

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA
MARIBOR

GRADBENO OBRTNIŠKA DELA PRI PRENOVI ČELIGIJEVEGA STOLPA

Kandidat: Vernes Mujkić

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Gradbeništvo

Mentor predavatelj: Vladimir Dragorajac univ. dipl. inž. grad.

Mentor v podjetju: Vitomir Mavrič, dipl. inž. grad.

Lektor: Andreja Krajnc, prof. slov. in zgo.

Maribor, 2024

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Vernes Mujkić, sem avtor diplomskega dela z naslovom Gradbeno obrtniška dela pri prenovi Čeligijevega stolpa, ki sem ga napisal pod mentorstvom Vladimirja Dragorajca univ. dipl. inž. grad..

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel/a, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne, kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, november 2024

Podpis študenta:

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju na šoli Vladimirju Dragorajcu, univ. dipl. inž. grad., za vso izkazano pomoč, proaktivnost in strokovne nasvete pri izdelavi diplomskega dela. Zahvala gre tudi mentorju Vitomirju Mavriču, dipl. inž. grad., ki mi je prav tako pomagal s strokovnimi nasveti in Edu Velkavrh, katerega podjetje je bilo izvajalec sanacije Čeligijevega stolpa, za dostop do dokumentacije za izdelavo diplomskega dela.

Posebej se zahvaljujem svoji družini, ki me je v času študija in ob pisanju diplomskega dela podpirala in spodbujala.

POVZETEK

Diplomsko delo obravnava izvedbo gradbeno-obrtniških del pri prenovi Čeligijevega stolpa v Mariboru. V prvem delu diplomskega dela na kratko predstavljamo zgodovino in pomen stolpa, nato pa se podrobneje osredotočimo na njegove tehnične karakteristike in opišemo obstoječe stanje objekta, ki je bil del nekdanjega mestnega obzidja in je kot kulturna dediščina vpisan v register Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije. V tej luči tako preučujemo kulturno-varstvene pogoje pri obnovi, dotedanje konservatorske posege na objektu, PZI dokumentacijo in pogodbo za izvedbo del.

Že iz samega opisa obstoječega stanja ter omenjene dokumentacije razberemo omejitve pri načrtani obnovi in morebitne izzive, ki bodo pri tem nastali. V osrednjem delu diplomskega dela se osredotočamo na samo izvedbo gradbeno obrtniških del prenove historičnega stolpa in natančno opišemo potek celovite obnove (od pripravljalnih, rušitvenih, zemeljskih, zidarskih, tesarskih in ključavničarskih del), vključno s praktičnimi izzivi pri posameznih delih oziroma posegih. Diplomsko delo tudi s slikovnim gradivom prikaže začetno stanje pred obnovo in predloge sanacijskih rešitev.

Po podrobnem opisu izvedbe gradbeno-obrtniških del sledi poglavje diplomskega dela, ki analizira samo obnovo stavbe na podlagi izvedenih del, hkrati pa preučuje ekonomičnost prenove objekta v luči predloga drugačnih načinov izvedbe del. Tako preverjamo zastavljeno hipotezo, da bi namesto izvedenega utrjevanja kamnitih sten z vgradnjo tako imenovanih IBO sider bila za četrtno cenejša izvedba z zategami, ki bi jih montirali na stropnike. Preverjamo tudi hipotezi, da bi izvedba vmesnih medetažnih konstrukcij z jeklenimi HEA nosilci, namesto uporabljenih lesenih, dela podražila za okoli 20 odstotkov, in da bi bila izvedba sanacije z injektiranjem apneno-cementnih injektirnih mas, namesto izvedenega injektiranja mas na bazi apna brez vsebnosti cementa, cenejša za okoli petino. To poglavje pa odgovarja tudi na tezo o tem, da bi uporaba umetne inteligence pri prenovi tovrstnih zgodovinskih objektov izboljšala natančnost ocene stanja objekta ter učinkovitosti njegove obnove. Združevanje BIM z umetno inteligenco namreč omogoča analizo večjih količin podatkov in s tem avtomatizacijo ter optimizacijo gradbenih procesov.

Ključne besede: *Čeligijev stolp, gradbeno obrtniška dela, obnova objekta pod spomeniškim varstvom, obnova objekta, injektiranje.*

ZUSAMMENFASSUNG

Bau- und Konstruktionsarbeiten für die Renovierung des Tscheligi-Turms

Die Diplomarbeit befasst sich mit der Durchführung von Bau- und Handwerksarbeiten bei der Renovierung des Tscheligi-Turms in Maribor. Im ersten Teil der Arbeit stellen wir kurz die Geschichte und Bedeutung des Turms vor, gehen dann detaillierter auf seine technischen Eigenschaften ein und beschreiben den aktuellen Zustand des Gebäudes, das Teil der ehemaligen Stadtmauer war und als Kulturerbe im Register des Instituts für den Schutz des Kulturerbes Sloweniens eingetragen ist. Angesichts dieser Tatsache untersuchen wir die kulturellen und konservatorischen Bedingungen während der Renovierung, die konservatorischen Eingriffe am Gebäude, die PZI-Dokumentation und den Vertrag für die Ausführung der Arbeiten.

Allein aus der Beschreibung der derzeitigen Situation und der oben genannten Dokumentation können wir die Beschränkungen der geplanten Sanierung und die damit verbundenen potenziellen Herausforderungen erkennen. Deshalb konzentrieren wir uns im zentralen Teil der Arbeit auf die Sanierung der Bau- und Handwerkskunst des historischen Turms und beschreiben ausführlich den Ablauf der Gesamtsanierung (von Vorarbeiten, Abriss, Erdarbeiten, Maurer-, Zimmerer- und Schlosserarbeiten), einschließlich praktischer Herausforderungen in einzelnen Arbeiten oder Eingriffen. Die Diplomarbeit zeigt außerdem mit Bildmaterial den Zustand vor der Sanierung und beinhaltet auch Renovierungsvorschläge.

Nach einer ausführlichen Beschreibung der Ausführung baulicher und handwerklicher Arbeiten folgt ein Kapitel, das die Sanierung des Gebäudes selbst anhand der durchgeführten Arbeiten analysiert und gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit der Sanierung des Gebäudes in Anbetracht der verschiedenen Methoden zur Ausführung der Renovierungsarbeiten untersucht. Auf diese Weise prüfen wir die Hypothese, wonach die Verfestigung der Steinwand durch den Einbau sogenannter IBO-Anker um ein Viertel günstiger wäre, als die Stahlträger an den Deckelbalken. Wir prüfen auch die Hypothese, dass die Implementierung von Zwischengeschosskonstruktionen mit HEA-Stahlträgern anstelle der verwendeten Holzträgern die Arbeiten um etwa 20 Prozent verteuern würde, und dass die Sanierung durch Injektion von Kalk-Zement-Injektionen, anstelle der durchgeführten Injektion von kalkhaltigen Massen ohne Zementanteil, um etwa ein Fünftel günstiger wäre. Dieses Kapitel geht auch auf die These ein, dass der Einsatz künstlicher Intelligenz bei der Sanierung solcher historischen Gebäude die Genauigkeit der Beurteilung des Zustands des Gebäudes sowie die Effizienz der Sanierung

verbessern würde. Die Kombination von BIM mit künstlicher Intelligenz ermöglicht nämlich die Analyse großer Datenmengen und damit die Automatisierung und Optimierung von Bauprozessen.

Stichwort: *Tscheligi-Turm, Bau- und Handwerksarbeiten, Sanierung eines denkmalgeschützten Gebäudes, Sanierung eines Gebäudes, Wandinjektion.*

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	8
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	8
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	8
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	9
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	9
2	DELO V PROJEKTNI SKUPINI	10
3	PREUČITEV POGOJEV ZA PRENOVO OBJEKTA	11
3.1	UVOD	11
3.2	OPIS OBSTOJEČEGA OBJEKTA PRED NAČRTOVANO OBNOVO	12
3.3	TEHNIČNE ZNAČILNOSTI OBJEKTA	18
3.4	PRIPRAVA DOKUMENTACIJE ZA PROJEKT OBNOVE	18
4	GRADBENO OBRTNIŠKA DELA PRI PRENOVI ČELIGIJEVEGA STOLPA ..	21
4.1	UVOD	21
4.2	RUŠITVENA DELA	21
4.3	ZEMELJSKA DELA	23
4.4	ZIDARSKA DELA	24
4.5	TESARSKA DELA	31
4.6	KROVSKA DELA	32
4.7	KLJUČAVNIČARSKA DELA IN ELEKTRIČNE NAPELJAVE	32
5	ANALIZA GRADBENO OBRTNIŠKIH DEL	34
5.1	SPLOŠNO	34
5.2	H1 SANACIJA Z INJEKTIRANJEM Z APNENO – CEMENTNIMI INJEKTIRNIMI MASAMI BI VREDNOST DEL POCENILA ZA OKOLI 20%	34
5.3	H2 IZVEDBA VMESNIH MEDETAŽNIH KONSTRUKCIJ Z JEKLENIMI HEA NOSILCI, NAMESTO LESENIH, BI IZVEDBO PODRAŽILA ZA OKOLI 20%	37
5.4	H3 UTRJEVANJE KAMNITIH STEN Z ZATEGAMI, KI BI JIH MONTIRALI NA STROPNIKE, BI IZVEDBO POCENILO ZA 25%	40
5.5	H4 UMETNA INTELIGENCA LAHKO ANALIZIRA VELIKE KOLIČINE PODATKOV IZ BIM MODELOV ZA PREPOZNAVANJE VZORCEV IN PREDLAGANJE IZBOLJŠAV	46
6	SKLEP	49
7	VIRI, LITERATURA	51

KAZALO SLIK

SLIKA 1: PRED LETI SANIRAN IZPADLI VOGAL ZIDU PRITLIČJA NA SV VOGALU STOLPA.....	13
SLIKA 2: SANIRAN VOGAL NA SV VOGALU STOLPA.....	13
SLIKA 3: PREREZ 1-1 IN PREREZ 2-2	14
SLIKA 4: STROPNA KONSTRUKCIJA	15
SLIKA 5: DOTRAJANA IN DEFORMIRANA STREŠNA KONSTRUKCIJA	16
SLIKA 6: PREREZ A – A, PREREZ B – B, PREREZ C – C	16
SLIKA 7: FASADE	17
SLIKA 8: PRIKAZ INJEKTIRANJA FUG IN NOTRANJOSTI ZIDU	26
SLIKA 9: PRIKAZ PONOVO VZPOSTAVLJENIH ODPRTIN – TLORIS PRITLIČJE.....	28
SLIKA 10: PRIKAZ PONOVO VZPOSTAVLJENIH ODPRTIN – TLORIS 1. NADSTROPJE	28
SLIKA 11: PRIKAZ PONOVO VZPOSTAVLJENIH ODPRTIN – TLORIS 2. NADSTROPJE	29
SLIKA 12: PRIKAZ PONOVO VZPOSTAVLJENIH ODPRTIN – TLORIS 3. NADSTROPJE	29
SLIKA 13: POSEGI NA JUŽNI IN ZAHODNI FASADI.....	30
SLIKA 14: POSEGI NA SEVERNI IN VZHODNI FASADI.....	30
SLIKA 15: PRIKAZ STROPNIKOV V DRUGI IN TRETJI ETAŽI	38
SLIKA 16: PRIKAZ IBO SIDRA - 1. ETAŽA IN STROP NAD 1. ETAŽO	41
SLIKA 17: PRIKAZ IBO SIDRA - 2. ETAŽA IN STROP NAD 2. ETAŽO	41
SLIKA 18: SIDRNI SISTEM V RAVNINI MEDETAŽNE KONSTRUKCIJE.....	42
SLIKA 19: ZATEGA ZA PLETENE JEKLENE VRVI	42
SLIKA 20: PRIKAZ SIDRANJA S PLETENO JEKLENO VRVJO Z ZATEGO -1. ETAŽA IN STROP NAD 1. ETAŽO.....	43
SLIKA 21: PRIKAZ SIDRANJA S PLETENO JEKLENO VRVJO Z ZATEGO - 2. ETAŽA IN STROP NAD 2. ETAŽO.....	44

KAZALO TABEL

TABELA 1: TEHNIČNI PODATKI INJEKTIRNE MASE MAPE-ANTIQUE I IN STABILCEM	36
TABELA 2: KARAKTERISTIKE PROFILOV IPE	39
TABELA 3: KARAKTERISTIKE JEKLENIH VRVI.....	43

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

V diplomskem delu sem analiziral izvedbo gradbeno obrtniških del pri prenovi Čeligijevega stolpa v Mariboru. Za ta primer sem se odločil, ker sem pri projektu operativno sodeloval tudi sam. Zame je tema diplomskega dela pomembna zato, ker gradbeniki, z razliko od klasične gradnje ali obnove novejših stavb, redkeje sodelujejo pri obnovi zgodovinskega objekta. Obenem gre za interdisciplinarno naravnani projekt, zato je za njegovo izvedbo potrebno združevanje znanj iz več predmetov študija gradbeništva ter specifično znanje tehnik, metod in materialov, značilnih za obnovo zgodovinskih stavb. Osrednji problem projekta tako predstavlja učinkovitost obnove objekta v skladu s strogimi smernicami ZVKDS, saj bi bila obnova, ki ne bi bila podvržena kulturno-varstvenim omejitvam, cenejša, hitrejša in potencialno učinkovitejša.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je analizirati izvedbo gradbeno obrtniških del pri prenovi Čeligijevega stolpa. Pri tem bodo v ospredju vidiki učinkovitega ohranjanja avtentičnosti arhitekturnih značilnosti kulturno-varstveno zaščitenih objektov, izzivi pri obnovi zgodovinskih zgradb, tudi v luči prednosti in slabosti uporabe tradicionalnih tehnik v primerjavi z modernimi metodami pri obnovi tovrstnih objektov. Prav tako skušam preveriti, ali bi bila obnova ekonomsko sprejemljivejša, če bi dopuščala uporabo drugačnih materialov in delovnih pristopov.

Na podlagi opisanega sem zastavil sledeče hipoteze:

- **H1** Sanacija z injektiranjem z apneno – cementnimi injektirnimi masami bi vrednost del pocenila za okoli 20 %.
- **H2** Izvedba vmesnih medetažnih konstrukcij z jeklenimi HEA nosilci, namesto lesenih, bi izvedbo podražila za okoli 20 %.
- **H3** Utrjevanje kamnitih sten z zategami, ki bi jih montirali na stropnike, bi izvedbo pocenilo za 25 %.

- **H4** Umetna inteligenca lahko analizira velike količine podatkov iz BIM modelov za prepoznavanje vzorcev in predlaganje izboljšav.

1.3 Predpostavke in omejitve

Za potrebe izdelave diplomskega dela je dostopna vsa potrebna projektna in druga gradbena dokumentacija, ki jo je zagotovil izvajalec del, podjetje Saning d. o. o.. Na voljo je tudi GOI, kar olajša primerjavo izračuna stroškov načrtovane izvedbe s stroški, če bi objekt obnavljali izven smernic ZVKDS in bi tako imeli na voljo poljubne materiale. Za izdelavo diplomskega dela je na voljo tudi ustrezna fotodokumentacija, ki prikazuje objekt pred, med in po obnovi. Izvajalec del ni imel nobenih pripomb, da se projekt obnove uporabi za namene raziskovalnega dela.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Diplomsko delo se bo izdelalo na podlagi pridobljenih podatkov projektne in druge gradbene ter foto-dokumentacije, uporabe teorije in literature. Predstavljena bo izvedena obnova objekta, narejen bo izračun stroškov načrtovane izvedbe s stroški, če bi objekt obnavljali izven smernic ZVKDS in bi tako imeli svobodno izbiro poljubnih materialov in gradbenih tehnik. Pri tem bo prikazana primerjava količine uporabljenega materiala pri dejansko izvedeni obnovi in količine ter cene alternativnih materialov, če bi jih lahko uporabili pri projektu.

Za raziskovalne metode bosta uporabljena dva pristopa:

- opisni pristop, s katerim bodo predstavljena gradbeno-obrtniška dela obnove Čeligijevega stolpa;
- analitični pristop, s katerim bo izvedena primerjava izvedene obnove z vidika stroškov in teoretično izračunanih stroškov, če bi pri obnovi lahko uporabili običajne gradbene materiale in gradbeno tehniko.

2 DELO V PROJEKTNI SKUPINI

Na sedežu Academie so potekale predpriprave za pisanje diplomskega dela. Pred začetkom pisanja diplomskega dela smo pod vodstvom mentorjev rešili Belbinov popis tima in Myers Briggssov test osebnosti. Na podlagi rezultatov omenjenih testov smo se razdelili v projektne skupine in si nato dodelili posamezne vloge v skupini, nato smo predstavili zamisli in teme svojih diplomskih del. Z ostalimi člani skupine in mentorji smo razpravljali o področjih gradbeništva in o osrednjih smernicah za raziskovanje v sklopu diplomskega dela. Mentorji so nas usmerjali pri pravilnem postavljanju hipotez in nas opozarjali na morebitne izzive pri ustvarjanju diplomskega dela.

Po razpravi sem se odločil za temo diplomskega dela in jo predstavil skupini ter mentorju. Predstavil sem projekt obnove historičnega Čeligijevega stolpa v Mariboru, vsebino javnega razpisa za obnovitvena dela, ki ga je objavil naročnik del, tj. Mestna občina Maribor, in zahteve oz. pogoje Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije.

Največji izziv pri obnovi objekta je predstavljala ohranitev zgodovinskih prvin stolpa oz. ohranjanje avtentičnosti tega kulturno-varstveno zaščenega objekta, seveda ob upoštevanju vseh smernic obnove, ki jih je predpisal ZVKDS.

Skupini sem predstavil tudi razmišljanje o prednostih in slabostih uporabe tradicionalnih tehnik v primerjavi z modernimi metodami pri obnovi tovrstnih objektov, česar se dotikam tudi v zastavljenih hipotezah diplomskega dela, tudi v z ekonomskega vidika projekta.

Pripravljalna skupina se je izkazala kot pozitivna izkušnja, saj smo sodelujoči posamezniki zaradi različnih vlog, ki smo si jih razdelili na podlagi omenjenih testov, vzpostavili konstruktiven in produktiven dialog, ki je prinesel različne poglede in ideje ter spodbudil iskanje kreativnih in racionalnih rešitev problema.

3 PREUČUTEV POGOJEV ZA PRENOVO OBJEKTA

3.1 Uvod

Kulturnozgodovinski spomenik Čeligijev stolp v Mariboru, ki se nahaja v kareju med Slovensko in Gregorčičevo ter Strossmeyerjevo in Trubarjevo ulico, večkrat imenovan tudi Črni stolp, je nekoč pripadal severnemu mestnemu obzidju. Gre za še edini ohranjeni stolp od petih obstoječih, ki so nekoč branili ta del mestnega ozemlja in eden od štirih obstoječih stolpov nekdanjega obrambnega zidu (Wikipedia, 2022). Na njegovi severni strani pa je bil obdan z obrambnim jarkom (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020). Današnje poimenovanje stavbe izvira iz 19. stoletja, ime pa je dobila po znamenitih mariborskih pivovarjih Tscheligijih, v 18. stoletju naj bi namreč v stolpu delovala prva mestna pivovarna (Wikipedia, 2022). Kamniti stolp, ki je skoraj kvadrataste oblike, so zgradili med leti 1460 in 1465, služil pa je kot srednjeveška utrdba v sklopu utrjevanja mariborskega mestnega obzidja (Pivka & Kaučič, 2017). Takrat so namreč obzidju prizidali še obrambne stolpe (Žvan, Ocena investicije gradbeno obrtniških del: objekt Čeligijev stolp, 2020). Čeligijev stolp, v preteklosti poimenovan tudi kot Sodni, Mučilni, Močni in Gambrinov stolp, je služil tudi kot mučilnica. Čeligijev stolp je eden najpomembnejših ohranjenih stolpov mestnih obzidij v Sloveniji, od 15. stoletja, ko so ga zgradili, vanj kasneje niso bistveno posegali, zato je ostal v prvotni podobi (Ježovnik & Zupan, 2020). Stavba je ohranila vse značilnosti romanskih obrambnih stolpov z zaprtim kvadratnim tlorisom in izjemno višino, kakršni se na Slovenskem žal niso ohranili (Maribor.si, 2024). Posebno vrednost mu dajejo tudi lesene stropne oziroma talne konstrukcije, ki so se ohranile v njegovi notranjščini.

Stolp, kot rečeno, od nastanka ni doživel pomembnejših kasnejših prezidav, z izjemo obokov v pritlični etaži in nekaterih odprtih na fasadah, so se pa v preteklosti zgodili številni posegi v mestno obzidje, ki so ga nazadnje porušili, saj so sledili opustitvi njegove rabe v obrambne namene. Stolp je bil tako v drugi polovici 20. stoletja obzidan z več nižjimi objekti stanovanjske in industrijske rabe.

Namembnost Čeligijevega stolpa v preteklih desetletjih priča, da je bila družba Talis najemnik in upravitelj teh prostorov, objekt pa so uporabljali neskladno z značajem kulturnozgodovinskega spomenika, saj je služil kot skladišče premoga z dvema parnima kotloma ter rezervoarjem. V objekt je bil ograjen tudi dimnik (Murko, 2012).

Po urejanju okoliških stavb in izvedenih novogradnjah v kareju, kjer se nahaja stolp, so bile vse prizidane stavbe porušene, sam stolp pa je bil ohranjen, vendar neobnovljen in delno ob izvajanju rušitev celo prizadet (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020). Zato je bil namen obnove Čeligijevega stolpa med letoma 2020 in 2022, katere gradbeno obrtniška dela pri prenovi obravnava to diplomsko delo, utrditev in zaščita objekta pred nadaljnjim propadanjem (Arhiv.maribor.si, b.d.).

3.2 Opis obstoječega objekta pred načrtovano obnovo

Temelji

O globini zidanih temeljev obstajajo različni podatki, denimo poročilo o pregledu konstrukcije iz leta 1998, ki je bilo opravljeno na podlagi sondiranja ob temelju severovzhodne strani stolpa, ugotavlja globino temeljenja okrog enega metra. Poročilo iz leta 2020, kjer je bila izdelana ročno izkopana sonda skoraj na istem mestu, prav tako ni dosegla temeljev, a predvideva globino temeljenja od 2,5 do 3,5 metra pod terenom. Po nekaterih predvidevanjih naj bi se globina temeljenja nahajala celo na globini okoli 5 metrov pod sedanjim terenom, razlog za tako globino pa naj bi predstavljal obrambni jarek, ki se je nahajal na severni strani stolpa in kasnejši nasip okoli objekta. Temelji so predvidoma zidani iz lomljenega skriljavca, delno povezanega z malto, ugotovljena širina temeljev pa je po zdaj znanih podatkih 40 do 50 cm večja od debeline zidov.

Zidovi

Zidovi objekta so zidani iz kamna skriljavca, ki je na zunanji strani zidu pretežno pravilnih oblik, a različnih dimenzij. Kamen je med seboj povezan z apneno malto, zidovje pa je zlasti v nižjem delu tudi opečno, kar je najverjetneje posledica kasnejših prizidav. Zidovje stolpa je na zunanji strani povečini neometano, v delu, kjer so bili prizidani različni objekti pa delno tudi ometano. Notranja stran zidovja je skoraj v celoti ometana z grobim ometom. Če je debelina zidovja v pritličju med 1,70 in 1,90 m, pa se proti vrhu postopoma oži in tako v zgornji etaži znaša med 1,00 in 1,20 m. Na severni strani, ki je bila tudi zunanja stran obzidja, znaša okoli 2 m, na ostalih straneh pa tudi precej več od metra. Notranja sestava zidu, glede na debelino, je najverjetneje taka, kot je bila značilna za obdobje romanike, čeprav se čas gradnje stolpa ujema

z obdobjem gotike. V zgornjem delu objekta je zidovje povezano z zunanjiimi jeklenimi zategami in relativno dobro ohranjeno, brez večjih vidnih razpok, prav tako v večji meri ne odpada malta iz fug med kamni. V precej slabšem stanju pa je bilo zidovje v spodnjem delu, saj so bile vidne posledice rušitev sosednjih objektov. Tako so bile na mestih, kjer so bili zidovi prizidanih objektov povezani s stolpom z zidarskimi vezmi, v zidovju večje luknje, le-te pa so ostale tudi od ležišč lesenih stropnih ali strešnih nosilcev na južni strani stolpa.



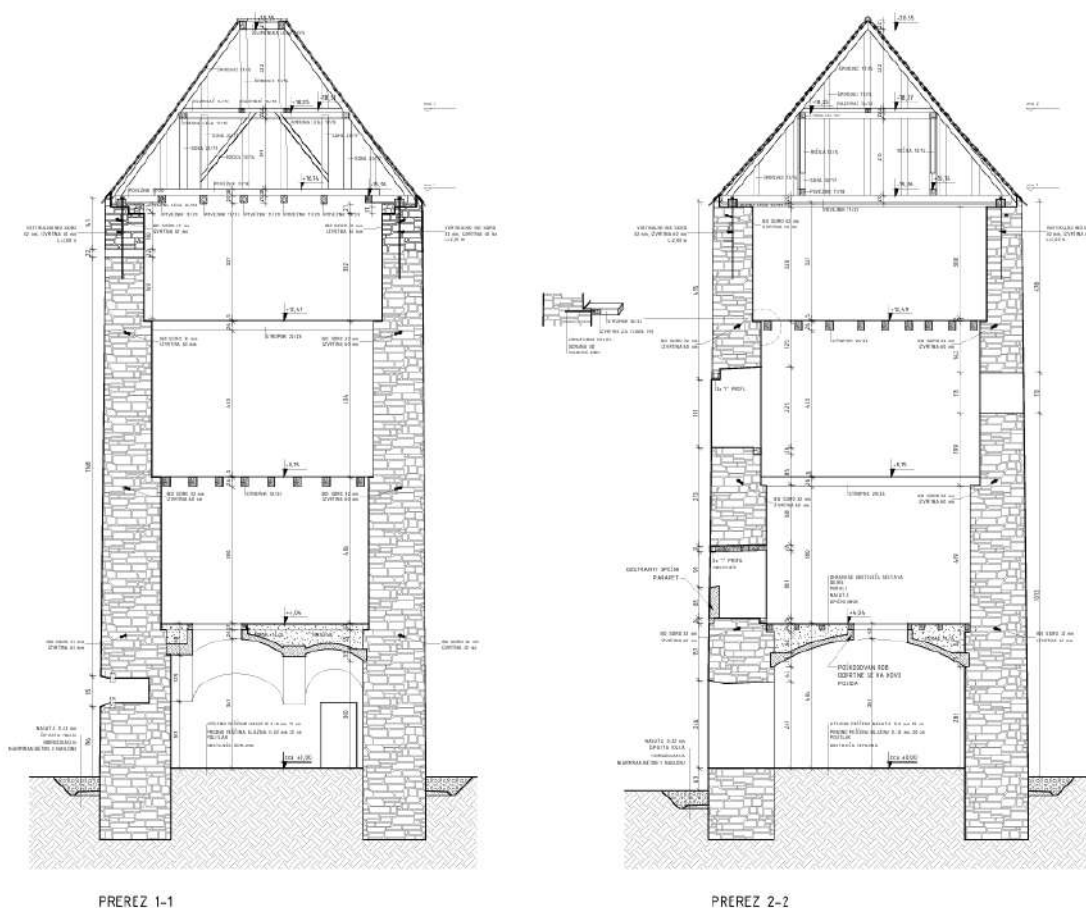
Slika 1: Pred leti saniran izpadli vogal zidu pritličja na SV vogalu stolpa

Vir: (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020)



Slika 2: Saniran vogal na SV vogalu stolpa

Vir: (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020)



Slika 3: Prerez 1-1 in prerez 2-2

Vir: (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020)

V spodnjem delu stolpa so se na vseh vogalih pojavljale večje konstrukcijske razpoke, ki so bile najbrž posledica gradbenih, zlasti pa rušitvenih del v preteklosti k stolpu pripojenih objektov. Izjema je bil severovzhodni vogal stolpa, ki je bil po poručitvi leta 2019 na novo pozidan. Ob tem je bila večja vertikalna razpoka vidna tudi v notranjosti stolpa v sredini zahodne stene v območju 1. etaže, zidovje pa je bilo prizadeto še z zmrzaljo, kar je povzročalo razpadanje kamna in odpadanje veziva. Zidovje je prizadela tudi vegetacija, ki se je zarasla v fugah med kamni, in je bila leta 2019 večinoma odstranjena. Mehanske karakteristike zidovja so bile pred rekonstrukcijo ocenjene na osnovi razpoložljive literature, saj na samem objektu ni bilo možno odvzeti ustreznih vzorcev; tako je bila tlačna trdnost ocenjena na 1,10 MPa; natezna trdnost 0,08 MPa, $E = 1.000 \text{ MPa}$, $G = 100 \text{ MPa}$.

Stropne konstrukcije

V notranjosti stolpa so izvedene tri etažne konstrukcije, od katerih je v pritličju izveden opečni obokan strop, ki pa ni bil izveden v času gradnje objekta, ampak je kasneje nadomestil prvotno leseno medetažno konstrukcijo. V stropu pritličja se nahaja odprtina za stopnice v višje etaže, stopnic, ki so bile verjetno lesene, pa ni. Za razliko od pritličja sta zgornji dve etažni konstrukciji leseni, pod pa je v celoti propadel, ohranjeni so zgolj leseni stropniki, a tudi ti so delno že porušeni in v celoti neprimerni za nadaljnjo uporabo.



Slika 4: Stropna konstrukcija

Vir: (Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020)

Dimnik

Ta je bil ob severnem zidu prizidan v notranjosti stolpa, in sicer z dvema tuljavama iz opeke NF formata, kar kaže na to, da je šlo za poseg po drugi svetovni vojni.

Ostrešje

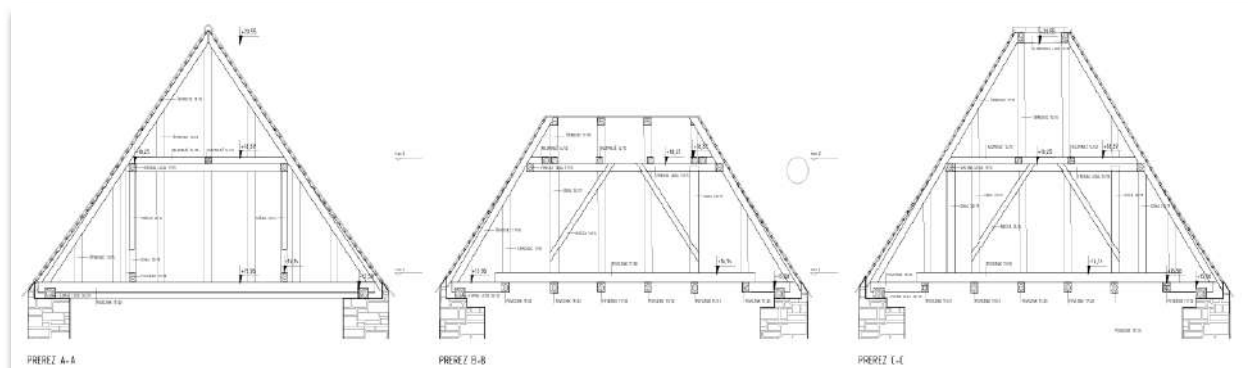
Ostrešje je izvirne štirikapne oblike s kratkim slemenom v smeri vzhod-zahod, naklon severne in južne strešine pa znaša okoli 51° , vzhodne in zahodne pa približno 55° . Tako kot kritina iz ravno prirezanega bobrovca je bilo tudi ostrešje v izredno slabem stanju in na meji porušitve, zato je bil ogled možen le iz pritličja. Sama geometrija ostrešja, ki ga sestavljajo povezniki in kapne lege na višini kapi, lesene sohe, vmesne lege z razporno konstrukcijo, grebenjače,

špirovci in ročice, je bila ugotovljena na osnovi arhitekturnega posnetka iz leta 2006 in poročila iz leta 1998.



Slika 5: Dotrajana in deformirana strešna konstrukcija

Vir: (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020)



Slika 6: Prerez A – A, prerez B – B, prerez C – C

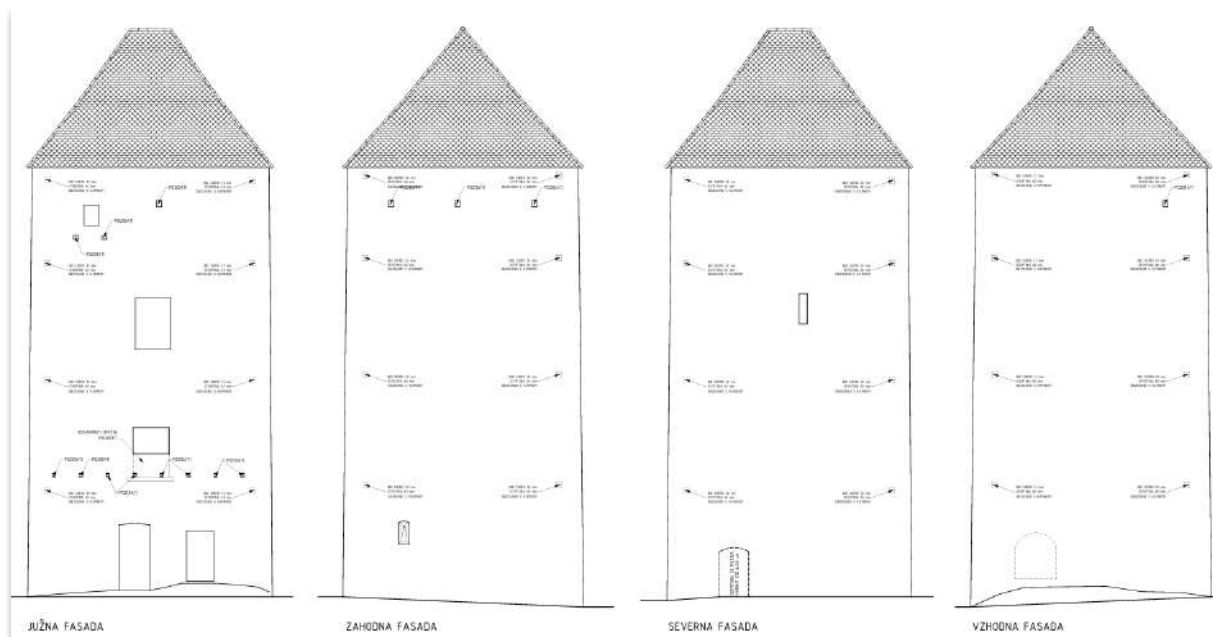
Vir: (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020)

Vodni rezervoar je bil nameščen v območju ostrešja in je najverjetneje služil za požarno vodo takrat, ko je bilo v stolpu skladišče premoga, t.j. v času, ko je bil objekt v lasti podjetja Talis. Nad tretjo etažo je bila najverjetneje po 2. svetovni vojni dodana jeklena konstrukcija, ki je podpirala omenjeni rezervoar. Zaradi nedostopnosti obstoja celotnega rezervoarja ni bilo

mogoče z gotovostjo potrditi, je pa bil ta dokumentiran v projektni dokumentaciji in fotografskem arhivu iz leta 2006 ter z opazovanjem poročila IRMA iz leta 2020.

Odprtine v zidovih

Odprtina, opazna v južnem zidu, je bila v prvem nadstropju do polovice pozidana z opeko, ostale odprtine so bile odprte, medtem ko je bila odprtina za vstop v objekt zaprta s kovinskimi vrati.



Slika 7: Fasade

Vir: (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020)

Okolica objekta je bila pred samo rekonstrukcijo stolpa ograjena z umetniško instalacijo, t.j. ograjo iz aluminijastih panelov, ki je ščitila stolp in obiskovalce pred odpadajočim kamenjem in strešniki. Stolp je obdajala pretežno travnata površina, na vzhodnem in severovzhodnem delu pa je makadamsko parkirišče.

Na objektu, razen povsem dotrajanega strelovoda, ni bilo električnih instalacij, je pa bila okolica stolpa osvetljena z delno delujočimi led trakovi, priključenimi na javno razsvetljavo (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020).

Oceno stanja objekta je podal tudi ZVKDS. Kot izhaja iz dokumenta dopolnitve kulturnovarstvenih pogojev ZVKDS iz oktobra 2020, je maja tega leta ogled opravil predstavnik omenjenega zavoda in ugotovil, da je opečna obočna konstrukcija nad pritličjem relativno še varna za hojo, da pa so lesene podnice nad 1., 2. in 3. etažo povsem preperle, da jih je veliko razpadlo in jih ni več. V podobnem stanju je bil tudi večji dela masivnih lesenih nosilcev, ki nosijo omenjene podnice, enako je bilo stanje nosilne konstrukcije podija za cisterno nad 3. etažo. Kot je razvidno iz opisa, je bil les strešne konstrukcije zaradi dolgotrajnega zamakanja na več mestih preperel, nekatere zidne lege in vezni tramovi v višjem nivoju so bili uničeni, stiki med elementi pa ne prevzemajo obremenitev, ki so jim izpostavljene. Letve so povsem dotrajane, kritina pa tudi ni dosti boljša.

3.3 Tehnične značilnosti objekta

Stolp je skorajda kvadrataste oblike, saj so njegove zunanje mere na stiku z zemljiščem $9,29 \times 9,05$ m. Višina objekta, t.j. največja razdalja od kote tlaka najnižje etaže do vrha stavbe do najvišje višinske kote je 20,7 m. Najnižja višinska kota – kota tlaka najnižje etaže znaša 274,8 m, najvišja višinska kota pa 295,4 m. Zazidana površina meri 81 m², bruto tlorisna površina stavbe je 318,30 m², bruto prostornina pa 1306 m³. Etažnost je P+3, fasada je kamen, oblika strehe je štirikapna, njen naklon v stopinjah pa znaša 50–54° (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020).

3.4 Priprava dokumentacije za projekt obnove

Čeligijev stolp stoji na parcelni številki 1474 in je družbena last, današnji imetnik pravic uporabe je Mestna občina Maribor, v register spomenikov Zavoda za spomeniško varstvo Maribor pa je bil decembra 1964 vpisan kot spomeniško zaščiten objekt (Murko, 2012). Zato je bilo pred samo izvedbo projekta rekonstrukcije med drugim potrebno pridobiti kulturnovarstveno soglasje ZVKDS. Iz izdanih kulturnovarstvenih pogojev junija 2020 s strani ZVKDS tako izhaja, da mora investitor za statično sanacijo, ki predstavlja poseg v omenjeni kulturni spomenik, izpolniti več kulturnovarstvenih pogojev. Iz dokumenta je razvidno, da mora biti celotna sanacija stolpa načrtovana tako, da se fasada ne bo spremenila in da bo ostala v obstoječi podobi gradnje s kamnom, vsa poškodovana mesta pa je potrebno pozidati z enakim kamnom in zastičiti. Sanacijo dotrajane strešne konstrukcije je potrebno načrtovati tako, da v

največji možni meri ohranja obstoječo strešno konstrukcijo, nadomesti pa se le dotrajane dele, ob tem pa morajo biti novi deli konstrukcije replika obstoječih. Pri zamenjavi dotrajane strešne kritine in letve mora biti nova kritina t.i. dunajski žep, t.j. ravno prisekan bobrovec, klasične rdeče barve in neengobiran. Pri izvedbi povezave zidov na vrhu stolpa, horizontalnih zidnih vezi, kulturnovarstveni pogoji nalagajo, da se je potrebno, če je le mogoče, izogniti armiranobetonskemu vencu, ob tem pa je treba proučiti možnost uporabe drugih materialov kot sta jeklo in les, ki bi kljub vsemu s perfo sidri zagotavljala povezavo zidov na njihovem vrhu in sidranje strešne konstrukcije. Nadalje kulturnovarstveni pogoji nalagajo, da je potrebno dotrajane lesene vmesne etaže odstraniti in nadomestiti z novimi, enakimi, nameščenimi na istih nivojih in v enaki obliki. Izvedene pa morajo biti na način, ki vsakič zagotavlja horizontalno povezavo objekta po etažah, hkrati pa bodo omogočali izvedbo sanacije strešne konstrukcije. Za povezavo etaž je potrebno izvesti strme lesene stopnice ob zidovih, na podstrešju pa je potrebno odstraniti kovinsko cisterno in porušiti sekundarno zgrajeni dimnik, še predpisujejo izdani kulturnovarstveni pogoji. ZVKDS je oktobra 2020 izdal dopolnitev kulturnovarstvenih pogojev, vezano na konkretni predlog projektne dokumentacije. Med drugim se je nanašala na zagotavljanje arheoloških raziskav ob gradnji, in sicer na območju izkopa, predvidenega za izvedbo sanacije temeljev na obeh straneh. Hkrati je izpostavljeno, da Odlok o razglasitvi kulturnih in zgodovinskih spomenikov na območju Mestne občine Maribor določa, da: »Spomenik varujemo v celoti, neokrnjenosti in izvirnosti. Dovoljeni so samo posegi za njegovo ohranitev spomenika in valorizacijo njegovih spomeniških lastnosti« (Kajzer & Zupan, 2020). Iz kulturnovarstvenega soglasja za sanacijo, ki je bilo izdano 3. februarja 2021, tako izhaja, da mora biti začetek del predhodno usklajen z izbranim izvajalcem arheološke raziskave in pisno prijavljen ZVKDS vsaj 10 dni prej zaradi zagotavljanja strokovnega nadzora (Zupan & Kajzer, 2021).

Iz predhodne dopolnitve kulturnovarstvenih pogojev je razvidno, da je bilo splošno gradbeno stanje stolpa sicer stabilno, a je objekt potreben celovite obnove. Med obnovitvena dela tako spadajo pregled in po potrebi ojačitev temeljev, odstranitev celotne vegetacije z zidov, pozidava poškodovanih mest v zidovih, injektiranje vseh razpok in oslabljenih mest v zidovih. Obnovitvena dela, ki jih je načrtoval ZVKDS, so še vgradnja novih, a zakritih horizontalnih nateznih vezi v vseh etažah ter odstranitev obstoječih, odstranitev sedanjih podnic nad 1., 2. in 3. etažo ter zamenjava z novimi; natančen pregled obstoječih masivnih lesenih nosilcev in po potrebi njihova zamenjava, vključujoč sidranje v obodne zidove. Med dela sodijo še detajlni

pregled strešne konstrukcije in zamenjava samo dotrajanih elementov, če bo to zaradi dotrajanosti mogoče, in pa detajlni pregled kritine in odbiranje še uporabne, ki pa jo je pred ponovno uporabo smiselno impregnirati. Med predvidena dela sta sodili še odstranitve cisterne in celotnega dimnika ter opečnega boka nad pritličjem, ki se ga nadomesti s podobno leseno konstrukcijo kot so nad ostalimi etažami. Ob tem je potrebno izdelati nove lesene stopnice, primerne času nastanka stolpa.

4 GRADBENO OBRтниŠKA DELA PRI PRENOVI ČELIGIJEVEGA STOLPA

4.1 Uvod

Preden natančno razdelamo potek gradbeno obrtniških del pri prenovi Čeligijevega stolpa, ki so morala dosledno upoštevati vse podane smernice ZVKDS, pa na kratko povzemimo še pripravljalna dela, ki jih je bilo potrebno izvesti pred samo izvedbo gradbeno obrtniških del. Pripravljana dela so tako zajemala postavitve in amortizacijo gradbiščne ograje skladno z načrtom ureditve gradbišča in tudi njeno odstranitev po končanih delih. Postavila sta se kontejnerja za gradbiščno pisarno in z garderobo za delavce, prav tako se je postavil kemični WC, ob tem pa še lopa oz. kontejner za orodje. Izvedel se je začasni vodovodni priključek za zagotovitev gradbiščne vode s sklenitvijo dogovora z Mariborskim vodovodom in gradbiščni električni provizorij s sklenitvijo dogovora z Elektro Maribor. Ob tem se je gradbišče označilo z gradbiščno tablo, varnostnimi oznakami in potrebno prometno signalizacijo. Naročilo se je restavratorski nadzor nad izvedbo del pri pooblaščenem restavratorju ter stroške preiskave obstoječih gradbenih materialov in vsa potrebna navodila izvajalcu s strani restavratorja, izvedeno je bilo tudi naročilo arheološkega spremljanja izkopov ob in v objektu pri pooblaščenem arheologu (Žvan, Ocena investicije gradbeno obrtniških del: objekt Čeligijev stolp, 2020).

4.2 Rušitvena dela

Pripravljalna dela

Pred samo izvedbo rušitvenih in drugih del, ki so sledila, se je izvedla ureditev gradbišča. Pripravljalna dela so tako obsegala postavitve in amortizacijo gradbiščne ograje skladno z načrtom ureditve gradbišča. Le-to se je po končanih delih tudi odstranilo. Postavila sta se kontejnerja za gradbiščno pisarno in z garderobo za delavce. Ob tem so se postavile kemične sanitarije in lopa oz. kontejner za orodje. Izvedel se je začasni vodovodni priključek za zagotovitev gradbiščne vode s sklenitvijo dogovora z Mariborskim vodovodom in gradbiščni električni provizorij s sklenitvijo dogovora z Elektro Maribor. Gradbišče se je označilo z gradbiščno tablo, varnostnimi oznakami in potrebno prometno signalizacijo. Med pripravljalna

dela so sodili tudi naročilo restavratorskega nadzora nad izvedbo del pri pooblaščenem restavratorju in stroški preiskave obstoječih gradbenih materialov ter vsa potrebna navodila izvajalcu s strani restavratorja. Prav tako se je naročilo arheološko spremljanje izkopov ob oz. v objektu pri pooblaščenem arheologu. Na gradbišče je bila tudi pripeljana mehanizacija, potrebna za izvedbo del, kot sta stroj HIAP oz. kamion z dvigalom ter stroj za izkop in nalaganje zemljine ter vsa potrebna prevozna sredstva.

Postavili so se fasadni oder, prostorski cevni oder za podpiranje etaž in zagotovitev površine za izvedbo del znotraj objekta ter premični odri za opravljanje del na višini do 4 metrov v notranjosti objekta. Po končanih delih je sledila demontaža oz. odstranitev vseh predstavljenih elemntov z gradbišča.

Rušitvena dela

Rušitvena dela na objektu so obsegala odstranitev različne vegetacije z zidovja, kot so mah, plevel, trava in manjše grmovnice, ki se je razraščala iz fug med kamnitim zidom. Vegetacija, ki se jo je odstranilo, se je nahajala na okoli 55 m² površin, sledil je prenos na gradbiščno deponijo.

Sledila je odstranitev še obstoječih ometov oz. ostankov ometa na fasadi objekta. Pred odstranitvijo jih je preiskal restavrator, ki je podal tudi dokončno odločitev o njihovi odstranitvi.

Naslednja faza rušitvenih del je bila odstranitev grobih ometov v notranjosti objekta. Tako kot pri ostankih zunanjih ometov je tudi tukaj sledil prenos materiala na gradbiščno deponijo. Tudi te omete je pred odstranitvijo preiskal restavrator, ki je podal dokončno odločitev o njihovi odstranitvi in navodilo, da se nadomestijo s primernimi, novimi.

Sledil je odkop nasutja nad obokom in deponiranje na gradbiščni deponiji skupaj z zemljinami od izkopa. Nato je bilo na vrsti rušenje opečnega parapeta v 1. nadstropju. Dokončno odločitev o rušenju le-tega je podal restavrator in odločil, da se ga odstrani. Nato je potekalo rušenje obstoječih dimnikov zidanih iz opeke normalnega formata in rušenje vmesnega opečnega zidu v pritlični etaži, visokega 2,30 m. Sledilo je še rušenje kamnitega temelja notranjega zidu v pritličju, z okvirnim presekom 0,5 × 0,6 m. Prav tako so se porušili temelji dimnikov, izdelani iz nearmiranega betona. Tako kot zgoraj opisani materiali je bil tudi ta prenesen na gradbiščno deponijo.

Med rušitvena dela se je štelo tudi čiščenje fug med kamnitimi zidnimi elementi na obeh straneh zidu. Iz njih se je odstranila slaba ali površinsko poškodovana malta. Ožje fuge so se očistile do globine najmanj 3 cm, širše pa do največje možne globine. Pred začetkom njihovega čiščenja je moral restavrator odvzeti vzorce materiala in jih laboratorijsko analizirati. Čiščenje se je tako lahko začelo šele na osnovi dovoljenja restavratorja.

Odstranili so se razni jekleni nosilci s fasade, kot so nosilci električne napeljave in podobno. Prav tako so se odstranile horizontalne zatege $\varnothing$ 20 mm ($16 \times \text{ca. } 9 \text{ m}$) in kotniki L70/7/7 ($4 \times \text{ca. } 6 \text{ m}$) na zunanjih vogalih objekta.

V notranjosti objekta so se odstranile lesene etaže, zgrajene iz lesenih stropnikov dimenzije povprečno $20 \times 24 \text{ cm}$ na medosnem razmiku okoli 85 cm. Stropniki so bili prekriti z lesnimi plohi. Konstrukcija je bila v veliki meri dotrajana in delno že porušena. Tudi ta material se je prenesel na gradbiščno deponijo. Morebitne dovolj dobro ohranjene stropnike je bilo potrebno deponirati in jih ponovno vgraditi. Končno odločitev o tem je podal restavrator v soglasju s statikom. Nekateri stropniki so se tako ohranili in se ponovno vgradili.

Prav tako so se odstranile lesene konstrukcije rezervoarja. Konstrukcija je bila sestavljena iz štirih horizontalnih poveznikov nad tlemi 3. etaže, štirih poševnih opornikov, štirih poveznikov na nivoju podstrešja in šestih nosilcev na nivoju podstrešja na razmiku približno 75 cm. Preseki lesa so se gibali med 20×20 do $20 \times 25 \text{ cm}$.

Po vseh zgoraj opisanih delih je sledil prenos na gradbiščno deponijo. Omenjene materiale se je nakladalo in odpeljalo na trajno deponijo, tako se je odpeljalo opeko (parapet in kritina), ostanke malte in ometa, kamna, biološki odpad (odstranjeno rastlinje) in les.

4.3 Zemeljska dela

Zemeljska dela so obsegala izkop arheoloških sond ob temeljih objekta, katerega je vodil arheolog. Po izkopu sond se je na ogled pozvalo statika in geomehanika, z namenom, da bi podala morebitno dodatno zahtevo za utrditev temeljev. Ugotovljeno je bilo, da temelji ne potrebujejo dodatne stabilizacije. Sonde so se zasipale z utrjevanjem. Izkop dovolj globokih sond je v času projektiranja onemogočala okrasna ograja. Sonda na zunanji strani tlorisa meri $2 \times 1 \text{ m}$, globine 3 m, na notranji strani tlorisa $1 \times 1 \text{ m}$, globine 2 m. Izkop je potekal z razpiranjem.

Na zunanji strani in notranji strani ob temelju stolpa se je izkop vršil v globino 60 cm in širino dna 80 cm. V notranjosti objekta je izkop zemljine potekal do globine 30 cm in za točkovne temelje instalacije »zidnice« dimenzije 40 × 40 × 80 cm.

Politlak se je položil na raščena tla v notranjosti objekta in ob robu izkopa temeljev na zunanji strani objekta. Prodno-peščeno nasutje granulacije 0–32 mm se je izvedlo ob temeljih in znotraj objekta do višine 10 cm pod finalnim tlakom z utrjevanjem.

Finalni tlak je izveden v objektu in ob objektu v širini 1,30 m z utrjenim nasutjem debeline 10 cm iz lomljenca granulacije 4–8 mm sive barve.

Del odvečnega materiala od izkopov se je razgrnil okoli objekta (v obsegu ureditve gradbišča), preostanek pa se je transportiral na gradbiščno deponijo. Izkop je potekal pod nadzorom arheologa.

Na koncu je sledila zatravitev celotne površine.

4.4 Zidarska dela

Zidarska dela so se začela z odstranitvijo vzdanih elementov (kot so nosilci električne napeljave, strelovod itd.) in vegetacije. Odstranili so se ostanki ometov na zunanji in notranji strani. Sanacija zidov se je pričela z injektiranjem večjih razpok (razpoke na vogalih stolpa z zunanje strani in vertikalna razpoka na notranji strani zahodnega zidu).

Injektiranje razpok je potekalo po sledečem postopku:

- V razpoke so se na razmiku od 30 do 50 cm vstavile cevke premera od 12 do 20 mm. Cevke so segale do polovice globine razpoke, iz zidu so gledale približno 10 cm. Cevke so utrdili z apneno malto.
- Razpoke so se zaprle z apneno malto. Tiste, ki so segale skozi celoten zid, so se zaprle z obeh strani zidu.
- Cevke so se začepile, nato pa so se odpirali čepi sosednjih cev. Razpoka se je očistila s spiranjem z vodo in/ali vpihovanjem komprimiranega zraka.
- Sledilo je injektiranje razpok s tekočo apneno malto pod tlakom, ki ni smel presegati 30 kPa. Injektiranje se je izvajalo od spodaj navzgor (Žvan, 2020a).

Dela so se nadaljevala s čiščenjem in ponovnim fugiranjem fug med zidnimi elementi (kamnom in/ali opeko). Fugiranje fug med kamnitimi zidnimi elementi je potekalo z apneno malto brez vsebnosti cementa, pripravljeno na licu mesta. Sestavo malte je podal restavrator na osnovi preiskav obstoječe malte. Granulacija peska za pripravo malte ni presegala 4 mm. Fuge so zapolnili do površine kamna.

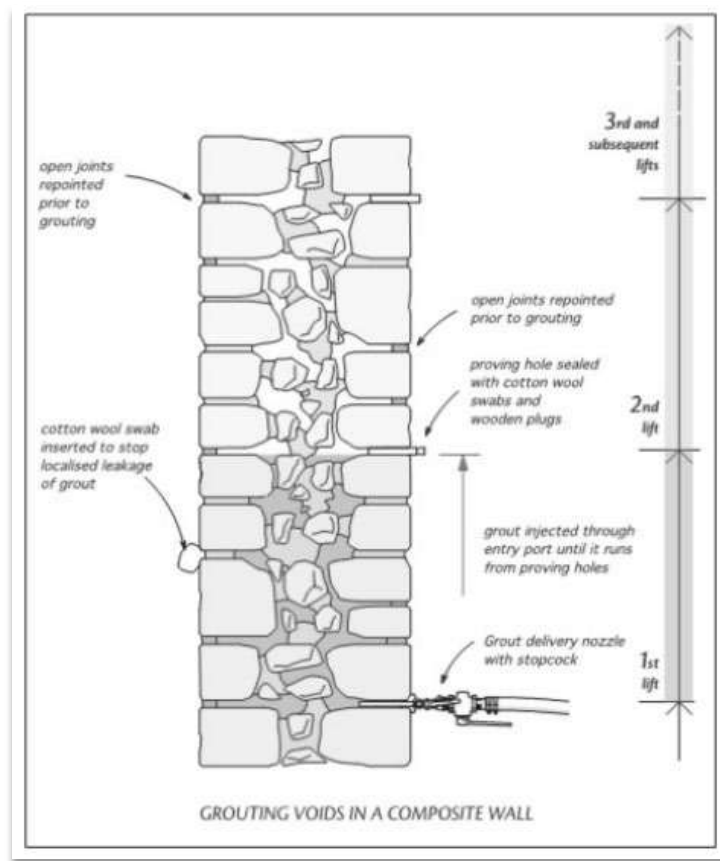
Sledila je pozidava manjkajočih delov zidovja (odpadli kamniti zidaki in vratna odprtina v severni fasadi, prehod v južni fasadi, izdolbine v zidu). Vsi manjkajoči kamniti zidni elementi so se nadomestili z novimi. Za pozidavo se je uporabil v strukturi obstoječega zidu lomljen skriljavec. Pozidava se je izvajala po navodilih restavratorja.

Injektiranje zidu

V fuge so se izvedle izvrtine premera od 22 do 36 mm za injektiranje. Globina vrtanja je znašala 2/3 debeline zidu. Izvrtine so se izvedle na razmiku od 50 do 100 cm, pri čemer sta morali biti izvedeni vsaj dve izvrtini na kvadratni meter zidu. V njih so se v globino 10 cm vstavile cevke za injektiranje. Učvrščene so bile z apneno malto.

Injektiranje se je vršilo od spodaj navzgor po pasovih glede na razporeditev cevk. Postopek je potekal pazljivo, da ne bi prišlo do poškodb strukture zidu. Največji tlak pri injektiranju ni smel presegati od 150 do 200 kPa. Uporabljala se je masa na bazi apna brez vsebnosti cementa, ki je morala imeti dobro obdelavnost, sposobnost vgradnje, majhno krčenje in čim večjo tlačno trdnost (10 MPa). Kot ustrezne so se izkazale predpripravljene mase npr. Mapei Antique I.

Cevke so se po injektiranju odstranile in izvrtine so se zgladile s strani restavratorja predpisano fugirno malto.



Slika 8: Prikaz injektiranja fug in notranjosti zidu

Vir: (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020)

»V začetnih kontrolah je bil uporabljen varnostni faktor materiala za zidan zid 2,50. Izkazalo se je, da zidovi, predvsem južni zid, niso sposobni prevzeti seizmičnih obremenitev pri upoštevanja takšnega varnostnega faktorja za material. Vse pogoje smo uspeli izpolniti šele z varnostnim faktorjem 1,3. Iz tega izhaja, da je potresna odpornost stolpa skoraj za polovico manjša, kot jo zahtevajo osnovni evrokod standardi. Ob neupoštevanju zahtev ZVKDS in injektiranju s cementnimi injekcijskimi masami, bi lahko potresno odpornost sicer povečali, vendar bi objekt s tem izgubil na svoji zgodovinski vrednosti, hkrati pa bi bil mnogo bolj podvržen kapilarni vlagi.

Ne glede na to, da vseh zahtev Evrokoda 1998-1 konstrukcija ne izpolnjuje, pa lahko na osnovi določil Evrokoda 1998-3 (Projektiranje potresno odpornih konstrukcij – ocena in prenova stavb) in 5. odstavka 15. člena gradbenega zakona smatramo dobljene rezultate kot ustrezne, saj bo konstrukcija po prenovi bistveno varnejša pred vplivi potresa in drugimi vplivi, kot je bila do sedaj« (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020).

Za utrditev zidovja so bile izvedene nove jeklene zatege znotraj zidovja z vgradnjo tako imenovanih IBO sider. Na višini etažnih konstrukcij so se skozi sredino injektiranega zidu vzdolžno s kronske diamantno vrtalko zvirtale izvrtine premera 60 mm. Vanj so se vgradila perforirana sidra zunanega premera 32 mm. Na koncu sider so zmontirali sidrno ploščo dimenzije 150×150 mm zaradi česar so se sidra napela. Po napenjanju sider so se le-ta zainjektirala s cementno injekcijsko maso. Zatege so izvedene na nivoju vseh etažnih konstrukcij v vseh štirih zidovih in tik pod vrhom zidovja. Sidrne ploščice so izvedene v poglobljenem zidu na podlago pripravljeno iz pustega betona trdnostnega razreda C25/30. Po dokončani izvedbi zateg so se sidrne ploščice zazidale s kamnom. Prav tako so IBO sidra vgradili po že opisanem postopku tudi v vertikalni smeri na vrhu zidov do globine 2,00. Na vertikalna sidra so se nato izvedla sidranja kapnih leg v vseh štirih vogalih objekta.

Na mestu odstranjenega dimnika je pozidan obok z opeko NF formata in zasut nad obokom do površine tlaka z zemljino od izkopov. Na zunanji strani temeljev je izveden grobi apneni omet kot podlaga za izvedbo hidroizolacije.

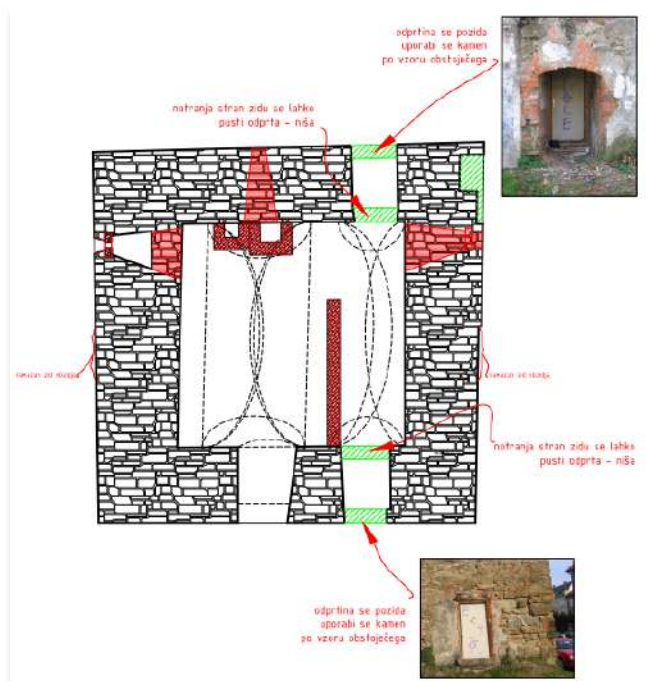
Stavbno pohoštvo

Opečnate pozidave odprtín v zidovih so bile odstranjene. V špaletah so bile nameščene kortenaste mreže iz ekspandirane pločevine, pritrjene na kortenaste L kotnike, ki so sidrani v zidovje. Začasno nameščene mreže predstavljajo zaščito pred ptiči.

Vgradilo se je spodnje začasno stavbno pohoštvo:

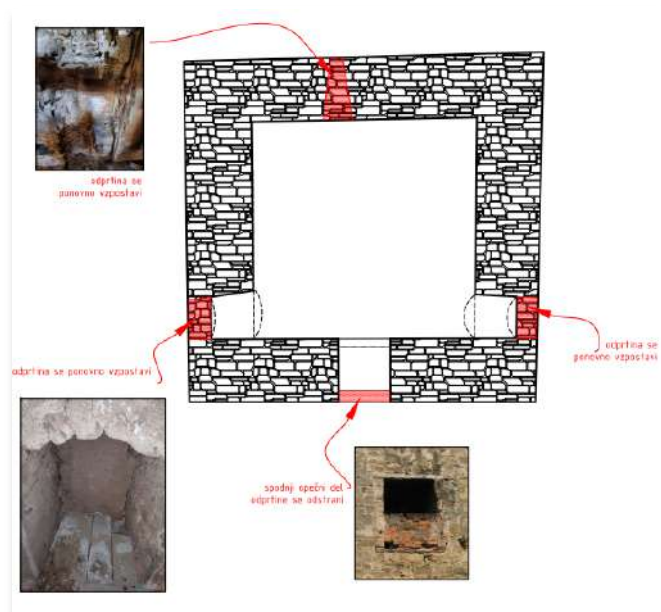
- jeklenka vhodna vrata velikosti nad 2 m^2 (100/230 cm),
- okenske odprtine – zaščitne ekspandirane mreže iz kortena v jeklenem okviru velikosti nad 2 m^2 (134/185 cm in 132/192 cm).

Ko bo objektu dodeljena funkcija in bo še v preostalih detajlih obnovljen v skladu z zahtevami Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije, bo začasno stavbno pohoštvo zamenjano s trajnim pohoštvom. Povzeto po (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020).



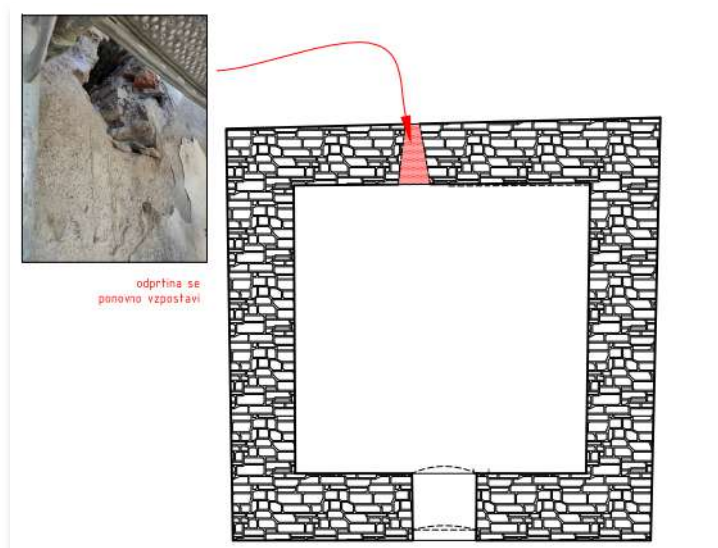
Slika 9: Prikaz ponovno vzpostavljenih odprtín – tloris pritličje

Vir: (Arhitekturni elementi in predvideni posegi: Maribor Čeligijev stolp EŠD 6260, 2020)



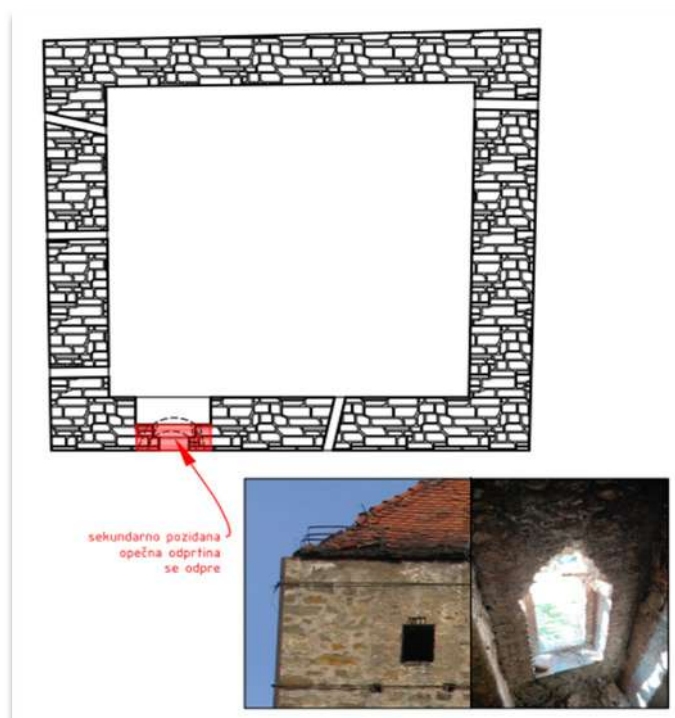
Slika 10: Prikaz ponovno vzpostavljenih odprtín – tloris 1. nadstropje

Vir: (Arhitekturni elementi in predvideni posegi: Maribor Čeligijev stolp EŠD 6260, 2020)



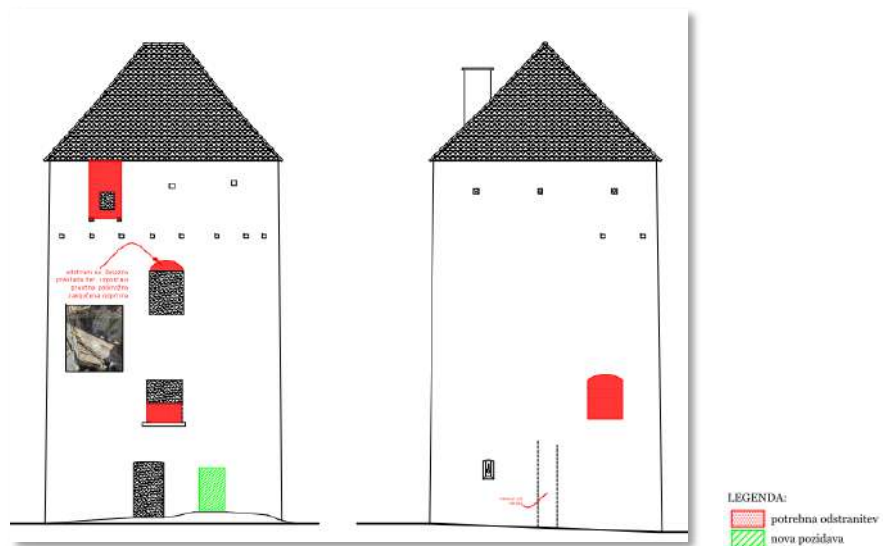
Slika 11: Prikaz ponovno vzpostavljenih odprtín – tlorís 2. nadstropje

Vir: (Arhitekturni elementi in predvideni posegi: Maribor Čeligijev stolp EŠD 6260, 2020)



Slika 12: Prikaz ponovno vzpostavljenih odprtín – tlorís 3. nadstropje

Vir: (Arhitekturni elementi in predvideni posegi: Maribor Čeligijev stolp EŠD 6260, 2020)



Slika 13: Posegi na južni in zahodni fasadi

Vir: (Arhitekturni elementi in predvideni posegi: Maribor Čeligijev stolp EŠD 6260, 2020)



Slika 14: Posegi na severni in vzhodni fasadi

Vir: (Arhitekturni elementi in predvideni posegi: Maribor Čeligijev stolp EŠD 6260, 2020)

4.5 *Tesarska dela*

Obstoječe lesene medetažne konstrukcije nad 1. in 2. nadstropjem je bilo potrebno v celoti obnoviti, dotrajane lesene stropnike pa zamenjati z novimi, razen tistih, ki so še imeli ustrezno nosilnost.

Lesene stropne konstrukcije se je izvedlo iz tesanih tramov (obstoječih in novih), in sicer na način, da so v vsaki etaži spremenili smer; tako nad 1. nadstropjem v smeri sever-jug in nad 2. nadstropjem v smeri vzhod-zahod (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020).

Pri prenovi se je dobavilo in vgradilo lesene tesane stropnike dimenzije 20/24 cm. Šlo je za staran les iglavcev sive barve, z naravno patino brez ostrih robov, trdnostnega razreda C24. Stropnike, dolžine 5,60 oz. 6,25 m, se je vijačilo skozi sidra z navojnimi palicami $2 \times M12$ na vsako ležišče. Delno se je uporabilo obstoječe stropnike, izbrane za nadaljnjo uporabo v fazi izvedbe rušitev (Žvan, Ocena investicije gradbeno obrtniških del: objekt Čeligijev stolp, 2020).

Stropnike se je vgradilo v obstoječa ležišča v kamnitem zidu. Dodatno se je stropnike sidralo v že injektiran kamnit zid, s čimer se je do določene mere zagotovil enakomeren raznos potresnih sil na zidovje. Sidranje se je izvedlo s ploščatim jeklom debeline 5 mm, na katerega se je privarila armaturna rebrasta palica premera 16 mm. V ploščatem jeklu se je izvedlo izvrtine za vijake M12, armaturne palice pa se je z lepili za kemično sidranje sidralo v do polovice debeline zidu. Sidrne elemente se je namestilo z obeh strani stropnika in se jih je povezalo z navojnimi palicami M12 skozi stropnik. Sidrni elementi so bili izdelani iz kortena, z videzom rje. Obokano konstrukcijo nad pritličjem se je v fazi izvedbe vzdrževalnih del v celoti ohranilo. Obnovil pa se je obod odprtine skozi obok tako, da se je pozidal manjkajoč rob odprtine, star plavajoči lesen pod na zemeljskem nasutju pa se je zamenjalo z novim, enakim in v celoti se je odstranil deloma že odpadel omet z oboka.

Prav tako se je izvedlo podeskanje lesenih stropnikov s skoblanimi staranimi plohi, debeline 5 cm, in sicer je šlo za les iglavcev, trdnostnega razreda C27.

Ob tem se je za čas izvajanja del izvedlo začasno podeskanje lesenih stropnikov v 2. in 3. etaži z opaznimi ploščami za čas izvedbe del. Da so se dela lahko izvajala, je bila potrebna postavitev in po končanih delih demontaža fasadnega odra, prostorskega cevnega odra za podpiranje etaž ter premičnih odrov za opravljanje del na višini v notranjosti objekta.

4.6 Krovska dela

Prenova strehe Čeligijevega stolpa je bila izvedena že leta 2020. Novembra tega leta je namreč Mestna občina Maribor pristopila k interventni obnovi strehe, saj sta bila tako ostrešje objekta kot kritina v izredno slabem stanju in na meji porušitve. Mnogi leseni strešni elementi so bili prepereli, spoji pa porušeni, zato je grozila nevarnost porušitve.

Pri prenovi strehe se je izvedlo prekrivanje strešin z bobrovcem tipa dunajski žep, šlo je za raven odrez strešnika. Strešniki so se na kapi polagali v apneno malto brez odkapne pločevine. Delno se je uporabilo obstoječe strešnike, izbrane za nadaljnjo uporabo v fazi izvedbe rušitev. Prekrivanje slemen in grebenov se je izvedlo z opečnimi slemenjaki, položenimi v apneno malto. Linijske snegobrane se je dobavilo in namestilo v temni barvi, tip le-teh pa je pred izvedbo potrdil ZVKDS.

Uredilo se je tudi ostrešje, ki se je v celoti odstranilo in izvedlo na novo. Izdelano je bilo kompleksno, štirikapno ostrešje, s kapnimi legami, povezniki na viši kapi, sohami, ročicami, vmesnimi legami, povezniki na višini vmesnih leg, špirovci in grebenjačami. Ves les je bil tesan, brez ostrih robov in staran. Spoji so se izvedeli tesani in mozničeni z lesenimi mozniki, uporabil pa se je les iglavcev, trdnostnega razreda C24. Uporabili so se sklop na lastovičji rep, tj. spoj ročice s soho in lego, ter spoji s kratkim čepom, tj. spoj špirovca s poveznikom na kapi in medsebojni spoji poveznikov. Delno so se uporabili obstoječi elementi ostrešja, izbrani za nadaljnjo uporabo v fazi izvedbe rušitev. Izvedlo se je letvanje ostrešja, in sicer z letvami 5×4 cm za prekrivanje z bobrovcem. Razmik letev je znašal 16 cm, prav tako je šlo za les iglavcev trdnostnega razreda C24.

4.7 Ključavničarska dela in električne napeljave

Ker so se opečnate pozidave odprtín odstranile, se je v označenih špaletah, 30 cm od zunanje linije zidov, namestilo kortenaste mreže iz perforirane pločevine, pritrjene na kortenaste L kotnike, ki so sidrani v zidovje. Te so, glede na odprtine, različnih dimenzij, in sicer 134/185 cm, 133/190 cm, 77/107 cm in 40/113 cm.

Jeklene mreže tako predstavljajo začasno zaščito pred vdorom ptičev in morebiti drugih živali in subjektov v objekt. Vrata v objekt so se prav tako izvedla s kortenom, površina kril na obeh straneh pa je gladka in enovita, brez vidnega spajanja posameznih plošč.

Tudi sama vhodna vrata dimenzije 100/230, ki so jeklena enokrilna, prav tako je jeklo vrste korten, predstavljajo začasno zaščito objekta. Začasno stavbno pohoštvo bo namreč nadomeščeno s trajnim, ko bo objektu dodeljena funkcija in bo ta še v preostalih detajlih obnovljen v skladu z zahtevami ZVKDS.

Med ključavničarska dela se šteje tudi izdelava jeklenih sider za sidranje lesenih stropnikov. Sidra so bila izdelana iz jeklene pločevine iz kortena $50 \times 5 \times 250$ mm, v kateri sta dve izvrtini premera 13 mm, na pločevino pa je privarjena armaturna palica $\varnothing 16$ dolžine 1.000 mm. Dobavili so se tudi stebri za instalacijo t.i. »zidnice«, profila UNP80, dolžine 2,50 m.

Prav tako se je namestil nov strelovod z veljavnimi tehničnimi predpisi in standardi. Ob strelovodu, izveden je bil lovilni in ozemljitveni sistem s štirimi merilnimi mesti, se je uredilo še novo osvetlitev fasade objekta ter kovinskih panelov oz. že omenjena instalacija »zidnice«, vezana na javno razsvetljavo, in sicer z novo osvetlitvijo z LED trakovi, ki so nadomestili obstoječe dotrajane. Ob že obstoječi ulični svetilki se je postavila nova elektro omara z ustreznim varovanjem za LED reflektorje in LED trakove kovinskih panelov (Žvan, 2020a).

5 ANALIZA GRADBENO OBRTNIŠKIH DEL

5.1 Splošno

V poglavju Gradbeno obrtniška dela pri prenovi Čeligojevega stolpa smo že opisali obnovitvenega dela na stolpu; v poglavju Preučitev pogojev za prenovu objekta pa smo podrobneje opisali stanje objekta pred načrtovano obnovo, njegove tehnične lastnosti in pripravo dokumentacije za projekt obnove, kjer smo orisali tudi kulturnovarstvene pogoje ZVKDS, ki jih je moral investitor izpolniti za statično sanacijo.

V naslednjih treh poglavjih tako analiziramo hipoteze, kako je sanacija ob upoštevanju striktnih pogojev ZVKDS pri obnovi stroškovno vplivala na sam projekt.

5.2 H1 Sanacija z injektiranjem z apneno – cementnimi injektirnimi masami bi vrednost del pocenila za okoli 20 %

V tem poglavju preverjamo veljavnost prve zastavljene hipoteze: Sanacija z injektiranjem z apneno – cementnimi injektirnimi masami bi vrednost del pocenila za okoli 20 %.

Kot smo že podrobno opisali v poglavju Gradbeno obrtniška dela (podpoglavlje 4.4.), se je sanacija notranjosti sten med drugim vršila z injektiranjem mase na bazi apna brez vsebnosti cementa. Šlo je za predpripravljeno maso Mape Antique I.

Predpripravljena masa Mape Antique I. je hidravlično vezivo s polnili brez vsebnosti cementa za utrditev oz. injektiranje zidov iz opeke, kamna in lehnjaka. Ko obnavljamo oslabele votle zidove, stebre, oboke in temelje zgodovinskih objektov, mora imeti material za utrditveno injektiranje zelo podobne fizikalne in mehanske lastnosti kot izvorni materiali, ki so se uporabljali pred poznavanjem cementa. Obenem pa strjeni injektirani material ne sme negativno vzajemno delovati s sulfatnimi solmi, ki so prisotne v zidovih in mora vsebovati bazične sestavine (natrij, kalij), ki ne sprožijo nevarnega ekspanzijskega fenomena z bazično reaktivnim kamnitim agregatom. Masa Mape-Antique I je izdelek, ki izpolnjuje vse navedene zahteve.

Masa je primerna za utrjevanje kamna, opeke, tufa in mešanega zidu na starih stavbah, vključno s tistimi zgodovinskega ali umetniškega pomena, ki vsebujejo razpoke ali majhne do velike notranje vrzeli in votline. Z njo se utrjujejo zidovi s prisotnostjo kapilarnih naraščajočih vlažnih in topnih soli. Med tipične primere uporabe tako štejemo utrditev po postopku injektiranja temeljev zgodovinskih objektov; utrditev po postopku injektiranja oslabeledih votlih opečnih in kamnitih zidov zgodovinskih objektov; utrditev po postopku injektiranja opečnih in kamnitih stebrov ter obokov zgodovinskih objektov.

Maso Mape-Antique I je enostavno injicirati z ročno ali elektronsko črpalko ali z gravitacijskim litjem v strukture z razpokami, vrzelmi ali notranjimi odprtini. Masa Mapei-Antique I je odporna na različne kemično-fizikalne agresivne pojave, kot so prisotnost topnih soli, cikli zamrzovanja in odmrzovanja in alkalno-agregatne reakcije.

Pričakovana poraba suhe injekcijske mase se je gibala med 50 in 150 kg/m³ zidu. Volumen zidu: 711,50 m³. Cena: 120,50 EUR/m³ (Mapei, Mape-Antique I, 2024).

Če ne bi bilo nujno upoštevati uporabe zgoraj omenjene mase, kot je bilo razvidno iz kulturnovarstvenih pogojev, bi bilo pri injektiranju oz. sanaciji notranjosti zidu primerneje uporabiti predpripravljeno maso Stabilcem.

Predpripravljena masa Stabilcem proizvajalca MAPEI je ekspanzijsko cementno vezivo za pripravo malt, tlakov in betona ter lahko tekočih injekcijskih mas. Uporablja se za pripravo mešanic injekcijskih mas za utrditev, malt in črpnih betonov s kontroliranim krčenjem in visokimi mehanskimi trdnostmi. Med tipične primere uporabe štejemo zapolnjevanje praznih mest in razpok ter poroznih mest v betonu, kamnitem ali opečnem zidu z injektiranjem; izdelavo betonskih mešanic tlakov s kontroliranim krčenjem za podzemne konstrukcije; izdelavo tekočih betonskih mešanic brez segregacije in s kontroliranim krčenjem za zalivanje togih reg.

Tudi pri tej masi bi se pričakovana poraba gibala med 50 in 150 kg/m³ zidu. Volumen zidu: 711,50 m³. Cena: 95,25 EUR/m³ (Mapei, Stabilcem, 2024).

Preden razvijemo hipotezo, primerjajmo osnovne tehnične lastnosti oz. podatke obeh opisanih mas v spodnji tabeli.

Tabela 1: Tehnični podatki injektirne mase Mape-Antique I in Stabilcem

Tehnični podatki (pri 230° C, 50% relativni zračni vlagi)	MAPE-ANTIQUE I	STABILCEM
<i>Temperatura za delo</i>	Od 5 °C do 35 °C	od 5 °C do 35 °C
<i>Mešalno razmerje</i>	35 delov vode na 100 delov (utežnih) Mape-Antique I.	24 – 26 delov vode na 100 delov (utežnih) Stabilcem-a za injektiranje
<i>Tlačna trdnost</i>	(po 28 dneh): 18 MPa	(po 28 dneh): > 80 Mpa
<i>Upogibna trdnost</i>	(po 28 dneh): 4 MPa	(po 28 dneh): > 8 Mpa

Vir: (Mapei, Stabilcem, 2024) in (Mapei, Mape-Antique I, 2024)

Kot smo napisali je bila pričakovana poraba mase med 50 in 150 kg/m³. Za lažji prikaz izračunov vzemimo, da je bila poraba mase za injektiranje zidu 150kg/m³.

Uporabljena količina mase:

$$150 \text{ kg/m}^3 \times 711,50 \text{ m}^3 = 106.725 \text{ kg mase}$$

$$106.725 \text{ kg} : 1.000 = 106,725 \text{ m}^3 \text{ injektirne mase na celotno količino zidu}$$

Za celotni zid (projektantski popis) je bilo uporabljeno 106,725 m³ injektirne mase Mape-Antique I.

Ob predpostavki, da uporabimo apneno cementno maso Stabilcem za injektiranje zidu, bi uporabili popolnoma enako količino mase, torej 106,725 m³ na celoten kamniti zid iz projektantskega popisa.

Pri apneni injektirni masi je potrebno za doseganje kvalitetnega izdelka uporabiti 35 delov vode za razliko od apneno cementne mase, kjer je potrebnih samo 24–28 delov vode.

Cenovna vrednost obeh mas:

1. Masa Stabilcem:

$$106,725 \text{ m}^3 \times 95,25 \text{ EUR/m}^3 = 10.165,56 \text{ EUR}$$

2. Masa Mape-Antique I:

$$106,725 \text{ m}^3 \times 120,50 \text{ EUR/m}^3 = 12.860,3625 \text{ EUR}$$

$$(10.165,56 \text{ EUR} : 12.860,3625 \text{ EUR}) \times 100 - 100 = 20,95 \%$$

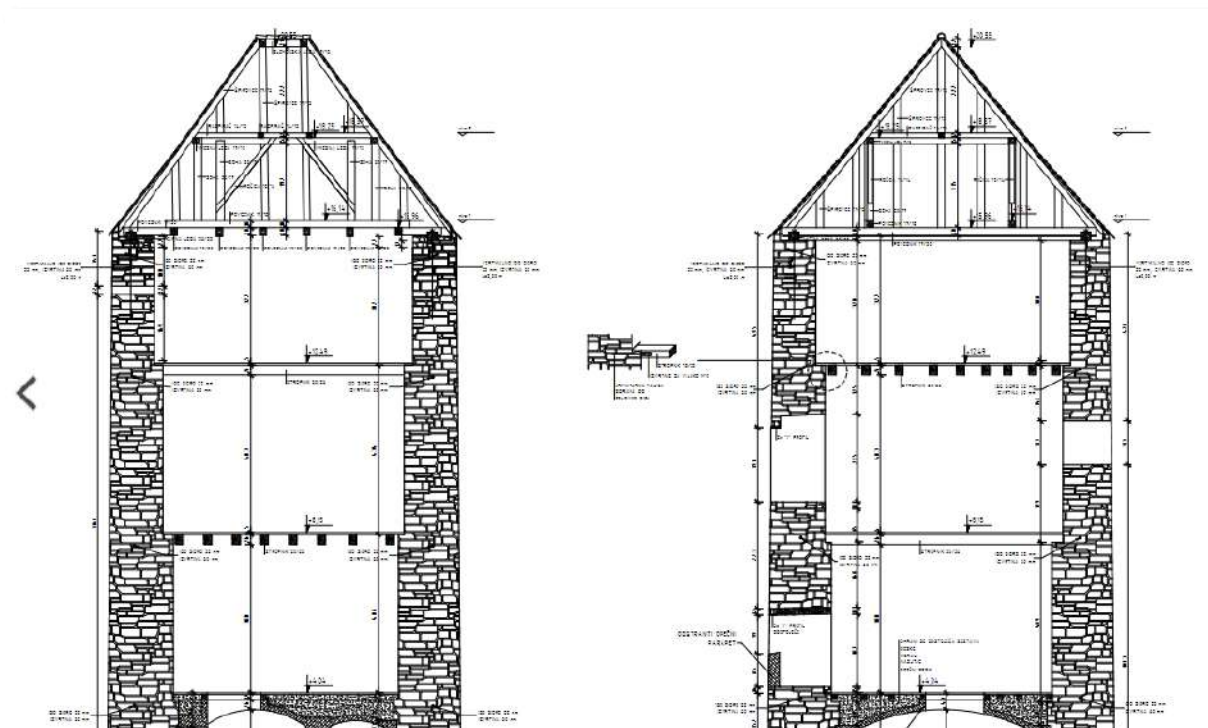
V kolikor bi uporabili injektirno maso Stabilcem bi bila cena injektiranja za 20,95 odstotkov cenejša od apnene injektirne mase Mape-Antique I.

Z izračunom smo hipotezo 1 potrdili, in sicer, da bi se vrednost del v tem segmentu pocenila za okoli 20 %.

5.3 H2 Izvedba vmesnih medetažnih konstrukcij z jeklenimi HEA nosilci, namesto lesenih, bi izvedbo podražila za okoli 20 %

V projektu so bile lesene medetažne konstrukcije nad 1. in 2. nadstropjem v celoti obnovljene. Dotrajane lesene stropnike so zamenjali z novimi. Lesene stropne konstrukcije so izvedli iz tesanih tramov (obstojećih in novih). Dimenzije novih stropnikov so 20×26 cm, izdelani so iz tesanega lesa iglavcev trdnostnega razreda najmanj C24.

Predlagamo zamenjavo lesenih stropnikov 20×26 cm z jeklenimi profili IPE 120 višine 12 cm. Z zamenjavo materiala ostane proces izdelave enak kot je bil v prvotnem projektu, torej preko stropnikov izvedemo lesen pod iz skoblanih plohov. Jeklene stropnike vgradimo v obstoječa ležišča v kamnitem zidu in jih sidramo v že injektiran kamnit zid. Zaradi boljše stabilnosti zidu vse jeklene nosilce sidramo v injektirani zid z vijaki M12. S tem zagotovimo enakomeren raznos potresnih sil na zidovje. Vijake M12 sidramo v kamniti zid skozi celotno debelino zidu. Na koncu vijaka namestimo sidrane plošče 15×15 cm ter jih zategnemo z navojem in zalijemo z betonom. Palica se konča 15 cm pred koncem zidu, katerega zakrijemo s kamnom.



Slika 15: prikaz stropnikov v drugi in tretji etaži

Vir: (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020)

Iz projekta je razvidno, da je bilo v drugi etaži uporabljenih 8 lesenih stropnikov velikosti (statika) 20×26 cm v smeri sever-jug, dolžine (popis) 6,25 m. V tretji etaži je bilo uporabljenih 9 lesenih stropnikov velikosti (statika) 20×26 cm v smeri vzhod-zahod, dolžine (popis) 5,60 m.

V hipotezi H2 predlagamo zamenjavo lesenih stropnikov z jeklenimi profili IPE120 višine 12 cm.

Leseni stropniki:

2. etaža:

Nabavna cena tesanega lesa je 526,50 EUR/m³, delo ovrednotimo na 283,50 EUR/m³. Cena tesanega lesa z vgradnjo znaša 810 EUR/m³

$$(6,25 \text{ m} \times 0,20 \times 0,26) = 0,325 \text{ m}^3/\text{kos}$$

$$0,325 \text{ m}^3/\text{kos} \times 810 \text{ EUR/m}^3 = 263,25 \text{ EUR/kos}$$

$$263,25 \text{ EUR/kos} \times 8 \text{ kos} = \underline{2.106 \text{ EUR}} \text{ (za 8 kosov lesenih stropnikov)}$$

3. etaža:

$$(5,60 \text{ m} \times 0,20 \times 0,26) = 0,291 \text{ m}^3/\text{kos}$$

$$0,291 \text{ m}^3/\text{kos} \times 810 \text{ EUR/m}^3 = 235,87 \text{ EUR/kos}$$

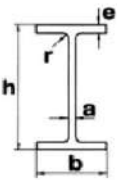
$$235,87 \text{ EUR/kos} \times 9 \text{ kos} = \underline{2.122,85 \text{ EUR}} \text{ (za 9 kosov lesenih stropnikov)}$$

Jekleni profili IPE 120:

Teža: 19,90 kg/m

Cena: 5,26 EUR/kg (v ceni je zajet nakup, dobava jeklenih HEA profilov, zaščita, osnovni premaz in končna obdelava s kortezom – videz rje, ter montaža z avtodvigalom).

Tabela 2: Karakteristike profilov IPE

PROFIL IPE	PROFIL					Teža kg/m	Presek cm ²	W _x cm ³	I _x cm ⁴
	h	b	a	e	r				
	80	46	3,8	5,2	5	6	7,6	20	80
	100	55	4,1	5,7	7	8,1	10,3	34,2	171
	120	64	4,4	6,3	7	10,4	13,2	53	318
	140	73	4,7	6,9	7	12,9	16,4	77,3	541
	160	82	5	7,4	9	15,8	20,1	109	869
	180	91	5,3	8	9	18,8	23,9	146	1317
	200	100	5,6	8,5	12	22,4	28,5	194	1943
	220	110	5,9	9,2	12	26,2	33,4	252	2772
	240	120	6,2	9,8	15	30,7	39,1	324	3892
	270	135	6,6	10,2	15	36,1	45,9	429	5790
	300	150	7,1	10,7	15	42,2	53,8	557	8356
	330	160	7,5	11,5	18	49,1	62,6	713	11770

Vir: (Inpos, 2024)

2. etaža:

$$(6,25 \text{ m} \times 10,40 \text{ kg/m}) = 65 \text{ kg/kos}$$

$$65,00 \text{ kg/kos} \times 8 \text{ kos} = 520,00 \text{ kg jeklenih stropnikov}$$

$$520,00 \text{ kg} \times 5,26 \text{ EUR/kg} = 2.735,20 \text{ EUR}$$

3. etaža:

$$(5,60 \text{ m} \times 10,40 \text{ kg/m}) = 58,24 \text{ kg/kos}$$

$$58,24 \text{ kg/kos} \times 9 \text{ kos} = 524,16 \text{ kg jeklenih stropnikov}$$

$$524,16 \text{ kg} \times 5,26 \text{ EUR/kg} = 2.757,08 \text{ EUR}$$

Primerjava cen stropnikov:

2. etaža:

$$2.735,20 \text{ EUR} : 2.106 \text{ EUR} = 29,87 \%$$

3. etaža:

$$2.757,08 \text{ EUR} : 2.122,85 \text{ EUR} = 29,87 \%$$

Zaključek: iz izračunov je razvidno, da se cenovna vrednost poveča za 29,87 odstotkov, če zamenjamo lesene stropnike z jeklenimi stropniki IPE 120.

Kljub skoraj 30 odstotni podražitvi zaradi zamenjave materiala predlagamo drugo opcijo (torej IPE120) zaradi prednosti, ki jih imajo jekleni profili v primerjavi z leseno konstrukcijo (trdnost, obstojnost, elastičnost, trajnost, vzdrževanje).

Z izračunom smo hipotezo 2 potrdili, in sicer, da bi se vrednost del z zamenjavo materiala podražila za okoli 20 odstotkov.

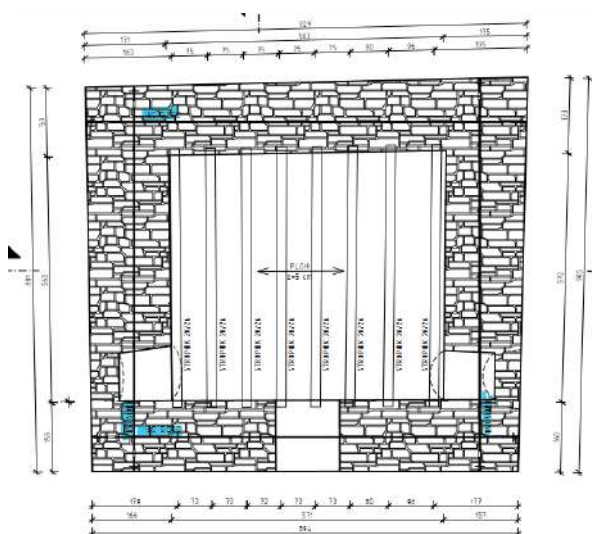
5.4 H3 Utrjevanje kamnitih sten z zategami, ki bi jih montirali na stropnike, bi izvedbo pocenilo za 25 %

V projektu so zidovje utrdili z izvedbo novih jeklenih zateg, ki so bile vgrajene znotraj zidovja z vgradnjo tako imenovanih IBO sider.

Na višini etažnih konstrukcij skozi sredino injektiranega zidu so vzdolžno s kronsko diamantno vrtalko izvrtali izvrtine premera 60 mm, v povprečni dolžini cca 9 m, v katere so vgradili

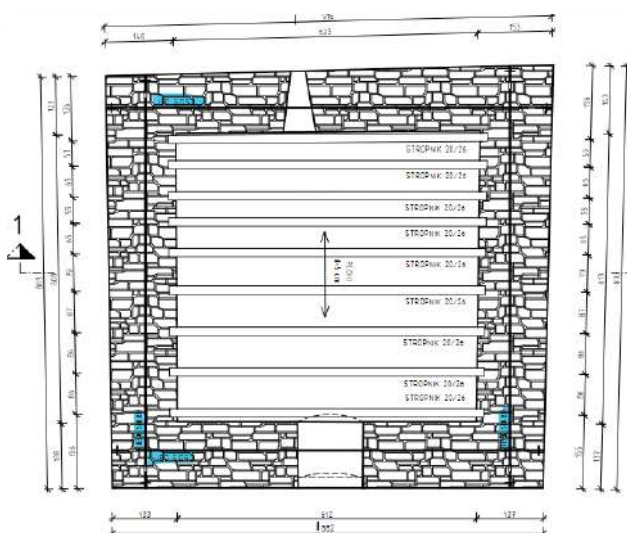
perforirana sidra zunanega premera 32 mm. Na koncu sider so montirali sidrno ploščo dimenzije 150×150 mm in ta sidra napeli ter injektirali s cementno injekcijsko maso.

Zatege so izvedli na nivoju vseh etažnih konstrukcij v vseh štirih zidovih in tik pod vrhom zidovja. Sidrne ploščice so izvedene v poglobljenem zidu na podlago pripravljeno iz pustega betona trdnostnega razreda C25/30. Po dokončani izvedbi zateg so sidrne ploščice zazidali s kamnom. IBO sidra so vgradili tudi v vertikalni smeri na vrhu zidov. Sidra so izvedena po že opisanem postopku do globine 2 m. Kasneje so na vertikalna sidra izvedena sidranja kapnih leg v vseh štirih vogalih objekta.



Slika 16: Prikaz IBO sidra - 1. etaža in strop nad 1. etažo

Vir: (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020)



Slika 17: Prikaz IBO sidra - 2. etaža in strop nad 2. etažo

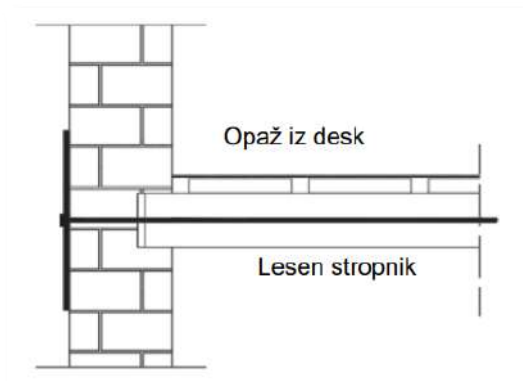
Vir: (Žvan, Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije, 2020)

V hipotezi H3 predlagamo, da se za utrditev zidovja poleg injektiranja vgradijo jeklene zatege, izdelane iz pletene jeklene vrvi, in da se utrjevanje ne izvede s pomočjo t.i. IBO sider, kot je bilo narejeno.

Na višini etažnih konstrukcij ob notranjih stenah injektiranega zidu s kronsko diamantno vrtalko izvrtamo luknje premera $\varnothing 40$ mm, v povprečni dolžini cca 1,80 m, v katere vgradimo pletene jeklene vrvi zunanjega premera 32 mm, dolžine približno 9 m.

Na koncu sider zmontiramo sidrno ploščo dimenzije 150×150 mm v za to že pripravljena ležišča v steni $200 \times 200 \times 150$ mm in sidra zabetoniramo z betonom trdnostnega razreda C25/30. Po dokončani izvedbi zateg sidrne ploščice zazidamo s kamnom.

Na sredini jeklenih vrvi namestimo zatege za pletene jeklene vrvi (slika 19). Po končanju del, ko se beton strdi, zatege zategnemo do željene napetosti vrvi.



Slika 18: Sidrni sistem v ravni medetažne konstrukcije

Vir: (Rajčič, Trogrlić, & Varevac, 2020)

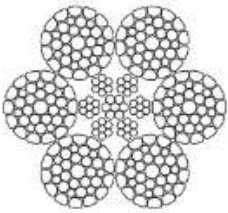
Slika prikazuje sidrni sistem v ravni medetažne konstrukcije, kjer ob steno in stropnike namestimo jekleno vrv, ki jo zaščitimo s plastično prevleko.



Slika 19: Zatega za pletene jeklene vrvi

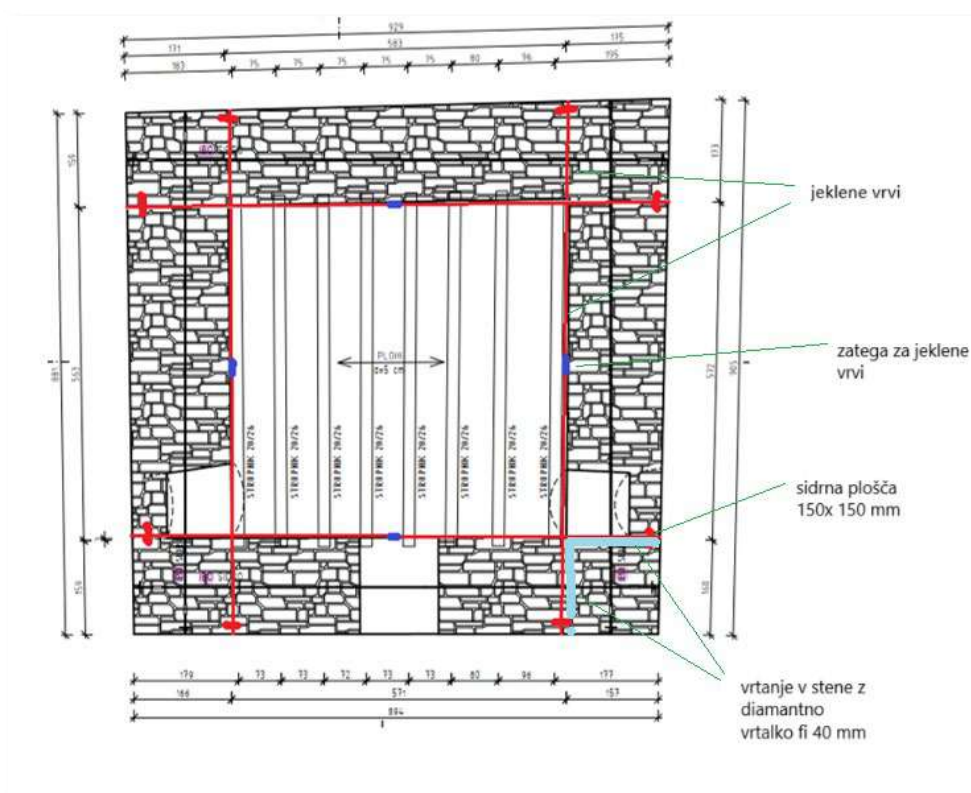
Vir: (Alatcoop, 2024)

Tabela 3: Karakteristike jeklenih vrvi

 6xK36WS+IWRC 265 fili/wires	Velikost f_i v mm	Teža v kg na meter	Najmanjša prelomna obremenitev	
			kN	kg
	30	4,12	817	83.311
	32	4,69	930	94.834
	34	5,23	1.037	105.745
	36	5,86	1.163	118.593
	38	6,57	1.302	132.767

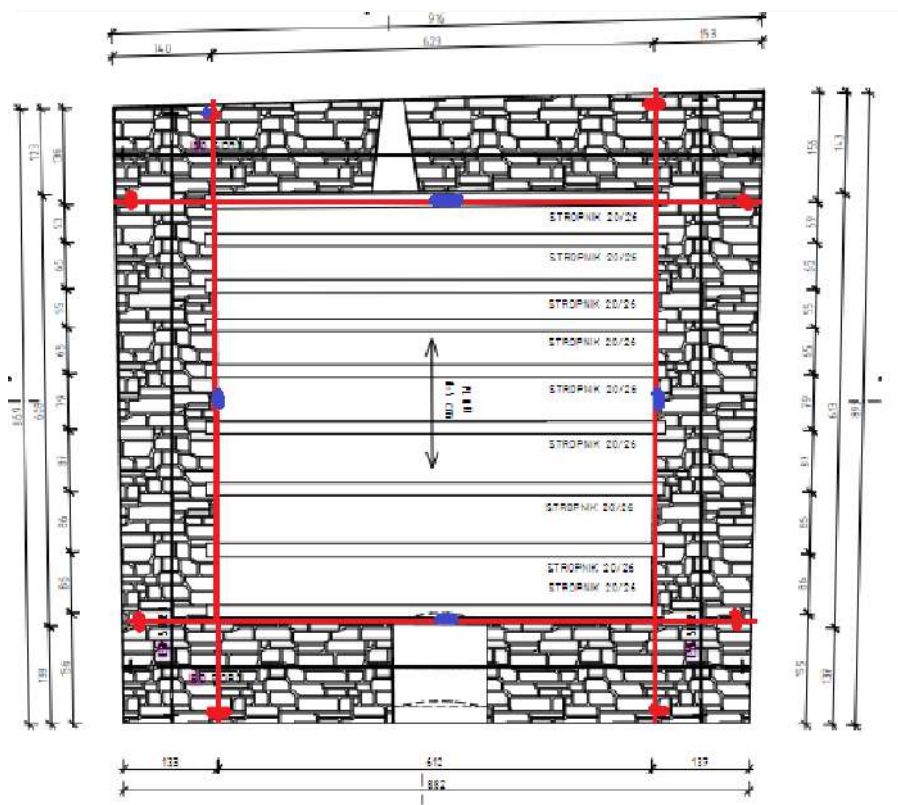
Vir: (Fas, 2024)

Jeklena vrv f_i 32 mm ima najmanjšo prelomno obremenitev 930 kN.



Slika 20: Prikaz sidranja s pleteno jekleno vrvjo z zatego - 1. etaža in strop nad 1. etažo

Vir: (Lastni vir)



Slika 21: Prikaz sidranja s pleteno jekleno vrvjo z zatego - 2. etaža in strop nad 2. etažo

Vir: (Lastni vir)

IBO sidra

1. etaža

Mere objekta:

$$9,29 + 8,81 + 9,05 + 8,94 = 36,09 \text{ m}$$

Vrtanje lukenj $\varnothing 60 \text{ mm}$

$$36,09 \text{ m} \times 100 = 3.609 \text{ cm} \times 1,05 \text{ EUR/cm} = 3.789,45 \text{ EUR}$$

Injektiranje $\varnothing 60 \text{ mm}$

$$36,09 \text{ m} \times 24,50 \text{ EUR/m} = 884,21 \text{ EUR}$$

Dobava in vgraditev IBO sider dolžine 36,09 m vključno s sidrnimi ploščami 150 x 150 mm

$$36,09 \text{ m} \times 127,50 \text{ EUR/m} = 4.601,48 \text{ EUR}$$

$$\text{Celotni strošek za 1. etažo} = 3.789,45 \text{ EUR} + 884,21 \text{ EUR} + 4.601,48 \text{ EUR} = 9.275,14 \text{ EUR}$$

2. etaža

Mere objekta:

$$9,16 + 8,93 + 8,82 + 8,69 = 35,60 \text{ m}$$

Vrtanje lukenj fi 60 mm

$$35,60 \text{ m} \times 100 = 3.560 \text{ cm} \times 1,05 \text{ EUR/cm} = 3.738,00 \text{ EUR}$$

Injektiranje fi 60 mm

$$35,60 \text{ m} \times 24,50 \text{ EUR/m} = 872,20 \text{ EUR}$$

Dobava in vgraditev IBO sider dolžine 35,60 m vključno s sidrnimi ploščami $150 \times 150 \text{ mm}$

$$35,60 \text{ m} \times 127,50 \text{ EUR/m} = 4.539,00 \text{ EUR}$$

$$\text{Celotni strošek za 2. etažo} = 3.738,00 \text{ EUR} + 872,20 \text{ EUR} + 4.539,00 \text{ EUR} = 9.149,20 \text{ EUR}$$

$$\text{Strošek obeh etaž skupaj} = 9.275,14 \text{ EUR} + 9.149,20 \text{ EUR} = \underline{18.424,34 \text{ EUR}}$$

Jeklene zatege

1. etaža

Mere objekta:

$$9,29 + 8,81 + 9,05 + 8,94 = 36,09 \text{ m}$$

Vrtanje lukenj fi 40 mm

$$1,57 + 1,60 + 1,73 + 1,75 + 1,71 + 1,59 + 1,59 + 1,66 = 13,20 \text{ m}$$

$$13,20 \text{ m} \times 100 = 1.320,00 \text{ cm} \times 0,88 \text{ EUR/cm} = 1.161,60 \text{ EUR}$$

Injektiranje fi 40 mm

$$13,20 \text{ m} \times 20,70 \text{ EUR/m} = 273,24 \text{ EUR}$$

Dobava in vgraditev pletenih jeklenih vrvi dolžine 36,09 m vključno z jeklenimi zategami in sidrnimi ploščami

$$36,09 \text{ m} \times 69,90 \text{ EUR/m} = 2.522,69 \text{ EUR}$$

$$\text{Celotni strošek za 1. etažo} = 1.161,60 \text{ EUR} + 273,24 \text{ EUR} + 2.522,69 \text{ EUR} = 3.957,53 \text{ EUR}$$

2. etaža

Mere objekta:

$$9,16 + 8,93 + 8,82 + 8,69 = 35,60 \text{ m}$$

Vrtanje lukenj $\varnothing$ 40 mm

$$1,37 + 1,37 + 1,43 + 1,53 + 1,40 + 1,23 + 1,56 + 1,33 = 11,22 \text{ m}$$

$$11,22 \text{ m} \times 100 = 1.122,00 \text{ cm} \times 0,88 \text{ EUR/cm} = 987,36 \text{ EUR}$$

Injektiranje $\varnothing$ 40 mm

$$11,22 \text{ m} \times 20,70 \text{ EUR/m} = 232,25 \text{ EUR}$$

Dobava in vgraditev pletenih jeklenih vrvi dolžine 35,60 m vključno z jeklenimi zategami in sidrnimi ploščami

$$35,60 \text{ m} \times 69,90 \text{ EUR/m} = 2.488,44 \text{ EUR}$$

$$\text{Celotni strošek za 2. etažo} = 987,36 \text{ EUR} + 232,25 \text{ EUR} + 2.488,44 \text{ EUR} = 3.708,05 \text{ EUR}$$

$$\text{Strošek obeh etaž skupaj} = 3.957,53 \text{ EUR} + 3.708,05 \text{ EUR} = \underline{7.665,58 \text{ EUR}}$$

$$7.665,58 \text{ EUR} : 18.424,34 \text{ EUR} = \underline{41,61 \%}$$

Zaključek: Izračun primerjave stroškovne izvedbe utrjevanja zidovja nam pokaže, da je izvedba utrjevanje kamnitih sten z zategami, montiranimi na stropnike, cenejša za dobrih 41 odstotkov od dejanske izvedbe utrjevanja z IBO sidri. Hipotezo 3 smo s tem potrdili.

5.5 H4 Umetna inteligenca lahko analizira velike količine podatkov iz BIM modelov za prepoznavanje vzorcev in predlaganje izboljšav

BIM (angl. Building Information Modeling, slov. Informacijsko modeliranje gradenj) lahko opredelimo kot digitalni proces, ki omogoča ustvarjanje in upravljanje informacij o gradbenih projektih. Vključuje uporabo različnih tehnik, orodij in načinov upravljanja informacij, ki omogočajo izdelavo celovitega digitalnega modela projekta in njegovo uporabo skozi celotni življenjski cikel gradbenega projekta, od projektiranja, gradnje do upravljanja objekta (Marc, dr. Medved, Štravs, dr. Tibaut, & Žibert, 2018).

Umetna inteligenca je, glede na definicijo Evropskega parlamenta: » ... zmožnost stroja, da izkazuje človeške lastnosti, kot so mišljenje, učenje, načrtovanje in kreativnost. Umetna

inteligenca omogoča tehničnim sistemom, da zaznavajo okolje, obdelajo, kar zaznajo, in rešijo problem, pri čemer ravnajo v skladu z določenim ciljem. Računalnik sprejema podatke, ki so predhodno pripravljeni, ali pa jih zbere sam s senzorji, denimo kamero, jih obdelava in se odzove. Sistemi, ki delujejo na podlagi umetne inteligence, lahko na podlagi analize učinkov svojih predhodnih dejanj do določene mere samostojno prilagajajo svoje vedenje» (Europarl.europa.eu, 2020).

Umetna inteligenca (UI) lahko torej učinkovito analizira velike količine podatkov iz BIM-a, saj z uporabo algoritmov strojnega učenja in metod umetne inteligence UI obdeluje in analizira informacije, ki so zajete v BIM modelih, kar omogoča izboljšano načrtovanje, optimizacijo in napovedovanje v gradbeništvu. Prepozna lahko napake, neskladnosti ali možnosti za izboljšave v zgodnjih fazah načrtovanja, s čimer lahko preprečimo morebitne drage napake med gradnjo.

Umetno inteligenco lahko uporabimo za analiziranje podatkov o uporabi in življenjski dobi materialov, kar omogoča napovedovanje vzdrževalnih potreb in načrtovanje obnov. Z analizo informacij o porabi energije in klimatskih pogojev lahko UI pripomore k bolj učinkovitemu načrtovanju energetske varčnih stavb. Prepozna lahko morebitne težave ali neskladnosti med različnimi sistemi v BIM modelu (npr. inštalacije, arhitektura, struktura). S pravočasnim odkritjem napak lahko načrte v BIM modelu popravimo in preprečimo nastanek težav pri sami gradnji. Uporaba generativnih algoritmov omogoča umetni inteligenci generiranje več različnih načrtov, ki so optimizirani glede na specifične kriterije, kot so stroški, trajnost, estetika itd.

UI prav tako omogoča avtomatizacijo ponavljajočih se nalog, kot so generiranje gradbenih poročil, izračune potrebnih materialov, preverbo skladnosti z gradbenimi predpisi in zaznavanje napak v zasnovi projektov, kar bistveno zmanjša ročno delo in človeške napake.

S pomočjo umetne inteligence lahko analiziramo zgodovinske podatke iz BIM modelov in napovemo stroške ter optimiziramo časovnice za prihodnje projekte. Napredni algoritmi strojnega učenja se lahko naučijo prepoznati vzorce v napakah iz prejšnjih projektov in to znanje uporabijo pri novih načrtih.

Združevanje BIM z umetno inteligenco omogoča napredno analizo velikih količin podatkov, avtomatizacijo in optimizacijo gradbenih procesov ter predlaga rešitve in izboljšave, kar vodi k večji učinkovitosti, natančnosti pri pripravi projektov, posledično pa zmanjšuje napake in znižuje stroške.

6 SKLEP

Diplomsko delo se osredotoča na izvedbo gradbeno-obrtniških del pri obnovi/prenovi Čeligijevega stolpa. V pričujočem diplomskem delu sta sprva kratko predstavljena zgodovina in pomen stolpa, nato pa je podrobneje opisano stanje objekta pred samo obnovo. Ker je objekt kot kulturna dediščina vpisan v register Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije, je bilo pri izvedeni obnovi potrebno upoštevati kulturno-varstvene pogoje. Diplomsko delo se tako dotika tudi dotedanjih konservatorskih posegov na objektu, posegov v preteklosti, ki niso bili v skladu z njimi, PZI dokumentacije in pogodbe za izvedbo del. Diplomsko delo obravnava izvedbo gradbeno-obrtniških del prenove historičnega stolpa in opisuje potek obnove, t.j. pripravljalnih in rušitvenih del, zemeljskih in zidarskih ter tesarskih del, pa tudi ključavničarskih del in obnove električne napeljave.

Kot smo zapisali, se je sanacija notranjosti sten med drugim vršila z injektiranjem mase na bazi apna brez vsebnosti cementa, s predpripravljenno maso Mape Antique I, po navodilih restavratorja. Če bi lahko prosto izbirali maso, kar zaradi zgodovinske pomembnosti objekta in posledično kulturnega varstva seveda ni mogoče, bi izbrali maso Stabilcem, ki bi zaradi drugačne sestave zgradbi dala večjo trdnost. Prav tako pa bi izvedbo tega dela sanacijo pocenilo za okoli petino, to je bila trditev **H1**. Pri tej hipotezi smo se sicer osredotočili zgolj na ceno izvedbe tega dela obnove. Tako smo primerjali stroškovnik obeh mas. Pri izračunih smo predpostavili, da je bila poraba mase za injektiranje zidu 150 kg/m^3 . Ugotovili smo, da bi bila pri uporabi injektirne mase Stabilcem cena injektiranja za 20,95 odstotkov cenejša od apnene injektirne mase Mape-Antique I. Z izračunom smo hipotezo H1 potrdili, ko smo trdili, da bi se vrednost del v tem segmentu pocenila za okoli 20 %.

Pri drugi hipotezi (**H2**) smo se osredotočili na izvedbo vmesnih medetažnih konstrukcij. V projektu obnove so le-te lesene, šlo je za stropnike dimenzij $20 \times 26 \text{ cm}$, v hipotezi pa smo, če bi bilo to mogoče, predlagali zamenjavo lesenih stropnikov z jeklenimi nosilci oz. profili IPE 120. Jekleni profili bi zaradi svojih lastnosti predstavljali prednost pred lesenimi stropniki, čeprav, kot je bilo ugotovljeno iz izračunov, bi se cenovna vrednost tega dela izvedbe povečala za skoraj 30 odstotkov. Ugotovljeno je torej bilo, da bi takšna izvedba vmesnih medetažnih konstrukcij ta del obnove dejansko podražila.

V hipotezi **H3** smo predlagali, da bi se za utrditev zidovja poleg injektiranja vgradijo jeklene zatege, izdelane iz pletene jeklene vrvi, in ne utrjevanje s pomočjo t.i. IBO sider, kot je bilo izvedeno, saj bi to izvedbo tega dela obnove pocenilo za petino. Izračun primerjave stroškovne izvedbe utrjevanja zidovja je potrdil omenjeno hipotezo, saj bi bila izvedba utrjevanja kamnitih sten z zategami, montiranimi na stropnike, cenejša za dobrih 41 odstotkov od dejanske izvedbe utrjevanja z IBO sidri.

Pri **H4** smo na teoretični ravni ugotovili, da bi združevanje BIM z umetno inteligenco omogočalo napredno analizo velikih količin podatkov, avtomatizacijo in optimizacijo gradbenih procesov. S tem bi bile rešitve učinkovitejše, priprava projektov hitrejša in natančnejša, kar bi vodilo k zmanjšanju napak, optimizaciji dela in posledično znižanju stroškov.

V sklepu lahko ugotovimo še, da je obnova spomeniško zaščitenega objekta, kakršen je Čeligijev stolp, specifična, saj morajo izvajalci gradbeno-obrtniških del mdr. dosledno slediti tudi strogim kulturnovarstvenim pogojem. Potrebna je uporaba specifičnih, predpisanih materialov, zato je izvedba tovrstnih obnovitvenih del predvidoma velikokrat dražja, kot pri obnovi objektov, ki niso predmet spomeniške zaščite. Obnovitvena dela historičnih objektov so velikokrat tudi zaradi dotrajanosti tovrstnih objektov po navadi bolj kompleksna.

7 VIRI, LITERATURA

- Alatcoop.* (2024). Pridobljeno iz Zatega za sajlu M8: <https://b2b.alatcoop.com/product/zatega-za-sajlu-m8/>
- (2020). *Arhitekturni elementi in predvideni posegi: Maribor Čeligijev stolp EŠD 6260*. Maribor: Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije.
- Arhiv.maribor.si.* (b.d.). Pridobljeno iz Začenja se sanacija Čeligijevega stolpa: <http://arhiv.maribor.si/povezava.aspx?pid=19063>
- Europarl.europa.eu.* (september 2020). Pridobljeno iz Kaj je umetna inteligenca in kako se uporablja v praksi?: <https://www.europarl.europa.eu/topics/sl/article/20200827STO85804/kaj-je-umetna-inteligenca-in-kako-se-uporablja-v-praksi>
- Fas.* (2024). Pridobljeno iz Steel wire ropes: <https://www.fasitaly.com/sottofamiglia/0107.pdf>
- Inpos.* (2024). Pridobljeno iz Nosilci, profili, kotniki in hladno oblikovani profili: <https://www.inpos.eu/nosilci-kotniki-in-hladno-oblikovani-profil>
- Ježovnik, M., & Zupan, A. (junij 2020). *Kulturnovarstveni pogoji AZ/35107-0436/2019/4*. Maribor: Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Služba za kulturno dediščino, Območna enota Maribor.
- Kajzer, M., & Zupan, A. (2020). *Kulturnovarstveni pogoji – dopolnitev AZ/35107-0436/2019/6*. Oktober: Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Služba za kulturno dediščino, Območna enota Maribor.
- Mapei, Mape-Antique I.* (2024). Pridobljeno iz MAPE-ANTIQUÉ I: <https://www.mapei.com/si/sl/izdelki-in-resitve/vse-izdelke/podrobnosti-izdelka/mape-antique-i>
- Mapei, Stabilcem.* (2024). Pridobljeno iz STABILCEM: <https://www.mapei.com/si/sl/izdelki-in-resitve/vse-izdelke/podrobnosti-izdelka/stabilcem>
- Marc, K., dr. Medved, P. S., Štravs, B., dr. Tibaut, A., & Žibert, M. (2018). *IZS*. Pridobljeno iz Priročnik za pripravo projektne naloge za implementacijo BIM-pristopa za gradnje:

- http://arhiv.izs.si/fileadmin/dokumenti/publikacije-IZS/Prirocniki_IZS/IZS_prirocnik_MSG_BIM_pristopa_za_gradnje_www.pdf
- Maribor.si. (2024). Pridobljeno iz Čeligijev stolp: <https://maribor.si/turizem/spomeniki-lokalnega-pomena/celigijev-stolp/>
- Murko, G. (2012). *Academia*. Pridobljeno iz Čeligijev stolp - primer propadajoče kulturne dediščine v središču Maribora in možne oblike revitalizacije: <file:///C:/Users/jasmi/Desktop/DIPLOMSKA%20NALOGA/Literatura/gorazd-murko%20DIPLOMA%20o%20%C4%8Celigijevem%20stolpu.pdf>
- Pivka, J., & Kaučič, R. (2017). *Maribor: Top 100 zanimivosti*. Miklavž na Dravskem polju: Založba Roman.
- Rajčič, V., Trogrlić, B., & Varevac, D. (maj 2020). *IZS*. Pridobljeno iz Nujni program potresne obnove NPPO : https://www.izs.si/assets/media/izsnovo/2023/MSG/UPPO-Urgentni_program_potresne_obnove-Prirucnik_SL.pdf
- Wikipedia. (2022). Pridobljeno iz Čeligijev stolp: https://sl.wikipedia.org/wiki/%C4%8Celigijev_stolp
- Zupan, A., & Kajzer, M. (2021). *Kulturnovarstveno soglasje AZ/35107-0436/2019/*. Maribor: Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Služba za kulturno dediščino, Območna enota Maribor.
- Žvan, U. (2020). *Načrt s področja gradbeništva – gradbene konstrukcije*. Maribor.
- Žvan, U. (2020). *Ocena investicije gradbeno obrtniških del: objekt Čeligijev stolp*. Maribor.