

mag. Marjana Lutman, univ. dipl. inž. grad.
marjana.lutman@zag.si



Ilma Kulović, mag. inž. grad.
ilma.kulovic@zag.si



dr. Meta Kržan, univ. dipl. inž. grad.
meta.krzan@zag.si
Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva ulica 12, Ljubljana



Znanstveni članek
UDK/UDC: 699.841:624.131.55(497.4)

OCENA POTRESNE OGROŽENOSTI STAVB SODIŠČ V SLOVENIJI

SEISMIC RISK ASSESSMENT OF COURTHOUSE BUILDINGS IN SLOVENIA

Povzetek

V prispevku so predstavljeni namen in program raziskovalnega projekta Strateške podlage za zmanjšanje potresne ogroženosti stavb pravosodja v Sloveniji ter bistveni dosednji rezultati. Opisu značilnosti obravnavanih 76 stavb sodišč v Sloveniji in kratkemu povzetku uporabljenih metod sledi predstavitev rezultatov izdelanih ocen potresne ogroženosti obravnavanih stavb s komentarjem. Stavbe so raznolike glede na tip konstrukcije, število nadstropij, starost in potresno nevarnost lokacij, na katerih stojijo. Razvrstitev stavb je bila izvedena glede na dva kazalnika potresne ogroženosti. Prvi je razmerje med ocenjeno vrednostjo koeficienta potresne odpornosti SRCu-np in vrednostjo koeficienta projektne potresne obtežbe BSCd, ki upošteva zahteve standarda Evrokod 8 in Novo karto potresne nevarnosti iz leta 2021. Drugi kazalnik pa je z modelom POTROG ocenjena verjetnost, da bo stavba v primeru potresa po Karti intenzitete iz leta 2011 utrpela poškodovanost kategorij 3, 4 ali 5 (tj. najmanj kategorije 3) po Evropski potresni lestvici EMS-98. Istih pet stavb je prepoznanih kot potresno najbolj ogroženih po obeh parametrih. Vseh pet je zidanih in zgrajenih pred uveljavitvijo prvih potresnih predpisov. Dve najbolj ogroženi armiranobetonski stavbi sta na 11. in 23. mestu po prvem oziroma na 15. in 16. mestu po drugem parametru. Druga od njiju je bila zgrajena pred uvedbo prvih potresnih predpisov, prva pa po njej. V zadnjem delu prispevka so kot del predstavitve metodologije projekta na primeru stavbe konkretnega sodišča predstavljeni rezultati podrobnih potresnih analiz izbrane stavbe, to je potresnih analiz, izvedenih na podlagi podrobnega pregleda in preiskav stavbe, ki služijo za natančno oceno potresne odpornosti stavbe v obstoječem in različnih variantah utrjenega stanja.

Ključne besede: Potresna ogroženost, stavbe sodišč, model POTROG, in situ preiskave, potresna analiza, ocena stroškov utrditve.

Summary

The article presents the purpose and the program of the research project "Strategic basis for the reduction of seismic risk of courthouse buildings in Slovenia", together with main results. The description of the main characteristics of 76 courthouse buildings in Slovenia is followed by a summary of the methods used, as well as the presentation and discussion of the obtained results of the seismic risk assessments of the buildings under consideration. The buildings are diverse in terms of the structural type, the number of floors, the age and the seismic hazard of their locations. The classification of buildings was carried out using two seismic risk indicators. The first one is the ratio between the estimated value of the seismic resistance coefficient SRCu-np and the value of the design base shear coefficient BSCd, which takes into account the requirements of Eurocode 8 and the New Seismic Hazard Map from 2021. The second indicator is the probability, estimated using the POTROG model, that the building will suffer damage of grade 3, 4 or 5 (i.e. at least grade 3) according to the European Macroseismic Scale EMS-98 if hit by an earthquake according to the 2011 Intensity Map. The same five buildings are at the top of the list in terms of seismic risk according to both parameters. All five are masonry buildings and were constructed before the implementation of the first seismic codes. Two reinforced concrete buildings with the highest seismic risk are in 11th and 23rd place according to the first, or in 15th and 16th place according to the second parameter. The second of them was built before, and the first after the introduction of the first seismic regulations. The final part of the article outlines the methodological framework adopted within the project for conducting detailed seismic resistance assessments of selected reference buildings. This is exemplified by the case study of the courthouse building in Sevnica, comprising a description of the structural characteristics of the analysed building, the performed in-situ investigations and experimental tests, as well as the results of the global seismic performance evaluation in its existing condition and under various strengthening schemes.

Key words: Seismic risk, Courthouse buildings, POTROG model, In-situ investigations, Pushover analysis, Strengthening cost estimation.

1 UVOD

Visoka potresna ogroženost v Sloveniji je posledica visoke izpostavljenosti potresom in visoke potresne ranljivosti stavb in drugih gradbenih objektov. V večini delov naše države moramo namreč v povratni dobi 475 let pričakovati potrese z intenziteto VII EMS ali več. V širšem pasu, ki v smeri severozahod-jugovzhod prekriva osrednji del Slovenije, pa lahko pričakujemo najmočnejše potrese, z intenziteto VIII EMS [Šket Motnikar, 2011]. Delež potresno ranljivejših stavb, ki so bile zgrajene v obdobjih pred letom 1965, ko naj bi bili uveljavljeni prvi predpisi za projektiranje in gradnjo potresno odpornih konstrukcij, torej so bile grajene izkustveno ali z upoštevanjem zgolj navpične obtežbe, po podatkih iz Katastra nepremičnin znaša 36 % celotnega stavbnega fonda [MNVP, GURS, 2025]. Pri stavbah, zgrajenih po letu 1965, so se ob rušilnih potresih doma in v svetu postopoma uveljavljala znanja potresnoinženirske stroke, s pomočjo priporočil in zahtev prvih oziroma kasnejših in najsodobnejših predpisov.

Učinkovito in edino zanesljivo zaščito pred porušitvijo predstavlja dovolj velika potresna odpornost stavb in drugih gradbenih objektov, ki jo v fazi projektiranja in izvedbe zagotavlja upoštevanje ustreznih tehničnih predpisov. Z neustrezno odpornostjo stavb pa je povezana velika verjetnost za njihovo porušitev ali zelo veliko poškodovanost, za posledične človeške žrtve ter neposredno in posredno gospodarsko izgubo. Zato je za družbo kot celoto vitalnega pomena, da se stavbe s previsoko potresno ranljivostjo bodisi utrdijo bodisi nadomestijo z novimi. Stavb z neustrezno potresno odpornostjo je veliko, med njimi so tako stanovanjske stavbe kot stavbe vseh drugih namembnosti, dosega tega cilja pa je povezana z visokimi stroški. Zato je k reševanju te problematike treba pristopiti na državnem nivoju, strateško in postopoma, z upoštevanjem vnapij določenih prioritet.

Tako so tudi slovenski strokovnjaki za potresno inženirstvo že pred desetletji pristopili k sistematičnemu pregledovanju in poenostavljenemu ocenjevanju potresne ogroženosti večjega števila izbranih stavb. Na tedanjem Zavodu za raziskavo materiala in konstrukcij (ZRMK) so se leta 1986 pričele prve raziskave na tem področju, v ta namen so bile tudi razvite metodologije ocenjevanja, predvsem za zidane stavbe [Sheppard, 1986]. Nato je bila med drugim leta 1991 v sodelovanju tedanjih ZRMK in Seizmološkega zavoda Republike Slovenije za Mestni štab za civilno zaščito izdelana ocena potresne ogroženosti preko 113 stavb v Mestni občini Ljubljana [Tomažević, 1991]. Ocena ogroženosti je temeljila na razvrstitvi obravnavanih stavb v ranljivostne razrede po MSK 78 [Lapajne, 1984], številu stanovalcev obravnavanih stavb, ter v sklopu projekta razvitih modelih za oceno potresne nevarnosti v obliki poenostavljenih kart mikrorajonizacije in za oceno smrtnih žrtev. Do danes je bilo izvedenih več študij potresne ogroženosti različnih stavbnih fondov po različnih metodologijah. Med večjimi je bilo v sklopu projektov POTROG [Lutman, 2013b, 2016, 2018, 2020b] iz predhodnih študij zbranih in dodatno izvedenih skupno več kot 1600 individualnih ocen stavb, na podlagi katerih je bil v sodelovanju s partnerji razvit in nadgrajen model POTROG za napovedovanje posledic potresa za Upravo za zaščito in reševanje RS za

namen načrtovanja odziva. Za pripravo strategije tedanjega Ministrstva za okolje in prostor RS za zmanjšanje potresnega tveganja v Sloveniji je bila leta 2021 v sklopu nacionalnega potresnega stresnega testa [Dolšek, 2020; Babič, 2022] z uporabo metodologije, ki temelji na verjetnostni analizi potresnega tveganja in vključuje vrednotenje vplivov negotovosti, modelno ocenjenih okoli 500.000 stavb ali njihovih delov, kar predstavlja večino slovenskega stavbnega fonda. V posameznih študijah so bile za analizo potresne ogroženosti različnih skupin stavb izbranega fonda uporabljene tudi različne metode, npr. pri oceni potresne ogroženosti stavb mestnega jedra v Idriji [Gostič, 2013; Lutman, 2013a], ali pa so obravnavale arhitektonsko specifične stavbe, npr. cerkve [Bosiljkov, 2009]. Zaključki vseh študij so podobni; poudarjajo visoko potresno ranljivost starega stavbnega fonda, potrebo po sistematičnih prenovah, večinoma pa omogočajo tudi razvrstitev stavb po ogroženosti.

Po izvedbi manj zanesljivih ocen na nivoju izbranega fonda se za stavbe, ocenjene kot potresno najbolj ogrožene, prioriteto izvede podrobna analiza potresne odpornosti v obstoječem in navadno nekaj različicah utrjenega stanja, pri čemer se uporabijo metode iz veljavnih predpisov, in se na podlagi rezultatov izbere optimalna različica utrditve. Ta mora zasledovati dosego ustrezne potresne odpornosti in mehanske odpornosti na vse druge predpisane vplive. Glede na to, da je utrditev konstrukcije najobsežnejši poseg v stavbo, pa je smiselno, da se ta projektira in v primeru izvedljivosti in ekonomske upravičenosti tudi izvede v okviru celovite prenove stavbe, da se torej zanjo dosežejo tudi ustrezna požarna odpornost, energetska učinkovitost in izpolnijo druge bistvene zahteve veljavne gradbene regulative.

K sistemskemu pristopu k zmanjšanju potresne ogroženosti se je s sprejetjem Resolucije o krepitvi potresne varnosti do leta 2050, imenovane Prehitimo potres (ReKPV50) [MNVP, 2023], zavezala tudi država. Že pred tem je bilo zmanjšanje potresne ogroženosti poleg vidika porabe energije kot eden ključnih ciljev pri obnovi stavbnega fonda navedeno tudi v strateških ciljnih Dolgoročne strategije energetske prenove stavb do leta 2050 v Republiki Sloveniji [DSEPS, Dolgoročna strategija energetske prenove stavb do leta 2050, 2021], od leta 2024 pa naslavljanje problematike skozi celovito prenovo vključuje tudi prenovljena Evropska direktiva o energetske učinkovitosti stavb [EPBD 2024/1275, n.d.].

1.1 Predstavitev projekta in cilji raziskave

Oblikovalci politik, ki so hkrati upravniki mnogih državnih stavb, naj bi po eni strani ustvarjali spodbudno okolje, da bi preostali upravniki in lastniki lažje pristopali k ukrepom za zmanjšanje potresne ogroženosti, po drugi strani pa bi morali biti tudi sami zgled pri doseganju omenjenega cilja. V luči napisanega Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG) v sodelovanju z Ministrstvom za pravosodje (MP) v okviru ciljno usmerjenega raziskovalnega projekta št. V2-2257 (B) z naslovom Strateške podlage za zmanjšanje potresne ogroženosti stavb pravosodja v Sloveniji pripravlja strokovne in znanstvene podlage za strategijo in nadaljnje aktivnosti za zmanjšanje potresne

ranljivosti stavb, ki so v uporabi sodnih organov in jih upravlja Ministrstvo za pravosodje. Glavne dejavnosti raziskovalnega projekta vključujejo:

- ocenjevanje potresne ogroženosti vseh stavb obravnavanega fonda, ki ga upravlja MP, z uporabo metod za individualno ocenjevanje glede na prevladujoč tip navpične konstrukcije ter razvrstitev stavb po ogroženosti,
- podrobne analize izbranih stavb v obstoječem stanju, po oceni bolj ogroženih in reprezentativnih za posamezen tip navpične konstrukcije, ki zajemajo podrobne preglede nosilne konstrukcije in preiskave vgrajenih materialov ter potisne analize potresne odpornosti,
- študije možnih različic protipotresne utrditve, ki zajemajo potisne analize izbranih stavb v utrjenem stanju, ob upoštevanju načinov utrditve, možnih za posamezen tip konstrukcije, skupaj z ocenami stroškov.

Rezultati projektnih aktivnosti bodo služili kot smernice za pripravo strokovnih podlag in projektiranje ukrepov za utrditev podrobno analiziranih stavb ter kot izhodišča za utrditev drugih stavb, omogočili bodo tudi bolj informirano finančno načrtovanje prihodnjih investicij za izboljšanje potresne odpornosti stavb pri upravljanju stavbnega fonda.

Prispevek podrobneje opisuje metodologijo in rezultate prvega dela projekta, tj. ocenjevanja potresne ogroženosti obravnavanega stavbnega fonda. Poleg tega na izbranem primeru rezultatov analiz sodišča v Sevnici [Lutman, 2022a] predstavlja metodologijo podrobne analize, ki bo aplicirana na izbrane, potresno bolj ogrožene stavbe, tj. podroben terenski pregled obstoječe nosilne konstrukcije in laboratorijske preiskave ter potisno analizo za izračun potresne odpornosti stavbe v njenem obstoječem stanju in možnih utrjenih stanjih za oceno učinkovitosti in stroškov utrditvenih ukrepov.

2 OBRAVNAVANI STAVBNI FOND – OSNOVNE ZNAČILNOSTI IN LOKACIJE

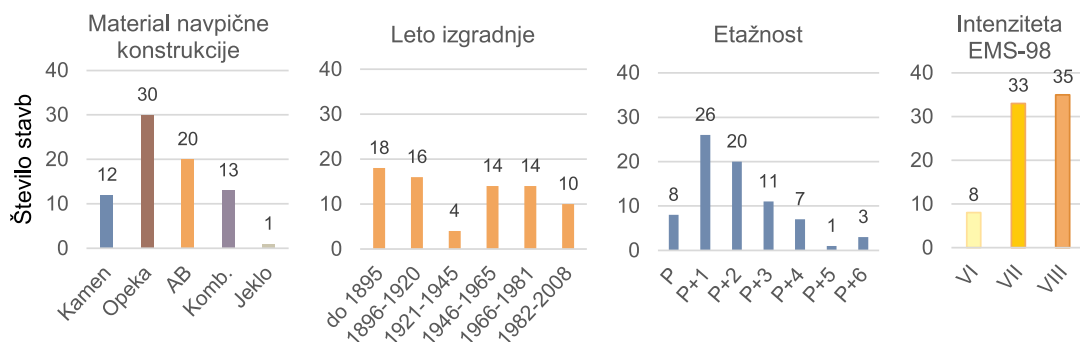
Za obravnavo je MP izbralo stavbe, ki so v celoti ali delno v uporabi sodišč ali drugih pravosodnih organov. Stavbe se razlikujejo po tipu navpične nosilne konstrukcije, številu nadstropij in starosti. Nahajajo se na 54 naslovih, pri čemer sta na 18 naslovih po dve ali več stavb s samostojno nosilno konstrukcijo, ki so

lahko tudi različno stare. Posledično je bilo v raziskavi skupno ocenjenih 76 stavb oziroma konstrukcijskih enot.

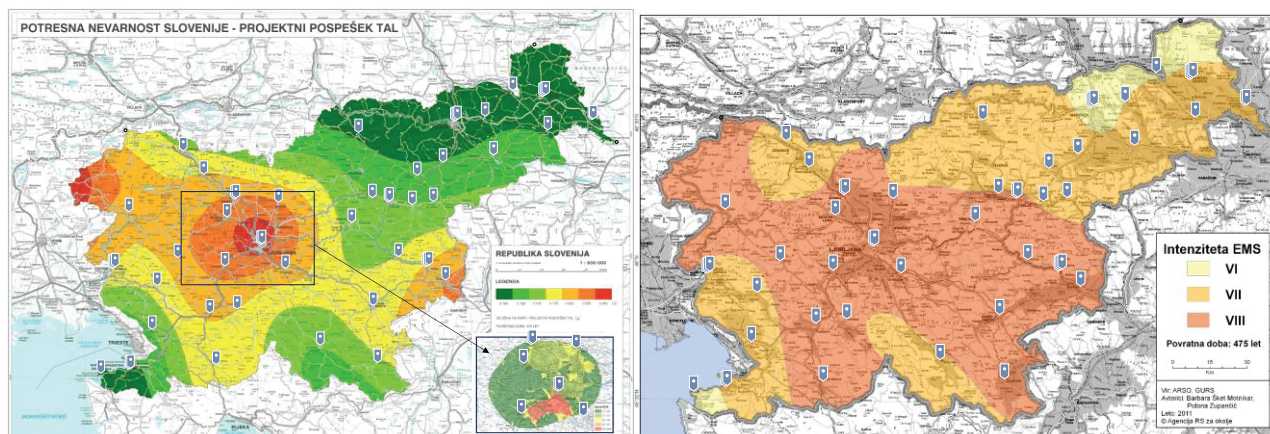
Dobra polovica stavb ima navpično nosilno konstrukcijo pretežno zidano, bodisi iz kamna (16 %) bodisi iz opeke (39 %) (slika 1). Nadalje je nosilna konstrukcija pri 26 % obravnavanih stavb armiranobetonska (AB), pri nadaljnjih 11 % stavb je navpična konstrukcija kombinacija zidov in armiranobetonskih stebrov oziroma sten, ena stavba pa ima navpično konstrukcijo jekleno. Polovica (50 %) stavb je bila zgrajena pred koncem druge svetovne vojne (SV) in sorazmerno enakomerna je zastopanost stavb iz posameznih obdobj po drugi SV (slika 1). Iz prvega povojnega obdobja, izpred uveljavitve prvih potresnih predpisov, so najstarejše AB stavbe obravnavanih sodišč, te so praviloma brez ustreznih detajlov. V tem obdobju so bile nekatere stavbe izpred prve SV nadzidane z dodatnim nadstropjem, med njimi največji sodni poslopji v Ljubljani in Mariboru. Stavbe se medsebojno razlikujejo tudi po številu nadstropij: 11 % stavb je pritličnih, največja sta deleža eno- in dvonadstropnih stavb (34 % in 26 %), preostale so višje, najvišje imajo do šest nadstropij (slika 1).

Stavbe so razmeroma enakomerno razporejene po ozemlju Slovenije. Stojijo na območjih, kjer se vrednosti projektnega pospeška tal za 475-letno povratno dobo po novi Karti potresne nevarnosti [Šket Motnikar, 2021] gibljejo med 0,10 g in 0,30 g, medtem ko se po stari karti [Lapajne, 2001] gibljejo med 0,10 g in 0,25 g (slika 2, levo). Glede na to, da se je v Sloveniji uveljavila evropska potresna lestvica EMS-98 [Grünthal, 1998] ali krajše EMS, ki med drugim definira intenziteto potresa, je bila za uporabo v sistemu zaščite in reševanja izdelana Karta intenzitet za 475-letno povratno dobo [Šket Motnikar, 2011] (slika 2, desno). Intenziteta potresa po tej karti, ki je bila v predstavljenem delu podlaga za oceno poškodovanosti stavb v primeru potresa, se na lokacijah obravnavanih stavb giblje med VI in VIII (slika 1, desno).

Poleg tega je veliko obravnavanih stavb registriranih kot nepremična stavbna dediščina v Registru kulturne dediščine Slovenije (19 stavb), medtem ko jih dodatnih 19 stoji na zaščitenem območju mestnih središč ali arheološke dediščine. Čeprav slednje ne pomeni nujno omejitev, so te informacije pomembne za načrtovanje morebitnih prihodnjih in situ pregledov in preiskav ter, še pomembneje, za oblikovanje ukrepov za utrjevanje.



Slika 1. Osnovne značilnosti obravnavanega stavbnega fonda.



Slika 2. Karti potresne nevarnosti Slovenije za 475-letno povratno dobo za projektni pospešek tal (2001) z mikrorajonizacijo Ljubljane in okolice [Lapajne, 2001] (levo) in intenziteto potresa po EMS [Šket Motnikar, 2011] (desno).

3 METODOLOGIJA OCENJEVANJA

3.1 Ocena potresne odpornosti in ranljivosti

Osnovo za oceno potresne ogroženosti posamezne stavbe predstavlja ocena njene potresne odpornosti. Pri načrtovanju investicij v okviru upravljanja večjega števila stavb, tudi ukrepov za zmanjšanje potresne ogroženosti, se potresna odpornost ocenjuje s poenostavljenimi, a za namen dovolj zanesljivimi metodami za individualno ocenjevanje. V letu 2001 je bila na ZAG razvita metoda za ocenjevanje potresne odpornosti zidanih zgradb, tj. koeficienta SRC_u , imenovana PO-ZID [Lutman, 2001, 2014], ki temelji na optimalni izbiri vhodnih in izhodnih parametrov ter bazi podatkov in rezultatov do sedaj opravljenih računskih analiz. V banko podatkov je vključena večina zidanih stavb, ki so bile v predhodnih letih sistematično pregledane in računsko analizirane na ZAG. Zaradi specifičnosti armiranobetonskih konstrukcij je bila na ZAG v letu 2002 izdelana še metoda za ocenjevanje potresne odpornosti armiranobetonskih konstrukcij PO-AB [Lutman, 2002, 2013b]. Rezultati ocenjevanja potresne odpornosti po metodi PO-ZID za zidane stavbe so primerljivi z rezultati metode PO-AB za armiranobetonske (AB) konstrukcije.

Za oceno ranljivosti objektov oziroma oceno obsega pričakovanih poškodb je bila v letih 1994 do 1996 na IKPIR v sodelovanju z ZAG razvita metoda RAN-Z [Peruš, 1995]. Metodi PO-ZID in PO-AB, katerih rezultat je ocenjena vrednost reduciranega koeficienta potresne odpornosti SRC_{u-np} (s faktorjem povezanosti k_{np} [Tomažević, 1991] korigiran koeficient potresne odpornosti SRC_u), sta sicer bolj podrobni od metode RAN-Z, katere rezultat je številčna vrednost RAN-Z, a se je vrednost RAN-Z izkazala za primernejšo za nadaljnje ocenjevanje, tj. ocenjevanje potresne ogroženosti oziroma poškodovanosti. Zato se potresna ranljivost ocenjuje iz ocenjene vrednosti SRC_{u-np} in z uporabo korelacij med vrednostjo RAN-Z in vrednostjo SRC_{u-np} [Lutman, 2003]. Korelacije so bile ugotovljene na podlagi ocenjevanja 42 stavb, pri katerem sta bila za posamezno stavbo vrednosti SRC_{u-np} in RAN-Z ocenjeni neodvisno. Osnovni korelacije za zidane in AB konstrukcije sta bili kasneje dopolnjeni za primere povezanih in armiranih zidanih konstrukcij in višjih

konstrukcij, katerih vrednosti osnovnih nihajnih časov so večje od 0,5 s. Vrednosti RAN-Z tako, v nasprotju z vrednostmi SRC_{u-np} , že zajemajo vpliv deformacijske kapacitete, odvisno od tipa konstrukcije.

Potresno odpornost in ranljivost je mogoče na opisani način oceniti za stavbe, za katere je na voljo ustrezna gradbenotehnična dokumentacija, iz katere je mogoče povzeti potrebne podatke.

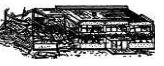
3.2 Model POTROG in ocena potresne poškodovanosti

Model POTROG [Lutman, 2013b, 2014, 2024] je bil v osnovi razvit za podporo URSZR pri načrtovanju in izvedbi odziva in reševanja po potresu. Lahko se uporablja tudi za preliminarno ocenjevanje večjega števila stavb ali za informativno ocenjevanje posameznih stavb. Model je rezultat dolgoletnega raziskovalnega in strokovnega dela na področju potresnega inženirstva na ZAG ter multidisciplinarnega sodelovanja s partnerji (ARSO, Inštitut za varstvo in Oddelek za zaščito in reševanje Mestne občine Ljubljana).

Ocena potresne ogroženosti oziroma pričakovane poškodovanosti v modelu POTROG temelji na:

- potresni ranljivosti stavbe RAN-Z, ki temelji na podrobni analizi ali individualni oceni, če sta ti narejeni, ali pa jo model oceni s sledečimi osnovnimi parametri:
 - tipom konstrukcije (materialom navpične nosilne konstrukcije),
 - obdobjem izgradnje in
 - številom nadstropij, ter
- potresni nevarnosti na lokaciji stavbe, ki jo opredeljujeta:
 - intenziteta EMS na lokaciji stavbe po karti [Šket Motnikar, 2011] in
 - tip tal (lokalne značilnosti temeljnih tal).

Ocena potresne ranljivosti v modelu POTROG temelji na korelacijah med individualno ocenjeno potresno ranljivostjo RAN-Z in tremi osnovnimi parametri o stavbi. Korelacije so bile ugotovljene na vzorcu več kot 1000 obstoječih stavb v Sloveniji, ki sestavljajo bazo ZAG. To so predvsem stavbe, individualno

D0: ni poškodb	D1: zanemarljiva do majhna	D2: zmerna	D3: znatna do velika	D4: zelo velika	D5: uničenje
	ni poškodb konstrukcije, lažje nekonstrukcijske poškodbe	lažje konstrukcijske, zmerne nekonstrukcijske poškodbe	zmerne konstrukcijske, hude nekonstrukcijske poškodbe	hude konstrukcijske, zelo hude nekonstrukcijske poškodbe	zelo hude poškodbe konstrukcije
Zidane					
Armiranobetonske					
UPORABNE		ZAČASNO NEUPORABNE		NEUPORABNE	

Slika 3. Kategorije poškodovanosti od D0 do D5 po EMS (shematični prikaz in opis za zidane in armiranobetonske stavbe) ter uporabnost stavb po potresu [Grünthal, 1998].

ocenjene v okviru dosedanjih projektov POTROG in drugih projektov, ki so jih financirali Mestna občina Ljubljana, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport in druga ministrstva. Model je bil vzpostavljen za kamnite zidane stavbe, opečne zidane stavbe, AB stavbe, stavbe s kombinacijo nosilnih zidov in AB stebrov, jeklene stavbe in lesene stavbe. Z letom izgradnje se stavba uvrsti v eno od šestih časovnih obdobj (predstavljenih na sliki 1), ki so povezana s potresnimi predpisi, veljavnimi v času projektiranja oziroma gradnje, ali splošnimi zgodovinskimi mejniki. Prvo je obdobje pred letom 1896, ko je bil leto po ljubljanskem potresu sprejet Stavbinski red za občinsko ozemlje Deželnega stolnega mesta Ljubljane [Stavbinski red za občinsko ozemlje deželnega stolnega mesta Ljubljane, Deželni zakonik št. 28, XXI. kos, 1896], ki je, čeprav preprost, s svojimi pravili za gradnjo zidanih stavb pomembno prispeval k potresno odpornejši gradnji. Sledijo obdobji do prve SV oziroma druge SV (Obdobje 2: 1896–1920, Obdobje 3: 1921–1945) ter prvo obdobje po drugi SV. Slednje ima svoje posebnosti zaradi velikega obsega gradnje in pomanjkanja gradbenih materialov na eni strani ter odsotnosti potresnih predpisov na drugi strani (Obdobje 4: 1946–1965). Začetek novega obdobja (Obdobje 5: 1966–1981) sledi odredbi iz leta 1963 [Odredba o dimenzioniranju in izvedbi gradbenih objektov v potresnih območjih, 1963] in pravilniku iz leta 1964 [Pravilnik o začasnih tehničnih predpisih za gradnjo na seizmičnih področjih, 1964], ki sta znatno povečala potresne sile, na katere so bile projektirane konstrukcije stavb. Po močnejših potresih na Kozjanskem, v Furlaniji in Črni gori je bil leta 1981 sprejet posodobljen pravilnik [Ur. list SRFJ št. 31, 1981] (Obdobje 6: 1982–2008). Med stavbami, katerih individualne oziroma podrobne ocene potresne odpornosti predstavljajo osnovo za model POTROG, ni stavb, zgrajenih po letu 2008, ko je postala uporaba standarda Eurokod 8 [EN 1998-1:2005: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, 2005] pri projektiranju obvezna. Zato model ne omogoča ocene stavb iz tega zadnjega obdobja.

Potresna nevarnost na lokaciji posamezne stavbe na površju je opredeljena z vrednostjo s Karte intenzitete EMS [Šket Motnikar, 2011], ki velja na lokaciji stavbe, in vplivom tipa tal. Vpliv tipa tal na intenziteto potresa na površju je v modelu upoštevan kot sprememba intenzitete: -0,5 za tip tal A, +0,5 za tip tal E in +1,0 za tip tal S1, za tipe tal B, C in D se intenziteta ne spremeni.

Potresna ogroženost posamezne stavbe je v modelu POTROG izražena s poškodovanostjo, ki se na podani stavbi pričakuje ob potresu podane intenzitete. Glede na to, da lestvica EMS stavbe glede na njihovo ranljivost razvršča v ranljivostne razrede z oznakami od A do F, poškodovanost stavb pa opiše s petstopenjsko lestvico (slika 3), so bile v okviru projektov POTROG [Lutman, 2013b] za posamezne ranljivostne razrede lestvice EMS postavljene mejne vrednosti RAN-Z. Lestvica EMS namreč definira tudi intenziteto potresa, in sicer z obsegom poškodovanih stavb posameznih ranljivostnih razredov [Grünthal, 1998; Lutman, 2013b]. Poškodovanost obravnavane stavbe model POTROG izrazi z nizom šestih vrednosti: z verjetnostjo, da bo stavba pri potresu podane intenzitete nepoškodovana, z verjetnostjo, da bo utrpela poškodovanost kategorije 1 po EMS, /.../ in z verjetnostjo, da bo utrpela poškodovanost kategorije 5 po EMS [Lutman, 2013b]. Vsota navedenih šestih vrednosti je 1 oziroma 100 %.

Model POTROG je bil vzpostavljen in za zdaj velja le za območja z najvišjima dvema vrednostma projektnega pospeška tal po karti iz leta 2001 [Lapajne, 2001], tj. 0,225 g in 0,25 g oziroma za stavbe na teh območjih. Za ta območja (v nadaljevanju območja POTROG) so bile v prvem od projektov POTROG izdelane karte mikrorajonizacije (slika 2, spodnji desni kot). Omejitev veljavnosti modela izhaja iz dejstva, da stavbe iz baze ZAG, ki predstavljajo osnovo za ugotovljene zakonitosti modela, stojijo izključno na teh območjih. Omejitev uporabe modela je brezpogojna za stavbe, ki so bile projektirane po uveljavitvi prvih potresnih predpisov, in če je po karti potresne nevarnosti, veljavni v času projektiranja stavbe, potresna nevarnost na lokaciji stavbe manjša kot na območjih POTROG. Take stavbe so bile namreč projektirane na nižje potresne sile kot stavbe na območjih veljavnosti modela POTROG. Zato bi bila njihova potresna odpornost po modelu praviloma precejšnja, potresna ogroženost pa podcenjena. Če pa je na karti potresne nevarnosti iz časa projektiranja potresna nevarnost na lokaciji stavbe enaka kot na območjih POTROG, se model lahko uporablja.

Izjema pri omejitvi so lahko tudi stavbe, ki so bile projektiranje pred uveljavitvijo prvih potresnih predpisov. Ob predpostavki, da vpliv geografske lege stavbe na njeno potresno odpornost ni večji od vpliva preostalih dejavnikov, ki v modelu niso zajeti, je model za te stavbe pogojno veljaven.

3.3 Razvrščanje stavb

Za razvrščanje stavb glede na njihovo potresno ogroženost sta primerna dva parametra:

- razmerje med ocenjeno vrednostjo reduciranega koeficienta potresne odpornosti SRC_{u-np} in vrednostjo BSC_d , tj. vrednostjo koeficienta strižne obtežbe, določene na osnovi parametrov potresne obtežbe po standardu Evrokod 8 [Lutman, 2013b], in
- kumulativna verjetnost za poškodovanost kategorij 3, 4 in 5 po EMS, ki je vsota verjetnosti za poškodovanost 3, 4 in 5 (KVP), ocenjenih z modelom POTROG.

Potresno bolj ogrožene so stavbe z nižjo vrednostjo prvega in višjo vrednostjo drugega parametra.

Prvi parameter je le okvirni pokazatelj doseganja zahtevane potresne odpornosti po Evrokod 8. Pri oceni potresne odpornosti se namreč praviloma upoštevajo karakteristične in ne projektne trdnosti vgrajenih materialov, torej karakteristične trdnosti brez redukcije s faktorjem zaupanja, ki je lahko zelo različnih vrednosti, odvisno od nivoja poznavanja konstrukcije oziroma obsega detaljnega pregleda in testiranja vgrajenih materialov. Ocenjuje se torej mejni koeficient SRC_{u-np} in ne projektni koeficient SRC_d . Vrednost SRC_d bi bila nekoliko nižja od vrednosti SRC_{u-np} , doseganje projektnega koeficienta strižne obtežbe BSC_d in s tem zahtev EC8 pa tudi nekoliko nižje, kot kaže razmerje SRC_{u-np}/BSC_d .

Drugi parameter je bil kot primeren pokazatelj potresne ogroženosti prvič uporabljen v strokovnih podlagah za DSEPS [Lutman, 2020a; DSEPS, Dolgoročna strategija energetske prenove stavb do leta 2050, 2021].

4 OCENE OBRAVNAVANIH STAVB IN RAZVRSTITEV GLEDE NA POTRESNO OGROŽENOST

4.1 Tehnična dokumentacija in vizualni pregledi

V prvi fazi projekta je bilo iz razpoložljivega gradiva pokrajinskih in lokalnih arhivov, arhivov upravnih enot in arhivov sodišč ter arhiva MP izbranih ter digitaliziranih približno 4000 dokumentov oziroma načrtov (slika 4). Za vse digitalizirane dokumente je bila pregledana njihova vsebina, dokumenti z

iskano vsebino pa so bili pregledani podrobneje. Pridobljena dokumentacija je bila za 70 od skupno 76 obravnavanih stavb zadostna podlaga za individualno ocenjevanje. To pomeni, da je vsebovala načrte in izračune, iz katerih je bilo mogoče povzeti podatke o dimenzijah in sestavi konstrukcije, vrsti in mehanskih lastnostih vgrajenih gradiv, pri AB konstrukcijah tudi armaturne načrte ali ustrezne zapise v statičnem računu glede količin armature in vrste armaturnega jekla.

V drugi fazi so se z vizualnimi pregledi stavb ugotavljale skladnost dejanskega stanja s pregledano dokumentacijo in morebitne poškodbe na vidnih delih konstrukcije. Morebitna neskladja in naknadni posegi, npr. dodatni preboji za vratne odprtine, so bili pri oceni upoštevani v največji možni meri. Podatki iz pridobljene dokumentacije in vizualni pregledi so služili tudi za oceno treh osnovnih parametrov o stavbi, ki so na voljo v Katastru nepremičnin [MNVP, GURS]. S tem se sistematično ugotavlja ustreznost podatkov v Katastru nepremičnin, predlagajo popravki in s tem omogoča večja zanesljivost modelnih ocen. Te so namreč strokovna podlaga sistema POTROG za vse stavbe, za katere v sistemu ni na voljo individualnih ali podrobnih ocen potresne ogroženosti.

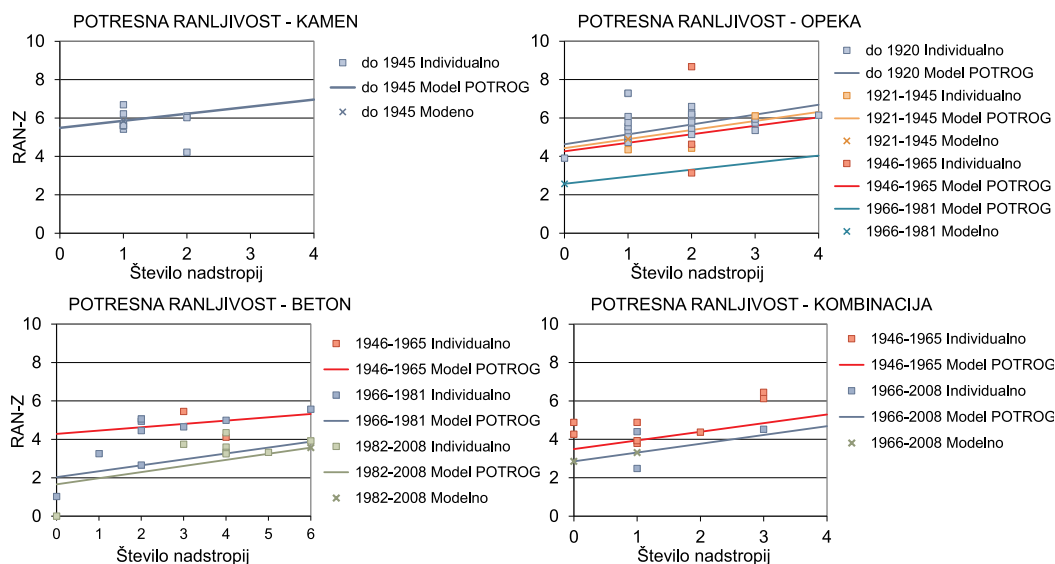
4.2 Ocene potresne ranljivosti

Ocene potresne odpornosti in potresne ranljivosti so bile izdelane oziroma pridobljene na treh nivojih natančnosti (podrobno, individualno in modelno). Za pet od 70 stavb z zadostno dokumentacijo za individualno ocenjevanje so bile podrobne potresne analize izdelane že v okviru predhodnih projektov in od tam pridobljene vrednosti reduciranega koeficienta potresne odpornosti SRC_{u-np} . V projektu je zato bilo individualno ocenjenih 65 stavb. Preostalih šest stavb je bilo ocenjenih z modelom POTROG. Pri tem so modelne ocene za tri stavbe (eno z AB konstrukcijo in dve s kombinirano konstrukcijo) zaradi omejitve modela neustrezne.

Na sliki 5 so prikazane ocenjene vrednosti RAN-Z za vse obravnavane stavbe glede na material navpične konstrukcije razdeljene v štiri diagrame. V posameznem diagramu so prikazane tudi korelacije med potresno ranljivostjo in številom nadstropij [Lutman, 2013b]. Praviloma ima vsako od šestih izbranih obdobj svoj korelacijski koeficient, v nekaterih primerih je skupna korelacija za dve ali več obdobj. Za individualno ocenjene in predhodno podrobno analizirane stavbe so vrednosti RAN-Z na sliki 5 prikazane z markerji kvadratne oblike, za modelno ocenjene stavbe pa s križci, pri čemer so križci seveda na ustrezni korelacijski premici.



Slika 4. Razpoložljiva in pregledana tehnična dokumentacija.



Slika 5. Ocene potresne ranljivosti za posamezne obravnavane stavbe, ločeno za štiri tipe nosilne konstrukcije: Kamnita zidana (zgoraj levo), Opečna zidana (zgoraj desno), Armiranobetonska (spodaj levo) in Kombinacija nosilnih zidov in AB stebrov (spodaj desno); ter primerjava s korelacijami modela POTROG za posamezna obdobja izgradnje.

Grafični prikaz individualnih ocen skupaj z modelnimi oziroma korelacijami pokaže raznolikost stavb, ki imajo isto kombinacijo treh parametrov iz REN, in tako dopolnjuje navedbe vzrokov za odstopanja posamezne stavbe v eno in drugo smer ter prikaže napake, ki jo na ravni posamezne stavbe prinaša uporaba modela POTROG.

Pri primerjavi individualnih ocen s pripadajočo korelacijo je med drugim treba upoštevati lokacijo stavbe in leto izgradnje. Ocene stavb, ki so glede na omejitve modela veljavne ali pogojno veljavne (točka 3.2), so praviloma enakomerno razvrščene nad in pod pripadajočo korelacijo. Individualno oceno take stavbe lahko primerjamo z vrednostjo na korelaciji, ki je za to stavbo modelna ocena, morebitno odstopanje individualne vrednosti RAN-Z od modelne pa je posledica razlik med značilnostmi stavbe in njene konstrukcije ter povprečnimi značilnostmi ustrezne skupine stavb v bazi ZAG.

Model POTROG je veljaven oziroma pogojno uporaben za vse obravnavane kamnite in opečne stavbe. Med kamnitimi (slika 5, zgoraj levo) izstopa stavba, katere individualna ocena $RAN-Z=4,22$ je izraziteje manjša od modelne vrednosti 6,23. To je posledica dejstva, da so bili v stavbi nosilni zidovi sistematično injektirani in zanje zato pri individualni oceni upoštevane izboljšane mehanske lastnosti. Pri opečnih stavbah (slika 5, zgoraj desno) je razlika v količini zidov v eni in drugi smeri zelo pogost vzrok za visoko potresno ranljivost. Med enonadstropnimi stavbami iz obdobja do leta 1920 je ta vzrok prisoten pri najranljivejši stavbi ($RAN-Z=7,29$). Najranljivejša med vsemi opečnimi ($RAN-Z=8,67$) je dvonadstropna stavba iz obdobja 1946-1965, ki v kritični etaži praktično nima prečnih nosilnih zidov. Po drugi strani je v isti skupini (opečna, P + 2, isto obdobje) najmanj ranljiva ustrezno zasnovana stavba, ki ima $RAN-Z=3,14$.

Pri armiranobetonskih stavbah, ki jih je skupno 20, je model POTROG veljaven za le tri stavbe, pogojno uporaben pa za dodatno eno stavbo. Za preostale stavbe model ni veljaven, saj so bile zgrajene po uvedbi prvih potresnih predpisov, stojijo na območjih nižje potresne nevarnosti, so bile temu ustrezno

projektirane in so zato pričakovano bolj ranljive kot stavbe na območjih POTROG. Potresna ogroženost po obstoječem modelu POTROG zanje ne bi bila ustrezna oziroma bi bila podcenjena. Pri AB stavbah so med vzroki za visoko potresno ranljivost nizke trdnosti betona in velike vitkosti stebrov, pogosto različne v eni in drugi smeri, zaradi česar stebri nimajo ustrezne upogibne nosilnosti.

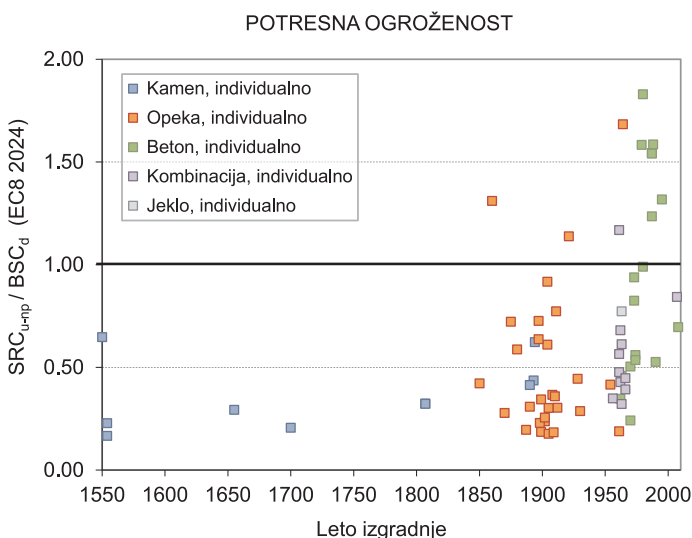
Pri stavbah s kombinirano konstrukcijo, ki jih je od obravnavanih skupno 13, je model POTROG veljaven za štiri stavbe, pogojno uporaben pa za dodatnih sedem. Kljub temu je potrebna ranljivost večine od teh enajstih stavb večja od potresne ranljivosti po modelu POTROG. Med vzroki za njihovo visoko potresno ranljivost so kasneje dodana sorazmerno velika teža v stavbi, vzroki, navedeni pri AB stavbah, in neustrezna kombinacija nosilnih zidov in AB stebrov.

4.3 Ocene potresne ogroženosti in razvrstitev

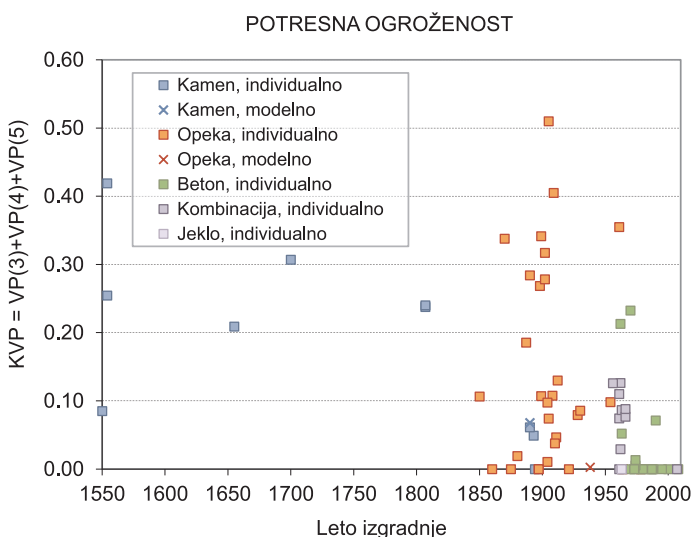
Ocena potresne ogroženosti posamezne stavbe po modelu POTROG temelji na oceni potresne ranljivosti in oceni potresne nevarnosti na lokaciji stavbe. Kot rečeno, je bila za 65 stavb upoštevana vrednost RAN-Z na podlagi individualne ocene, za pet stavb vrednost RAN-Z na podlagi predhodne podrobne analize, za tri stavbe pa modelna ocena RAN-Z. Tri stavbe so zaradi odsotnosti dokumentacije in neprimernosti uporabe modela POTROG ostale neocenjene.

Pri oceni potresne nevarnosti je bil upoštevan tip tal, ki je bil za enajst stavb ocenjen na podlagi geoloških raziskav ali geomehanskega pregleda, za nadaljnjih 13 stavb je bil tip tal povzet iz kart mikrorajonizacije, izdelanih v projektu POTROG, za preostalih 49 stavb pa je bilo za oceno poškodovanosti po modelu POTROG predpostavljeno, da so tla pod stavbo tipa B, C ali D, pri katerih je intenziteta na površju enaka intenziteti po karti (slika 2, desno), za določitev predpisane potresne obtežbe po EC8 pa je bil upoštevan tip tal C.

Na slikah 6 in 7 so prikazani rezultati, na sliki 6 izraženi z razmerjem SRC_{u-np}/BSC_d (potresna ogroženost je obratno sorazmerna z razmerjem SRC_{u-np}/BSC_d), na sliki 7 pa s kumulativno verjetnostjo poškodovanosti KVP (potresna ogroženost je sorazmerna s KVP).



Slika 6. Ocene potresne ogroženosti individualno ocenjenih stavb, izražene z razmerjem SRC_{u-np}/BSC_d , v odvisnosti od leta izgradnje.



Slika 7. Ocene potresne ogroženosti individualno in modelno ocenjenih stavb, izražene s kumulativno verjetnostjo poškodovanosti (KVP), v odvisnosti od leta izgradnje.

Po obeh razvrstitvah je potresno najbolj ogroženih istih pet stavb. Vse imajo navpično konstrukcijo zidano, ena kamnito, preostale opečno. Pri vseh je značilna sorazmerno visoka teža stavbe in sorazmerno majhna količina zidov v šibkejši tlorsni smeri. To je hkrati pet stavb, ki imajo med ocenjenimi najvišjo potresno ranljivost (slika 5). Ker pa je potresna nevarnost na lokacijah teh stavb različna, je vrstni red znotraj teh petih stavb

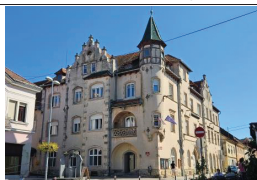
glede na potresno ogroženost (po eni in drugi razvrstitvi) drugačen kot glede na potresno ranljivost.

Najbolj ogroženi AB stavbi sta po prvem kriteriju na 11. in 23. mestu, po drugem kriteriju pa na 15. oziroma 16. mestu. Obe sta med AB stavbami tudi potresno najbolj ranljivi.

V preglednicah 1–4 so predstavljene potresno najbolj ogrožene stavbe posameznih tipov, tj. glede na vrsto materiala navpične nosilne konstrukcije (NK). V preglednicah so prikazani osnovni parametri stavbe in rezultati individualnega ocenjevanja: ocena potresne odpornosti oziroma razmerje SRC_{u-np}/BSC_d in oce-

Stavba, Potresna intenziteta EMS, Tip tal	Stavba, Potresna intenziteta EMS, Tip tal																								
VR1-2, Vrhnika, Intenziteta: VIII, Tip tal: D	TO1, Tolmin, Intenziteta: VIII, Tip tal: D																								
																									
Navpična NK: Kamnito zidovje Leto izgradnje: 1554 Etažnost: P + 1 $SRC_{u-np}/BSC_d = 17 \%$	Navpična NK: Kamnito zidovje Leto izgradnje: 1700 Etažnost: P + 2 + M $SRC_{u-np}/BSC_d = 21 \%$																								
<table><tr><th>D0</th><th>D1</th><th>D2</th><th>D3</th><th>D4</th><th>D5</th></tr><tr><td>0%</td><td>24%</td><td>34%</td><td>30%</td><td>12%</td><td>0%</td></tr></table>	D0	D1	D2	D3	D4	D5	0%	24%	34%	30%	12%	0%	<table><tr><th>D0</th><th>D1</th><th>D2</th><th>D3</th><th>D4</th><th>D5</th></tr><tr><td>6%</td><td>31%</td><td>33%</td><td>24%</td><td>7%</td><td>0%</td></tr></table>	D0	D1	D2	D3	D4	D5	6%	31%	33%	24%	7%	0%
D0	D1	D2	D3	D4	D5																				
0%	24%	34%	30%	12%	0%																				
D0	D1	D2	D3	D4	D5																				
6%	31%	33%	24%	7%	0%																				

Preglednica 1. Osnovni podatki o stavbah in rezultati – razmerje SRC_{u-np}/BSC_d in niz verjetnosti za posamezne kategorije poškodovanosti po EMS (D0–D5) za dve potresno najbolj ogroženi kamniti zidani stavbi sodišč.

Stavba, Potresna intenziteta EMS, Tip tal	Stavba, Potresna intenziteta EMS, Tip tal																								
PO1, Postojna, Intenziteta: VIII, Tip tal: -	BR1, Brežice, Intenziteta: VIII, Tip tal: C																								
																									
Navpična NK: Opečno zidovje Leto izgradnje: 1905 Etažnost: K + P + 1(+ M) SRC _{u-np} /BSC _d = 18 %	Navpična NK: Opečno zidovje Leto izgradnje: 1909 Etažnost: K + P + 2 SRC _{u-np} /BSC _d = 18 %																								
<table><tr><td>D0</td><td>D1</td><td>D2</td><td>D3</td><td>D4</td><td>D5</td></tr><tr><td>0%</td><td>17%</td><td>32%</td><td>33%</td><td>15%</td><td>3%</td></tr></table>	D0	D1	D2	D3	D4	D5	0%	17%	32%	33%	15%	3%	<table><tr><td>D0</td><td>D1</td><td>D2</td><td>D3</td><td>D4</td><td>D5</td></tr><tr><td>0%</td><td>25%</td><td>34%</td><td>29%</td><td>11%</td><td>0%</td></tr></table>	D0	D1	D2	D3	D4	D5	0%	25%	34%	29%	11%	0%
D0	D1	D2	D3	D4	D5																				
0%	17%	32%	33%	15%	3%																				
D0	D1	D2	D3	D4	D5																				
0%	25%	34%	29%	11%	0%																				
SK1, Slovenske Konjice, Intenziteta: VII, Tip tal: -	NM1-2, Novo mesto, Intenziteta: VIII, Tip tal: A																								
																									
Navpična NK: Opečno zidovje Leto izgradnje: 1961 Etažnost: P + 2 SRC _{u-np} /BSC _d = 19 %	Navpična NK: Opečno zidovje Leto izgradnje: 1899 Etažnost: (K +)P + 1(+ M) SRC _{u-np} /BSC _d = 18 %																								
<table><tr><td>D0</td><td>D1</td><td>D2</td><td>D3</td><td>D4</td><td>D5</td></tr><tr><td>0%</td><td>29%</td><td>36%</td><td>26%</td><td>9%</td><td>0%</td></tr></table>	D0	D1	D2	D3	D4	D5	0%	29%	36%	26%	9%	0%	<table><tr><td>D0</td><td>D1</td><td>D2</td><td>D3</td><td>D4</td><td>D5</td></tr><tr><td>6%</td><td>25%</td><td>34%</td><td>25%</td><td>8%</td><td>1%</td></tr></table>	D0	D1	D2	D3	D4	D5	6%	25%	34%	25%	8%	1%
D0	D1	D2	D3	D4	D5																				
0%	29%	36%	26%	9%	0%																				
D0	D1	D2	D3	D4	D5																				
6%	25%	34%	25%	8%	1%																				

Preglednica 2. Osnovni podatki o stavbah in rezultati – razmerje SRC_{u-np}/BSC_d in niz verjetnosti za posamezne kategorije poškodovanosti po EMS za štiri potresno najbolj ogrožene opečne zidane stavbe sodišč.

na potresne ogroženosti oziroma pričakovane poškodovanosti po modelu POTROG: za vsako posamezno kategorijo poškodovanosti po EMS [Grünthal, 1998] (slika 3) je navedena verjetnost, da jo bo ta stavba utrpela, če bo izpostavljena potresu z intenziteto, ki se po karti potresnih intenzitet (slika 2, desno) in upoštevanim tipom tal pričakuje na lokaciji stavbe v 475-letni povratni dobi.

Stavba, Potresna intenziteta EMS, Tip tal						Stavba, Potresna intenziteta EMS, Tip tal					
LJ2, Ljubljana, Intenziteta VIII, Tip tal: C						CE1-1, Celje, Intenziteta VIII, Tip tal: -					
											
Navpična NK: AB stebri						Navpična NK: AB stebri					
Leto izgradnje: 1970						Leto izgradnje: 1962					
Etažnost: 2K + P + 5 (+ 6)						Etažnost: K + P + 2 (+ 3) + M					
SRC _{u-np} /BSC _d = 24 %						SRC _{u-np} /BSC _d = 35 %					
D0	D1	D2	D3	D4	D5	D0	D1	D2	D3	D4	D5
12%	34%	31%	19%	4%	0%	14%	34%	31%	18%	3%	0%

Preglednica 3. Osnovni podatki o stavbah in rezultati – razmerje SRC_{u-np}/BSC_d in niz verjetnosti za posamezne kategorije poškodovanosti po EMS za dve potresno najbolj ogroženi armiranobetonski (AB) stavbi sodišč.

Stavba, Potresna intenziteta EMS, Tip tal						Stavba, Potresna intenziteta EMS, Tip tal					
KK2, Krško, Intenziteta VIII, Tip tal: -						KR1-1, Nova Gorica, Intenziteta VII, Tip tal: C					
											
Navpična NK: Opečni zidovi in AB stebri						Navpična NK: AB stebri in opečni zidovi					
Leto izgradnje: 1956						Leto izgradnje: 1963					
Etažnost: (K +) P + 1 + M						Etažnost: K + P + 3					
SRC _{u-np} /BSC _d = 35 %						SRC _{u-np} /BSC _d = 32 %					
D0	D1	D2	D3	D4	D5	D0	D1	D2	D3	D4	D5
23%	37%	28%	12%	0%	0%	33%	33%	24%	9%	0%	0%

Preglednica 4. Osnovni podatki o stavbah in rezultati – razmerje SRC_{u-np}/BSC_d in niz verjetnosti za posamezne kategorije poškodovanosti po EMS za dve stavbi sodišč, ki sta med potresno najbolj ogroženimi stavbami s kombinirano konstrukcijo.

5 PRIMER PODROBNE POTRESNE ANALIZE STAVBE SODIŠČA (ZA OBSTOJEČE STANJE IN ZA RAZLIČNE NIVOJE UTRDITEV)

V nadaljevanju projekta bo osem stavb izmed vseh obravnavanih podrobno analiziranih. Med izbranimi stavbami bodo stavbe z različnimi tipi navpične nosilne konstrukcije, med njimi pa praviloma potresno najbolj ogrožene. Zanje bodo opravljene podrobni pregledi nosilne konstrukcije in preiskave vgrajenih materialov, potisne analize potresne odpornosti v obstoječem stanju, študije možnih različic protipotresne utrditve, potisne analize potresne odpornosti v utrjenem stanju ter

ocene stroškov. Vsebinska podrobna obravnava je v nadaljevanju predstavljena na primeru sodišča v Sevnici.

Poslopje sodišča v Sevnici, ki verjetno izvira iz 18. stoletja in je bilo prvič dokumentirano leta 1807, sestavljata dve stavbi. V preteklosti sta bili dograjeni in prenovljeni, zlasti po požaru leta 1854. Glavna stavba ima tloris v obliki črke L, večji južni del meri približno 14,8 x 13,8 m, manjši severovzhodni del pa približno 6,6 x 7,0 m. Zadnja stavba je v tlorisu pravokotne oblike in meri približno 8,9 x 22,9 m. Jugoahodni del glavne stavbe je podkleten, nad pritličjem pa imata obe stavbi eno nadstropje in neizkoriščeno podstrešje. Višine etaž so različne; klet je visoka približno 2,6 m, pritličje v glavni stavbi 3,5 m v južnem delu in 3,3 m v severovzhodnem delu, pritličje v zadnji stavbi 2,8 m, nadstropje pa je visoko od 3,1 do 3,4 m. Glavno stavbo pokriva dve, zadnjo stavbo pa ena dvokapna streha.

5.1 Podroben in situ pregled in preiskave

Za oceno lastnosti nosilne konstrukcije in mehanskih lastnosti vanjo vgrajenih materialov je bil na obeh stavbah izveden detajlni pregled z odvzemom vzorcev gradiv, ki so bili nato laboratorijsko preiskani [Lutman, 2022b]. Program pregleda je za pritličje predstavljen na sliki 8, levo. Pregled in preiskave so bili izvedeni v skladu z evropskim standardom Evrokod 8-3 (SIST EN 1998-3:2005 Evrokod 8: Projektiranje konstrukcij za potrebno odpornost – 3. del: Ocenjevanje in prenova stavb).

Vizualni pregled stanja in poškodb (slika 8a, b, d, g, h) ter detajlni pregled z odstranitvijo ometa in oblog (slika 8c-i) sta bila izvedena, da bi določili vrsto, geometrijo in površinsko strukturo vseh elementov konstrukcije ter zaznali poškodbe. Da bi ocenili sestavo in mehanske lastnosti nosilnega zidovja po celotnem prečnem prerezu, so bila izvedena globinska sondiranja (slika 8c, e, f), pregledana je bila struktura odvzetih jeder, odvzeti vzorci malte (slika 8i) in opeke pa so bili laboratorijsko preiskani (slika 8j).

Nosilni zidovi, od katerih so nekateri kamniti, drugi mešano kamnito-opečni, tretji pa pretežno ali v celoti opečni, stojijo na kamnitih zidanih pasovnih temeljih. Debelina zidov se spreminja glede na višino in tloris, in sicer znaša 65–85 cm v kleti, 45–95 cm v pritličju in 35–55 cm v nadstropju. Stropne konstrukcije so banjasti oboki nad kletjo, različni tipi obokov ali ravni (večinoma leseni) stropovi nad pritličjem in pretežno leseni stropovi nad prvim nadstropjem.

5.2 Potisne analize stavbe (obstoječe in utrjeno stanje)

Z upoštevanjem rezultatov pregleda in preiskav ter uporabo etažnega modela so bile izvedene potisne analize [Tomažević, 2009], ločeno za glavno in zadnjo stavbo. Analizirana so bila naslednja stanja:

- Obstoječe stanje:** obstoječe stanje kamnitih in opečnih nosilnih zidov, zidovi so brez vodoravnih zidnih vezi, stropne konstrukcije so pomanjkljivo povezane z nosilnimi zidovi.
- Povezana nosilna konstrukcija:** nosilni zidovi so povezani z vodoravnimi zidnimi vezmi (ukrep), stropne konstrukcije so s sidri povezane z nosilnimi zidovi (ukrep).



Slika 8. Tloris pritličja glavne in zadnje stavbe sodišča v Sevnici z lokacijami preglednih mest (levo), pregled poškodb (a, b), pregled stropa in strehe (c, d), globinsko sondiranje v kamnitem zidovu (e, f), površinsko sondiranje (g, h), odvzeti kosi malte (i) in laboratorijski preskus vzorca malte (j).

- C. Delno utrjeni nosilni zidovi in povezana nosilna konstrukcija: kamniti nosilni zidovi so sistematično injektirani (ukrep) in vsi ukrepi v stanju B.
- D. Utrjeni vsi nosilni zidovi in povezana nosilna konstrukcija: opečni nosilni zidovi so utrjeni z armiranimi oblogami (ukrep), kamniti nosilni zidovi so utrjeni s sistematičnim injektiranjem in armiranimi oblogami (ukrep) in vsi ukrepi v stanju B.

Upoštevane mehanske lastnosti nosilnega zidovja v obstoječem stanju temeljijo na rezultatih tlačnih preskusov vzorcev iz opečnih zidakov in vzorcev malte ter na in situ in laboratorijskih preiskavah zidov, zgrajenih iz materialov podobnih kakovosti, ki so bili v preteklosti izvedeni na ZAG; za opečno oziroma kamnito/mešano zidovje so bile v analizah predpostavljene naslednje lastnosti: karakteristična tlačna trdnost 2,0 MPa oziroma 1,0 MPa, karakteristična natezna trdnost 0,09 MPa oziroma 0,10 MPa, modul elastičnosti 2000 MPa oziroma 2700 MPa, strižni modul 200 MPa ter prostorninska teža 18 kN/m³ oziroma 22 kN/m³. Za kamnito zidovje, utrjeno s sistematičnim injektiranjem, so bile predpostavljene vrednosti karakterističnih tlačne in natezne trdnosti ter elastičnega in strižnega modula enake 1,8 MPa; 0,18 MPa; 3000 MPa in 300 MPa. V analizah so bile upoštevane projektne trdnosti zidovja, tj. s faktorjem zaupanja $CF = 1,2$ reducirane karakteristične vrednosti. Armirane obloge se vgradijo na obeh straneh zidov,

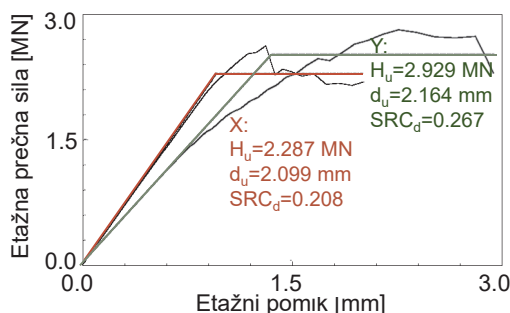
posamezna obloga je sestavljena iz armaturne mreže Q189, vgrajene v 2,5 cm debelo plast brizganega cementnega ometa, prečno skozi zid pa sta mreži na vsaki strani zidu medsebojno povezani s stremeni 6 $\Phi 6$ mm/m².

Pri potisni analizi so bili upoštevani etažni porušni mehanizem, povezanost nosilne konstrukcije in dejanske stalne navpične obtežbe, koristne navpične obtežbe in kombinacije obtežb pa so bile predpostavljene v skladu s standardi Evrokod. Dobljene potisne krivulje so bile idealizirane, upoštevajoč pogoj enakosti energij (krivulje so za glavno stavbo, za stanje povezane konstrukcije (B) prikazane na sliki 9, levo), potresna odpornost stavbe v različnih stanjih pa je bila ovrednotena s projektnim koeficientom potresne odpornosti SRC_d , ki je bil primerjan z zahtevano potresno odpornostjo v obliki projektnega koeficienta strižne obtežbe BSC_d , ki je določen z upoštevanjem potresnih spektrov po EC8 in projektnih pospeškov na stari [Lapajne, 2001] in novi [Šket Motnikar, 2021] Karti potresne nevarnosti Slovenije (z oznakama Karta PN 2002 in Karta PN 2022 na sliki 9, desno). V preglednici na sliki 9, desno, sta poleg SRC_d in BSC_d predstavljena tudi z idealizacijo dobljeni mejni pomik d_u in z njim izračunani faktor obnašanja q . Ocena potresne odpornosti za stanje A je bila pridobljena s korekcijo rezultatov za stanje B s faktorjem povezanosti k_{np} [Tomažević, 1991].

5.3 Učinkovitost utrditvenih ukrepov in ocene stroškov

Za glavno stavbo je v vseh stanjih kritična vzdolžna (X) smer potresne obtežbe. Iz preglednice na sliki 9 je razvidna učinkovitost posameznih nivojev utrditve (v stanjih B, C oziroma D glede na obstoječe stanje A), in sicer s primerjavo vrednosti razmerja med SRC_d in BSC_d za utrjeno stanje (B, C oziroma D) z vrednostjo SRC_d/BSC_d za obstoječe stanje (A). V preglednici so predstavljeni tudi stroški, ocenjeni za ukrepe, ki so upoštevani za določeno stanje.

Medtem ko bi se potresna odpornost stavbe bistveno izboljšala že s povezovanjem konstrukcije, je potresna odpornost, ki ustreza sedanjim potresnim zahtevam, dosežena le z utrditvijo vseh nosilnih zidov v stavbi – kamnitih s sistematičnim injektiranjem in z armiranimi oblogami ter opečnih z armiranimi oblogami (stanje D).



Slika 9. Potisni in idealizirani krivulji za vzdolžno (X) in prečno (Y) smer potresne obremenitve za povezano stanje nosilne konstrukcije (varianeta B) (levo); rezultati za kritično (X) smer za štiri stanja konstrukcije (A-D), primerjave s projektno potrebno obtežbo po stari in novi karti potresne nevarnosti (Karta PN 2002 [Lapajne, 2001] in 2022 [Šket Motnikar, 2021]) ter ocene stroškov (desno).

6 ZAKLJUČKI IN PRIHODNJE DELO

Ocena potresne ogroženosti stavb izbranega fonda, izvedena v okviru raziskovalnega projekta za zmanjšanje potresne ogroženosti pravosodnih stavb v Sloveniji, bo Ministrstvu za pravosodje, ki upravlja ta stavbni fond, omogočala strokovno in znanstveno podprto sprejemanje odločitev pri načrtovanju protipotresnih utrditev pri prenovah stavb tega fonda.

Tudi pri obravnavanih stavbah se v zasnovi in detajlih konstrukcije odraža vpliv časa, v katerem so bile projektirane, zgrajene in nekatere tudi rekonstruirane. Viden je vpliv gradbene prakse in zakonodaje, ki je veljala v preteklih obdobjih, zlasti predpisov s področja protipotresnega projektiranja, ki so bili v Sloveniji na žalost uvedeni po koncu prvega obdobja po drugi svetovni vojni, iz katerega imamo relativno veliko obstoječih stavb. Tudi pri stavbah sodišč so vse prepogoste prenove s posegi, ki zmanjšujejo potresno odpornost stavb. Zaporedje prenov zidanih stavb, pri katerih so značilne »prestavitve vrat« in »umestitve inštalacij« in niti niso ustrezno dokumentirane, ima lahko nepredstavljive posledice, ki bodo razgaljene ob potresu

primerne jakosti. Na drugi strani so bile pri nekaterih stavbah prenove ustrezne, dvigalni jaški so bili npr. izvedeni s samostojno konstrukcijo, dilatirano in zunaj gabaritov obstoječe stavbe.

Vse obravnavane stavbe so bile razvrščene po individualno ocenjeni potresni ogroženosti, tako glede pričakovane poškodovanosti kot glede doseganja potresne odpornosti, predpisane s standardom Evrokod 8. Razvrstitve predstavljajo strokovno podlago za prioritete pri prenovah. Primerjava ocen z zakonitostmi modela POTROG pokaže, da ocene sledijo zakonitostim, obenem pa je bilo njihova odstopanja od zakonitosti mogoče razložiti z ugotovljenimi posebnostmi glede lastnosti konstrukcij.

V teku so podrobne obravnave osmih stavb, ki so bile med potresno najbolj ogroženimi izbrane kot referenčne. Te obravnave zajemajo podroben pregled konstrukcije, odvzem in laboratorijske preiskave vzorcev gradiv ter podrobne analize

Stanje konstrukcije	A	B	C	D	
SRC _d	0,146	0,208	0,224	0,359	
d _u [mm]	/	2,099	2,763	2,531	
q	1,5	1,788	2,127	2,015	
Karta PN 2022	BSC _d	0,450	0,377	0,317	0,335
[Šket Motnikar, 2021]	SRC _d /BSC _d	32%	55%	71%	107%
Karta PN 2002	BSC _d	0,350	0,294	0,247	0,260
[Lapajne, 2001]	SRC _d /BSC _d	42%	71%	91%	138%
Ocena stroškov [€]		98,5k	120,7k	170,4k	

potresne odpornosti. Izvedene bodo na podoben način, kot so bile izvedene pri primeru ene bolj ogroženih stavb sodišča v Sevnici in so predstavljene v prispevku. Rezultati teh obravnav bodo lahko skupaj z možnimi nabori ukrepov služili kot podlaga za pripravo projektne dokumentacije za utrditev konstrukcije posamezne stavbe ter kot reference in informacije za odgovornejše načrtovanje investicij Ministrstva za pravosodje v stavbni fond v prihodnjem obdobju.

7 ZAHVALA

Rezultati ocene potresne ogroženosti so doseženi v okviru ciljnega raziskovalnega programa (CRP) št. V2-2257 (B) z naslovom Strateške podlage za zmanjšanje potresne ogroženosti stavb pravosodja v Sloveniji, ki ga financirata Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS (ARIS) in Ministrstvo za pravosodje RS. Rezultati, predstavljeni kot referenčni primer konkretne pravosodne stavbe, so bili doseženi v okviru sporazuma o dodelitvi sredstev št. C2030-21-298769. Raziskave so bile izvedene tudi s podporo infrastrukturnega programa IO-0032 (A), ki ga financira ARIS.

8 LITERATURA

Babič, A., Žižmond, J., Dolšek, M., Potresno tveganje stavb-nega fonda v Sloveniji, Gradbeni Vestnik, (71), 34–47, 2022.

Bosiljkov, V., Gostič, S., Kržan, M., Antolinc, D., Žarnić, R., Izdelava in demonstracija modela za načrtovanje ohranjanja umetnostnogodovinske dediščine v vojnih spopadih: končno poročilo za CRP MIR M4-0207. Ljubljana: UL FGG; ZRMK Institut, 2009.

Direktiva (EU) 2024/1275 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 24. aprila 2024 o energetske učinkovitosti stavb (preno-vitev), Pridobljeno: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX:32024L1275>

Dolšek, M., Žižmond, J., Babič, A., Lazar Sinković, N., Jamšek, A., Gams, M., Isaković, T., Seizmični stresni test stavbnega fonda Republike Slovenije (2020-2050). Ljubljana: UL FGG, IKPIR, 2020.

DSEPS, Dolgoročna strategija energetske prenove stavb do leta 2050. Vlada RS, 2021.

EN 1998-1:2005: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, 2005.

Gostič, S., Poročilo o pripravi strokovnih podlag za strategijo zagotavljanja potresne odpornosti mesta Idrija - hitra ocena potresne ogroženosti večjega števila stavb. Ljubljana: Gradbeni inštitut ZRMK, 2013.

Grünthal, G., European macroseismic scale 1998 (EMS-98), 1998.

Lapajne, J., The MSK-78 intensity scale and seismic risk, Engineering Seismology, 20(1), 105–112, [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(84\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0013-7952(84)90047-4), 1984.

Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupanč, P., Nova karta potresne nevarnosti - projektni pospešek tal namesto intenzitete, Gradbeni Vestnik : Glasilo Zveze Društev Gradbenih Inženirjev in Tehnikov Slovenije., (50), 140–149, 2001.

Lutman, M., Ugotovitev analitičnih korelacij med rezultati starejših in nove metode za oceno potresne odpornosti ter aplikacija ugotovljene analitične korelacije na rezultatih starejših ocen. Ljubljana: Zavod za gradbeništvo Slovenije, 2003.

Lutman, M., (a), CHERPLAN: krepitev kulturne dediščine z okoljskim načrtovanjem in upravljanjem: ocena potresne ogroženosti stavb v občin Idrija: poročilo (p. 91 f.). Ljubljana: Zavod za gradbeništvo Slovenije, 2013.

Lutman, M., (a), Ocena potresne ogroženosti stavb ožje vladne in tipičnih stanovanjskih stavb v Sloveniji ter strokovna priporočila: poročilo. Ljubljana: Zavod za gradbeništvo Slovenije, 2020.

Lutman, M., (a), Pregled in preiskave nosilne konstrukcije ter analiza potresne odpornosti stavbe Okrajnega sodišča v Sevnici s smernicami za potrebne ukrepe: 2. faza. Zavod za gradbeništvo Slovenije, 2022.

Lutman, M., Model for Seismic Risk Management in Slovenia. Predstavljeno na WCEE2024, Milano, Italy, 2024.

Lutman, M., Banovec, P., Cerkl, M., (b), POTROG 4 : nadgradnja sistema za določanje potresne ogroženosti in odzivnosti za potrebe zaščite in reševanja v Sloveniji : raziskovalni projekt, zaključno poročilo. ZAG, Inštitut za vodarstvo, Pridobljeno: <https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/potrog/>, 2020.

Lutman, M., Banovec, P., Cerkl, M., Šket Motnikar, B., POTROG 3 : nadgradnja sistema za določanje potresne ogroženosti in odzivnosti za potrebe zaščite in reševanja v Sloveniji : raziskovalni projekt, zaključno poročilo. ZAG, Inštitut za vodarstvo, Pridobljeno: <https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/potrog/>, 2018.

Lutman, M., Fenjveši, P., (b), Pregled in preiskave nosilne konstrukcije ter analiza potresne odpornosti stavbe Okrajnega sodišča v Sevnici s smernicami za potrebne ukrepe : 1. faza. Zavod za gradbeništvo Slovenije, 2022.

Lutman, M., Kreslin, M., Banovec, P., Cerkl, M., POTROG 2 : nadgradnja sistema za določanje potresne ogroženosti in odzivnosti za potrebe zaščite in reševanja v Sloveniji : raziskovalni projekt, zaključno poročilo. ZAG, Inštitut za vodarstvo, Pridobljeno: <https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/potrog/>, 2016.

Lutman, M., Motnikar, B. Š., Weiss, P., Klemenc, I., Zupančič, P., Cerkl, M., ... Banovec, P., Aspects of Earthquake Risk Management in Slovenia, 4th International Conference on Building Resilience, Incorporating the 3rd Annual Conference of the ANDROID Disaster Resilience Network, 8th – 11th September 2014, Salford Quays, United Kingdom, 18, 659–666, [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00988-5](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00988-5), 2014.

Lutman, M., Peruš, I., Ocena potresne ogroženosti 12 objektov v Lek d.d. Zavod za gradbeništvo Slovenije, Ljubljana, 2002.

Lutman, M., Peruš, I., Tomazevič, M., Potresna odpornost objektov v Mestni občini Ljubljana. Zavod za gradbeništvo Slovenije, Ljubljana, 2001.

Lutman, M., Weiss, P., Klemenc, I., Zupančič, P., Šket Motnikar, B., Banovec, P., Cerkl, M., (b), POTROG: Potresna ogroženost v Sloveniji za potrebe Civilne zaščite. Ljubljana, Slovenia: Zavod za gradbeništvo Slovenije, Agencija Repu-

blike Slovenije za okolje, Inštitut za vodarstvo, Pridobljeno: <https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/potrog/>, 2013.

MNVP, Resolucija o krepitvi potresne varnosti do leta 2050 »PREHITIMO POTRES« (ReKPV50) (2023), Pridobljeno: <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2023-01-3592>, 2023.

MNVP, GURS, Kataster nepremičnin [Baza podatkov]. Portal prostor, Pridobljeno: <https://www.e-prostor.gov.si/podrocja/parcele-in-stavbe/kataster-nepremicnin/>, 2025.

Odredba o dimenzioniranju in izvedbi gradbenih objektov v potresnih območjih. Ur. l. SRS 18/63, 1963.

Peruš, I., Fajfar, P., Reflak, J., Potresna ogroženost in varstvo pred potresi. Poročilo št. 1: Metodologija za oceno potresne ranljivosti obstoječih gradbenih objektov: zidane in armiranobetonske konstrukcije stavb. IKPIR, 1995.

Pravilnik o začasnih tehničnih predpisih za gradnjo na seizmičnih področjih. Ur. l. SFRJ, št. 39/1964, 1964.

Sheppard, P., Tomaževič, M., Izhodišča in kriteriji za ugotavljanje potresne ranljivosti zidanih zgradb. Ljubljana, december 1986. (Št. IKPI-86/11). Ljubljana: ZRMK, 1986.

Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Karta intenziteta EMS. ARSO, GURS, Pridobljeno: https://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/potresna_nevarnost/intenziteta_resevanje.jpg, 2011.

Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Živčič, M., Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Čarman, M., ... Gosar, A., Tolmač karte: Nova karta potresne nevarnosti Slovenije (2021) za namen projektiranja potresno odpornih stavb. ARSO, Urad za seizmologijo, MOP, Pridobljeno: https://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/potresna_nevarnost/Tolmac_karte_potresne_nevarnosti_2021.pdf, 2021.

Stavbinski red za občinsko ozemlje deželnega stolnega mesta Ljubljane, Deželni zakonik št. 28, XXI. kos. Ljubljana, 1896.

Tomaževič, M., Potresno odporne zidane stavbe. Ljubljana: Tehnis, 2009.

Tomaževič, M., Lapajne, J., Sheppard, P., Bergant, M., Lutman, M., Codec, M., Vidrih, R., Potresna ogroženost mesta Ljubljane. Ljubljana: ZRMK: Seizmološki zavod R Slovenije, 1991. 2 zv. (24, 102 str.), ilustr. [COBISS.SI-ID 349287], (No. 2. zvezek) (p. 102). Ljubljana: ZRMK, Seizmološki zavod R Slovenije, 1991.

Ur. list SRFJ št. 31, Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, 1981.