 50.25 | -2.60 | 0.319 | 2.00 | |
| 10 | 3.25 | 1.00 | 54.75 | -2.60 | 0.319 | 2.00 | |
| 11 | 1.10 | 1.00 | 58.60 | -2.60 | 0.311 | 2.65 | |
| 12 | 1.10 | 1.00 | 62.50 | -2.60 | 0.394 | 2.00 | |
| 13 | 1.00 | 1.00 | 66.40 | -2.60 | 0.357 | 2.00 | |
| 14 | 1.00 | 1.00 | 70.30 | -2.60 | 0.357 | 2.00 | |
| 15 | 3.25 | 1.00 | 74.20 | -2.60 | 0.366 | 2.00 | |
| 16 | 3.25 | 1.00 | 78.10 | -2.60 | 0.198 | 2.00 | |
| 17 | 0.50 | 1.00 | 82.00 | -2.60 | 1.011 | 2.00 | |

Slika 45: Primer vhodne datoteke (Vir: Bosiljkov, 2012)

5.5 Diskusija rezultatov in ukrepi za izboljšavo

To poglavje najprej obsega zahteve standarda EC8-3 glede konstrukcijske sanacije in posegov na konstrukciji. Nato sledijo možni načini saniranja in utrditve stavbe. Obširnejše podpoglavje je namenjeno rezultatom analize FaMIVE in predlaganim ukrepom za povečanje potresne odpornosti. Rezultati in komentar analize s programom SREMB so podani na koncu poglavja.

Po standardu EC8-3 mora izbor tipa, tehnike, obsega in nujnosti sanacije temeljiti na konstrukcijskih podatkih, zbranih med ocenjevanjem konstrukcije. Slednje smo opravili med pregledom stavbe ter z analizama FaMIVE in SREMB. Pri konstrukcijski sanaciji moramo upoštevati naslednje vidike:

- vse ugotovljene grobe napake je potrebno ustrezno sanirati,
- pri zelo nepravilnih stavbah (v smislu porazdelitve togosti in nosilnosti) je treba izboljšati konstrukcijsko pravilnost, kolikor je to mogoče, tako po višini kakor v tlorisu,
- zahtevane karakteristike pravilnosti in odpornosti lahko dosežemo bodisi z modifikacijo nosilnosti in/ali togosti ustreznega števila obstoječih ali z uvedbo novih konstrukcijskih delov,
- kjer je to potrebno, povečati lokalno duktilnost,
- povečanje nosilnosti s sanacijskimi posegi ne sme zmanjšati obstoječe globalne duktilnosti,
- pri zidanih konstrukcijah je treba zamenjati neduktilne preklade ter izboljšati neprimerne povezave vertikalnih in horizontalnih konstrukcij.

Konstrukcijsko sanacijo lahko izvedemo z enim ali kombinacijo več posegov na konstrukciji:

- lokalna ali celotna sanacija poškodovanih ali nepoškodovanih elementov (popravilo, ojačitev ali popolna zamenjava), upoštevajoč togost, nosilnosti in/ali duktilnost teh elementov,
- dodajanje novih konstrukcijskih elementov (npr. oporni zid, polnila; jekleni, leseni ali armiranobetonski pasovi itd.),
- sprememba konstrukcijskega sistema (odstranitev šibkih delov; spremembe v smislu pravilnosti in/ali duktilnosti),
- dodajanje novega konstrukcijskega sistema za prevzem dela ali celotne potresne obremenitve,
- preoblikovanje obstoječih nekonstrukcijskih elementov v konstrukcijske,
- uporaba pasivnih zaščitnih mehanizmov prek disipacijskih elementov,
- redukcija mase,
- sprememba namembnosti ali prepoved uporabe stavbe,

- delna porušitev.

5.5.1 Načini saniranja in utrditve stavbe

Sanacija razpok:

- relativno majhno razpoko (manj kot 10 mm) pri relativno majhni debelini zidu lahko površinsko zgladimo z malto,
- relativno majhno razpoko pri normalni debelini zidu lahko saniramo z injektiranjem cementne malte; če je možno, se uporabi malta, ki se ne krči,
- pri relativno širokih razpokah (več kot 10 mm) poškodovane dele rekonstruiramo z vlaganjem opek ali kamnov (šivanjem); razpoko lahko saniramo tudi s sponkami, kovinskimi ploščami ali polimernimi mrežami; praznino zapolnimo s cementno malto ustrezne pretočnosti,
- če je malta relativno ravna, lahko odpornost zidu proti vertikalnim razpokam izboljšamo z vgradnjo žic majhnega premera ali polimernih trakov,
- velike diagonalne razpoke lahko saniramo z vertikalnimi betonskimi rebri običajno na obeh straneh zidu, pri tem rebra armiramo s stremeni in vzdolžnimi palicami; druga možnost je uporaba polimerne mreže v kombinaciji z ustrezno malto in ometom, ki jo položimo na eno ali obe strani zidu.

Za izboljšanje stikov zidov je potrebno izvesti navzkrižno povezovanje zidakov ali kamnov. Križno vez lahko utrdimo z armiranobetonskim pasom, z vgradnjo jeklenih plošč ali mrež v obstoječo malto, z vgradnjo jeklenih palic v izvrtane odprtine in zalitjem le-teh ali z naknadnim prednapenjanjem.

Lesene medetažne konstrukcije lahko utrdimo in povečamo njihovo togost z dodajanjem plasti lesenih plošč na obstoječe ali z ulitjem armiranobetonske plošče. Pri tem mora biti zagotovljen prenos strižnih obremenitev s plošče na lesena tla in sidranje plošče v stene. Tretja možnost je polaganje dvojnodiagonalnih mrež, ki so sidrane v grede in obodne stene. Strešna konstrukcija mora biti vpeta in sidrana v podporne zidove. Spodnji elementi morajo tvoriti togo diafragmo.

Če so obstoječe zidne vezi poškodovane, se jih popravi in obnovi. Če niso prisotne, jih je potrebno dodati. Jeklne vezi, dodane vzdolž ali prečno na stene, učinkovito izboljšujejo celotno obnašanje konstrukcije. Naknadno prednapete vezi povečujejo natezno odpornost zidu. Za utrditev zidu lahko uporabimo tudi brizgani beton v kombinaciji z jeklenimi mrežami ali palicami. Armiranobetonsko oblogo lahko izvedemo na eni ali obeh straneh zidu. V primeru obojestranske izvedbe obe plasti povežemo s prečnimi vezmi skozi zid. Enostranske obloge z zidom povežemo preko reber. Namesto armiranobetonskih oblog lahko uporabimo tudi jeklene profile, ustrezno povezane s steno. Tretja varianta so obloge iz polimernih mrež. Lahko jih uporabimo za utrditev obstoječih ali novih zidov. V

primeru utrditve obstoječih elementov mora biti mreža izvedena na eni ali obeh straneh ter sidrana v pravokotne stene. Pri novih elementih lahko dodamo horizontalne mreže v malto med opekami. Prekrivni omet naj bo duktilen, praviloma apneno-cementni ojačan z vlakni.

Večslojno zidovje z gruščnato sredico lahko utrdimo z injektiranjem malte v zidovino ali jeklenimi palicami, vstavljenimi preko jedra in sidranimi v zunanji sloj zidu.

5.5.2 Rezultati analize FaMIVE

Z analizo FaMIVE smo preverili vse štiri fasade obravnavanega objekta, pri čemer imata vzhodna in zahodna fasada enako geometrijo in ostale lastnosti. Dobljeni rezultati, navedeni v preglednici (Preglednica 24), podajajo kritične porušne mehanizme, vrednost porušnega faktorja obremenitve, indeksa ranljivosti in poškodovanosti ter stopnjo poškodovanosti. Na osnovi teh rezultatov smo se odločili za primerne izboljšave in v nadaljevanju preverili učinek sanacijskih ukrepov.

Preglednica 24: Rezultati analize FaMIVE za obstoječe stanje

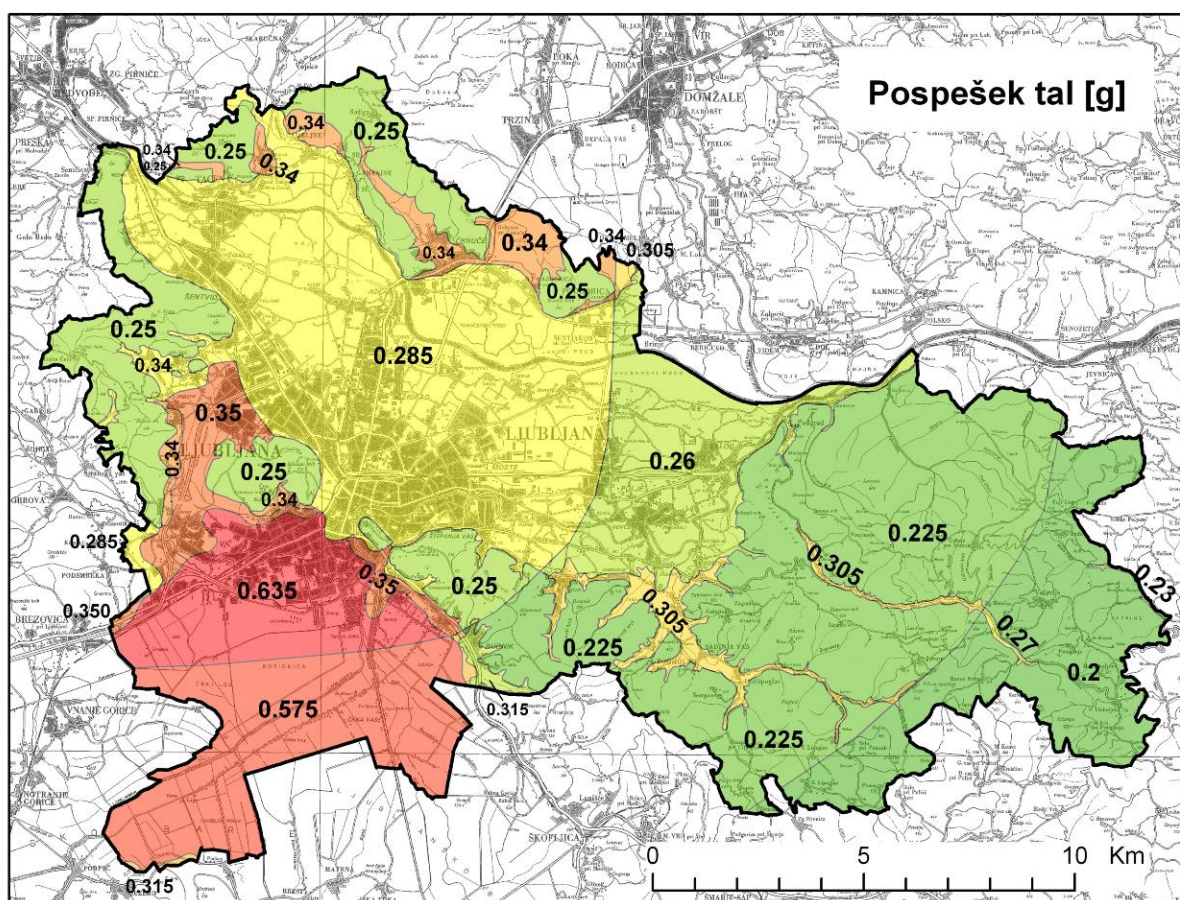
| Obstoječe stanje | SEVER | JUG | VZHOD/ZAHOD |
|-----------------------------|---------|--------|-------------|
| Porušni mehanizem | H2 | D | D |
| ESC (po FaMIVE) | 0,29 | 0,11 | 0,17 |
| ESD _d | 0,24 | 0,09 | 0,14 |
| Indeks ranljivosti | 3,42 | 9,17 | 5,81 |
| Indeks poškodovanosti | 1,15 | 1,06 | 0,94 |
| Razred potresne ranljivosti | srednja | visoka | visoka |

Kritični mehanizmi, določeni po FaMIVE, so pri severni fasadi diagonalne razpoke nad odprtini, pri ostalih treh fasadah pa diagonalna prevrnitev fasade. Analiza severne fasade kaže tudi porušitev medetažnih konstrukcij, analiza južne fasade popolno porušitev strehe in delne porušitve medetažnih konstrukcij, rezultati za vzhodno oziroma zahodno fasado pa nakazujejo delno porušitev tako strehe kakor tudi medetažnih konstrukcij.

Povratna doba za projektiranje običajnih gradbenih konstrukcij na mejno stanje nosilnosti oziroma za zahtevo po neporušitvi je $T_{NCR} = 475$ let. Konstrukcija mora biti projektirana in zgrajena tako, da prenese projektni potresni vpliv s povratno dobo 475 let, ne da bi prišlo do porušitve dela ali celote.

Druga osnovna zahteva je zahteva po omejitvi poškodb, za katero velja povratna doba $T_{DLR} = 95$ let. Konstrukcija mora biti takšna, da preživi potresni vpliv, ne da bi prišlo do takih poškodb in z njimi povezanih omejitev uporabe, da bi bili stroški popravila nesorazmerno veliki v primerjavi s ceno konstrukcije.

Potresno nevarnost določa vrednost maksimalnega pospeška. Slednji je odvisen od tipa tal, na katerih gradimo. Karta projektnega pospeška tal s povratno dobo 475 let za območje Mestne občine Ljubljana je prikazana na sliki (Slika 46). Vidimo, da se obravnavana stavba nahaja na zelo slabih tleh (tip S1) s precej visoko vrednostjo pospeška, ki za 475-letno povratno dobo znaša 0,635g. Za 95-letno povratno dobo pa je 0,381g.



Slika 46: Karta pospeška tal za Mestno občino Ljubljana za povratno dobo 475 let (Vir: ARSO Potresi, 2015)

Izračunani faktorji ESC_d ob upoštevanju faktorja zaupanja znašajo 0,24g za severno, 0,09g za južno ter 0,14g za vzhodno in zahodno fasado. Faktor ESC_d nam pove projektno vrednost pospeška oziroma vrednost pospeška, pri katerem pride do aktivacije kritičnega porušnega mehanizma. Pri vseh fasadah je ESC_d pod mejno vrednostjo tako za 475-letno povratno dobo kakor tudi za 95-letno povratno dobo potresa. Takšni rezultati kažejo, da je stavbo potrebno utrditi.

Merodajni porušni mehanizmi nakazujejo možne izboljšave potresne odpornosti obravnavane stavbe. V ta namen moramo fasade povezati s stranskimi zidovi. Za izboljšanje stikov zidov je potrebno utrditi t. i. križne vezi in navzkrižno povezati zidake. Druga možnost je, da celotno stavbo utrdimo z jeklenimi vezmi oziroma sidri. V preglednicah (Preglednica 25 – Preglednica 27) so zbrani rezultati za posamezne fasade pri izvedenih naslednjih ukrepih:

- U1: Navzkrižno povezovanje zidov.
- U2: Sidranje fasade na enem izmed robov v vseh nadstropjih.
- U3: Sidranje fasade na obeh robovih v vseh nadstropjih.
- U4: Sidranje fasade na obeh robovih in na sredini v vseh nadstropjih.
- U5: Sidranje fasade na sredini v vseh nadstropjih.

Preglednica 25: Rezultati za severno fasado pri izvedbi različnih ukrepov

| Severna fasada | osnovno stanje | U1 | U2 | U3 | U4 | U5 |
|-----------------------------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Porušni mehanizem | H2 | H2 | H2 | H2 | H2 | H2 |
| ESC (po FaMIVE) | 0,29 | 0,29 | 0,29 | 0,29 | 0,29 | 0,29 |
| ESD _d | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 |
| Indeks ranljivosti | 3,42 | 3,42 | 3,42 | 3,42 | 3,42 | 3,42 |
| Indeks poškodovanosti | 1,15 | 1,15 | 1,15 | 1,15 | 1,15 | 1,15 |
| Razred potresne ranljivosti | srednja | srednja | srednja | srednja | srednja | srednja |

Analiza severne fasade nam pri vseh ukrepih poda rezultate enake obstoječemu stanju (Preglednica 25), torej na tej fasadi izvedba ukrepov ni smiselna.

Preglednica 26: Rezultati za južno fasado pri izvedbi različnih ukrepov

| Južna fasada | osnovno stanje | U1 | U2 | U3 | U4 | U5 |
|-----------------------------|----------------|----------------|--------|---------|---------|----------------|
| Porušni mehanizem | D | H2 | D | E | H2 | H2 |
| ESC (po FaMIVE) | 0,11 | 0,29 | 0,11 | 0,22 | 0,29 | 0,29 |
| ESD _d | 0,09 | 0,24 | 0,09 | 0,18 | 0,24 | 0,24 |
| Indeks ranljivosti | 9,17 | 3,42 | 9,17 | 4,47 | 3,42 | 3,42 |
| Indeks poškodovanosti | 1,06 | 1,15 | 1,06 | 1,24 | 1,15 | 1,15 |
| Razred potresne ranljivosti | visoka | srednja | visoka | srednja | srednja | srednja |

Preglednica 27: Rezultati za vzhodno in zahodno fasado pri izvedbi različnih ukrepov

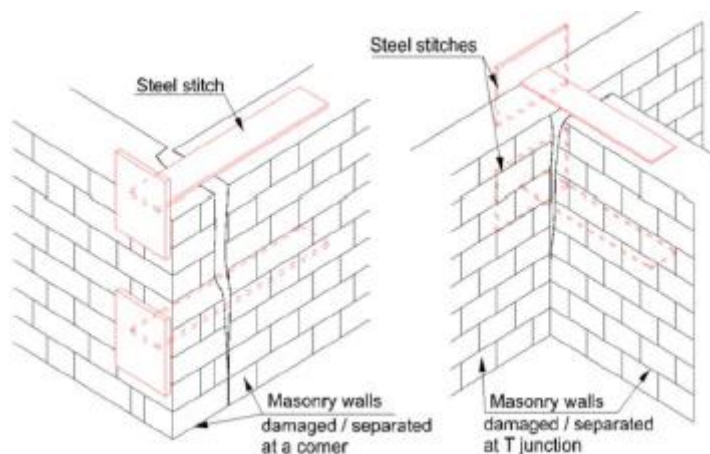
| Vzhodna in zahodna fasada | osnovno stanje | U1 | U2 | U3 | U4 | U5 |
|-----------------------------|----------------|----------------|--------|---------|---------|----------------|
| Porušni mehanizem | D | H2 | D | H2 | H2 | H2 |
| ESC (po FaMIVE) | 0,17 | 0,31 | 0,17 | 0,31 | 0,31 | 0,31 |
| ESD _d | 0,14 | 0,26 | 0,14 | 0,26 | 0,26 | 0,26 |
| Indeks ranljivosti | 5,81 | 3,27 | 5,81 | 3,27 | 3,27 | 3,27 |
| Indeks poškodovanosti | 0,94 | 1,10 | 0,94 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| Razred potresne ranljivosti | visoka | srednja | visoka | srednja | srednja | srednja |

Sidranje južne fasade (Preglednica 26) na enem izmed robov sploh ne izboljša potresne odpornosti, pri sidranju na obeh robovih pa se ESC_d že poveča. Izvedba sider na obeh robovih in na sredini ne prispeva nič več k odpornosti kot sidranje samo na sredini fasade. Zato sta pri južni fasadi smiselna ukrepa navzkrižno povezovanje zidov ali sidranje fasade na sredini v vseh nadstropjih. V teh primerih je ESC_d=0,24 in imamo merodajen porušni mehanizem H2. Podobne zaključke nam poda analiza vzhodne oziroma zahodne fasade (Preglednica 27). Tukaj je ESC_d višji tako pri navzkrižnem

povezovanju zidov, pri sidranju na obeh robovih in pri sidranju fasade na sredini. Smiselna ukrepa sta enaka kot pri južni fasadi, saj je izvedba enega sidra na sredini stavbe bolj ekonomična kakor sidranje fasade na dveh robovih. Poleg tega ukrep U4 ne poda nič boljših rezultatov.

Če povzamemo, lahko pri sanaciji izbiramo med navzkrižnim povezovanjem zidov in sidranjem fasad na sredini z izjemo severne fasade. Za katerega izmed ukrepov se bomo odločili, je odvisno od zahtevnosti izvedbe in stroškov sanacije. Izvedba obeh hkrati ne poda nič boljših odpornosti. Preverili smo še, ali pri kateri izmed fasad zadošča sidranje le v nekaterih nadstropjih. Izkazalo se je, da s sidranjem južne, vzhodne in zahodne fasade le v drugem ali tretjem nadstropju dobimo enako dobre rezultate.

Primer izvedbe povezovanja zidov v vogalih ali »T« stikih z vgradnjo jeklenih plošč ali mrež v obstoječo malto oziroma t. i. jeklenimi »šivi« je prikazan na sliki (Slika 47).



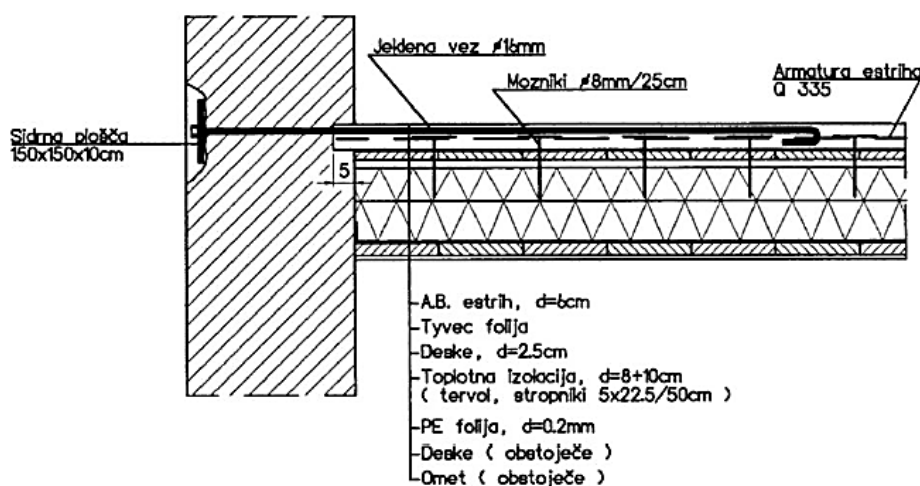
Slika 47: Povezovanje zidov z jeklenimi ploščami ali mrežami (Vir: Galić in sod., 2012)

Eden izmed ukrepov za dobro protipotresno povezavo nosilnih zidov pri objektih z lesenimi tramovnimi stropnimi konstrukcijami je uporaba armiranobetonskega estriha (tanke ojačilne plošče na tramovih). Ta ukrep v kombinaciji z dodatnimi jeklenimi vezmi v višini stropnih konstrukcij po celotnem obodu zgradbe sicer zagotovi toge diafragme in omogoči globalni odziv konstrukcije. Nas na tej točki zanima predvsem povezava ojačitvenega estriha z obodnimi zidovi, kar lahko apliciramo na drugi možni ukrep sanacije obravnavanega objekta, tj. sidranje fasade v medetažno konstrukcijo za preprečitev izvenravninske porušitve.

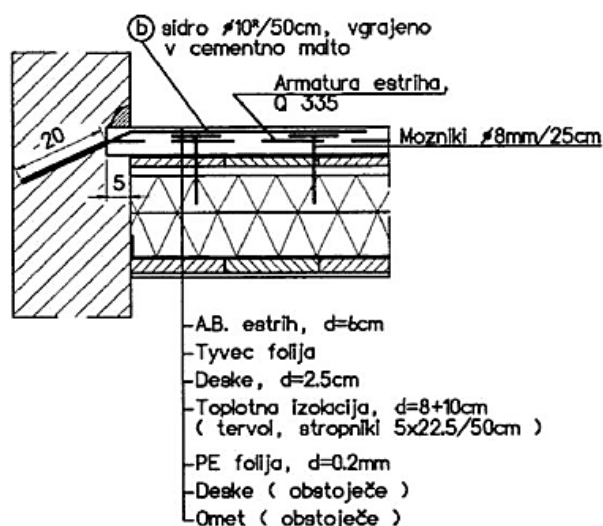
Za povezavo ojačitvenega estriha z obodnimi zidovi se skozi vrtine v zunanjih zidovih vgradijo prečna povezovalna sidra na razdalji cca. 1 m, ki jih na zunanji strani sidramo z jeklenimi antikorozijsko zaščitenimi sidrnimi ploščami (Slika 48). Le-te se vgradijo v fino cementno malto, sidrni vijaki pa se lahko aktivirajo šele 15 dni po izvedbi betonaže. V primeru, da uporaba sidrnih plošč ni mogoča, se lahko ojačilni estrih poveže z obodnimi zidovi tudi s sidri, ki se vgradijo v poševne vrtine in zalijejo

s fino cementno malto z dodatki, kot je prikazano na sliki (Slika 49) (Janežič in sod., 2015). Ker je obravnavana stavba zavedena kot kulturna dediščina, je namesto cementne malte bolj primerna uporaba apnene malte. Opisani ukrep predvideva sidra na razdalji cca. 1 m. Mi smo z analizo FaMIVE pokazali, da zadostuje že eno samo sidro na sredini posamezne fasade.

Rešitev s tovrstnim sidranjem fasade zahteva odpiranje stropov in večje posege v konstrukcijo. Lahko pa istočasno poseg izkoristimo za odstranitev nasutja in vgradnjo toplotne izolacije, kot je navedeno v poglavju 4.3.4. Pri tem poskrbimo tudi za izvedbo ustrezne zvočne izolacije.



Slika 48: Povezava armiranobetonskega estriha in obodnih sten z uporabo sidrnih plošč (Vir: Janežič in sod., 2015)



Slika 49: Povezava armiranobetonskega estriha in obodnih sten z uporabo poševnih sider (Vir: Janežič in sod., 2015)

Z navedenimi načini sanacije lahko projektno vrednost porušnega faktorja obremenitve dvignemo do 0,26. Še vedno pa je ta manjša od projektne vrednosti pospeška za 475-letno in tudi 95-letno povratno

dobo. Zavedati se moramo, da obravnavana stavba stoji na zelo neugodnih tleh. Na boljših tleh bi z zgoraj navedenimi ukrepi lahko dosegli zadovoljivo potresno odpornost. Vzemimo za primer dele Mestne občine Ljubljana na tleh tipa A, kjer je vrednost projektnega pospeška za 475-letno povratno dobo enaka 0,25g. V takšnem primeru je porušni faktor obremenitve za vzhodno in zahodno fasado večji od mejne vrednosti, le-tej se zelo približa tudi pri severni in južni fasadi. V vseh primerih pa ga dvignemo nad mejno vrednost 95-letne povratne dobe za tip tal A, ki znaša 0,15g.

5.5.3 Rezultati analize s programom SREMB

Pri analizi s programom SREMB smo želeli pokazati, kakšna je globalna odpornost stavbe in koliko večji ukrepi so potrebni za zagotavljanje le-te. Materialne karakteristike, uporabljene v računu, in ostali vhodni podatki so navedeni v preglednici (Preglednica 28). Pri vnosu podatkov smo navedene vrednosti za tlačno in natezno trdnost reducirali s faktorjem zaupanja CF.

Preglednica 28: Vhodni podatki

| <i>h</i> | <i>E</i> | <i>G</i> | <i>f_{mc}</i> | <i>f_t</i> | <i>μ</i> |
|----------|----------|----------|-----------------------|----------------------|----------|
| 3,60 m | 250 MPa | 40 MPa | 2,0 MPa | 0,04 MPa | 1,5 |

Projektni pospešek za 475-letno povratno dobo na izbranih temeljnih tleh znaša 0,635g. Za običajne stavbe je faktor pomembnosti enak 1. Za faktor obnašanja nearmiranih zidanih konstrukcij pa vzamemo vrednost 1,5. Izračunani faktor BSC znaša:

$$BSC = \frac{\gamma_I \cdot a_g \cdot S \cdot 2,5}{q} = 1,058 \quad (9)$$

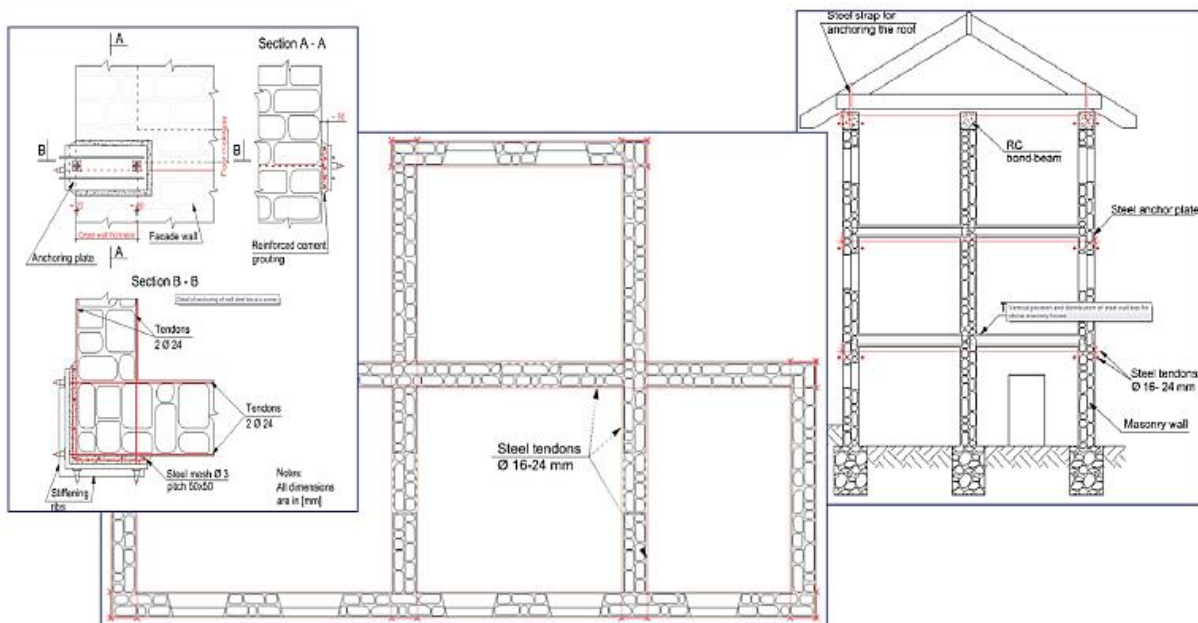
kjer so:

γ_I ... faktor pomembnosti,

$a_g \cdot S$... projektni pospešek na temeljnih tleh,

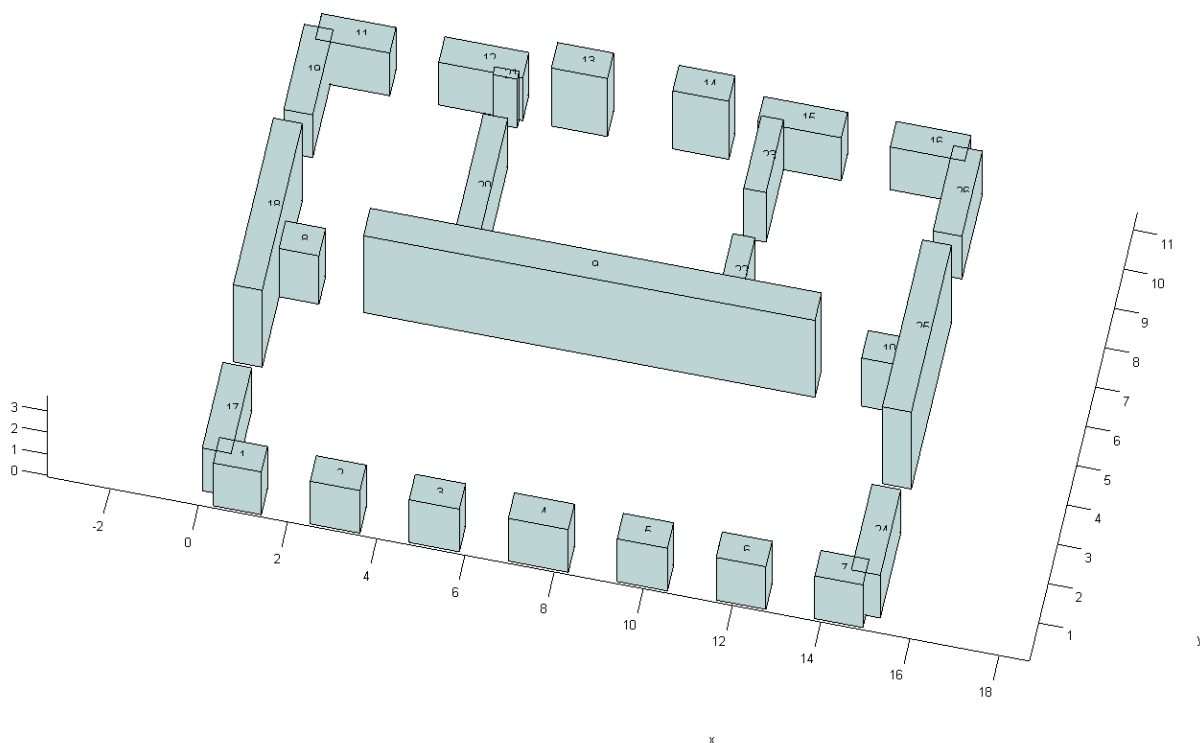
q ... faktor obnašanja.

Poudariti je treba, da ima analiza s programom SREMB bistveno višje zahteve kot FaMIVE. Za omogočanje nelinearne statične analize je potrebno najprej zagotoviti toge diafragme v ravnini medetažnih konstrukcij. Primer izvedbe je prikazan na sliki (Slika 50). Ta ukrep predvideva večje posege v konstrukcijo, z njim pa v bistvu le omogočimo globalno obnašanje in račun konstrukcije. Je predpogoj, da so rezultati analize s programom SREMB realni.

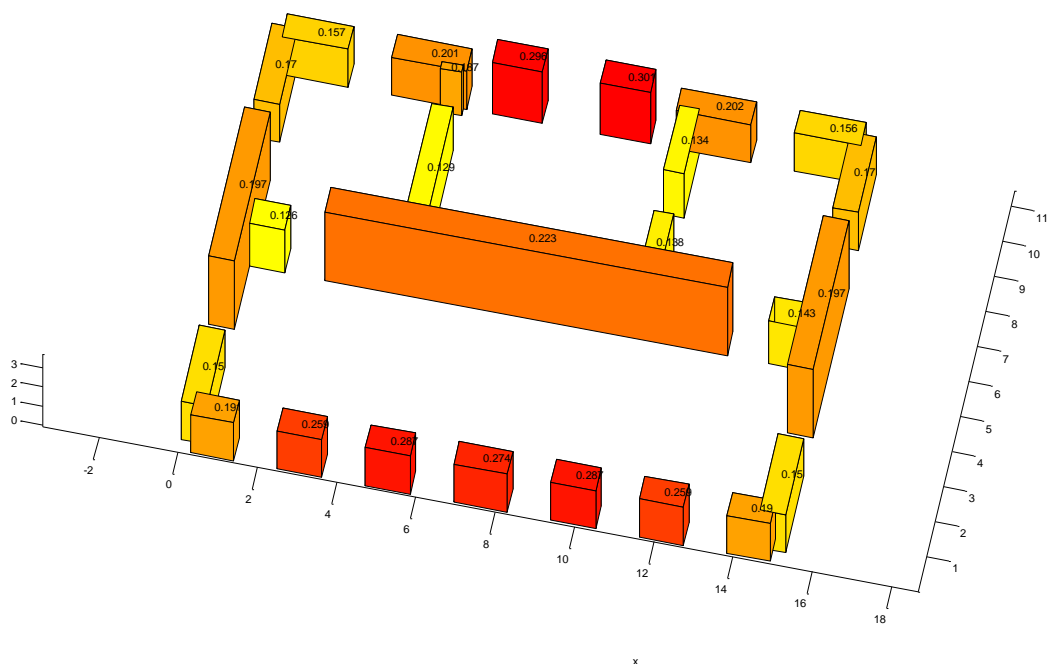


Slika 50: Povezovanje objekta z jeklenimi vezmi (Vir: Galič in sod., 2012)

Na sliki (Slika 51) sta prikazani geometrija pritlične etaže in oštevilčenost posameznih elementov, obremenitve pa so vidne na sliki (Slika 52). Najbolj obremenjene so stene na severni in južni strani.



Slika 51: Geometrija pritličja (Vir: SREMB)



Slika 52: Vertikalna obtežba (Vir: SREMB)

Objekt se nahaja na tleh tipa S1 s projektnim pospeškom tal 0,635g. Izračunan faktor BSC znaša 1,058 in zahtevamo, da je ta manjši od faktorja SRC, ki ga dobimo z analizo v programu. Rezultati analize dejanskega stanja kažejo, da je potresna odpornost objekta neustrezna, saj v obeh smereh ne zadostimo kriteriju:

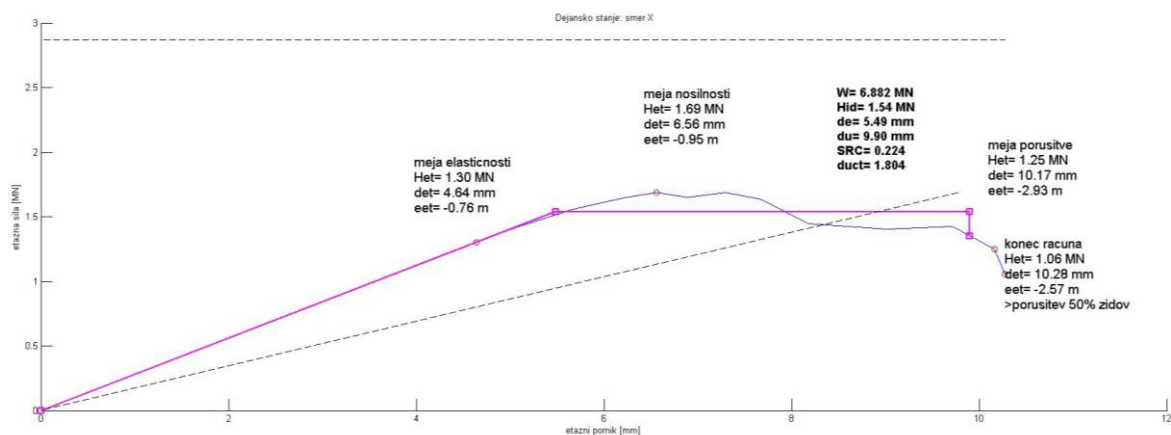
– smer X

$$0,224 \text{ (SRC)} < 1,058 \text{ (BSC)},$$

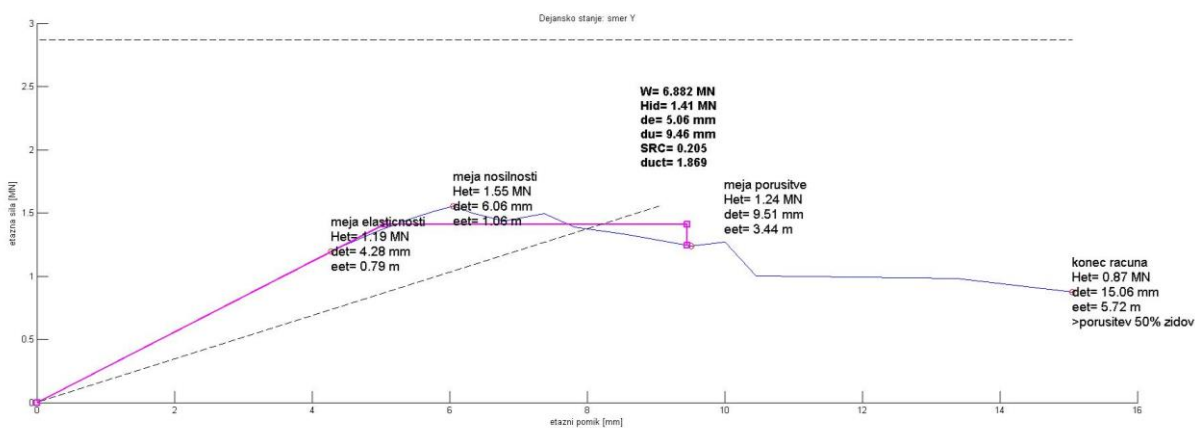
– smer Y

$$0,205 \text{ (SRC)} < 1,058 \text{ (BSC)}.$$

To je razvidno tudi na krivuljah potresne odpornosti (Slika 53 in Slika 54). Poševna črtkana krivulja nam prikazuje zahtevano duktilnost, vodoravna pa nosilnost. Vidimo, da je naša krivulja pod vodoravno črto in odpornost ni dovolj dobra. Za zagotovitev globalne odpornosti konstrukcije bi torej morali, poleg že omenjenega povezovanja zidov z jeklenimi vezmi, izvesti dodatne sanacijske ukrepe. Kot primer lahko navedemo izvedbo armiranega ometa na zidovih. Vprašanje je, koliko je to smiselno, saj je potresna odpornost približno 5-krat manjša od zahtevane in se verjetno tudi z dodatno sanacijo ne bi približali mejnim vrednostim. Ta problem je posledica temeljenja objekta na tleh z izredno slabimi lastnostmi. Zopet le za primerjavo navedemo vrednost faktorja BSC na temeljnih tleh tipa A, s projektnim pospeškom 0,25g. V tem primeru je BSC enak 0,417 in to vrednost bi s primernimi ukrepi veliko lažje dosegli.



Slika 53: Krivulja odpornosti za X smer (Vir: SREMB)

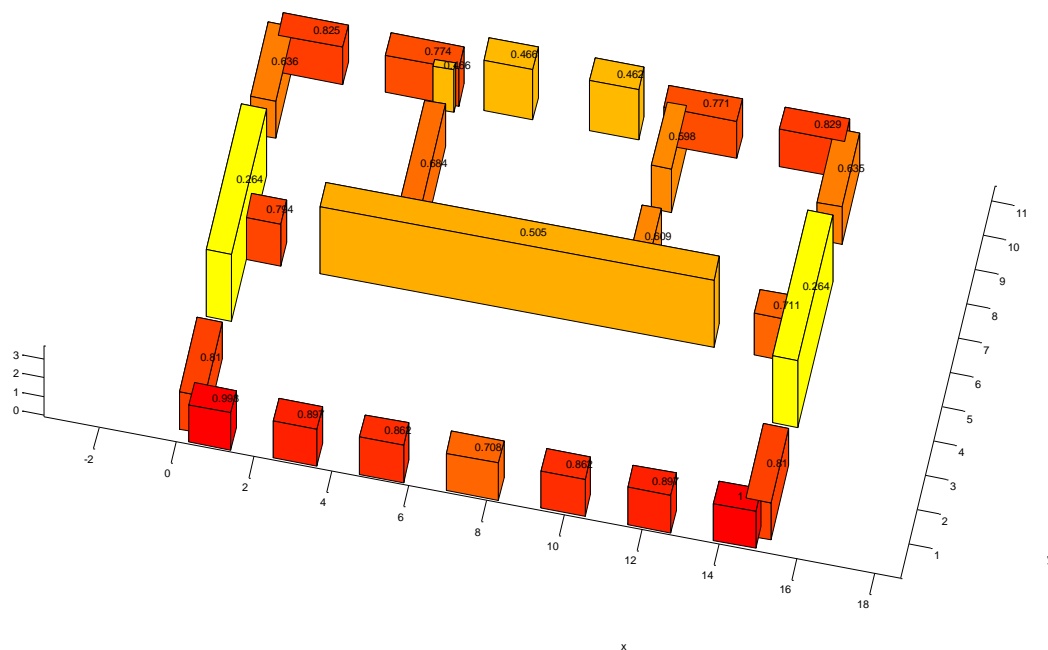


Slika 54: Krivulja odpornosti za Y smer (Vir: SREMB)

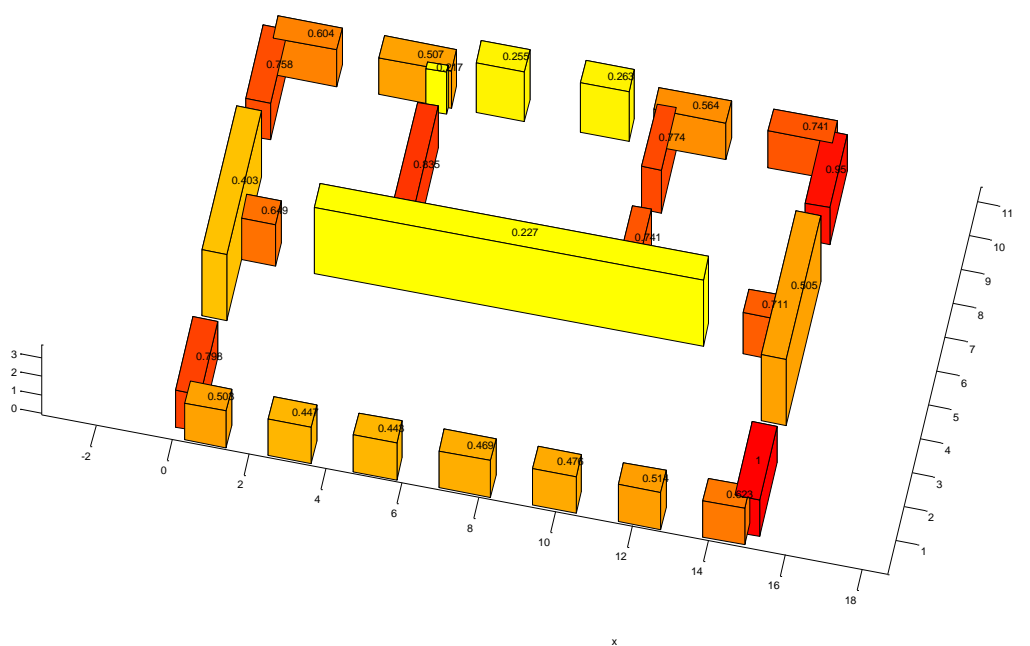
V nadaljevanju je prikazana izkoriščenost duktilnosti posameznih elementov za stanje na meji elastičnosti. Stanje na meji elastičnosti je stanje, ko prvi element doseže mejo elastičnosti na svoji idealizirani ovojnici elementa. Do tu je ovojnica linearna, saj so vsi elementi v elastičnem območju. Za posamezne elemente je prikazano razmerje med pomiki elementov (d) v tem stanju in pomiki, ki jih elementi še prenašajo v elastičnem območju (d_e).

Na slikah (Slika 55 in Slika 56) je razvidno, kateri element kot prvi doseže mejo elastičnosti v smeri X oziroma Y vsiljenega pomika. V X smeri je to element številka 7 in v Y smeri element številka 24; oba sta obarvana temno rdeče. Za ostale elemente je razvidno, koliko rezerve še imajo, da bi dosegli mejo elastičnosti. Blizu meje elastičnosti sta tudi elementa 1 v X smeri ter 26 v Y smeri, kar je zaradi simetričnosti tlorisa logično.

Rezultati kažejo, da je najbolj obremenjena celotna južna fasadna stena. Ta fasada se pri nadaljnji analizi tudi v celoti poruši in je bila prav tako tudi najbolj kritična pri analizi FaMIVE.



Slika 55: Stanje na meji elastičnosti d/d_e za smer X (Vir: SREMB)



Slika 56: Stanje na meji elastičnosti d/d_e za smer Y (Vir: SREMB)

6 OCENA STROŠKOV SANACIJE

To poglavje vsebuje grobo oceno in primerjavo stroškov posameznih sanacijskih ukrepov. Cene izvedenih del, materiala in storitev smo pridobili od izvajalcev del, ki so nam posredovali informativne ponudbe, iz cenikov materiala dostopnih na spletu in v Pravilniku o cenah in normativih za določanje cen gradbenih del za popotresno obnovo objektov.

Ocena stroškov je razdeljena najprej na stroške posameznih ukrepov energetske sanacije ter stroške posameznih ukrepov konstrukcijske sanacije oziroma utrditvenih ukrepov. Nato smo poiskali stroškovno najbolj optimalno rešitev ter prikazali prihranke ob hkratni izvedbi obeh delov sanacije – energetskega in konstrukcijskega.

6.1 Ukrepi energetske sanacije

Obravnavali smo ukrepe, navedene v poglavju 4.3. Pri analizi stroškov smo določili ceno materiala in strošek izvedbe gradbenih del pri posameznem načinu energetske sanacije.

Celotna prenova škatlastih oken ali menjava z izdelavo natančnih replik oken s podobnimi gradbeno-fizikalnimi lastnostmi po izkušnjah izvajalcev ne prispeva k energetske učinkovitosti objekta. Kompletna zamenjava je smiselna, le če so okna tako poškodovana, da jih je treba sanirati iz estetskega razloga. Sicer je doseganje mejne vrednosti faktorja toplotne prehodnosti s takšnimi okni praktično nemogoče, stroški izvedbe pa so tudi do 30 % višji kot pri enojnih oknih. Alternativna rešitev je ohranitev zunanjih oken v izvorniku in zamenjava notranjih oken z novimi okenskimi krili z dvoslojno zasteklitvijo. Ta rešitev izboljša energetske učinkovitost, vendar je potrebna pozornost in zadostno prezračevanje prostorov zaradi možnosti kondenzacije vlage. Izvajalci zagovarjajo tretjo možnost, tj. popolno odstranitev škatlastih oken in vgradnjo enojnih oken, kar pa zaradi spomeniškega varstva ni dovoljeno. V preglednici (Preglednica 29) je prikazana okvirna cena kompletne zamenjave škatlastih oken z novimi in cena zamenjave le notranjih okenskih kril z boljšimi. Pri izdelavi ponudbe so upoštevane le osnovne dimenzije in lastnosti oken, upoštevana je še demontaža starih oken z odvozom na deponijo ter montaža novih oken in kitanje špalet. Velja opozoriti, da so v primeru ohranjanja kulturne dediščine velikokrat pomembne tudi podrobnosti, kot so na primer oblika, položaj, velikost kljuge ipd. Te podrobnosti v informativni ponudbi niso upoštevane, vendar lahko v določenih primerih zvišajo končno ceno za 30 %.

Preglednica 29: Strošek oken

| Okno | Strošek [€/objekt] |
|---|---------------------------|
| Okna v kleti | 3.593,00 |
| Škatlasta okna – celotna | 50.313,00 |
| Škatlasta okna – samo notranje krilo | 32.601,00 |
| Okna v 2. nadstropju | 7.345,00 |
| Okna v mansardi | 3.185,00 |
| SKUPAJ – celotna menjava škatlastih oken | 64.436,00 |
| SKUPAJ –notranja krila škatlastih oken | 46.724,00 |

Bistveni prispevek k zmanjšanju emisij CO₂ ima menjava energenta. Pri določanju stroškov menjave energenta smo zanemarili stroške, ki bi nastali zaradi morebitne menjave inštalacij ogrevalnih naprav in napeljav, saj je za analizo energetskega sistema v stavbi potreben natančnejši pregled, ki presega obseg magistrskega dela. Poleg tega je nazivna moč obstoječega kotla na kurilno olje, ki znaša 90 kW, verjetno predimenzionirana in primerna za prostore z večjo uporabno površino do 1000 m². Na podlagi ocene ponudnika kotlov lahko sklepamo, da za ogrevanje notranjih prostorov obravnavanega objekta potrebujemo peč na pelete z nazivno močjo 50 kW do maksimalno 75 kW. Cena ureditve s 50 kW avtomatskim kotlom na pelete GUNTAMATIC-BIOCOM je med 15.000,00 in 20.000,00 €, cena ureditve z močnejšim 75 kW kotlom je približno 5.000,00 € višja (GUNTAMATIC – Kotli na pelete, 2015).

Maloprodajna cena kurilnega olja na dan 07. 07. 2015 je znašala 0,875 €/l, cena bukovih lesnih peletov pa 0,213 €/kg (Petrol, 2015 in Center lesne biomase, 2015). Primerjava porabe energentov in letni stroški so prikazani v preglednici (Preglednica 30). Prihranek na letni ravni znaša približno 7.800,00 €, kar je za 61 % manj kot v obstoječem stanju. Stroški menjave kotla se povrnejo v dveh do štirih letih, pri hkratni dodatni izolaciji objekta pa še prej.

Preglednica 30: Strošek energentov

| Energent | Količina energenta [enota/leto] | Strošek [€/leto] |
|-------------------------------|--|-------------------------|
| Ekstra lahko kurilno olje [l] | 14615 | 12.788,00 |
| Lesni peleti [kg] | 23449 | 4.995,00 |

Cena izolacije na notranji strani zunanjih sten je odvisna od debeline klimatskih plošč. Obravnavali smo štiri variante, prikazane v preglednici (Preglednica 31). Pri tem smo upoštevali različno debelino in ceno plošč, katerim smo prišteli dodatni material, kot so lepilo, osnovni premaz, izravnalna masa in notranji omet (Cenik CALSITHERM, 2015). Neto površina notranjih sten znaša 452,12 m². Dobljenim vrednostim smo prišteli še ceno plošč za strop v obliki zagozd na skupni dolžini 144 m, ki znaša 4.781,00 € in ceno materiala za obdelavo špalet, ki znaša 3.531,00 €. Skupne cene so navedene v zadnjem stolpcu preglednice. Vse vrednosti so brez DDV. Stroške izdelave notranje izolacije smo ocenili na 4 €/m². Za celotno površino sten to znese skupaj 1.808,00 €.

Preglednica 31: Cena materiala za izolacije na notranji strani sten

| Klimatske plošče | Plošče in dodatni material [€/m²] | Plošče in dodatni material [€/objekt] | Plošče v obliki zagozde in špaleta [€/objekt] | SKUPAJ [€/objekt] |
|-------------------------|---|--|--|--------------------------|
| U4.1 Ca-Si 5 cm | 81,00 | 36.425,00 | 8.312,00 | 44.737,00 |
| U4.2 Ca-Si 8 cm | 125,00 | 56.499,00 | 8.312,00 | 64.811,00 |
| U4.3 Xtra 5 cm | 256,00 | 115.958,00 | 8.312,00 | 124.270,00 |
| U4.4 Xtra 8 cm | 413,00 | 186.671,00 | 8.312,00 | 194.983,00 |

Cena toplotnoizolacijskega ometa ThermoExtra proizvajalca Baumit znaša 7,90 €/vrečo. Približno ena četrtnina vreče zadošča za nanos 1 cm na enem kvadratnem metru površine. Površina vseh zunanjih sten je približno 513,60 m². Proizvajalec TERMOvermit ometa navaja ceno približno 7,40 €/m² za debelino nanosa 5 cm. Izračunana cena različnih debelin ometa brez DDV na zunanji strani objekta je navedena v preglednici (Preglednica 32). Takoj vidimo, da ima poleg primernejših lastnosti omet iz vermikulita tudi ugodnejšo ceno. Cena uporabljenega ometa iz vermikulita na notranji strani sten je zaradi nekoliko manjše površine 452,12 m² nižja od vrednosti v preglednici in znaša 3.346,00 €.

Preglednica 32: Strošek ometa

| Omet | Strošek [€/m ²] | Strošek [€/objekt] |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| U5.1 TI omet 5 cm | 9,88 | 5.072,00 |
| U5.2 TI omet 8 cm | 15,80 | 8.115,00 |
| U5.3 Omet iz vermikulita 5 cm | 7,40 | 3.801,00 |

V preglednici (Preglednica 33) so prikazani stroški izvedbenih del ometa na zunanji strani sten. Pri izvedbi na notranji strani upoštevamo le odstranjevanje in izdelavo ometa ter slikanje sten po skupni ceni 5.367,00 €.

Preglednica 33: Stroški izvedbe ometa

| Izvedba ometa | Cena na enoto [€/m ²] | Količina | Skupaj [€/objekt] |
|--|-----------------------------------|-----------------------|-------------------|
| Izdelava fasadnih odrov višine nad 10 m z napravo podstavka in dohodov na oder, montažo in demontažo ter vsemi pomožnimi deli na gradbišču | 10,39 | 611,43 m ² | 6.353,00 |
| Zaščita fasadnih odrov na ulični strani z mrežico | 2,79 | 174,61 m ² | 488,00 |
| Odstranjevanje ometov in odvoz na začasno deponijo gradbenega materiala na gradbišču | 6,36 | 513,60 m ² | 3.267,00 |
| Izdelava zunanjega ometa | 4,00 | 513,60 m ² | 2.054,00 |
| Obdelava fasade s fasadno barvo, vključena vsa pomožna dela | 7,60 | 513,60 m ² | 3.903,00 |
| SKUPAJ | | | 16.064,00 |

Stroške izvedbe posameznih ukrepov energetske sanacije vidimo v preglednici (Preglednica 34). Navedene so cene za celotno izvedbo določenega ukrepa, katere zajemajo tako ceno materiala kot izvedbena dela. Kot smo navedli že zgoraj, se investicija v menjavo kotla pri nespremenjenem ovoju stavbe povrne že v nekaj letih in je smiselna, saj na ta način zelo zmanjšamo emisije CO₂. Kompletna

menjava oken na objektu je eden izmed dražjih ukrepov energetske sanacije, ki pa k izboljšanju energetske učinkovitosti stavbnega ovoja ne prispeva veliko. Zato je smiselnost izvedbe celotnega ukrepa vprašljiva. Podobno velja za menjavo notranjih okenskih kril. Boljša rešitev je menjava le dotrajanih oken v kletnih prostorih in namestitvev senčil na strešna okna v mansardi za zmanjšanje sončnega sevanja in solarnih pribitkov v poletnih mesecih.

Izvedba sanacije z Xtra klimatskimi ploščami predstavlja zelo velik strošek. Ta je približno trikrat večji kot pri uporabi običajnih Ca-Si klimatskih plošč, v zameno pa dobimo le približno 10 % povečanje energetske učinkovitosti stavbnega ovoja. Za izvedbo izolacije na notranji strani je najbolj stroškovno ugodna in smiselna uporaba toplotnoizolacijskega ometa iz vermikulita, ki je tudi najcenejši ukrep energetske sanacije objekta. Prav tako je na zunanji strani sten izmed treh možnosti prav izvedba ometa iz vermikulita najcenejša. Poleg tega tudi največ prispeva k izboljšanju energetske učinkovitosti objekta.

Preglednica 34: Stroški energetskih ukrepov

| Ukrep | Strošek izvedbe ukrepa [€] |
|------------------------------|----------------------------|
| U1 Okna | 64.436,00 |
| U2 Energent | 20.000,00 |
| U4.1 Ca-Si 5 cm | 46.546,00 |
| U4.2 Ca-Si 8 cm | 66.620,00 |
| U4.3 Xtra 5 cm | 126.078,00 |
| U4.4 Xtra 8 cm | 196.792,00 |
| U5.1 Omet 5 cm | 21.136,00 |
| U5.2 Omet 8 cm | 24.179,00 |
| U5.3 Vermikulit 5 cm zunaj | 19.865,00 |
| U5.4 Vermikulit 5 cm znotraj | 8.712,00 |

6.2 Ukrepi konstrukcijske sanacije

Pri konstrukcijski utrditvi objekta lahko izbiramo med dvema ukrepoma:

- navzkrižno povezovanje zidov,
- sidranje fasad na sredini z izjemo severne fasade.

Pri določitvi stroškov smo upoštevali Pravilnik o cenah in normativih za določanje cen gradbenih del za popotresno obnovo objektov.

Stroški sidranja v armiranobetonski estrih so prikazani v preglednici (Preglednica 35). Pred izvedbo estriha je najprej potrebno odstraniti obstoječa tla, kasneje pa izvesti tudi novo finalno obdelavo. Odločili smo se za sidranje fasad v drugem nadstropju. Mansardni prostori so bili nedavno prenovljeni in talna konstrukcija v mansardi je dokaj dobra, poleg tega je dostopnost do robnih delov etaže otežena. Zato je bolj praktična izvedba armiranobetonskega estriha v drugem nadstropju. Prej tako se z izdelavo estriha poveča teža medetažne konstrukcije, kar predvsem v višjih nadstropjih deluje neugodno na potresno obnašanje konstrukcije.

Pri oceni stroškov navzkrižnega povezovanja zidov (Preglednica 36) smo predpostavili, da je cena vgradnje jeklenih plošč enaka ceni vgradnje jeklenih rebrastih sider. Navzkrižno povezovanje izvedemo na vogalnih stikih obodnih sten, pri čemer smo predpostavili vgradnjo jeklenih plošč na razdalji 0,5 m po celotni višini objekta. Število plošč je v takem primeru bistveno večje od števila sider, ki jih uporabimo pri drugi varianti konstrukcijske sanacije. Ta ukrep ne posega v stropne konstrukcije objekta.

Primerjava stroškov pokaže, da ima kljub večjemu številu dodatnih jeklenih elementov navzkrižno povezovanje zidov približno enako ceno kot sidranje fasad v estrih. Razlog za to je predvsem poseganje v stropno konstrukcijo in izvedba estriha, ki predstavlja približno 60 % celotnih stroškov pri sidranju v armiranobetonski estrih. Izvedba obeh ukrepov hkrati ne poda nič boljše odpornosti, zato te možnosti nismo obravnavali.

Preglednica 35: Stroški sidranja fasad v armiranobetonski estrih

| Sidranje v AB estrih | Cena na enoto [€/m²] | Količina | Skupaj [€/objekt] |
|---|--|-----------------------|------------------------------|
| Odstranitev oblog in tlakov in odvoz na začasno deponijo gradbenega materiala na gradbišču – ladijski pod | 2,88 | 144,50 m ² | 416,00 |
| Izvedba cem. estriha debeline 4 do 6 cm, zaribane površine, estrih armiran z mrežno armaturo Q 169, predhodno čiščenje podlage, prenosi in vsa pomožna dela | 16,02 | 144,50 m ² | 2.315,00 |
| Izdelava fasadnih odrov višine nad 10 m z napravo podstavka in dohodov na oder, montažo in demontažo ter vsemi pomožnimi deli na gradbišču | 10,39 | 436,82 m ² | 4.539,00 |
| Zaščita fasadnih odrov na ulični strani z mrežico | 2,79 | 174,61 m ² | 487,00 |
| Vgradnja jeklenih rebrastih sider fi 14 mm, dolžine 150 cm v obodne zidove objekta za njihovo povezavo z novimi armiranobetonskimi ploščami oz. ojačilnimi estrihi, s predhodnim prevrtavanjem zidov, montažo sidrnih plošč, vsi transporti in pomožna dela | 41,98 | 3 kom | 126,00 |
| Dobava in polaganje lamelnega parketa, skupaj z izravnavo podloge in lesenimi zaključnimi letvicami | 39,97 | 144,50 m ² | 5.996,00 |
| Krpanje fasadnega ometa z grobo in fino podaljšano cementno malto 1:2:6, predhodni obrizg s cementno malto 1:3, naprava malt, prenosi in vsa pomožna dela na objektu | 30,08 | 3,00 m ² | 90,00 |
| SKUPAJ | | | 13.749,00 |

Preglednica 36: Stroški navzkrižnega povezovanja zidov v vogalih

| Navzkrižno povezovanje zidov v vogalih | Cena na enoto [€/m ²] | Količina | Skupaj [€/objekt] |
|---|-----------------------------------|-----------------------|-------------------|
| Izdelava fasadnih odrov višine nad 10 m z napravo podstavka in dohodov na oder, montažo in demontažo ter vsemi pomožnimi deli na gradbišču | 10,39 | 611,43 m ² | 6.353,00 |
| Zaščita fasadnih odrov na ulični strani z mrežico | 2,79 | 174,61 m ² | 487,00 |
| Vgradnja jeklenih plošč v obodne zidove objekta za navzkrižno povezovanje zidov, s predhodno odstranitvijo malte, montažo sidrnih plošč, vsi transporti in pomožna dela | 41,98 | 92 kom | 3.862,00 |
| Krpanje fasadnega ometa z grobo in fino podaljšano cementno malto 1:2:6, predhodni obrizg s cementno malto 1:3, naprava malt, prenosi in vsa pomožna dela na objektu | 30,08 | 92,00 m ² | 2.767,00 |
| SKUPAJ | | | 13.469,00 |

6.3 Stroškovno optimalna rešitev

Ob upoštevanju varovanja kulturne dediščine in zahtev za zagotavljanje mehanske odpornosti in stabilnosti konstrukcije ter varčevanja z energijo in ohranjanja toplote smo izdelali stroškovno optimalni predlog sanacije objekta, ki temelji na hkratni izvedbi gradbenih del. Popis vseh izvedenih del pri sanaciji je v prilogi A.

Odločili smo se za izvedbo ometa iz vermikulita zunaj in znotraj objekta, ker izvedba obeh ukrepov hkrati več prispeva k izboljšanju energetske učinkovitosti kot posamezni ukrepi. Izboljša se tudi razred energetske izkaznice stavbe. Menjava vseh oken na stavbi je eden izmed dražjih stroškov energetske sanacije, k izboljšanju energetske učinkovitosti pa ne prispeva veliko. Zato predlagamo le menjavo dotrajanih oken v kletnih prostorih in namestitev zunanjih senčil na okna v mansardi za zmanjšanje sevanja in toplotnih dobitkov v poletnih mesecih. Menjava energenta ne vpliva na stavbni ovoj, ampak na zmanjšanje emisij CO₂. Ta ukrep je smiseln, saj se stroški investicije povrnejo hitro.

Ker imata obe možnosti konstrukcijske utrditve stavbe približno enako ceno, smo se odločili za primernejšo glede na možnosti izvedbe. V praksi se večkrat uporablja sidranje fasad kot navzkrižno povezovanje zidov. Izvedba sidranja je tudi bolj praktična, zato uporabimo ta ukrep.

Stroški ločene obravnave energetske in konstrukcijske sanacije ter izvedbe obeh delov hkrati so navedeni v preglednici (Preglednica 37). V zadnjem stolpcu so prikazani stroški glede na m^2 uporabne površine stavbe. Vidimo lahko, da so stroški energetske sanacije približno trikrat večji od stroškov konstrukcijske utrditve objekta. Zavedati pa se moramo, da smo pri konstrukcijski sanaciji obravnavali samo ukrepe za povečanje lokalne stabilnosti, tj. preprečitev izvenravninske porušitve fasade. Sanacijski ukrepi za zagotavljanje globalnega obnašanja in potresne odpornosti konstrukcije bi stroške bistveno povečali. Prihranek pri hkratni izvedbi obeh sanacij je 9 €/m^2 , kar je približno 9 % celotne investicije. Če upoštevamo samo ukrepe energetske sanacije, ki se tičejo stavbnega ovoja, pa je prihranek ob hkratni izvedbi del relativno večji in znaša približno 15 % investicije v celovito prenovo. Pri hkratni izvedbi obeh sanacij je ključno to, da fasadne odre postavimo le enkrat in je delo v prostorih moteno le delno oziroma samo enkrat. Torej ni velikih izgub zaradi ustavitve delovnega procesa. Prav tako je skupni čas izvedbe del krajši in tudi tukaj pridobimo. Pri celoviti sanaciji gre torej za več vrst prihrankov. Eni prihranki so na strani investicije v objekt, drugi se kažejo v manjših izgubah v poslovanju subjektov v prostorih in tretji prihranek je čas. Pri načrtovanju hkratne izvedbe gradbenih del obeh ukrepov je verjetno tudi sama kvaliteta izvedbe boljša.

Preglednica 37: Stroški energetske in konstrukcijske sanacije

| Sanacije | Skupaj [€/objekt] | Skupaj [€/m ²] |
|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|
| Energetska sanacija | 46.746,00 | 82,00 |
| Konstrukcijska sanacija | 13.749,00 | 24,00 |
| Energetska in konstrukcijska sanacija | 55.379,00 | 97,00 |

7 ZAKLJUČEK

Poleg izmere in vizualnega pregleda objekta smo za potrebe magistrske naloge najprej opravili neporušne preiskave. Pri tem smo uporabili termovizijsko kamero in merilnik toplotnega toka. Termovizijski posnetki nam kažejo energetske oslavitve stavbnega ovoja oziroma področja toplotnih mostov. Lokalno največje izgube na stavbnem ovoju so armiranobetonske preklade v drugem nadstropju. S termovizijskim pregledom pridobljene podatke o linijskih toplotnih mostovih smo kasneje uporabili pri računu energetske izkaznice. Večjih anomalij na objektu sicer ni bilo opaziti. Prav tako niso bile vidne jeklene vezi, iz česar sklepamo, da zidovje ni povezano. Na osnovi termovizijskih posnetkov smo določili mesta meritev toplotnega toka. V naslednjem poglavju smo pri analizi energetske učinkovitosti objekta izmerjene vrednosti toplotnih prehodnosti primerjali z izračunanimi in jih uporabili kot vhodne podatke pri računu energetske izkaznice. V večini primerov so bile izmerjene in izračunane vrednosti primerljive. Povzamemo lahko, da so meritve toplotnega toka primeren pripomoček za določanje toplotnih prehodnosti konstrukcijskih sklopov, sploh v primerih, ko sestava le-teh ni znana.

Račun energetske izkaznice je pokazal, da stavba spada v energetski razred E in ne zadošča kriterijem za energetsko učinkovitost. Zahteve glede toplotnih prehodnosti konstrukcij stavbnega ovoja, ki so določene v Tehnični smernici, izpolnjuje le strešna konstrukcija. Prav tako sta visoki vrednosti dovedene energije za delovanje stavbe in emisije CO₂. Pozorni moramo biti na to, da račun energetske izkaznice upošteva le stacionaren prenos toplote v gradbenih konstrukcijah. Dejansko pa se robni pogoji spreminjajo in je odziv gradbenih konstrukcij dinamičen pojav. Sklepamo, da k zmanjšanju porabe energije prispeva tudi akumulacija masivnih zidov, ki je izdelana energetska izkaznica ne upošteva. Tukaj so možnosti za nadaljnje izboljšave v smislu točnejšega računa energetske učinkovitosti stavbnega ovoja.

V magistrskem delu smo obravnavali predvsem lastnosti samega objekta, torej stavbnega ovoja in konstrukcije. Računska energetska izkaznica nam poda osnovne informacije o stavbi pri standardnih razmerah. Potrebno bi bilo izdelati merjeno energetsko izkaznico, da vidimo, kakšna je dejanska poraba energije. Na rezultate merjene izkaznice pa vplivajo tudi namen uporabe prostorov in navade uporabnikov stavbe. Zato v tem primeru ne dobimo realnih informacij o energetski učinkovitosti samega stavbnega ovoja in sistemov v stavbi.

Stavbe, ki so varovane po predpisih s področja varstva kulturne dediščine, lahko odstopajo od minimalnih zahtev glede energetske učinkovitosti in energetska izkaznica zanje ni strogo predpisana. Pri določanju primernih ukrepov sanacije so nam bili energetski kazalniki predvsem vodilo, kako moramo izboljšati stavbo. Doseženi cilj je nadgradnja energetske učinkovitosti v okviru danih robnih

pogojev. Omeniti velja, da se pri energetski prenovi pogosto srečamo tudi s stavbami, ki niso pravilno zasnovane. Če bi v teh primerih želeli doseči predpisane zahteve glede energetske učinkovitosti in čim nižji razred energetske izkaznice, bi bili stroški investicije zelo visoki. Energetska prenova takšnih objektov pogosto ni smiselna, saj so vložena sredstva neprimerno velika in se investicija ne povrne v zelenem času. Zato vsaka stavba kulturne dediščine potrebuje individualno obravnavo.

Analizirali smo pet različnih ukrepov za izboljšanje energetske učinkovitosti, in sicer prenavo stavbnega pohištva, menjavo energenta, izolacijo tal na terenu, izolacijo s klimatskimi ploščami na notranji strani in aplikacijo dveh različnih toplotnoizolacijskih ometov. Odločili smo se za izvedbo ometa iz vermikulita zunaj in znotraj objekta, ki je stroškovno najugodnejša. Poleg tega je pri tem ukrepu prispevek k izboljšanju energetske učinkovitosti glede na vložena sredstva največji. Izboljša se tudi razred energetske izkaznice stavbe. Menjava vseh oken na stavbi je eden izmed dražjih ukrepov energetske sanacije, k izboljšanju energetske učinkovitosti pa ne prispeva veliko. Zato predlagamo le menjavo dotrajanih oken v kletnih prostorih in namestitev zunanjih senčil na okna v mansardi za zmanjšanje sevanja in toplotnih dobitkov v poletnih mesecih. Z menjavo energenta in ureditvijo kotla na lesno biomaso se znatno zmanjšajo emisije CO₂. Ta ukrep je smiseln, saj se stroški investicije že pri nespremenjenem stavbnem ovoju povrnejo v največ štirih letih. Pri kombiniranju različnih ukrepov se kazalniki energetske učinkovitosti izboljšajo, a pri vseh variantah ostanemo znotraj razreda D.

Pri uporabi različnih debelin izolacije smo ugotovili, da energetska učinkovitost po dodanih nekaj centimetrih izolacijskega materiala skokovito naraste, z večanjem debeline pa se ne poveča toliko. Torej k izboljšavi ovoja največ prispeva prvih nekaj centimetrov izolacijskega materiala. Če bi hoteli zmanjšati toplotne prehodnosti vseh konstrukcijskih sklopov do te mere, da bi zadostili zahtevam Tehnične smernice, bi se na ta račun bistveno zmanjšala tudi uporabna površina prostorov.

Z analizo FaMIVE smo določili merodajne lokalne porušne mehanizme in možne izboljšave potresne odpornosti obravnavane stavbe. V ta namen moramo fasade povezati s stranskimi zidovi, kar smo v končnem predlogu naredili z jeklenimi sidri. Zadošča že sidranje južne, vzhodne in zahodne fasade le v drugem ali tretjem nadstropju. S predvideno utrditvijo objekta lahko projektno vrednost porušnega faktorja obremenitve izboljšamo. Še vedno pa je ta manjša od projektne vrednosti pospeška za 475-letno in tudi 95-letno povratno dobo, saj obravnavana stavba stoji na zelo neugodnih tleh. Na dobrih tleh bi s predlaganimi ukrepi lahko dosegli zadovoljivo potresno odpornost za 95-letno povratno dobo in s tem zadostili pogojem mejnega stanja uporabnosti. Res pa je objekt že prestal več potresov in še vedno stoji nepoškodovan. Tukaj so vidne precej stroge zahteve trenutnih predpisov za projektiranje in gradnjo konstrukcij na potresnih območjih glede na objekte stavbne dediščine.

Odločili smo se za najprimernejšo izvedbo sanacije glede možnosti izvedbe, trajnosti rešitve in stroškov ter izdelali optimalni predlog sanacije objekta, ki temelji na hkratni izvedbi gradbenih del. Stroški konstrukcijske utrditve objekta so približno trikrat nižji od stroškov energetske sanacije, kar pa ne pomeni, da so manj pomembni. Najprej je potrebno poskrbeti za mehansko odpornost in stabilnost. Če to ne bo zagotovljeno, objekt ne bo prestal večjih obremenitev in ko enkrat več ne služi svojemu namenu, tudi energetska učinkovitost ni pomembna. V praksi se pojavljajo konfliktna situacija, ko so pri energetsko saniranem objektu prepovedani posegi v stavbni ovoj za določeno obdobje. Pri investitorju se kasneje pojavi želja po konstrukcijski prenovi ali utrditvi objekta, kar zaradi pravnih omejitev ni izvedljivo. Boljša rešitev v takšnih primerih je celovita prenova in hkratna izvedba ukrepov. Predvideti je treba potrebe, ki se bodo pojavile v prihodnosti. Dodana vrednost hkratne izvedbe gradbenih del je tudi denarni prihranek. V nalogi smo pokazali, da pri tem lahko prihranimo približno 9 €/m² oziroma 9 % celotne investicije v prenavo. Sicer gre pri hkratni izvedbi del energetske sanacije in konstrukcijske utrditve za več različnih prihrankov. Prvi so na strani investicije v objekt, drugi se kažejo v manjših izgubah zaradi ustavitve delovnega procesa. Fasadne odre postavimo le enkrat in delo v prostorih je moteno manj kot pri ločeni obravnavi sanacij. Poleg tega je pri celoviti sanaciji skupni čas izvedbe del krajši in prihranimo denar tudi v tem pogledu.

VIRI

Adamič, T., Vičič B. 2004. Konservatorski program za posege v kulturno dediščino. EŠD 9437 Ljubljana – Tobačna tovarna. Ljubljana, Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Območna enota Ljubljana: str. 65-74.

ArchiMAID. Verzija 2.1.237.0. Sistemi Shift d.o.o. 2007-2014. FIBRAN NORD d.o.o.

Arhiv ZVKDS, OE Ljubljana. 2015. Osebna komunikacija. (januar, februar 2015.)

ARSO Potresi. 2015.

<http://www.arso.gov.si/potresi/> (Pridobljeno 08. 07. 2015.)

Ascione, F., Bianco, N., De Masi, R. F., Mauro G. M., Musto M., Vanoli G. P. 2014. Experimental validation of a numerical code by thin film heat flux sensors for the resolution of thermal bridges in dynamic conditions. *Applied Energy* 2014, 124: 213-222.

[doi:10.1016/j.apenergy.2014.03.014](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.014).

BAUMIT Cenik. 2015.

<http://www.baumit.si/si/storitve/services.html?section=cenik-2015> (Pridobljeno 19. 06. 2015.)

Bosiljkov V. 2012. Prenova in preizkušanje konstrukcij. Predavanja.

CALSITHERM – Trajna zaščita pred pojavom plesni. 2015.

http://www.ravago.si/gradbeni_calsitherm.php (Pridobljeno 02. 05. 2015.)

Cenik CALSITHERM. 2015.

http://www.ravago.si/documents/Cenik_calsitherm_2015.pdf (Pridobljeno 14. 07. 2015.)

Center lesne biomase. 2015.

<http://www.bioles-horizont.si/bukovi-peleti/> (Pridobljeno 07. 07. 2015.)

D'Ayala D., Novelli V., Bosiljkov V. 2012. Deliverable D17: Correlation of performance levels and damage states for types of buildings. Project PERPETUATE: str. 31, 99.

Direktiva EPBDr. Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta o energetske učinkovitosti stavb. Uradni list Evropske unije 153/13/2010.

EZ-1. Energetski zakon (EZ-1). Uradni list RS št. 17–538/2014: 1787.

FaMIVE, Failure Mechanisms Identification and Vulnerability Evaluation. 2015. D'Ayala, D. in sod.

Galić, J., Kišiček, T., Galić, B. 2012. Pojačanje opečnih zidanih zidova i stupova FRP trakama. Dani ovlaštenih inženjera građevinarstva. Opatija, 2012.

<http://www.statika.hr/downloads/Predavanje%20HKIG%20Opatija%202012%20-%20Poja%C4%8Danje%20ope%C4%8Dnih%20zidanih%20zidova%20i%20stupova%20FRP%20trakama.pdf> (Pridobljeno 10. 07. 2015.)

Google Zemljevidi. 2015.

<https://www.google.com/maps/@46.0473419,14.4934507,18z> (Pridobljeno 17. 05. 2015.)

GUNTAMATIC – Kotli na pelete. 2015.

http://guntamatic.si/kotli_na_pelete_therm_biostar_biocom/ (Pridobljeno 14. 07. 2015.)

Izolacijske plošče za notranjo toplotno izolacijo. 2015.

<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT439.htm> (Pridobljeno 02. 05. 2015.)

Janežič, I., Baumgartner, M., Kos, J., Bergant M. Tehnične informacije o pomembnejših posegih za rekonstrukcijo v potresu poškodovanih zidanih objektov. 2015.

http://www.gi-zrmk.si/media/uploads/public/document/45-3_clanek_sl.pdf (Pridobljeno 20. 05. 2015.)

Maier, J. 2009. Energetische Sanierung von Altbauten. Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag: 385 str.

Medved, T. 2010. Rekonstrukcija muzeja Železniki. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba T. Medved): 57 str.

Novak, D. 2012. Potresna analiza starega mestnega jedra Ljubljane. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Novak): 81 str.

Opis enote nepremične kulturne dediščine. 2014.

<http://giskd2s.situla.org/rkd/Opis.asp?Esd=9437> (Pridobljeno 26. 11. 2014.)

Petrol. 2015.

<http://www.petrol.si/za-dom/izdelki/kurilno-olje/gibanje-cene> (Pridobljeno 07. 07. 2015.)

PEI. Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb. Uradni list RS št. 92–3699/2014: 10302.

Pravilnik o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o cenah in normativih za določanje cen gradbenih del za popotresno obnovo objektov. Uradni list RS št. 83–4213/2007: 11480. Priloga 2.

Praznik, M. 2007. Energetski pregledi in inteligentna energetska prenova stavb. V: Obnovljivi viri prihodnosti. Forum o obnovljivih virih in učinkoviti rabi energije, Bled: 7 str.

Prostor – prostorski portal RS. Javni vpogled v nepremičnine. Republika Slovenija. Ministrstvo za okolje in prostor. Geodetska uprava Republike Slovenije. 2015.

<http://prostor3.gov.si/javni/javniVpogled.jsp?rand=0.23607149471430955> (Pridobljeno 11. 02. 2015.)

Puren gmbh. 2015.

<http://si.puren.com/> (Pridobljeno 08. 07. 2015.)

PURES2010. Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Uradni list RS št. 52–2856/2010: 7840.

Register nepremične kulturne dediščine. 2014.

<http://giskd2s.situla.org/rkd/Opis.asp?Esd=9437> (Pridobljeno 26. 11. 2014.)

Sevšek, M. 2011. Ocena potresne ranljivosti kamnitih stavb v Posočju z analizo lokalnih mehanizmov porušitve. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Sevšek): 71 str.

SIST EN 1998-3:2005. Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 3. del: Ocena in prenova stavb.

SREMB, Seismic Resistance of Masonry Buildings.

Šijanec Zavrl, M., Tomšič, M. 1999. Energetsko učinkovita zasteklitev in okna. Ljubljana, Konzorcij FEMOPET Slovenija: 26 str.

TERMOvermit. 2015.

<http://www.vermit-group.si/> (Pridobljeno 14. 07. 2015.)

Tolmačenje glede stavbne dediščine. 2015.

<http://www.energetika-portal.si/podrocja/energetika/energetske-izkaznice-stavb/za-drzavljan/>
(Pridobljeno 14. 06. 2015.)

Troi, A., Bastian, Z. 2015. Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings, A Handbook. Basel, Birkhäuser Verlag GmbH: 335 str.

TSG-1-004:2010. Tehnična smernica. Učinkovita raba energije. 2010. Republika Slovenija. Ministrstvo za okolje in prostor. 106 str.

ZAL – Zgodovinski arhiv Ljubljana.

ZGO-1. Zakon o graditvi objektov (ZGO-1-UPB1). Uradni list RS št. 102–44398/2004: 12358.

Weather Underground. 2015. Ljubljana-Center ILJUBLJA3.

<http://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=ILJUBLJA3#history/>

(Pridobljeno 25. 03. 2015.)

Ostali viri:

Beg, D. (ur.), Pogačnik, A. (ur.). 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 6 poglavje.

Hiti, E. 2014. Uporaba sodobne termovizijske kamere v gradbeništvo. Romb d.o.o. Laško.

http://www.ravago.si/docs/uporaba_termovizijske_kamere.pdf (Pridobljeno 08. 10. 2014.)

LESKO Žiri d.o.o. – izdelava lesenih oken in vhodnih vrat. 2015. Informativna ponudba za okna.

<http://lesko.si/> (Pridobljeno 21. 07. 2015.)

Mizarstvo Šemrl – z vami že od leta 1895. 2015. Informativna ponudba za okna.

<http://www.mizarstvo-semrl.si/> (Pridobljeno 15. 07. 2015.)

Praznik, M. 2010. Načrtovanje energetske sanacije stavb s pomočjo energetskih pregledov in termografije. V: Obnovljivi viri prihodnosti. Forum o obnovljivih virih in učinkoviti rabi energije, Bled: 7 str.

Strokovno izobraževanje »ArchiMAID in energijska izkaznica; Energijska sanacija celotnega ovoja stavbe«. FIBRAN NORD d.o.o. Sodražica, 20. 01. 2015.

VELUX Strešna okna, senčila, svetlobniki in okna s kupolo za ravno streho. 2015. E-cenik.

<http://www.velux.si/> (Pridobljeno 16. 07. 2015.)

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: POPIS DEL PRI SANACIJI

PRILOGA B: ARHITEKTURNI NAČRTI

PRILOGA A: POPIS DEL PRI SANACIJI

| naziv | cena/enoto | količina | skupaj |
|---|------------|-----------|--------------|
| I. RUŠITVE IN ODSTRANJEVANJA | | | |
| Odstranitev oblog in tlakov in odvoz na začasno deponijo gradbenega materiala na gradbišču - ladijski pod | 2,88 x | 144,50 m2 | 416,16 EUR |
| Odstranjevanje zunanjih ometov in odvoz na začasno deponijo gradbenega materiala na gradbišču | 6,36 x | 513,60 m2 | 3.266,50 EUR |
| Odstranjevanje notranjih ometov in odvoz na začasno deponijo gradbenega materiala na gradbišču | 6,36 x | 452,12 m2 | 2.875,48 EUR |
| II. ZIDARSKA DELA | | | |
| Izvedba cem. estriha debeline 4 do 6 cm, zaribane površine, estrih armiran z mrežno armaturo Q 169, predhodno čiščenje podlage, prenosi in vsa pomožna dela | 16,02 x | 144,50 m2 | 2.314,89 EUR |
| Izdelava zunanjega ometa | 4,00 x | 513,60 m2 | 2.054,40 EUR |
| Izdelava notranjega ometa | 4,00 x | 452,12 m2 | 1.808,48 EUR |
| Montaža oken, vključno z demontažo starih oken in odvozom na deponijo | | | 3.593,16 EUR |
| Montaža senčil na strešna okna | | | 1.722,00 EUR |
| III. FASADERSKA DELA | | | |
| Izdelava fasadnih odrov višine nad 10 m z napravo podstavka in dohodov na oder, montažo in demontažo ter vsemi pomožnimi deli na gradbišču | 10,39 x | 611,43 m2 | 6.352,76 EUR |
| Zaščita fasadnih odrov na ulični strani z mrežico | 2,79 x | 174,61 m2 | 487,17 EUR |

| | | | |
|--|--------|----------|--------------|
| Obdelava fasade s fasadno barvo, vključena vsa pomožna dela | 7,60 x | 513,6 m2 | 3.903,36 EUR |
|--|--------|----------|--------------|

IV. SLIKOPLESKARSKA DELA

| | | | |
|--|--------|-----------|------------|
| Slikanje sten in stropov z belim apnenim beležem 2x, obračun po kvadratnem metru | 1,51 x | 452,12 m2 | 682,70 EUR |
|--|--------|-----------|------------|

V. OBLOGA TAL IN PODOV

| | | | |
|---|---------|-----------|--------------|
| Dobava in polaganje lamelnega parketa, skupaj z izravnavo podloge in lesenimi zaključnimi letvicami | 39,97 x | 144,50 m2 | 5.775,67 EUR |
|---|---------|-----------|--------------|

VI. DRUGA GRADBENA DELA

| | | | |
|--|---------|----------|------------|
| Vgradnja jeklenih rebrastih sider fi 14 mm, dolžine 150 cm, v obodne zidove objekta za njihovo povezavo z novimi armiranobetonskimi ploščami oz. ojačilnimi estrihi, s predhodnim prevrtavanjem zidov, montažo sidrnih plošč, vsi transporti in pomožna dela | 41,98 x | 3,00 kom | 125,94 EUR |
|--|---------|----------|------------|

VII. DRUGA DELA

| | | | |
|--|--|--|---------------|
| Kompletna ureditev avtomatskega kotla na pelete | | | 20.000,00 EUR |
|--|--|--|---------------|

skupaj: 55.378,66 EUR

PRILOGA B: ARHITEKTURNI NAČRTI

Načrt B.1: Tloris kleti

Načrt B.2: Tloris pritličja

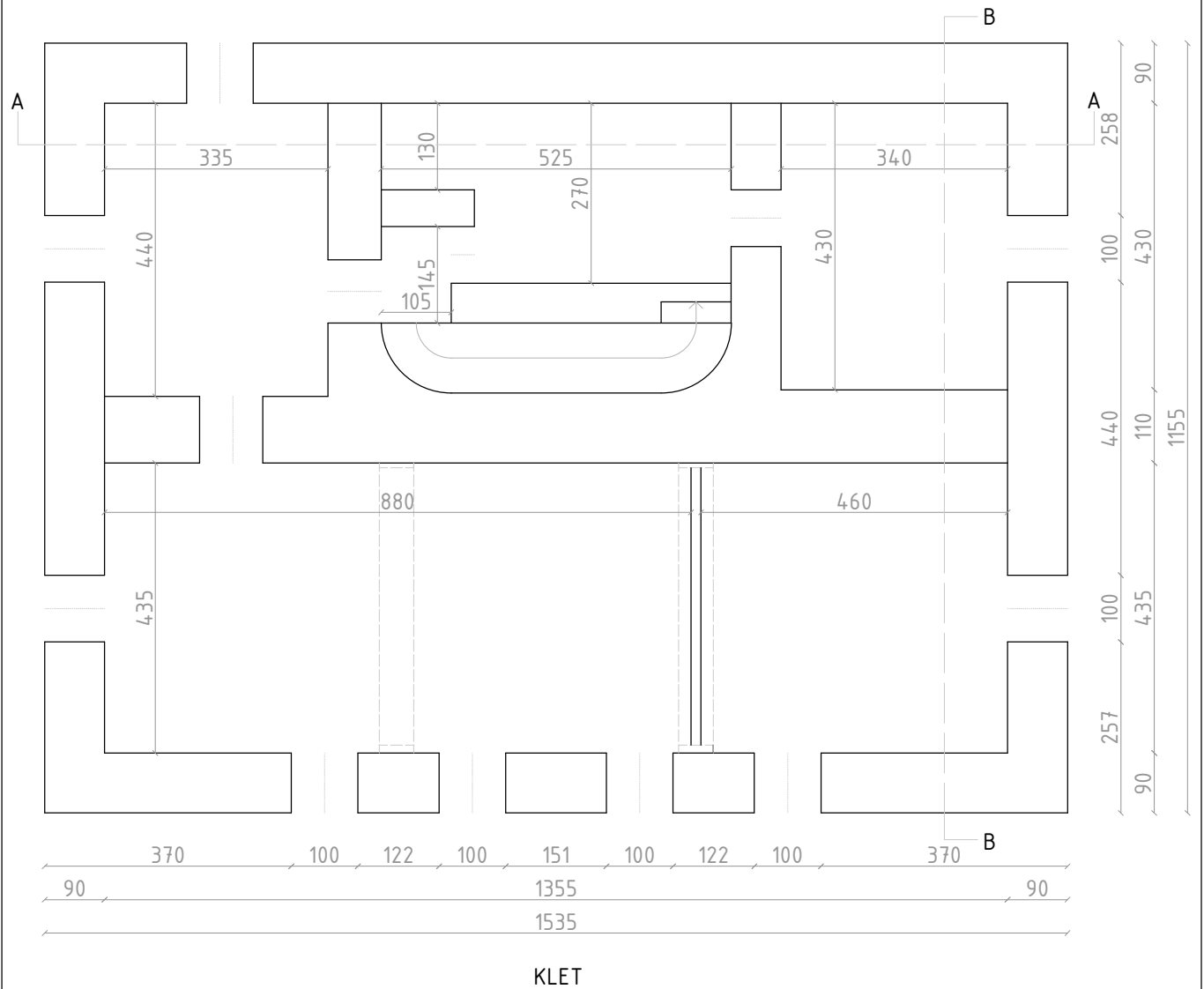
Načrt B.3: Tloris 1. nadstropja

Načrt B.4: Tloris 2. nadstropja

Načrt B.5: Tloris mansarde

Načrt B.6: Vzdolžni prerez A-A

Načrt B.7: Prečni prerez B-B

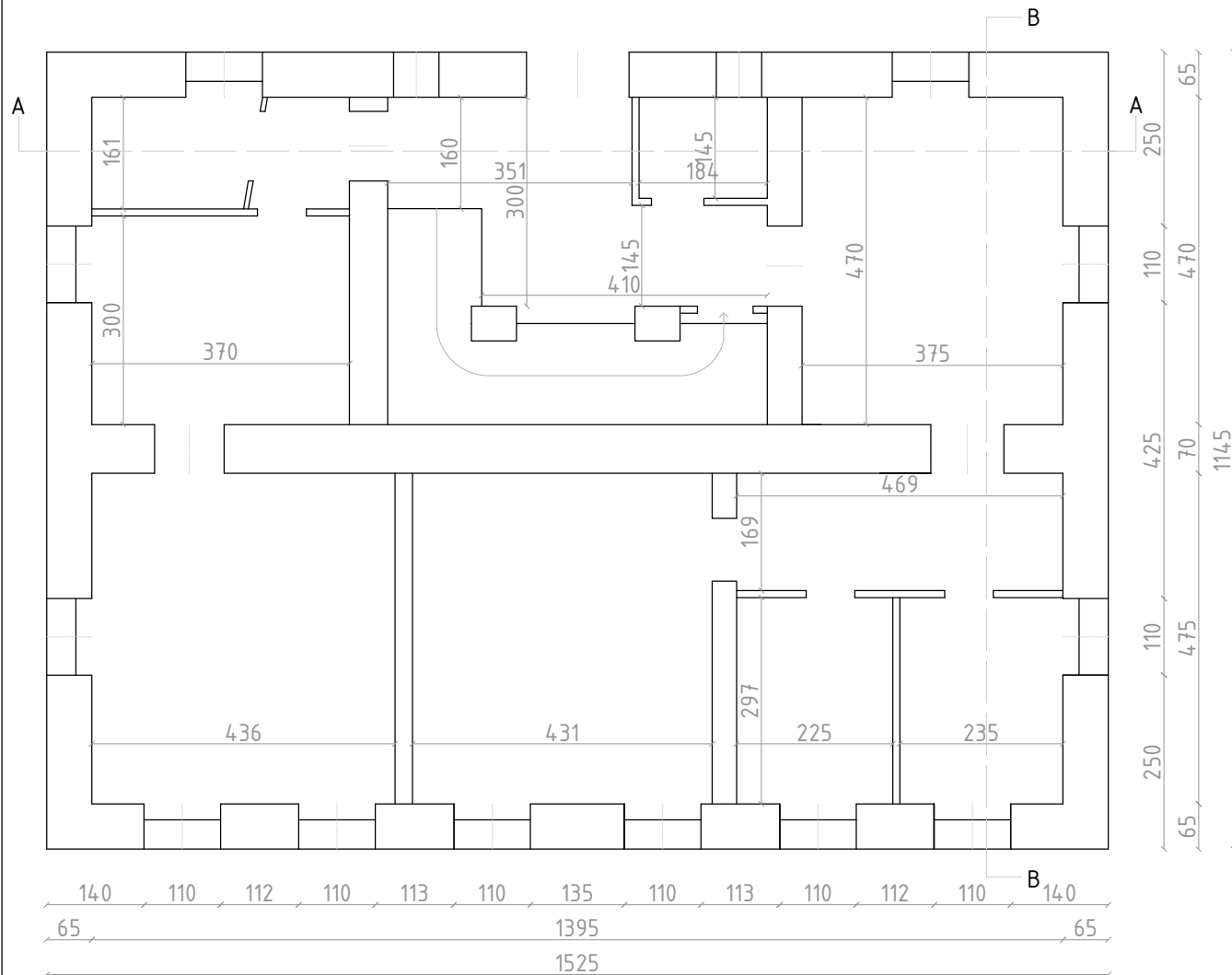


KLET

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

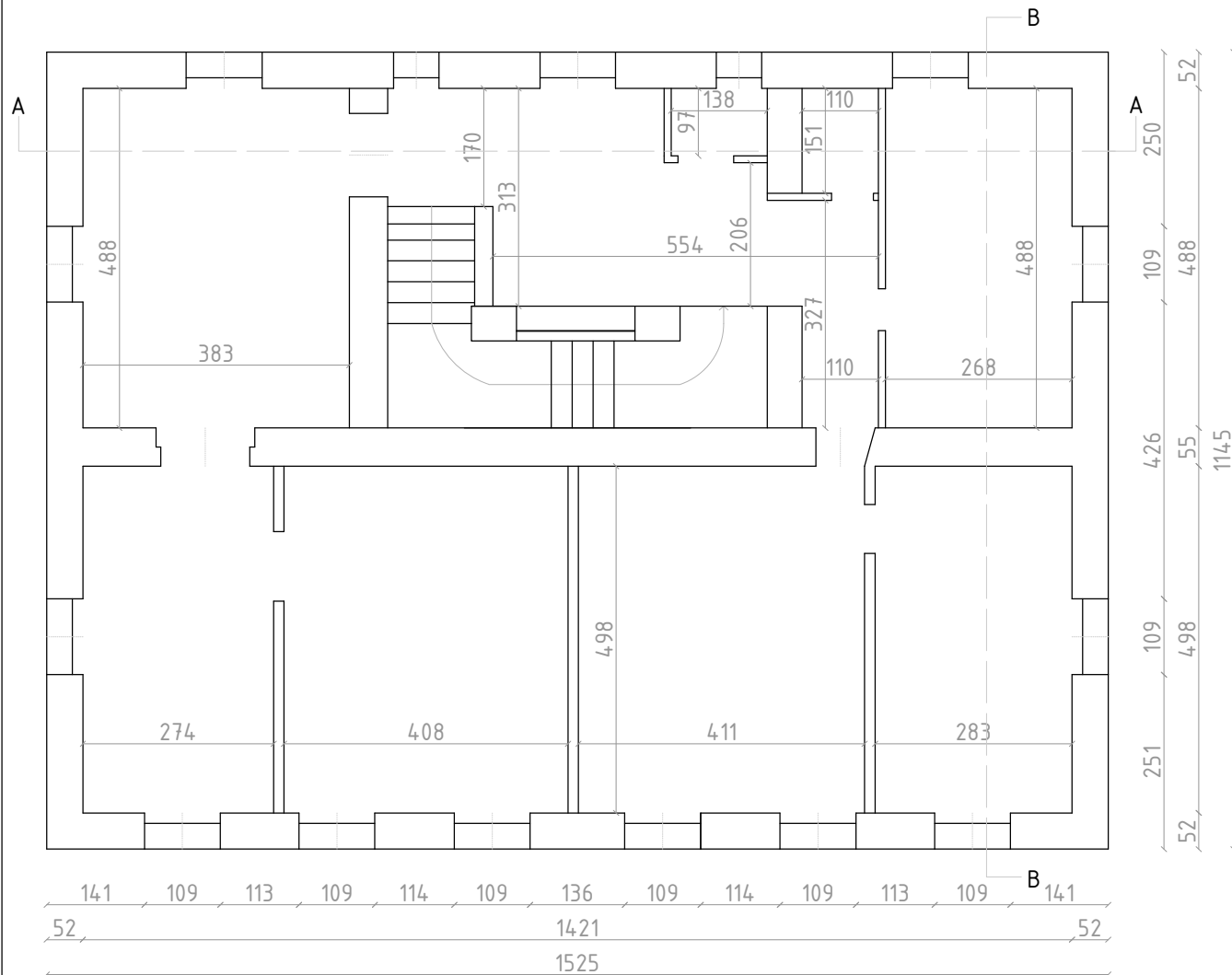
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

| | | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|
| Oznaka: | Revidiral: | Datum revizije: | Opis revizije: | Rev. št.: |
| Projekt: Tržaška 4 | | | Načrt: B.1 | |
| Številka projekta: 000-000-000-001 | Izdelal: Gabrijela Jankovič | Datum izdelave: 1.4.2015 | Del objekta: Tloris kleti | Merilo: 1:100 |
| Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i> | | | Šifra elementa: | Stran: |



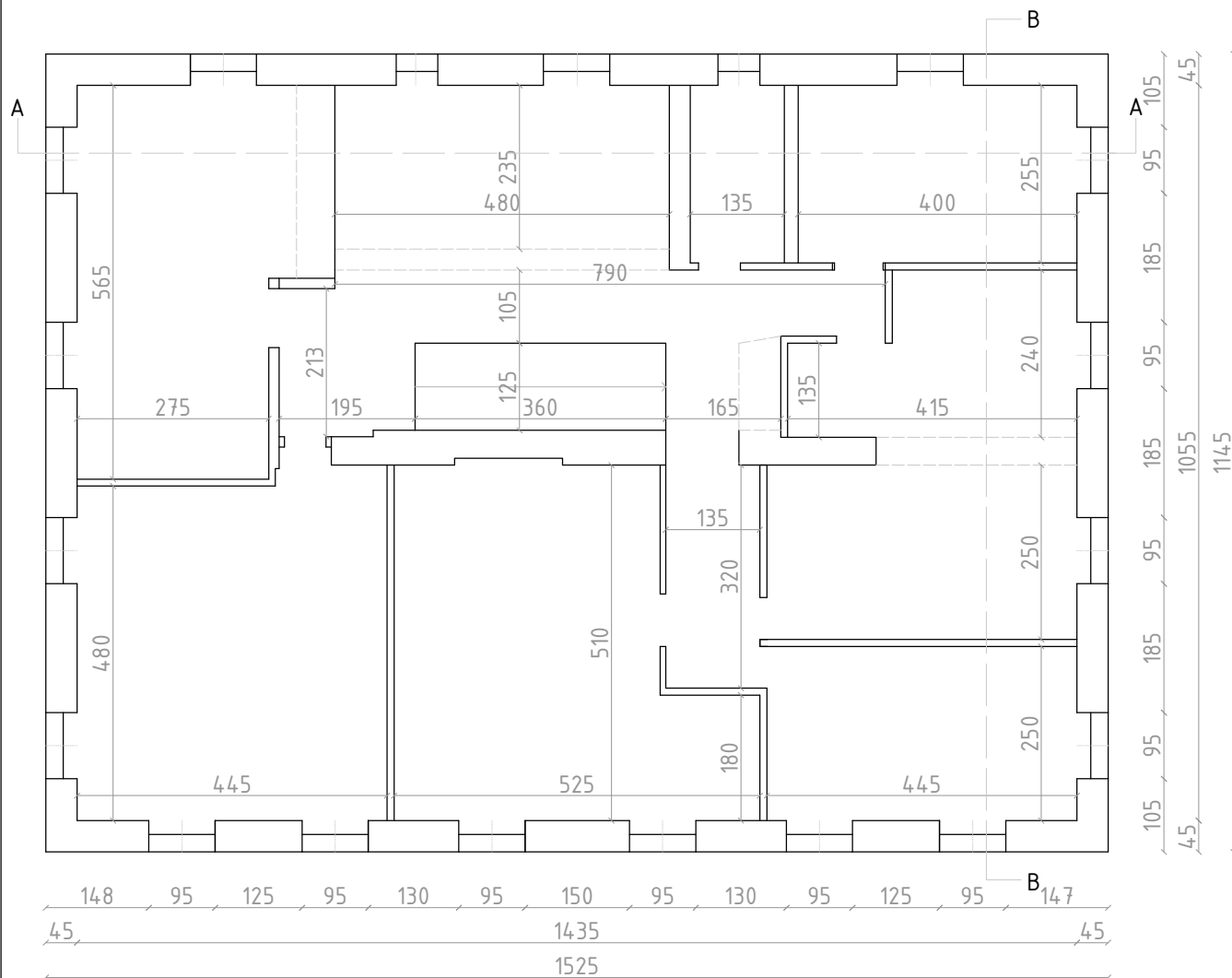
PRITLIČJE

| | | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------|
| Oznaka: | Revidiral: | Datum revizije: | Opis revizije: | Rev. št.: |
| Projekt: Tržaška 4 | | | Načrt: B.2 | |
| Številka projekta: 000-000-000-001 | Izdelal: Gabrijela Jankovič | Datum izdelave: 1.4.2015 | Del objekta: Tloris pritličja | Merilo: 1:100 |
| Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i> | | | Šifra elementa: | Stran: |



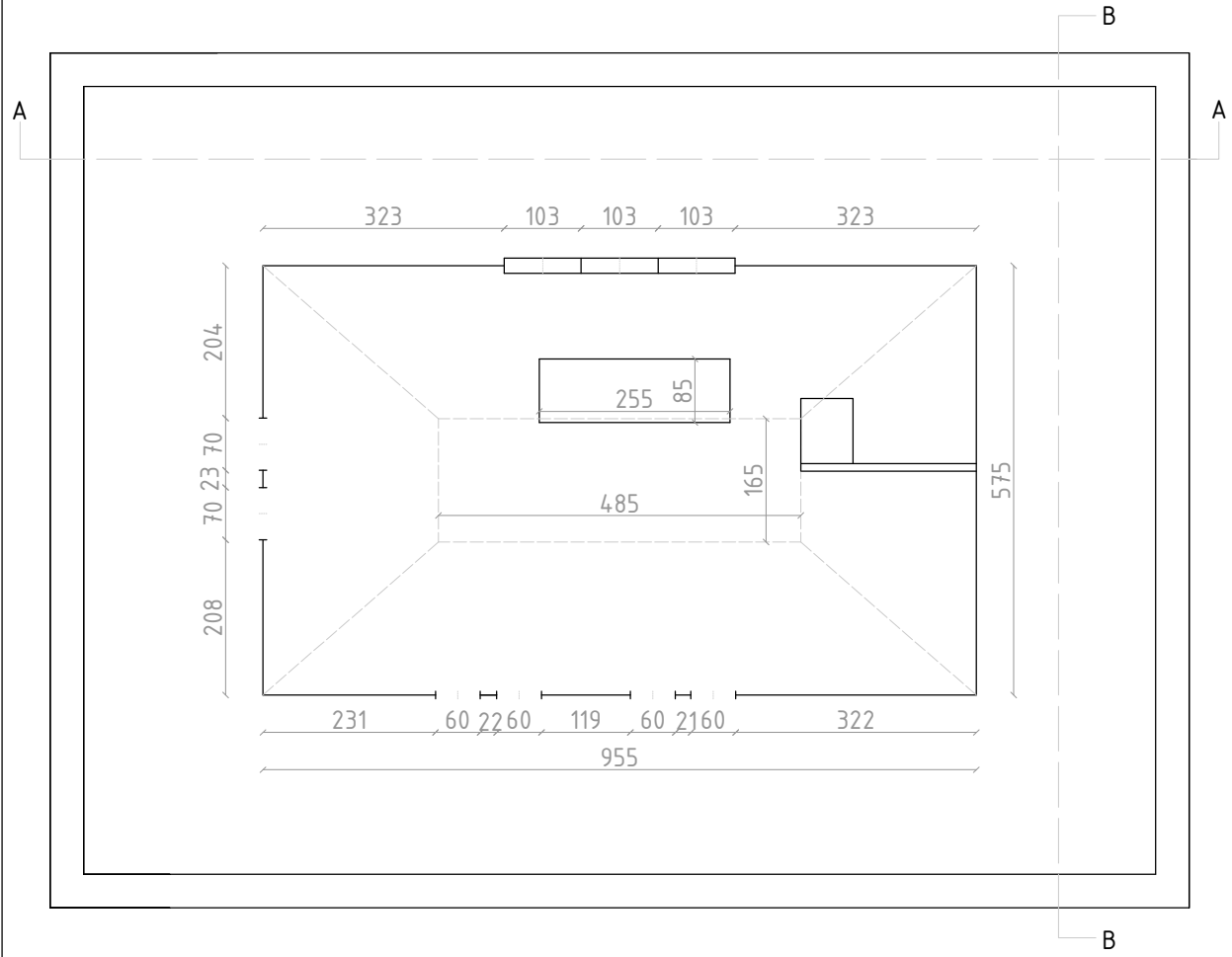
1. NADSTROPJE

| | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------|
| Oznaka: | Revidiral: | Datum revizije: | Opis revizije: | Rev. št.: |
| Projekt: Tržaška 4 | | | Načrt: B.3 | |
| Številka projekta: 000-000-000-001 | Izdelal: Gabrijela Jankovič | Datum izdelave: 1.4.2015 | Del objekta: Tloris 1. nadstropja | Merilo: 1:100 |
| Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i> | | | Šifra elementa: | Stran: |



2. NADSTROPJE

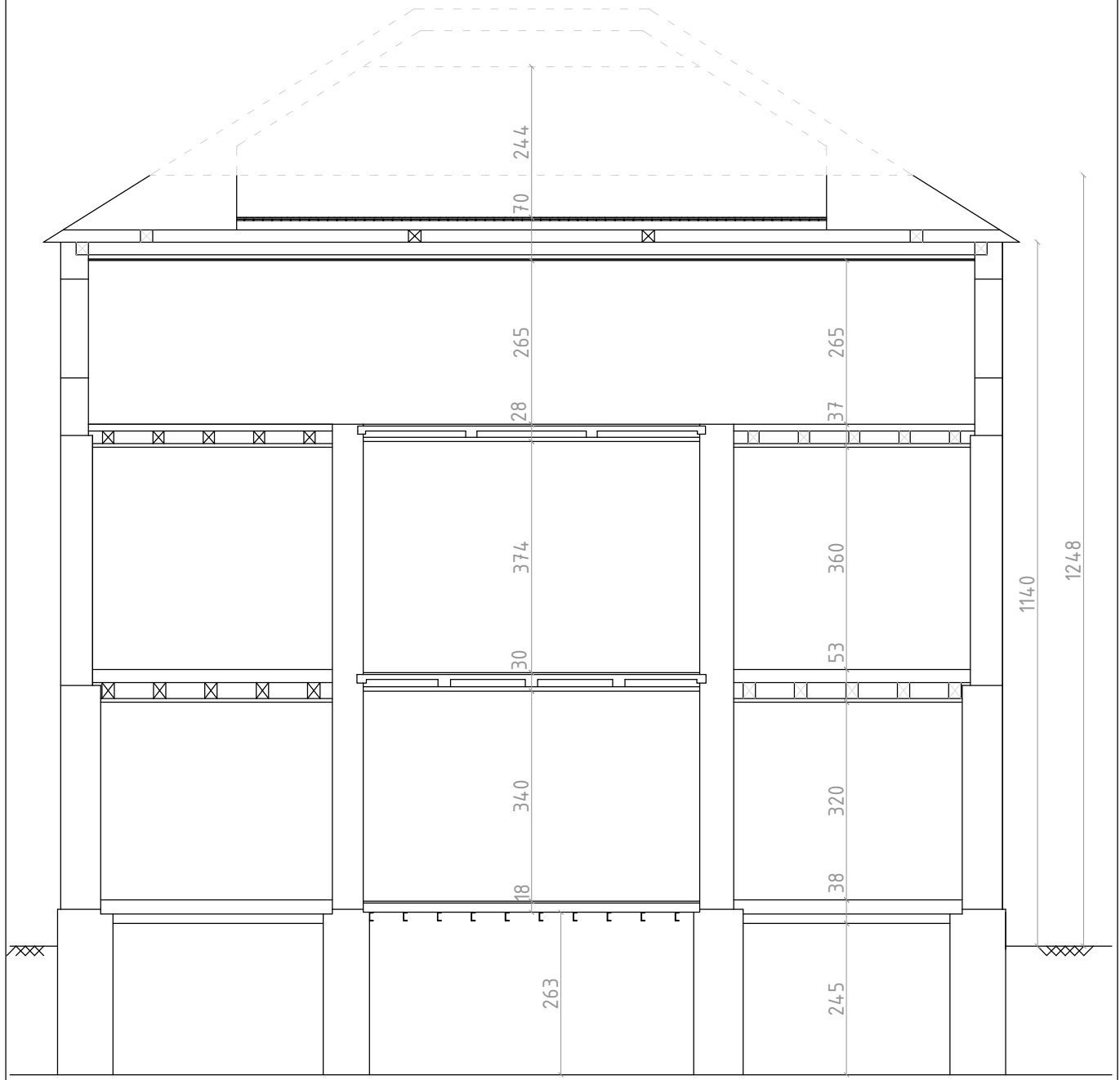
| | | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------|
| Oznaka: | Revidiral: | Datum revizije: | Opis revizije: | Rev. št.: |
| Projekt: Tržaška 4 | | | Načrt: B.4 | |
| Številka projekta: 000-000-000-001 | Izdelal: Gabrijela Jankovič | Datum izdelave: 1.4.2015 | Del objekta: Tloris 2. nadstropja | Merilo: 1:100 |
| Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i> | | | Šifra elementa: | Stran: |



MANSARDA

| | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------|
| Oznaka: | Revidiral: | Datum revizije: | Opis revizije: | Rev. št.: |
| Projekt: Tržaška 4 | | | Načrt: B.5 | |
| Številka projekta: 000-000-000-001 | Izdelal: Gabrijela Jankovič | Datum izdelave: 1.4.2015 | Del objekta: Tloris mansarde | Merilo: 1:100 |
| Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i> | | | Šifra elementa: | Stran: |

PREREZ A-A

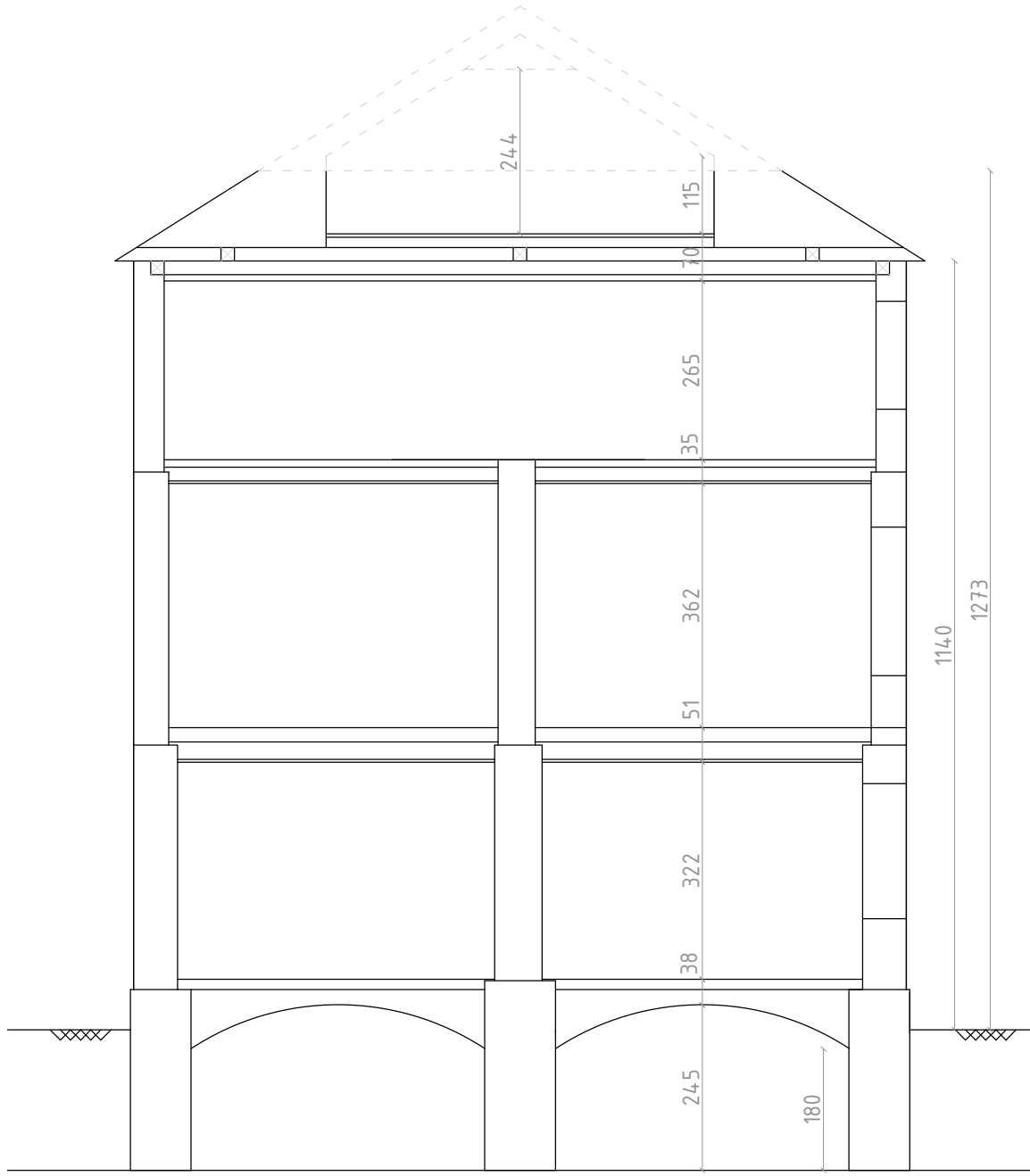


PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

| | | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------|
| Oznaka: | Revidiral: | Datum revizije: | Opis revizije: | Rev. št.: |
| Projekt: Tržaška 4 | | | Načrt: B.6 | |
| Številka projekta: 000-000-000-001 | Izdelal: Gabrijela Jankovič | Datum izdelave: 1.4.2015 | Del objekta: Vzdolžni prerez A-A | Merilo: 1:100 |
| Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i> | | | Šifra elementa: | Stran: |

PREREZ B-B



| | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------|
| Oznaka: | Revidiral: | Datum revizije: | Opis revizije: | Rev. št.: |
| Projekt: Tržaška 4 | | | Načrt: B.7 | |
| Številka projekta: 000-000-000-001 | Izdelal: Gabrijela Jankovič | Datum izdelave: 1.4.2015 | Del objekta: Prečni prerez B-B | Merilo: 1:100 |
| Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i> | | | Šifra elementa: | Stran: |