



ZAVOD ZA
GRADBENIŠTVO
SLOVENIJE

SLOVENIAN
NATIONAL BUILDING
AND CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE

studiokrištof

Univerza v Ljubljani
Filozofska fakulteta



Raziskovalni projekt

Protipotresne rečitve za 15 stolpnic v Ljubljani

**Analiza potresne odpornosti starejših stolpnic in predlogi
rečitve za izboljšanje**

Zaključno poročilo - skupno poročilo za stolpnice tipa A
št. 810/18-610-5

Naročnik: Mestna občina Ljubljana
Mestni trg 1, 1000 Ljubljana

Naročilo/pogodba: pogodba št. C7560-18-210047 (ZAG št. 7862/18) z dne 14.08.2018 in dodatek št. 1 z dne 20.03.2019

Ljubljana, oktober 2019

Raziskovalni projekt

Protipotresne rečitve za 15 stolpnic v Ljubljani

Analiza potresne odpornosti starejših stolpnic in predlogi rečitve za izboljšanje

Zaključno poročilo - skupno poročilo za stolpnice tipa A
št. 810/18-610-5

Naročnik:	Mestna občina Ljubljana Mestni trg 1, 1000 Ljubljana
Naročilo/pogodba:	pogodba št. C7560-18-210047 (ZAG št. 7862/18) z dne 14.08.2018 in dodatek št. 1 z dne 20.03.2019
Vodja projekta:	mag. Marjana Lutman, univ.dipl.inž.grad. (ZAG)
Sodelavci:	dr. Andrej Rebec, univ.dipl.inž.grad. (ZAG) Franci Smrtnik, univ.dipl.inž.grad. (ZAG) Barbara Likar, univ.dipl.inž.grad. (ZAG) Andraž Geržak, univ.dipl.inž.grad. (ZAG) Matej Lenarčič, dipl.inž.grad. (zunanji sodelavec ZAG) dr. Boris Azinovič, univ.dipl.inž.grad. (ZAG) Tomaž Krištof, univ. dipl. inž. arh. (Studio Krištof) Gpela Zore, univ. dipl. inž. arh. (Studio Krištof) Andraž Hrovat, abs. arh. (Studio Krištof) Taja Dehman, mag. inž. arh. (Studio Krištof) prof. dr. Matija Svetina (UL, Filozofska fakulteta) zasl. prof. dr. Marko Polič (UL, Filozofska fakulteta) doc. dr. Boštjan Bajec (UL, Filozofska fakulteta)

Vodja projekta:

mag. Marjana Lutman, univ.dipl.inž.grad.

Zavod za gradbeništvo Slovenije

Direktor:

doc.dr. Alež Hnidarič, univ.dipl.inž.grad.

Studio Krištof arhitekti, d.o.o.

Direktor:

Tomaž Krištof, univ.dipl.inž.arh.

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta

Dekan:

red.prof.dr. Roman Kuhar

Ljubljana, oktober 2019

ZAHVALA

Izvajalci študije se posebej zahvaljujemo vsem lastnikom, ki so nam in našim sodelavcem dovolili dostop do svojih stanovanj da smo lahko opravili pregled in odvzeli vzorce opeke, malte in betona, ter za tiste, ki so ga namenili za sodelovanje v anketah, fokusnih skupinah in pri drugih srečanjih, ki smo jih izvajali v okviru priprave študije. Opravičujemo se za morebitne neugodnosti in verjamemo, da bo tisti in trud vložen v to študijo pripomogel v višji potresni varnosti prebivalcev teh in tudi drugih potresno ogroženih stavb v Ljubljani. Zahvaljujemo se tudi Mestni občini Ljubljane za pobudo pri urejanju varnosti stanovalcev potresno ogroženih stavb v MOL in pripravljenost, da se ta problem začne reševati.

Vsebina

Zahvala

1. Uvod	5
2. Obstoječe stanje	6
2.1 Zgodovinski podatki, arhitektura, pomen za mesto	6
2.2 Nosilna konstrukcija in potresna odpornost stolpnice	7
2.3 Pošarna zaščita	9
3. Odnos lastnikov do reševanja potresne ogroženosti	10
4. Rešitve za ustrezno potresno odpornost	11
4.1 Utrditev nosilne konstrukcije in temeljenja	11
4.2 Arhitekturne rešitve	13
4.3 Izboljšanje pošarne zaščite	14
4.4 Naravna osvetljenost prostorov	15
4.5 Energijska učinkovitost	15
4.6 Ocena stroškov	16
5. Grafiki na prilogi - tabela	17
6. Povzetki in priporočila	18
7. Seznam izdelanih zaključnih poročil in drugih dokumentov za stolpnice tipa A	19

1. Uvod

Slovenija je potresom izpostavljena bolj kot večina evropskih držav. Na pretehnem delu naše države lahko v povratni dobi 475 let pričakujemo potrese z intenziteto VII EMS ali več. V girgem ljubljanskem območju, ki je obenem najgostejše naseljeno, pa lahko pričakujemo najmojnejše potrese, z intenziteto VIII EMS.

Uinkovito in edino zanesljivo zažitopred potresi zagotavljajo potresno odporni objekti, ki jo v fazi projektiranja in izvedbe zagotavlja upogtevanje ustreznih tehničnih predpisov. Medtem ko imamo danes znanje in predpise za projektiranje in gradnjo potresno odpornih objektov, ki morajo njihovim prebivalcem in uporabnikom v primeru potresa zagotoviti varovanje njihovih življenj, tega ne moremo trditi za objekte, zgrajene pred uvedbo prvih predpisov. V Sloveniji je bila to Odredba iz leta 1963, sprejeta tik pred katastrofalnim potresom v Skopju v Makedoniji. Po tej prelomnici je bil leta 1964 sprejet prvi Pravilnik, po katastrofalnih potresih v Banja Luki, Furlaniji in Lrni Gori pa je drugi Pravilnik iz leta 1981 vključil nova spoznanja stroke. Od leta 2008 je v Sloveniji v obvezni uporabi evropski standard Evrokod 8. Uporablja se skupaj s Karto potresne nevarnosti Slovenije iz leta 2002, ki za posamezna območja določa projektni pospešek tal. Njegova vrednost se giblje med 10% in 25% pospeška prostega pada, najvišjo vrednost pa dosega prav v Ljubljani in njeni okolici.

Med potresno najbolj ranljivimi objekti so predvsem tisti, ki so bili grajeni pred uvedbo potresnih predpisov. To so mnoge večetažne stanovanjske stavbe z zidano nosilno konstrukcijo, večina od njih ima do štiri nadstropja. Znatno preboj nad to višino se je v slovenski prestolnici odvil v obdobju med letoma 1959 in 1965, ko so zgradili petnajst stolpnic, ki imajo od 9 do 12 nadstropij. Zgrajene so po treh tipskih načrtih, med njimi je bil pri enem uporabljen nov polmontažni sistem gradnje. Tipi so različni predvsem po vrsti navpične konstrukcije, ki je ključna za prevzem vodoravnih potresnih sil in prenos teh sil v temeljna tla. Da obravnavanih 15 stolpnic v Ljubljani sodi v skupino potresno najbolj ranljivih so pokazale tudi primerjalne študije potresne odpornosti večjega števila stavb. Po Evropski potresni lestvici se uvrščajo v najvišji razred ranljivosti - razred A, za katerega se pri potresu intenzitete VIII ocenjuje 10%-na verjetnost porušitve in 30%-na verjetnost zelo hude poškodovanosti.

Zato smo v pričujočem projektu opravili poglobljeno interdisciplinarno raziskavo, v okviru katere smo najprej opravili pregled in preiskave gradiv iz obravnavanih stolpnic, izdelali analize potresne odpornosti, ki jo imajo stolpnice v obstoječem stanju, nato pa za vsakega od treh tipov A, B in C zasnovali in analizirali po dva različna načina za povečanje potresne odpornosti. Tisti način, ki se je izkazal kot močna rešitev oziroma dosego zahtevane potresne odpornosti smo nadgradili z arhitekturo in sklopom ukrepov za izboljšanje požarne zažitosti. Za primerjavo in kot priporočljivo alternativo smo analizirali tudi nadomestitev stolpnic z novimi. V okviru projekta smo opravili tudi psihološko raziskavo v kateri smo ugotavljali poglede lastnikov stanovanj na potresno ogroženosti, sprejemljivost različnih gradbenih in drugih ukrepov za zagotavljanje večje potresne varnosti, ter pričakovanja glede močne sanacije, zaupanje v institucije in njihovo pripravljenost za sodelovanje pri posegih.

V tem poročilu so predstavljeni povzetki za stolpnice tipa A.

2. Obstoječe stanje

2.1 Zgodovinski podatki, arhitektura, pomen za mesto

Malo pred oziroma tik po uvedbi prvih predpisov, ki so po 2. svetovni vojni na območju Slovenije prišli regulirati projektiranje in gradnjo potresno odpornih objektov visoke gradnje (leta 1963), je bilo v Ljubljani v obdobju med 1959 in 1965 projektiranih oziroma zgrajenih petnajst stolpnic, ki zaradi svoje višine (od 9 do 12 nadstropij) in vrste navpične konstrukcije (zidovi oziroma betonske stene so v nadstropjih brez armature) sodijo med potresno najbolj ogrožene stavbe v Ljubljani. Glede na vrsto navpične konstrukcije so stolpnice razvržene v tipe A, B in C.

Stolpnice tipa A so bile postavljene med letih 1959 in 1961. Obsegajo osem stolpnic, postavljenih v dveh naseljih tik pod Grajskim hribom: prvo naselje s petimi stolpnicami leži med Roško, Streliško in Hudovernikovo ulico (Roške stolpnice), drugo s tremi pa v nadaljevanju Streliške ulice, pred koncem ulice in predorom pod gradom (Streliške stolpnice).

Stolpnice imajo 10 nadstropij nad pritličjem in dodatno terasno etažo s servisnimi prostori, v podzemnem delu pa eno klet, dve izmed njih pa dve kleti. Po štiri stanovanja na nadstropje so organizirana okrog centralnega vertikalnega jedra z odprtim stopniščem in enim samim dvigalom. Stanovanja so medsebojno simetrična, dve izmed njih imata po eno dodatno sobo v podaljšku vertikalnega jedra. Samo po eno stanovanje v vsakem nadstropju ima balkon, ostala so brez zunanjih površin.

Arhitekta stolpnic sta Milan Mihelič in Ilija Arnautovič, ki sta približno istočasno načrtovala tudi stolpnice Savskega naselja ob Linhartovi ulici z enako zasnovo. Posebnost tlorisov je sanitarni vozec s kuhinjo in kopalnico, ki je pomaknjen na sredino stanovanja. Okoli sanitarnega vozca teče krofna pot, ki povezuje bivalne prostore, s čimer relativno majhna stanovanja pridobijo na občutku prostornosti. Postavitev sanitarnega jedra v sredino stanovanja in s tem izgubo možnosti naravnega prezračevanja je omogočila tehnična inovacija: novi tip instalacijskega jačka z vključenimi ventilacijskimi tuljavami, ki ga je zasnoval inženir Likar (vir: www.arhitektturni-vodnik.org). Stolpnice so bile načrtovane v okviru Projektivnega biroja Gradbenega industrijskega podjetja Obnova (GIP Obnova), tloris s centralnim sanitarnim vozcom sta arhitekta zasnovala že leta 1955 in prvič predstavila na razstavi »Stan za naše potrebe« v Ljubljani leto kasneje.

Podoba stolpnic je podrejena tlorisu, namembnost prostorov za posameznimi okenskimi odprtinami je posledično enostavno sledljiva navzven. Močno poudarjeni so vertikalni elementi fasade: pasovi jedilnih kotov, pasovi lohi (balkonov) in pasovi oken. Polni zidovi med njimi so ometani, roške stolpnice so barvane v tople barve rumenkastih tonov, stolpnice ob Streliški pa v nevtralne svetlo sive barve. Ankete med stanovalci stolpnic (nanašajo se sicer na stolpnice vseh treh tipov) so pokazale, da so stanovalci z zunanjo podobo zadovoljni precej manj kot pa s tlorisno razporeditvijo prostorov. Podoba stolpnic ima danes tudi med arhitekti konotacijo sive socialistične arhitekture, medtem ko zasnova naselja in tlorisna zasnova stanovanj že vedno veljata za zelo uspešni in kvalitetni.

2.2 Nosilna konstrukcija in potresna odpornost stolpnic

Za **osem stolpnic tipa A**, ki se nahajajo med Streliško ulico in Roško cesto, je znal ilno, da imajo nad pritli ljem 10 nadstropij, nosilne stene v nadstropjih pa so grajene iz polnih ope l nih zidakov normalnega formata. Glede na l as projektiranja in zgraditve ter dolo l ene razlike v pogojih temeljenja in lastnostih konstrukcije so stolpnice razvr l ene v podtipa A1 (Hudovernikova ulica 2, 4, 8, 13 in Streliška ulica 37a) in A2 (Streliška ulica 1, 3, 5).

Iz ope l nega zidovja smo odvzeli in v laboratoriju s preiskavami ocenili tla l no trdnost skupno 9 vzorcev iz zidakov in 9 vzorcev malte. Za tri vzorce iz zidakov najvi l jega trdnostnega razreda (MO20) je ocenjena trdnost manj l ja od projektne trdnosti ($15.0 \text{ MPa} < 20 \text{ MPa}$). Za srednji in ni l ji trdnostni razred sta ocenjeni tla l ni trdnosti vzorcev vel j i od projektnih trdnosti (MO15: $15.8 \text{ MPa} > 15.0 \text{ MPa}$; MO11: $29.2 \text{ MPa} > 11 \text{ MPa}$). Pri maltah pa so s preiskavami ocenjene tla l ne trdnosti v sorazmerju z vrsto malte in pril j akovanih vrednosti.



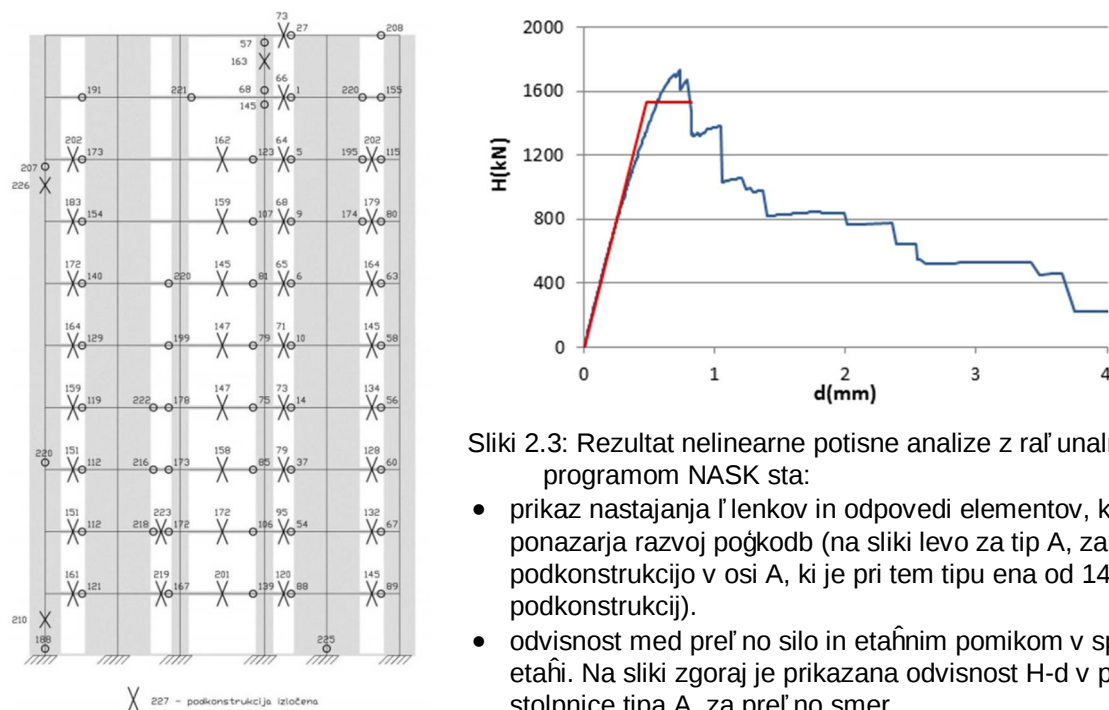
Slike 2.1. Tip A: ena od stolpnic (levo), odvzem vzorcev opeke in malte (sredina) in tla l ni preskus vzorca malte (desno).

Geomehanski pregled smo izvedli na lokacijah vseh osmih stolpnic, v obmo l ju stolpnic podtipa A2 pa tudi dve geolo l ko-geomehanski vrtini. Na tej osnovi smo ocenili tipe tal in nosilnosti temeljnih tal oz. dopustne napetosti. Ob upo l gtevanju podatkov iz projekta je analiza mejnega stanja nosilnosti pokazala, da so pri vseh stolpnicah podtipa A1 ocenjeni tlaki pod temelji, ki so posledica same navpi l ne obte l bne, manj l ji od dopustnih napetosti. Pri podtipu A2 pa projektna obremenitev posameznega vodnjaka presega projektno odpornost. Okoli vseh treh stolpnic podtipa A2 je opazno posedanje tal, ki je najverjetnej l ji vzrok za vel j e l tevilo razpok, ki jih zabele l hili na nosilni konstrukciji v kleti in pritli l ju.



Slike 2.2: Geološko-geomehansko vrtnje (levo), del jedra, odvzetega iz vrtine (sredina) in opažene razpoke (desno).

Potresno odpornost, ki jo imajo **stolpnice tipa A v obstojel'em stanju**, smo analizirali ob upoštevanju lastnosti gradiv, ocenjenih na podlagi opravljenih preiskav, in podatkov iz projektov za izgradnjo stolpnice. Pri tipu A smo analizirali stolpnico osnovnega podtipa A1, pri čemer ocenjujemo, da rezultati in ugotovitve ne bi bili bistveno drugačni pri podtipu A2. Na razlike pa bi poleg tega vplivala morebitna odstopanja v lastnostih gradiv.



Sliki 2.3: Rezultat nelinearne potisne analize z računalniškim programom NASK sta:

- prikaz nastajanja l'lenkov in odpovedi elementov, kar ponazarja razvoj poškodb (na sliki levo za tip A, za podkonstrukcijo v osi A, ki je pri tem tipu ena od 14 podkonstrukcij).
- odvisnost med prelo no silo in etafnim pomikom v spodnji etañi. Na sliki zgoraj je prikazana odvisnost H-d v pritlil'ju stolpnice tipa A, za prelo no smer.

Na računalniškem modelu konstrukcije stolpnice tipa A smo opravili nelinearno potisno analizo za vzdolžno in prelo no tlorsno smer. Mehanizmi obnañanja konstrukcij pri potresu, ki opisujejo nastanek in razvoj poškodb, so se vel' inoma izkazali kot ugodni. Nizka nosilnost elementov konstrukcije pa je ključni vzrok, da je potresna odpornost stolpnice vseh treh tipov prenizka,

bistveno niñja, kot zahteva obvezni standard Evrokod 8. Stopnice tipa A imajo v obstoječem stanju le 9.6% predpisane potresne odpornosti.

2.3 Poñarna zañlita

Posamezna stolpnica arhitekturno zajema: eno oziroma dve kleti, pritliñ je, 9-12 stanovanjskih nadstropij in teraso. Tipiñ en tloris nadzemnega dela vseh stolpnic je podoben; sestavljen je iz ãtirih/petih stanovanj in centralnega stopniñla s hodnikom, dvigali in inñtalacijskimi jañki. Podzemni del stolpnic ima eno klet (ñest stolpnic tipa A), oziroma dve kleti (dve stolpnici tipa A). V podzemnem delu so servisni prostori (trafo postaja, vodni hidtoforji, plinski ventili in ãtevc) in shrambe stanovanj.

V okviru naloge smo analizirali naslednje bistvene parametre poñarne zañlite obstojeñih stolpnic:

1. poñarno odpornost nosilne konstrukcije,
2. razdeljenost stolpnic na poñarne sektorje s poñarno odpornim obodom,
3. onemogoñenost ãirjenja poñara tako po zunanosti kot po notranosti stavbe,
4. omogoñenost evakuaciji prisotnih,
5. omogoñanju hitrega gañenja zaletnega poñara in
6. hitri in uñinkoviti akciji gasilcev.

Ugotovili smo, da so stopniñla "odprta", brez predprostorov, oziroma se do stanovanj dostopa neposredno iz stopniñla ñ hodnika (neizpolnjevanje bistvenih parametrov od 2 do 6). Ker vhodna vrata v stanovanja in servisne prostore v kleti niso poñarna in niso opremljena s samozapirali, posamezna stanovanja ne delujejo kot poñarni sektorji proti stopniñlu (neizpolnjevanje bistvenih parametrov od 2 do 6); s tem so neposredno ogroñena stanovanja v posameznih etañah in stopniñle samo. Obstojeñi parapeti, francoski balkoni in balkoni v nekaterih primerih dopuñajo nekontroliran prenos poñara iz etañe v etaño. Zato bistveni parametri od 1 do 3 niso izpolnjeni. Vse stolpnice so zgrajene v oñjem mestnem srediñlu, kjer dostopne in dovozne poti za gasilce ter delovne in postavitvene povrñine za gasilska vozila niso vzpostavljene, zato uñinkovito posredovanje gasilske brigade ni moglo e.

Za vsakega od treh tipov stolpnic (A, B in C) so bili poñarna odpornost in ostali elementi poñarne zañlite obravnavani za primer nadomestitve stolpnic z novimi in za tisto razliñico utrditve, za katero je analiza konstrukcije pokazala moñnost doseganja zahtevane potresne odpornosti po veljavnih predpisih Evrokod 8.

3. Odnos lastnikov do regevanja potresne ogroženosti

Izhajajoč iz ocene potresne varnosti stavb v Ljubljani iz leta 2015 in aktivnosti dela stanovalcev ogroženih stolpnic, je MOL leta 2018 razpisala študijo, ki naj bi odgovorila na vpražanja njihove potresne ogroženosti in moñnih regejev z vidika razliñ nih strok, gradbene, arhitekturne in psihološke. Priñ ujoñ e poroñ ilo zajema psihološki del te raziskave. Ocenjevali smo staligñ a lastnikov izbranih stolpnic glede njihovega zaznavanja potresne ogroženosti, sprejemljivosti razliñ nih gradbenih in drugih ukrepov ter priñ akovanja stanovalcev glede moñne sanacije, zaupanja v institucije in njihove pripravljenosti za sodelovanje. V okviru raziskave smo izvedli anketo in tri fokusne skupine. K sodelovanju v anketi so bili povabljeni lastniki vseh stanovanjskih enot, odzvalo pa se jih je 193, kar predstavlja 29 % ciljne populacije.

Rezultati so pokazali, da okrog polovico lastnikov precej ali zelo skrbi potresna varnost njihovih stolpnic. Okrog 80 % lastnikov podpira gradbene ukrepe za sanacijo njihovih stavb in menijo, da bi bilo treba z ukrepi zañ eti hitro. Pripravljenost na sanacijo, tudi finanñ no participacijo, je odvisna od vrste dejavnikov, npr. obsega del, priñ akovanih strokov, starosti lastnikov, l'asovnih in finanñ nih shem sanacije. Okrog 15 do 20 % vpražanih lastnikov je proti gradbenim posegom v njihovo stolpnico; ti lastniki ne bi bili pripravljeni prenağati gradbenih del ali se zañ asno preseliti in bi tudi nasprotovali velñ inskim odloñ itvam solastnikov glede velñ jih gradbenih posegov na stolpnici. Med razlogi proti sanaciji navajajo predvsem finanñ na vpražanja in neprijetnosti povezane z gradbenimi deli. Podatki ankete so pokazali, da je zaupanje v (gradbeno) stroko viğje kot do MOL, približno l'etrina stanovalcev je glede projekta sanacije stolpnic do MOL nezaupljiva. Študija je pokazala tudi na pomanjkljivosti v komunikaciji med stanovalci in MOL. Dve tretjini lastnikov meni, da so bili premalo in preslabo obveğñ eni o projektu. Podatki kañejo, da bi bilo treba informacijske in komunikacijske kanale med stanovalci in MOL v nadaljevanju projekta spremeniti, stanovalcem predstaviti jasne finanñ ne, l'asovne in organizacijske okvire moñne sanacije ter, kar se tiñ e izvedbe projekta, tudi okrepiti zaupanje lastnikov do MOL.

4. Rečitve za ustrezno potresno odpornost

4.1 Utrditev nosilne konstrukcije in temeljenja

Za vse tri tipe stolpnic (A, B, C) smo zasnovali dva na'ina utrditve nosilne konstrukcije, ki smo ju ocenili za primerna za pove'anje potresne odpornosti stolpnic. Čele na podlagi rezultatov pa smo lahko ugotovili, ali je pove'anje potresne odpornosti stolpnic zadostno za doseg zahtev veljavnih predpisov Evrokod 8.

T.i. **notranja utrditev** je prvi na'in utrditve, ki smo ga analizirali. Pri tem na'inu se vsi nosilni zidovi oziroma vse betonske stene in nosilni parapeti utrdijo z obojestranskimi armiranimi oblogami.

Armirane obloge bi bile lahko v primeru stolpnic tipa A izvedene na dva na'ina: a) kot obloge iz jeklenih armaturnih mrež in brizganega cementnega ometa, ali b) kot obloge iz mrež iz steklenih vlaken v polimerni matrici (GFRP), vgrajenih v sloju malte visoke trdnosti. Analiza tako utrjene nosilne konstrukcije je pokazala, da bi se potresna odpornost stolpnic tipa A od obstojel'ega stanja pove'ala za 85%, kar pa že zdaleč ne bi zadoğ'alo zahtevam Evrokod 8. Tako utrjene stolpnice tipa A bi lahko dosegle 18.9% zahtevane potresne odpornosti.

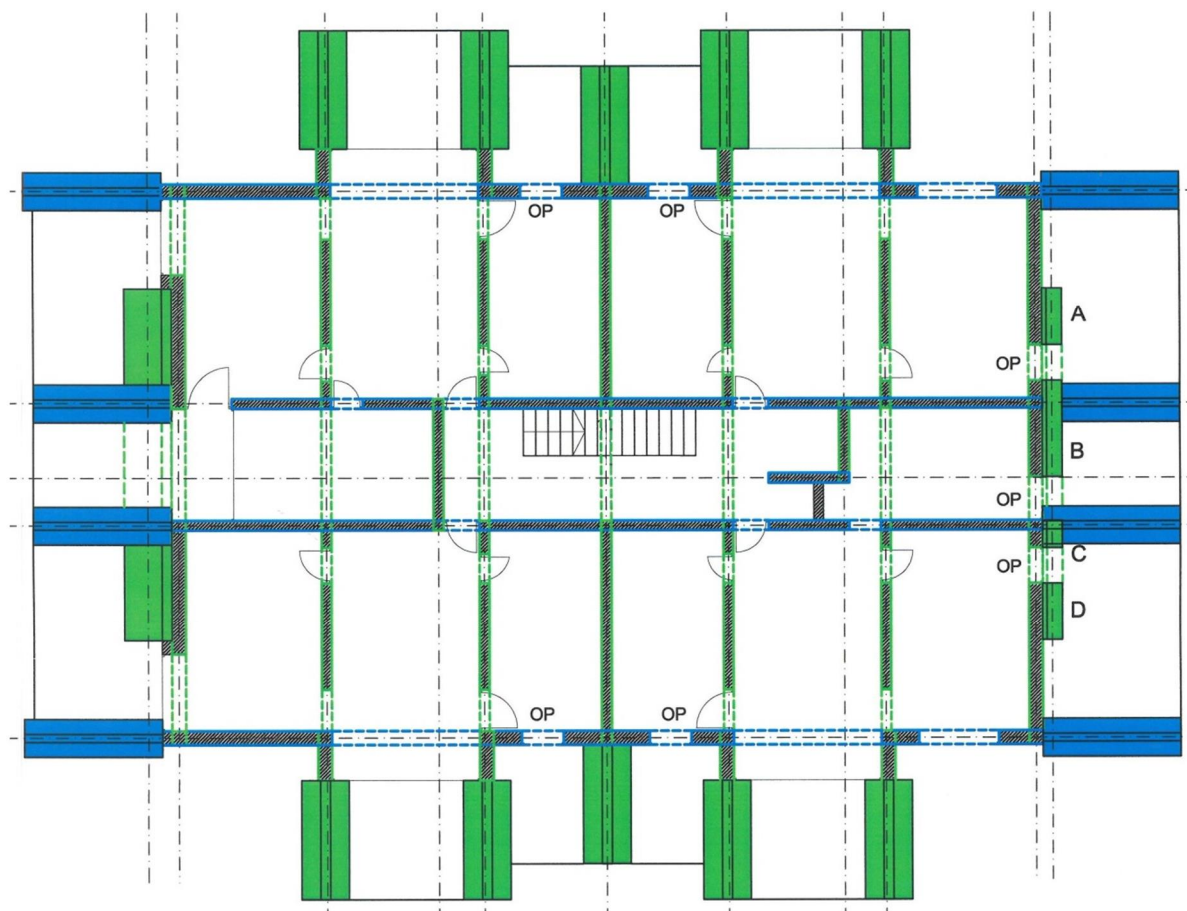
T.i. **zunanja utrditev** je drugi na'in utrditve, ki smo ga analizirali. Pri tem na'inu obstojel' o konstrukcijo togo povečemo z novo konstrukcijo, ki se nahaja na obodu obstojel'ega tlorisa. Nova konstrukcija je sestavljena iz armiranobetonskih sten, katerih debelina se z višino stolpnice zmanjšuje. Togo povezavo med novo obodno in obstojel' o notranjo konstrukcijo bi omogoč'ala sidra ali drugi ustrezni vezni elementi. Obstojel'e a.b. ploč'e bi bilo potrebno vzdolž vseh stikov povezati z novimi medetañnimi konstrukcijami oziroma a.b. stenami v obodu. Obstojel'e zidove oziroma stene pa bi bilo potrebno povezati z novimi a.b. stenami vzdolž vseh navpič' nih stikov po celotni višini stolpnice. Poleg nove a.b. konstrukcije na obodu bi bilo potrebno pri stolpnicah tipa A utrditi obstojel'e betonske stene v kletih in pritlič'ju, in sicer z obojestranskimi armiranobetonskimi oblogami.

Analize stolpnice tipa A so pokazale, da bi z zunanjo utrditvijo lahko dosegli zahteve Evrokod 8. Pri zadnji od analiziranih različ'ic (sliki 4.1 in 4.2) bi bila nova a.b. konstrukcija dovolj toga, da bi lahko prevzela 98% potresne obteñbe, predpisane z obveznim standardom Evrokod 8, vodoravni pomiki pa pri tem ne bi presegli meje, ki jo obstojel'a konstrukcija stolpnice že lahko prenese.

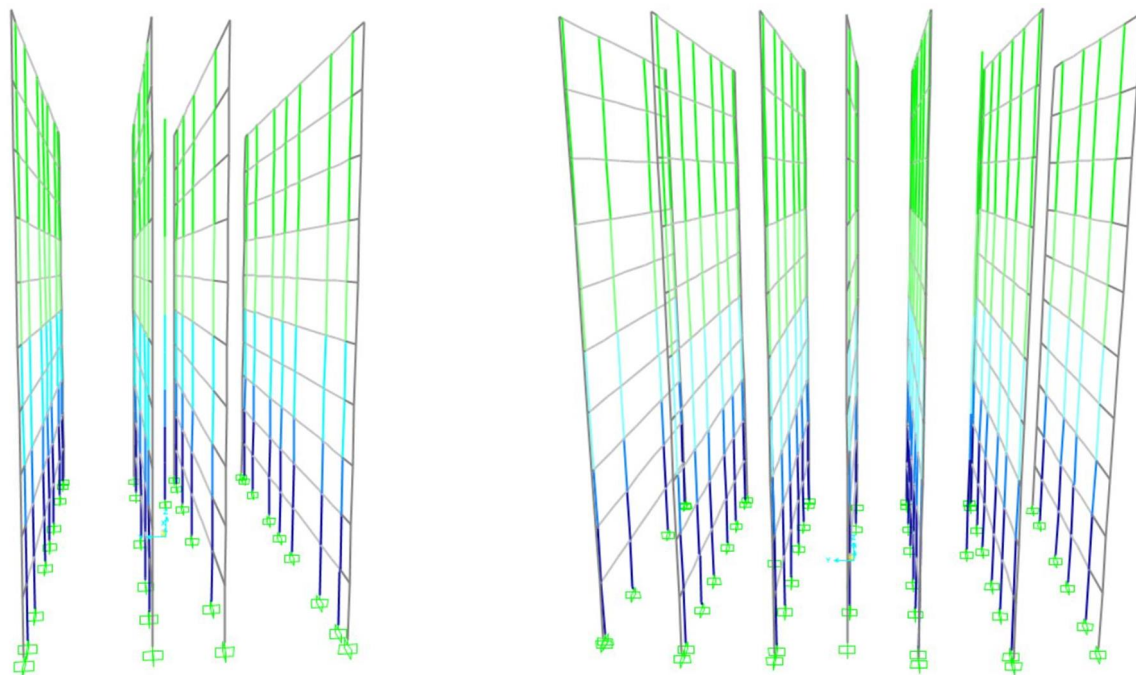
Stolpnicam tipa A bi predpisano potresno odpornost glede na rezultate analiz lahko zagotovili:

- t.i. zunanja utrditev (nove konstrukcije iz a.b. sten na novih temeljih na obodu), ki je prikazana na slikah 4.1 in 4.3, utrditev obstojel'ih betonskih sten v kletih in pritlič'ju z a.b. oblogami in utrditev obstojel'ih temeljev [A.3, A.6], ali
- nadomestitev stolpnic z novimi.

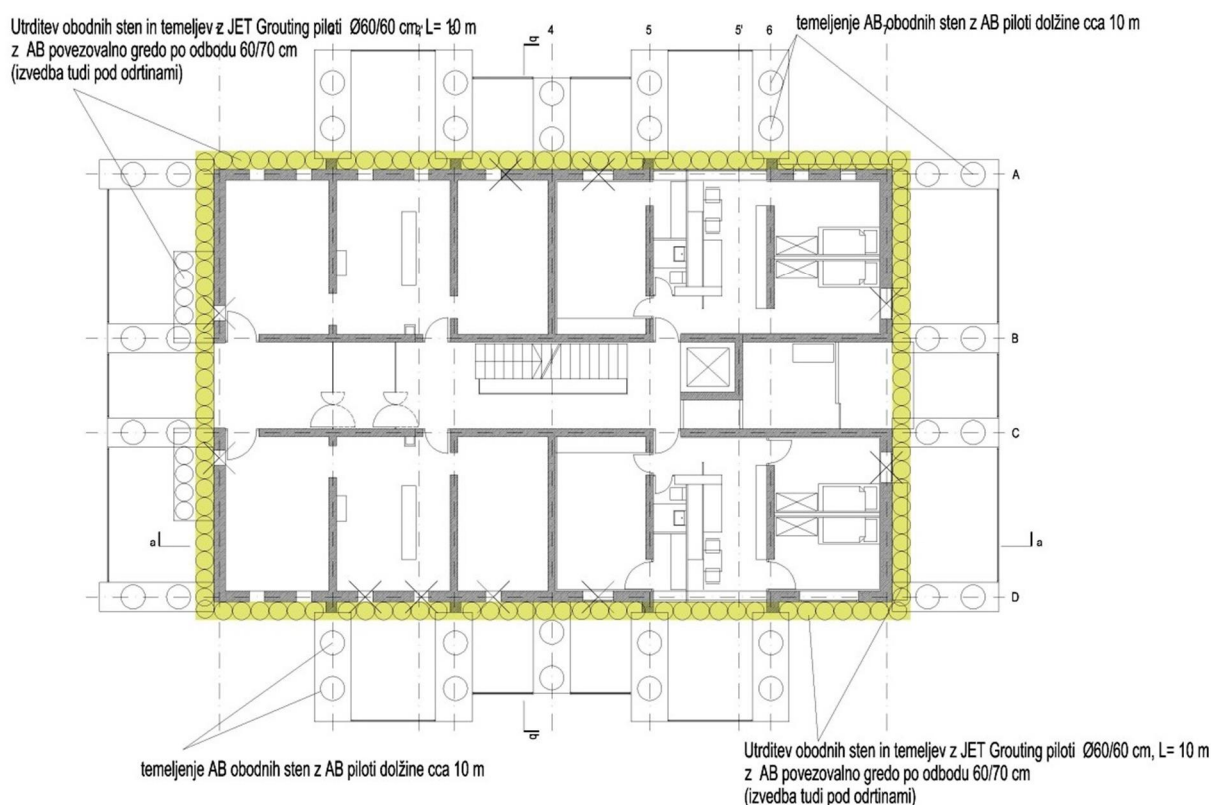
Izhodišča za projektiranje novih stolpnic so podana v osnovnih poroč'ilih za posamezne tipe stolpnic.



Slika 4.1: Tip A, tloris rekonstruirane obstoječe stolpnice in novih a.b. sten v obodu
- zadnja analizirana različica (OP: odstranjen parapet).



Slika 4.2: Tip A, model celotne konstrukcije - obstoječe in nove v obodu (računalniški program SAP 2000);
barve stebrov od modre do zelene ponazarjajo trdnosti zidovja, s sivo so nove a.b. stene v obodu
(leva slika: okviri v vzdolžni smeri, desna slika: okviri v prečni smeri).



Slika 4.3: Tip A, shema utrditve obstoječega temeljenja in novih temeljev pod a.b. stenami v obodu.

Pri **stolpnicah tipa A** bi bilo v primeru, da bi se lastniki odločili za utrditev stolpnic, v okviru projektiranja potrebno storiti sledeče:

- detajlni pregled in preiskave konkretne stolpnice, vključno z geomehanskimi raziskavami,
- preiskave vgrajenih gradiv vseh tipov (opel' njih zidaki, malta, beton iz sten in a.b. pločl) in vseh trdnostnih razredov v obsegu, ki ga predpisuje veljavni standard Evrokod 8 - 3. del,
- analizo potresne odpornosti projektirane stolpnice, z vsemi ugotovljenimi lastnostmi in posebnosti, s katerimi konkretna stolpnica odstopa od tipa, analiziranega v tem projektu,

nato pa pristopiti k projektiranju. V okviru projektiranja bo potrebno najprej optimizirati utrditvene posege, ki so pri tipu A predvsem debeline novih a.b. sten, in sicer na podlagi rezultatov zgoraj navedenih pregleda, preiskav, analiz in izhodišč, podanih v osnovnih poročilih [A.3], izhodišč a za utrditev temeljnih konstrukcij pa v [A.6].

4.2 Arhitekturne rešitve

Analiza potresne odpornosti je pokazala, da sta za stolpnice tipa A smiselni samo zunanja utrditev in nadomestna novogradnja, z notranjo utrditvijo pa se ne doseže zadostnega izboljšanja potresne varnosti. Zato smo v nadaljevanju obravnavali samo rešitvi z zunanjo utrditvijo in nadomestno novogradnjo.

Zunanja utrditev predstavlja obodno dozidavo, ki obstoječe bloke guri v vse smeri za približno 3.5 m. Osnovo te dozidave predstavljajo močne armiranobetonske stene, katerih naloga je prevzeti horizontalne obtežbe obstoječega objekta v primeru potresa. Postavljene so pravokotno na fasado (delno tudi ob fasadi), v podaljčku notranjih nosilnih sten

obstojelega objekta, v pritliju so debele do 1.20 m, z vsakim nadstropjem pa se nekoliko stanjšajo.

V l'asu gradnje bodo lahko stanovalci že naprej uporabljali svoja stanovanja, seveda z doloenimi omejitvami, s l'emer je ta reitev edina izmed obravnavanih, ki ne vkljuuje zaasne izselitve stanovalcev. Izjema sta dve stanovanji v pritliju n obstojele stene v pritliju in kleti bo tudi pri zunanji utrditvi potrebno obbetonirati na podoben na'in, kot je opisan pri reitvi z notranjo utrditvijo.

Z obodno dozidavo se površina obstojeih stanovanj povea za 30 do 40 m², ki jih je po potrebah in eljah lastnikov stanovanj moño izvesti kot notranji (dodatna soba) ali kot zunanji prostor (balkon oziroma loha), potek toplotne izolacije pa je predviden na na'in, ki lastnikom stanovanj omogoa tudi enostavno naknadno predelavo zunanje lohe v notranji ogrevan prostor. Deli obodne prizidave, ki se izvedejo kot notranji prostori, imajo pred fasado dodaten ozek balkon, katerega ograja iz kaljenega stekla predstavlja tudi poarno zaig'ito pred prenosom poara iz nihega nadstropja (tol'ka 4.3).

Nadomestne novogradnje ohranjajo urbanistil'no umestitev stolpnice in njihove osnovne lastnosti: gtevilo nadstropij, gtevilo stanovanj in njihovo razporeditev. Nove stolpnice bodo torej tudi v primeru nadomestne novogradnje postavljene na istih mestih kot obstojele stavbe, kar pomeni, da jih bo potrebno najprej porugiti in potem graditi na novo, stanovalci pa bodo ves ta l'as morali iveti na nadomestnih lokacijah.

Preizkuena je bila tudi moñnost, da novogradnja ni na istem mestu, pri l'emer bi med gradnjo nove stavbe stanovalci že naprej iveli v stari, po zaklju ku gradnje bi se preselili in gele potem bi porugili staro stavbo. Takna reitev bi zmanjgala stroške nadomestnih stanovanj in dodatnih selitev, vendar pa iz urbanistil'nih razlogov ni moña - za dodatne stolpnice v naseljih ni prostora. Moñnost, da bi novogradnja bila povsem druga nega tipa, kot so obstojele stolpnice, na primer ena sama stavba v obliki daljge lamele, ki bi nadomestila vsa stanovanja v treh ali petih blokih naselja, ni bila obravnavana.

Pri na'rtovanju novih stanovanj je bilo glavno vodilo zadovoljstvo lastnikov s funkcionalno razporeditvijo prostorov in elja, da se ohrani njihova tlorisna zasnova. Obstojei tlorisi so bili modificirani na na'in, da ustrezajo danañnjim standardom. Stolpnice so se posledil'no tlorisno nekoliko poveale. V na'rtovanju podobe nadomestne gradnje je bila elja narediti vizualno sodoben objekt, ki zgolj v doloenih detajlih ohranja reminiscenco na star objekt.

4.3 Izboljganje poarne zaig'ite

Poleg ukrepov za protipotresno utrditev smo v projektu izdelali predlog ukrepov za izboljganje poarne odpornosti konstrukcije in izboljganje ostalih elementov poarne zaig'ite.

Obravnavane stolpnice so bile stolpnice zgrajene pred približno gestdesetimi leti, ko niso veljali danes aktualni predpisi, danes pa v poarnem smislu sodijo med visoke objekte. Poarna definicija visokega objekta je relativna viinska kota zadnje pohodne namenske etahe +21 m. Zahteve za visoke objekte so strojje kot za "obil'ajne" objekte, zato so obravnavane stolpnice v poarnem smislu relativno zelo ranljive stavbe.

Bistveni parametri poarne zaig'ite, ki smo jih analizirali za obstojele stanje stolpnice (tol'ka 2.3) predstavljajo tudi cilje, ki smo jih zasledovali pri oblikovanju ukrepov pasivne in aktivne poarne varnosti v primeru utrditve stolpnice oziroma nadomestitve stolpnice z novimi. Predlogi protipoarnih ukrepov so podrobneje opisani v osnovnem poroilu [A.7].

Za primere ohranitve in utrditve stolpnic smo nabor ukrepov pasivne in aktivne požarne zaščite predlagali tako, da se obstoječe stanje požarne zaščite ne bi poslabšalo oziroma bi se stanje s čim manj invazivni ukrepi izboljšalo. To je v smislu veljavne zakonodaje (Tehnična smernica: Požarna varnost v stavbah). Pri oblikovanju ukrepov smo izhajali iz arhitekturnih danosti in rešitev (tlorisi), ki so prilagojeni ukrepom za protipotresno utrditev stolpnic posameznega tipa.

Za primer nadomestitve stolpnic z novimi pa bo potrebno poleg osnovnih izvesti tudi dopolnilne ukrepe. Nove stolpnice bodo morale biti zgrajene po veljavnih predpisih za visoke stavbe, z relativno koto zadnje etaže nad 21 m, z uporabo nemške smernice: Muster-Richtlinie über den Bau und Betrieb von Hochhäusern (MHHR). Pri tem želimo poudariti, da bo požarna varnost pri novih stolpnicah večja, kot jo je mogoče zagotoviti z ukrepi požarne zaščite pri utrjenih stolpnicah, seveda pa tudi bistveno večja kot jo imajo stolpnice v obstoječem stanju.

4.4 Naravna osvetljenost prostorov

Naravna osvetljenost notranjih prostorov je v obstoječem stanju zadostna, čeprav stolpnice niso tako radodarne z okenskimi površinami, kot je to v navadi v sodobni gradnji in kot bi se doseglo tudi z nadomestno novogradnjo. Posebno situacijo pa bi glede naravne osvetljenosti predstavljala zunanja utrditev z obodno dozidavo, ki obstoječe prostore postavlja približno 3.5 m v notranjost. Obstoječi prostori, ki jih obodna dozidava zakrije, so tako rekoč v temi, zato je za doseganje ugodnih bivalnih pogojev skoraj nujno, da se ti prostori prestavijo ali razširijo v obodno dozidavo, kjer je svetlobe dovolj.

Osvetljenost merimo s t.i. količnikom dnevne svetlobe. Priporočila, ki sicer ne veljajo kot obveza, so podana glede na tip prostora (dnevna soba, spalnica, soba, jedilni kot) in glede na točko meritve (na sredini ali na temnejšem robu prostora). Za potrebe te študije smo opravili analizo celote z dodatno meritvijo vrednosti naravne osvetlitve na sredini obodnih prostorov stanovanj. Za sredino dnevne sobe velja optimalna osvetlitev med 2% in 7% KDS (količnik dnevne svetlobe), več kot 7% predstavlja bleščenje, ki potrebuje dodatna senčila, manj kot 2% pa pomanjkanje svetlobe, zaradi katerega je potrebna dodatna umetna osvetlitev prostorov.

V stolpnicah tipa A imajo obstoječe dnevne sobe več kot 4% KDS, z zunanjo utrditvijo ta vrednost pri tistih dnevni sobah, ki jim obodna pozidava zakrije edino okno, pade pod 1% KDS, zato pa imajo prostori v obodni pozidavi več kot zadosti dnevne svetlobe (celo nad 20% KDS). Nadomestne novogradnje bi imele zadostno naravno osvetljenost, v dnevni prostorih med 5% in 7% KDS, mestoma celo več.

4.5 Energijska učinkovitost

O energetske učinkovitosti obstoječih stolpnic tipa A sklepamo iz energetske izkaznice, ki je na voljo za stolpnico na naslovu Streliška 1. Izkaznica kaže, da stolpnica dosega razred D, s potrebno toploto za ogrevanje 97 kWh/m²a. Danes je za novogradnje zahtevano doseganje 23 kWh/m²a potrebne toplote za ogrevanje (razred B1), kar bi morale zagotavljati tudi nadomestne novogradnje. Posebni izračuni za nadomestne novogradnje zato niso bili narejeni, saj vrednost določa že pravilnik (PURES). Rešitev z zunanjo utrditvijo se tej vrednosti precej približa in na 29 kWh/m²a. Lahko torej računamo, da se bo ob odločitvi za

utrditev ali novogradnjo toplota, potrebna za ogrevanje stanovanj, precej zmanjšala (na 25 do 30% sedanje vrednosti).

4.6 Ocena stroškov

Ocena stroškov je bila za vsako varianto protipotresne utrditve narejena na podlagi ocene stroškov izvedbe gradenj (ručitvena dela, gradbena, inštalacijska in obrtniška dela), eksternih stroškov (izdelava projektne dokumentacije, komunalni prispevek, itd) in dodatnih stroškov stanovalcev, povezanih s selitvijo in nadomestnim stanovanjem v l'asu gradnje. Ocena stroškov je pavšalna, saj je dokumentacija narejena na ravni idejne zasnove; za zanesljiv projektantski predračun bi bilo potrebno narediti projekt za izvedbo z vsemi potrebnimi detajli.

Glede na izdelano oceno stroškov bi bilo obravnavane stolpnice že vedno ceneje protipotresno utrditi in prenoviti, kot pa jih podreti in zgraditi nove, kar je presenetljivo glede na obseg posegov, ki so potrebni pri protipotresni utrditvi. Vendar je pri tem potrebno upoštevati, da se z nadomestno novogradnjo dejansko pridobi novo stavbo, naštovano in grajeno ob upoštevanju vseh standardov potresne odpornosti in požarne varnosti, bivanjskih in drugih standardov, medtem ko že tako dobro protipotresno utrjena stavba ostane v osnovi že vedno stara stavba, nastala po bivanjskih standardih iz 60ih let, z nizkimi stropovi, majhnimi prostori in pomanjkljivo požarno varnostjo, v primeru zunanje utrditve pa ob tem novi obodni prostori zmanjšajo osvetljenost obstoječih prostorov.

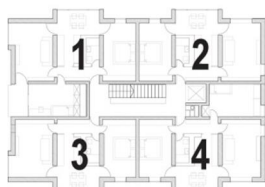
Ocenjene stroške izvedbe posameznih rešitev smo primerjali tudi s povečanjem ocenjenih vrednosti stanovanj po utrditvi oziroma novogradnji. S tem smo želeli preveriti, ali povečana vrednost stanovanj v finančnem smislu upraviči nastale stroške pri reševanju potresne problematike stavb. Ocenjujemo, da se vrednost stanovanj po utrditvi oziroma novogradnji poveča, spremenijo pa se tudi velikost stanovanj in ostali parametri, ki vplivajo na ceno.

Primerjalna analiza ocenjenih stroškov in ocenjenih vrednosti stanovanj je v primeru nadomestne novogradnje pokazala, da povečana vrednost stanovanj približno pokrije nastale stroške, oziroma je stroškov le nekaj odstotkov več. V primeru zunanje utrditve pa povečana vrednost stanovanj, predvsem zaradi dodatnih kvadratur, več kot pokrije vse nastale stroške; zunanja utrditev je v tem smislu ugodnejša. Ob tem je potrebno opomniti, da se problematika pomanjkljive potresne varnosti objektov ne rešuje zaradi povečanja vrednosti stanovanj in drugih finančnih vidikov, ampak v prvi vrsti zaradi varovanja življenj. Temu je namenjena tudi celotna priporočila študija.

5. Grafil' na priloga - tabela

V0

OBSTOJEČE
STANJE



1. Potresna varnost



Potresna odpornost **ni zadostna!**

2. Finančni vidik

VREDNOST OBSTOJEČEGA STANOVANJA



(velja za stanovanje št. 2)

3. Energijska učinkovitost

POTREBNA TOPLOTA ZA OGREVANJE



4. Velikost stanovanj

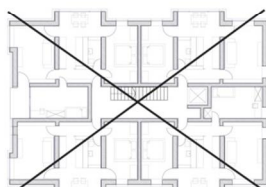
stanovanje 1	73,76 m²
stanovanje 2	54,17 m²
stanovanje 3	54,79 m²
stanovanje 4	67,54 m²

5. Velikost stavbe

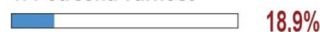
BTP etaža	337,84 m²
BTP stavba	4.200,86 m²
dimenzije	22,35 x 14,30 m
višina	32,30 m
etažnost	(2)K+P+10+T(M)

V1

NOTRANJA
UTRDITEV



1. Potresna varnost



Potresna odpornost **ni zadostna!**

Zaradi premajhnega izboljšanja potresne odpornosti notranja utrditev stolpnic tipa A ni bila podrobneje obdelana.

V2

ZUNANJA
UTRDITEV



1. Potresna varnost



Potresna odpornost je skoraj zadostna.

2. Finančni vidik

VREDNOST PRENOVLJENEGA STANOVANJA



STROŠKI



(velja za stanovanje št. 2)

3. Energijska učinkovitost

POTREBNA TOPLOTA ZA OGREVANJE



4. Velikost stanovanj

stanovanje 1	116,54 m²	+37,87 m²
stanovanje 2	86,14 m²	+31,97 m²
stanovanje 3	85,49 m²	+30,70 m²
stanovanje 4	106,00 m²	+38,46 m²

5. Velikost stavbe

BTP etaža	536,78 m²
BTP stavba	6.668,42 m²
dimenzije	29,61 x 22,10 m
višina	32,30 m
etažnost	(2)K+P+10+T(M)

V3

NOVOGRADNJA



1. Potresna varnost



Potresna odpornost je zadostna.

2. Finančni vidik

VREDNOST NOVEGA STANOVANJA



STROŠKI



(velja za stanovanje št. 2)

3. Energijska učinkovitost

POTREBNA TOPLOTA ZA OGREVANJE



4. Velikost stanovanj

stanovanje 1	101,52 m²	+ 22,85 m²
stanovanje 2	83,50 m²	+ 29,33 m²
stanovanje 3	83,50 m²	+ 28,71 m²
stanovanje 4	101,52 m²	+ 33,98 m²

5. Velikost stavbe

BTP etaža	422,50 m²
BTP stavba	5.714,33 m²
dimenzije	25,17 x 19,15 m
višina	33,60 m
etažnost	2K+P+10+T

6. Povzetki in priporočila

Podroben pregled, preiskave in analize potresne odpornosti stolpnice so pokazale, da imajo stolpnice vseh treh tipov visoko potresno ogroženost, saj dosegajo manj kot 10% zahtevane potresne odpornosti po veljavnem standardu Evrokod 8 (grafil na tabela v točki 5 in opis v točki 2.2). Z Evrokod 8 predpisano potresno odpornost bi stolpnice tipa A lahko zagotovili naslednji rešitvi:

- zunanja utrditev - na obodu stolpnice se zgradi nova konstrukcija iz armiranobetonskih sten na novih temeljih (sliki 4.1 in 4.3), utrdijo se obstoječe betonske stene v kletih in pritličju in utrdijo se obstoječi temelji (podroben opis je v osnovnih poročilih [A.3, A.6]), ali
- nadomestitev stolpnice z novimi.

Za zgornji dve rešitvi potresne ogroženosti stolpnice so bile v okviru tega projekta izdelane arhitekturne rešitve in smernice za izboljšanje oziroma zagotovitev ustrezne požarne zaščite.

Predlagani rešitvi sta izdelani kot podlaga za nadaljnje odločanje - lastnikov stanovanj in Mestne občine Ljubljana. Samo ob vsej potrebni podpori mesta in države bo mogoče s temi rešitvama pristopiti k projektiranju utrditve oziroma nadomestitve stolpnice z novimi. Ker pa je pred tem potrebno vzpostaviti pogoje za izvedbo, kot so npr. opredelitev spomeniške zaščite, zagotavljanje finančnih sredstev in nadomestnih stanovanj, morebitne zakonodajne spremembe, prilagoditev lokacijskih pogojev in podobno, za kar bo potrebna velika podpora in interes Mestne občine Ljubljana ter pripravljenost lastnikov in stanovalcev, je k ukrepanju priporočljivo pristopiti čim prej. Le čim prejnji začetek aktivnosti bo omogočil srednjeročno rešitev in zaščito hišljenj v primeru potresa.

Trenutne okoliščine terjajo čim prejnje ukrepanje. Lastniki si sicer verjetno želijo rešiti problem potresne ogroženosti, a hkrati želijo koristiti finančne spodbude za energetske prenove. Zaradi izredne zahtevnosti zgoraj predlaganih rešitev se bodo lastniki morda raje odločili za minimalne utrditvene ukrepe. Morebitne obljube, da bodo za preprečitev poružitve zadostovali še minimalni ukrepi, bistveno manj obsejni od tistih, ki jih je kot potrebne pokazala priložna študija, pa so zavajajoče in škodljive. 100% potresna odpornost stavbe po Evrokodu 8 ne pomeni, da v primeru potresa na stavbi ne bo razpok, ampak pomeni zgolj to, da se stavba v primeru potresa ne bo porušila. Manjša odpornost tega ne zagotavlja. Izvedba zgolj minimalnih ukrepov pomeni investiranje sredstev v rešitve, ki v primeru potresa ne preprečijo poružitve stavbe in ne zaščitijo človeških življenj.

Tako ravnanje pa omogoča tudi trenutna gradbena zakonodaja. Gradbeni zakon namreč s svojim 15. členom omogoča, da se rekonstrukcije stavb in drugih objektov izvajajo brez potrebnih utrditev, ki bi zagotovile ustrezno potresno odpornost. Celotno - potresno odpornosti sploh ni potrebno preverjati.

Da bodo izsledki tega projekta lahko koristno uporabljeni in bodo stolpnice lahko zaščitile človeška življenja v primeru potresa, bodo spremembe gradbene zakonodaje nujne. Do tedaj pa bo potrebno poiskati druge mehanizme, ki bodo preprečili, da se potresno najbolj ogrožene stavbe rekonstruira brez ustreznega povečanja potresne odpornosti.

7. Seznam izdelanih zaključnih poročil in drugih dokumentov za stolpnice tipa A

- S.3 Psihološki vidiki poveljanja potresne odpornosti stolpnice v Ljubljani (poročilo s prilogama Vprašalnik in Sumarnik), Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, september 2019.
- A.1 Protipotresne rečitve za 15 stolpnice v Ljubljani, Analiza potresne odpornosti starejših stolpnice in predlogi rečitve za izboljšanje, Zaključno poročilo - skupno poročilo za stolpnice tipa A, (št. 810/18-610-5), Zavod za gradbeništvo Slovenije, Studio Krištof d.o.o., Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, oktober 2019.
- A.2 Katalog stolpnice tipa A z načrti obstoječega stanja (št. 180411-A-7), Studio Krištof d.o.o., oktober 2019.
- A.3 Pregled in preiskave nosilnih zidov, analiza potresne odpornosti v obstoječem in različnih utrjenih stanjih ter predlog rečitev, Stolpnice tipa A (št. 810/18-610-2), Zavod za gradbeništvo Slovenije, 10. 09. 2019.
- A.4 Geomehansko poročilo o sestavi in oceni nosilnosti temeljnih tal na objektih Streljška ulica 1, 3 in 5 (št. 810/18-710-1), Zavod za gradbeništvo Slovenije, 12. 07. 2019.
- A.5 Geomehansko poročilo o sestavi in oceni nosilnosti temeljnih tal na objektih Hudovernikova ulica 2, 4, 8 in 13 ter Streljška ulica 37a (št. 810/18-710-2), Zavod za gradbeništvo Slovenije, 12. 07. 2019.
- A.6 Poročilo o geotehničnih razmerah in pogojih pri utrditvi stolpnice tipa A za potrebe projekta "Analiza potresne odpornosti zidanih stolpnice in predlogi rečitve izboljšanja le-te" (št. 810/18-710-7), Zavod za gradbeništvo Slovenije, 03. 09. 2019.
- A.7 Pošarna zažlita starejših stolpnice v Ljubljani na osnovi predlogov za izboljšanje potresne odpornosti, Stolpnice tipa A (št. 810/18-530-1), Zavod za gradbeništvo Slovenije, 12. 09. 2019.
- A.8 Arhitekturne rečitve za stolpnice tipa A (št. 180411-A-8), Studio Krištof d.o.o., oktober 2019.
- A.9 Urbanistična analiza za stolpnice tipa A - obstoječa situacija, predlog utrditve in novogradnja v naseljih A1 in A2 (št. 180411-A-9), Studio Krištof d.o.o., oktober 2019.
- A.10 Podrobnejša poročila za stolpnice tipa A (št. 180411-A-10), Studio Krištof d.o.o., oktober 2019.