

Procjena oštetljivosti građevina u nizu - makroseizmički i analitički pristup

Antonela Moretić¹, doc. dr. sc. Mislav Stepinac²

¹Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, antonela.moretic@grad.unizg.hr

²Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, mislav.stepinac@grad.unizg.hr

Sažetak

Jezgre mnogih europskih gradova, koje su ujedno i gradska kulturna središta, čine blokovi zgrada sastavljeni uglavnom od zidanih konstrukcija. Ograničen prostor za širenje i rast broja stanovnika rezultirali su formiranjem blokova zgrada. Iznimka nije ni Hrvatska, primjerice blokovi su karakterističan tip gradnje u Donjem gradu u Zagrebu. S obzirom da se ponašanje građevina u bloku u slučaju potresa razlikuje od ponašanja samostojećih konstrukcija, za građevinske inženjere one predstavljaju poseban izazov. Rad prikazuje dva pristupa procjene oštetljivosti konstrukcija, s naglaskom na utjecaj bloka, tj. na međudjelovanje konstrukcija.

Ključne riječi: zidane konstrukcije, blokovi, oštetljivost, makroseizmički pristup, analitički pristup, postojeće konstrukcije

Vulnerability assessment of building aggregates – macroseismic and analytical approach

Abstract

Historical centers of many European cities, which are also the cultural centers, are composed of building aggregates formed mainly of masonry structural units. Limited space for expansion and population growth caused development of a new structural form – building aggregates. Croatia is no exception; for example, building aggregates are typical for historical Lower Town in Zagreb. Since the behavior of building aggregates in the case of an earthquake differs from the behavior of isolated structures, they represent a special challenge for civil engineers. The paper presents two approaches to the vulnerability assessment, with emphasis on the impact of aggregates, i.e., on the interaction of structures.

Key words: masonry structures, building aggregates, vulnerability, macroseismic approach, analytical approach, existing structures

1 Uvod

Potresni rizik moguće je kvalitativno i kvantitativno izraziti ovisno o tri čimbenika – seizmičkom hazardu, izloženosti te oštećljivosti građevinskog fonda. Oštećljivost se definira kao podložnost građevina učincima potresa, a njenom procjenom definira se vjerojatnost nastupanja određene razine oštećenja kod građevine prilikom djelovanja potresa [1]. Metode za procjenu oštećljivosti mogu se klasificirati kao empirijske, analitičke ili pristup baziran na inženjerskoj procjeni [2]. Empirijske metode se temelje na statističkim podacima raspoloživim zahvaljujući pregledima nakon potresa, dok se analitički pristup temelji na numeričkim modelima za simulaciju seizmičkog odziva konstrukcija te je neovisan o dostupnosti podataka o oštećenjima. Iz tih razloga u Hrvatskoj je dosad bio prikladniji analitički pristup, ali sada postoji detaljna baza podataka o oštećenjima (za područja pogođena potresom) što otvara vrata primjeni empirijskih metoda. U radu su opisane makroseizmička (empirijski pristup) te analitička metoda procjene oštećljivosti, s osvrtom na građevine u nizu. U praksi se često zanemaruje složeno međudjelovanje građevina u nizu prilikom proračuna, tj. tretiraju se kao samostojeće građevine jer suvremene norme ne pružaju detaljne smjernice glede proračuna građevina u nizu. Za razliku od samostojećih građevina, građevine u nizu izložene su značajnijim torzijskim učincima. Potresna otpornost građevine u nizu ovisi o nizu čimbenika; položaju u nizu, rasporedu nosivih elemenata, položaju međukatnih konstrukcija, smjeru djelovanja potresnih valova, itd. Građevine koje formiraju blok često ne datiraju iz istog perioda, imaju različite konstrukcijske sustave te materijalne karakteristike što doprinosi kompleksnosti ponašanja prilikom djelovanja potresa. Utjecaj bloka može biti pozitivan, ali i negativan stoga se ne smije zanemariti. Definiranje potresnog rizika je nužno kako bi se moglo utjecati na njegovu redukciju. Nedavni potresi, iako umjerenih magnituda uzrokovali su veliku štetu [3, 4] te ukazali na potrebu definiranja potresnog rizika u Hrvatskoj s ciljem izbjegavanja ponavljanja zagrebačkog i petrinjskog scenarija.

2 Makroseizmički pristup

Metoda indeksa oštećljivosti makroseizmička je metoda čije su prednosti brzina i jednostavnost njene primjene. Za relativno kratko vrijeme moguće je dobiti okvirnu i dovoljno točnu procjenu oštećljivosti za velik broj građevina [5, 6]. Građevine je potrebno pregledati, nabaviti projektnu dokumentaciju te rezultate pregleda nakon potresa ako je predmetno područje bilo pogođeno potresom (slika 1) itd. Čak i uz ograničenu bazu podataka i brojne pretpostavke, ovaj pristup koristan je alat za procjenu oštećljivosti.



Slika 1. Podaci potrebni za procjenu oštećljivosti: a) Rezultati pregleda građevina nakon potresa [7], b) Projektna dokumentacija [8]

Za procjenu zidanih konstrukcija najčešće se koristi obrazac koji su predložili autori Benedetti i Petrini, a sastoji se od 10 parametara te se odnosi na samostojeće građevine [9]. Naknadno je obrazac proširen s dodatnih pet parametara kojima se uzima u obzir utjecaj bloka (tablica 1) [10].

Tablica 1. Obrazac za procjenu oštećljivosti građevina [11]

Parametar	Razred				Težinski faktor
	A	B	C	D	
1. Povezanost međusobno okomitih zidova	0	5	20	45	1,00
2. Tip zidanih elemenata	0	5	25	45	0,25
3. Tlo i temeljenje	0	5	25	45	0,75
4. Raspodjela nosivih elemenata	0	5	25	45	1,50
5. Pravilnost tlocrta	0	5	25	45	0,50
6. Raspodjela mase po visini	0	5	25	45	0,50
7. Tip međukatne konstrukcije	0	5	15	45	0,80
8. Krovnište	0	15	25	45	0,75
9. Detalji	0	0	25	45	0,25
10. Stanje građevine	0	5	25	45	1,00
11. Prisutnost susjednih jedinica različite visine	-20	0	15	45	1,00
12. Pozicija jedinice u nizu građevina	-45	-25	-15	0	1,50
13. Broj razmještenih katova	0	15	25	45	0,50
14. Konstruktivna ili tipološka heterogenost između susjednih jedinica	-15	-10	0	45	1,20
15. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada	-20	0	25	45	1,00

Indeks oštjetljivosti I_V (Vulnerability index) računa se prema izrazu (1):

$$I_V = \sum_{i=1}^{i=n} S_i \cdot W_i \quad (1)$$

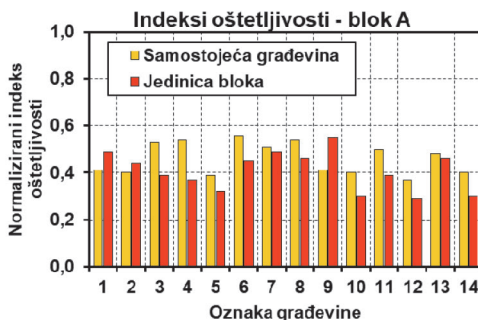
gdje S_i predstavlja vrijednost parametra za procijenjeni razred konstrukcije, a W_i vrijednost težinskog faktora [12]. Definirana su četiri moguća razreda konstrukcija, gdje A predstavlja najpovoljniji, a D najkritičniji razred. Za većinu parametara razred konstrukcije određuje se vizualnim pregledom građevine s obzirom da su kriteriji klasifikacije izraženi kvalitativno, dok je za nekolicinu parametara kriterij definiran kvantitativno stoga je razred potrebno izračunati. Težinski faktor W_i razlikuje se za svaki parametar ovisno o njegovoj utjecajnosti. Indeks oštjetljivosti zatim se svodi na normaliziranu vrijednost [10] prema izrazu (2):

$$V_i = \left[\frac{I_V - \left(\sum_{i=1}^{i=n} S_{\min} \cdot W_i \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} (S_{\max} \cdot W_i) - (S_{\min} \cdot W_i)} \right] \quad (2)$$

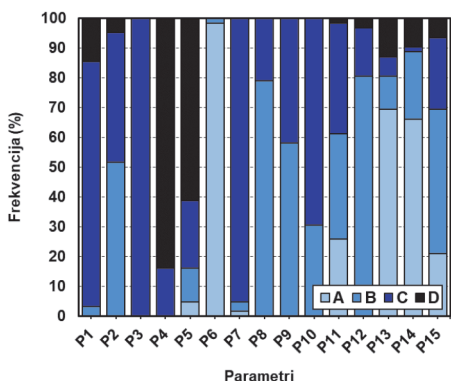
U izrazima (1) i (2), vrijedi $n = 10$, ukoliko se građevine analiziraju kao samostojeće te $n = 15$ ako se analiziraju kao jedinice bloka.

Na slici 2 prikazana je usporedba indeksa oštjetljivosti građevina u Donjem gradu koje su analizirane kao samostojeće te kao dijelovi bloka. Radi se uglavnom o zidanim četverokatnicama koje datiraju s prijelaza s 19. na 20. stoljeće. Ukupno pet građevina u promatranim blokovima su armiranobetonske (7 % jedinica). S obzirom da su nakon potresa na tim jedinicama zabilježena manja oštećenja (površinske pukotine i otpadanje žbuke), oštjetljivost tih građevina nije procijenjena. Njihov utjecaj na ponašanje zidanih konstrukcija uzet je u obzir. Vidljivo je da je utjecaj međudjelovanja građevina različit za svaku pojedinačnu građevinu. Utjecaj bloka se ispostavio negativan za 15 % ukupnog broja analiziranih građevina.

Na slici 3 opisana je učestalost pojedinih razreda za parametre opisane u tablici 1, za skupinu građevina u Donjem gradu u Zagrebu. Prema [13], može se zaključiti da je riječ uglavnom o građevinama nepravilnog tlocrta, koje se nalaze na mekom tlu, s nosivim elementima dominantnima u jednom smjeru, jednoliko raspodijeljenom masom te deformabilnim stropnim konstrukcijama. Radi se o građevinama kojima nedostaje takozvani "efekt kutije" [14].



Slika 2. Rezultati procjene oštećljivosti



Slika 3. Klasifikacija građevina

Na temelju volumena Vol_{SU}^i i indeksa oštećljivosti V_i^{SU} jedinica bloka, moguće je izraziti indeks oštećljivosti bloka, prema izrazu (3):

$$V_{l,agg} = \sum_{i=1}^n \left(V_i^{SU} \cdot \frac{Vol_{SU}^i}{Vol_{agg.}} \right) \tag{3}$$

gdje je $Vol_{agg.}$ volumen bloka [15].

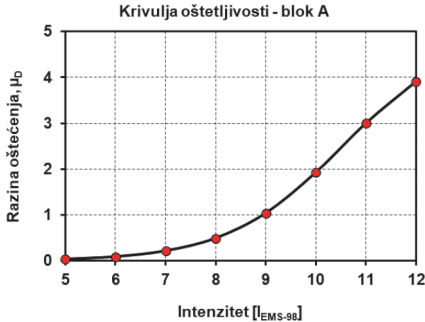
Prema europskoj makroseizmičkoj ljestvici (EMS-98) definirano je šest razreda oštećenja konstrukcija D0, D1, D2, D3, D4 te D5. Razred D0 opisuje konstrukciju bez oštećenja, D1 uključuje površinske pukotine na malom broju zidova i otpadanje žbuke. Razred D2 podrazumijeva oštećenja konstruktivnih te značajna oštećenja nekonstruktivnih elemenata; otpadanje žbuke i pukotine na većini zidova. Razred D3 podrazumijeva značajna konstruktivna te teška nekonstruktivna oštećenja; ošte-

čene zabatne zidove, dimnjake. Razred D4 uključuje ozbiljna oštećenja međukatnih i krovnih konstrukcija, dok D5 predstavlja otkazivanje konstrukcije.

Ovisno o indeksu oštećljivosti konstrukcije (bloka) V_p , intenzitetu potresa I i duktilnosti konstrukcije (bloka) Q , moguće je odrediti očekivani razred oštećenja konstrukcija [12] prema izrazu (4):

$$\mu_D = 2,5 \cdot \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6,25 \cdot V_p - 13,1}{Q} \right) \right] \quad (4)$$

Indeksom oštećljivosti i faktorom duktilnosti opisuje se konstrukcija, dok je jakost potresa opisan intenzitetom. Faktor duktilnosti poprima vrijednost u rangu između 1 – 4, no za zidane konstrukcije obično se uzima s vrijednošću 2,3 [16]. Iako se jakost potresa može objektivnije opisati magnitudom prilikom procjene oštećljivosti, često zbog nedostatka podataka (pogotovo ako se radi o povijesnim potresima i pripadnoj šteti), koristi se intenzitet potresa. Obično se izražava pomoću Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) ljestvice. Rezultati se najčešće opisuju uz pomoć krivulja oštećljivosti ili krivulja ranjivosti. Krivulje oštećljivosti opisuju korelaciju između intenziteta potresa i razreda oštećenja za određeni indeks oštećljivosti (slika 4). Ako su dostupni podaci o oštećenjima nakon potresa, rezultate je potrebno kalibrirati [12].

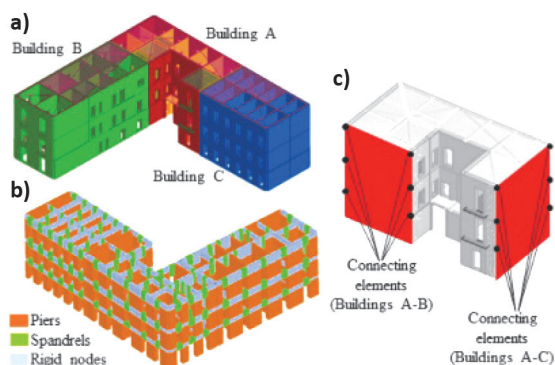


Slika 4. Krivulja oštećljivosti

Krivulje ranjivosti opisuju vjerojatnost prekoračenja određene razine oštećenja ovisno o vršnom ubrzanju tla. Moguće ih je razviti na temelju matrice vjerojatnosti oštećenja. Za definiranje matrice vjerojatnosti oštećenja uglavnom se koristi binomna raspodjela koja se temelji na rezultatima pregleda građevina nakon potresa [17].

3 Analitički pristup

Za razliku od makroseizmičkog, za primjenu analitičkog pristupa potrebno je imati veoma detaljan uvid u geometrijske, materijalne te konstruktivne karakteristike konstrukcije [18]. Potrebno je osigurati pristup svim relevantnim informacijama o građevini, uključujući originalnu projektnu dokumentaciju, dokumentaciju o rekonstrukcijama, adaptacijama, podatke o tlu, itd. S obzirom da se analitički pristup temelji na simulaciji potresnih pobuda, konstrukciju je potrebno adekvatno modelirati i opteretiti (Slika 5). Postoje brojni primjeri modeliranja zidanih konstrukcija nakon potresa, a u posljednje vrijeme objavljeno je i nekoliko studija slučaja relevantnih za Hrvatsku, odnosno studija slučaja nakon zagrebačkog potresa [19-24].



Slika 5. Modeliranje jedinica bloka [25]

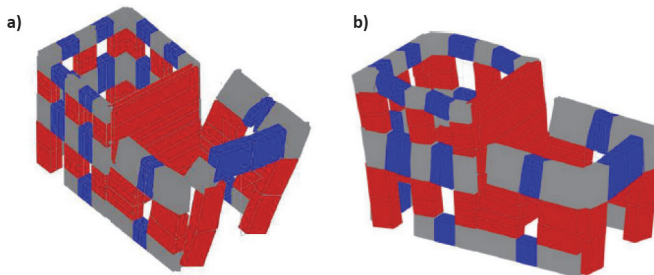
Za simulaciju potresnog opterećenja moguće je koristiti linearnu statičku ili dinamičku analizu te nelinearnu statičku (pushover) ili dinamičku (time history) analizu. Ipak, zbog svoje praktičnosti i točnosti prevladava uporaba nelinearne statičke metode. Kapacitet konstrukcije izražava se pomoću pushover krivulje (krivulje sposobnosti nosivosti), ona opisuje odnos između poprečne sile u podnožju građevine (base shear) i pomaka kontrolnog čvora. Analiza se provodi za oba smjera (x i y). Temeljna pretpostavka metode je da konstrukcija vibrira u prvom modu što je i ujedno nedostatak metode jer je uglavnom primjenjiva na pravilne zgrade koje imaju dominantan odziv u prvom obliku titranja. Kod visokih zgrada i tlocrtno nesimetričnih građevina ne daje dobre rezultate. Nelinearna dinamička metoda u vremenu ili *time* – *history* najpreciznija je i najsloženija metoda za proračun seizmičkih djelovanja [25]. Opterećenje je pobuda potresom, zapis ubrzanja tla u vremenu – akceleroگرام. Prednost metode je mogućnost modeliranja nelinearnog ponašanja materijala, geometrijske nelinearnosti, definiranje prigušenja itd. No, zbog vrlo velikog broja pretpostavki u svim fazama proračuna, od ubrzanja tla do nelinearnog modeliranja u inženjerskoj se praksi rijetko koristi.

Razine oštećenja moguće je definirati ovisno različitim varijablama: međukatnom pomaku, pomaku kontrolnog čvora itd. Tablica 2 prikazuje razine oštećenja definirane ovisno o pomaku kontrolnog čvora, gdje je D_y pomak na granici popuštanja, a D_u pomak pri slomu.

Tablica 2. Razine oštećenja [13]

Razina oštećenja		
D1	Blago	$0,7 D_y$
D2	Umjereno	D_y
D3	Značajno	$D_y + 0,5(D_u - D_y)$
D4 - D5	Otkazivanje	D_u

Jedinice bloka moguće je modelirati kao samostojeće građevine (uz određene modifikacije kojima se smanjuje pogreška), kao potpuno povezane građevine ili pomoću veza kojima se simulira njihova interakcija. Pristup modeliranja jedinica kao da su potpuno neovisne se često odvija zbog nedostupnosti podataka o susjednim građevinama, financijskih ili vremenskih ograničenja. Takav pristup je u velikom broju slučajeva konzervativan, no ako se model izrađuje s ciljem popravka konstrukcije, rezultati nisu mjerodavni. Naime, odzivi različitih modela se razlikuju [26]. Na slici 6 prikazani su mehanizmi otkazivanja različito modelirane konstrukcije.



Slika 6. Mehanizmi otkazivanja [26]: a) model s nezavisnim jedinicama, b) model s modeliranim vezama između jedinica

4 Zaključak

U prethodne dvije godine, područje Hrvatske bilo je pogođeno nizom potresa. S obzirom da je potres izvanredno djelovanje, potresni rizik je tema koja je u široj javnosti godinama bila zanemarena. Zagrebački potres 2020., uzrokovao je veliku štetu, pogotovo u gradskoj jezgri – najčešća oštećenja odnosila su se na srušene dimnjake, zabatne tavanske zidove i krovništa. Do oštećenja tradicijskih zidanih zgrada je došlo zbog neravnomjerne raspodjele krutosti, slabih ili nepostojećih međusob-

nih veza te loše povezanosti s međukatnom ili krovnom konstrukcijom. Velik dio građevinskog fonda Hrvatske čine upravo (nearmirane) zidane konstrukcije, a pogotovo se mogu pronaći u gradskim jezgrama gdje formiraju blokove. Stoga, s ciljem definiranja potresnog rizika, u radu su analizirana dva pristupa procjene oštećljivosti. Procjena oštećljivosti značajna je za određivanje ljudskih i ekonomskih gubitaka. Metoda indeksa oštećljivosti je metoda koja se temelji na kvantificiranju određenih karakteristika promatrane građevine. Primarno se odnosila na samostojeće građevine, a naknadno je proširena te je primjenjiva na građevine koje formiraju blokove. Praktična je za procjenu oštećljivosti velikog broja građevina (na lokalnoj, urbanoj, regionalnoj razini...) zbog brzine primjene metode, količine potrebnih informacija te količini nesigurnosti i pretpostavki koje uspješno "podnosi". S druge strane, analitički pristup mnogo je precizniji, ali i kompleksniji te zahtijeva mnogo više vremena. Implementacija analitičkog pristupa na većoj teritorijalnoj razini nije realna, s obzirom da uključuje seizmički proračun (koji za građevine u bloku još uvijek nije definiran u normama).

Zahvala

Autori se zahvaljuju Hrvatskoj zakladi za znanost na financijskoj potpori istraživanja kroz projekt ARES: Procjena stanja i obnova postojećih građevina – Razvoj suvremenih metoda za zidane i drvene konstrukcije (UIP-2019-04-3749).

Literatura

- [1] Atalić, J., Šavor Novak, M., and Uroš, M., Seismic risk for Croatia: Overview of research activities and present assessments with guidelines for the future, *Građevinar*, vol. 71, no. 10. Union of Croatian Civil Engineers and Technicians, pp. 923–947, 2019. doi: 10.14256/JCE.2732.2019.
- [2] Moufid, M., Mohamed, F., and Noroozinejad, E., The seismic vulnerability assessment methodologies : A state-of-the-art review, *Ain Shams Eng. J.*, vol. 11, no. 4, pp. 849–864, 2020, doi: 10.1016/j.asej.2020.04.001.
- [3] Uroš, M., Šavor Novak, M., Atalić, J., Sigmund, Z., Baniček, M., Demšić, M., and Hak, S., Post-earthquake damage assessment of buildings - Procedure for conducting building inspections, *Građevinar*, vol. 72, no. 12, pp. 1089–1115, 2021, doi: 10.14256/JCE.2969.2020.
- [4] Stepinac, M., Lourenço, P. B., Atalić, J., Kišiček, T., Uroš, M., Baniček, M., and Šavor Novak, M., Damage classification of residential buildings in historical downtown after the ML5.5 earthquake in Zagreb, Croatia in 2020, *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 56, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.ijdrr.2021.102140.

- [5] Baquedano, P., Tiago, J., and Ferreira, M., *From single - to multi - hazard vulnerability and risk in Historic Urban Areas : a literature review*, no. 0123456789. Springer Netherlands, 2021. doi: 10.1007/s11069-021-04734-5.
- [6] Formisano, A., Mazzolani, F. M., Florio, G., Landolfo, R., De Masi, G., Priscoli, G. D., and Indirli, M., Seismic vulnerability analysis of historical centres: A GIS application in Torre del Greco, *COST ACTION C26 Urban Habitat Constr. under Catastrophic Events - Proc. Final Conf.*, no. September, pp. 583–588, 2010.
- [7] Hrvatski centar za potresno inženjerstvo. <https://www.hcpi.hr>.
- [8] Državni arhiv u Zagrebu. <http://daz.hr/>
- [9] Petrini, V. and Benedetti, D., A method for evaluating the seismic vulnerability of masonry buildings, 1984.
- [10] Chieffo, N. and Formisano, A., Comparative Seismic Assessment Methods for Masonry Building Aggregates: A Case Study, *Front. Built Environ.*, vol. 5, no. October, 2019, doi: 10.3389/fbuil.2019.00123.
- [11] Formisano, A., Mazzolani, F. M., Florio, G., and Landolfo, R., A quick methodology for seismic vulnerability assessment of historical masonry aggregates, 2010, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/266617700_A_quick_methodology_for_seismic_vulnerability_assessment_of_historical_masonry_aggregates
- [12] Chieffo, N. and Formisano, A., Induced Seismic-Site Effects on the Vulnerability Assessment of a Historical Centre in the Molise Region of Italy : Analysis Method and Real Behaviour Calibration Based on 2002 Earthquake, *Geosci.*, vol. 10, no. 21, 2020, doi: 10.3390/geosciences10010021.
- [13] Chieffo, N., Clementi, F., Formisano, A., and Lenci, S., Comparative fragility methods for seismic assessment of masonry buildings located in Muccia (Italy), *J. Build. Eng.*, vol. 25, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.jobe.2019.100813.
- [14] Stepinac, M., Rajčić, V., and Barbalić, J., Influence of long term load on timber-concrete composite systems, *Gradjevinar*, vol. 67, no. 3, pp. 235–246, 2015, doi: 10.14256/JCE.1170.2014.
- [15] Formisano, A., Mochi, G., and Chieffo, N., Empirical and mechanical analysis methods for seismic vulnerability assessment of clustered buildings of historical centres: A case study, *COMPADYN Proc.*, vol. 2021-June, no. January, 2021, doi: 10.7712/120121.8486.19053.
- [16] Lagomarsino, S., On the vulnerability assessment of monumental buildings, *Bull. Earthq. Eng.*, vol. 4, no. 4, pp. 445–463, 2006, doi: 10.1007/s10518-006-9025-y.
- [17] Chieffo, N. and Formisano, A., The Influence of Geo-Hazard Effects on the Physical Vulnerability Assessment of the Built Heritage : An Application in a District of Naples, no. January, 2019, doi: 10.3390/buildings9010026.

- [18] Stepinac, M., Kisicek, T., Renić, T., Hafner, I., and Bedon, C., Methods for the assessment of critical properties in existing masonry structures under seismic loads-the ARES project, *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 5. MDPI AG, Mar. 01, 2020. doi: 10.3390/app10051576.
- [19] Milić, M., Stepinac, M., Lulić, L., Ivanišević, N., Matorić, I., Čačić Šipoš, B., and Endo, Y., Assessment and Rehabilitation of Culturally Protected Prince Rudolf Infantry Barracks in Zagreb after Major Earthquake, *Buildings*, vol. 11, no. 11, p. 508, Oct. 2021, doi: 10.3390/buildings11110508.
- [20] Lulić, L., Ožić, K., Kišiček, T., Hafner, I., and Stepinac, M., Post-earthquake damage assessment-case study of the educational building after the zagreb earthquake, *Sustain.*, vol. 13, no. 11, Jun. 2021, doi: 10.3390/su13116353.
- [21] Moretić, A., Stepinac, M., and Lourenço, P. B., Seismic upgrading of cultural heritage – A case study using an educational building in Croatia from the historicism style, *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 17, no. May, p. e01183, 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01183.
- [22] Pojatina, J., Barić, D., Anđić, D., and Bjegović, D., Structural renovation of residential building in Zagreb after the 22 March 2020 earthquake, *Gradjevinar*, vol. 73, no. 6, pp. 633–648, 2021, doi: 10.14256/JCE.3195.2021.
- [23] Perić, L. and Matorić, I., Reliability of traditional timber-floor masonry buildings to seismic action, *Gradjevinar*, vol. 72, no. 10, pp. 869–893, 2020, doi: 10.14256/JCE.2965.2020.
- [24] Hafner, I., Lazarević, D., Kišiček, T., and Stepinac, M., Post-Earthquake Assessment of a Historical Masonry Building after the Zagreb Earthquake–Case Study, *Buildings*, vol. 12, no. 3, 2022, doi: 10.3390/buildings12030323.
- [25] Angiolilli, M., Lagomarsino, S., Cattari, S., and Degli Abbati, S., Seismic fragility assessment of existing masonry buildings in aggregate, *Eng. Struct.*, vol. 247, p. 113218, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2021.113218.
- [26] Tomić, I. *et al.*, Seismic Testing of Adjacent Interacting Masonry Structures, 2021, doi: 10.23967/sahc.2021.234.