

doi: 10.67563/ASESCONF2026100J

Martina Jurak¹, Josip Atalić², Mario Uroš², Marija Demšić²**CHALLENGES IN THE ASSESSMENT OF SEISMIC RESILIENCE OF EXISTING BUILDINGS**

Summary: The earthquakes that struck Zagreb and Petrinja in 2020 revealed the high seismic vulnerability of the existing building stock in the Republic of Croatia, particularly older masonry buildings constructed before the introduction of modern seismic design codes. The paper presents the fundamental aspects of seismic risk assessment, the challenges associated with identifying critical residential building typologies, and the difficulties arising from the lack of reliable data on existing buildings. It also discusses the concept of an acceptable level of seismic resistance, the application of the Significant Damage Index (IZO) and its implementation within the seismic certificate, as well as the most commonly used methods for assessing the seismic resistance of existing buildings and their associated limitations. Particular emphasis is placed on the importance of high-quality data and a systematic approach to the assessment of the existing building stock as prerequisites for effective seismic risk management and improved safety of the built environment.

Keywords: seismic resistance, seismic risk, critical residential building stock, significant damage index, seismic certificate, vulnerability assessment

IZAZOVI OCJENJIVANJA POTRESNE OTPORNOSTI POSTOJEĆIH ZGRADA

Rezime: Potresi koji su 2020. godine pogodili Zagreb i Petrinju pokazali su visoku seizmičku ranjivost postojećeg fonda zgrada u Republici Hrvatskoj, posebno starijih zidanih građevina izgrađenih prije uvođenja suvremenih protupotresnih propisa. U radu su prikazani osnovni elementi procjene seizmičkog rizika, problematika identifikacije kritične tipologije stambenog fonda i izazovi povezani s nedostatkom pouzdanih podataka o postojećim građevinama. Također su prikazani koncept prihvatljive razine potresne otpornosti, primjena indeksa značajnog oštećenja (IZO) i njegova implementacija u seizmički certifikat te najčešće metode procjene potresne otpornosti postojećih građevina zajedno s njihovim ograničenjima. Poseban naglasak je stavljen na važnost kvalitetnih podataka i sustavnog pristupa procjeni postojećeg građevinskog fonda kao preduvjeta za učinkovito upravljanje seizmičkim rizikom i povećanje sigurnosti izgrađenog okoliša.

Ključne reči: potresna otpornost, seizmički rizik, kritični stambeni fond, indeks značajnog oštećenja, seizmički certifikat, procjena oštećljivosti

¹ Hrvatski centar za potresno inženjerstvo, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, martina.jurak@grad.unizg.hr

² Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu

1. UVOD

Tijekom 2020. godine u Hrvatskoj su se dogodila dva jaka potresa koja su dovela do velikih oštećenja građevina, i nažalost, ljudskih gubitaka. Ti su događaji bitno utjecali na inženjersku praksu u Hrvatskoj posebice glede izrade novih smjernica te nadopunu tehničkog propisa u kontekstu obnove zgrada. Prvi potres koji se dogodio 22. ožujka 2020. godine najviše je oštetio zgrade u glavnom gradu Zagrebu. Potres je bio lokalne magnitude 5,5 s epicentrom otprilike 7 km sjeverno od središta grada, na području Markuševca. Kako je veliki broj zidanih građevina u samome središtu grada te u neposrednoj blizini epicentra doživio znatna oštećenja, potres je klasificiran kao oštećujući a sam intenzitet prema Europskoj makroseizmičkoj ljestvici (EMS-98) ocijenjen je sa VII stupnjeva. Neposredno nakon glavnog udara, uslijedio je niz naknadnih potresa te kao dva umjerena potresa zabilježeni su oni momentne magnitude M 4,7 i M 3,3. Isti dan je oformljen stožer koji je, preko strukovnih komora i udruga, organizirao inženjere za pregled i procjenu oštećenja građevine odnosno njihovu sigurnost za građane [1]. Jedan još jak potres u novijem vremenu za Hrvatsku, momentne magnitude M 6,4 dogodio se krajem iste godine 29.12. pogodio grad Petrinju i njegovu okolicu, ali je nastradalo i područje središta glavnoga grada. Tome jakome potresu prethodio je potres momentne magnitude M 4,9 dan ranije te su s obzirom na njega započeli pregledi stambenih zgrada, obiteljskih kuća i građevina od posebnog značaja na području grada Petrinje, Siska i Gline te je u sve to odmah bio uključen sustav civilne zaštite. Značajnu ulogu u organizaciji i provedbi pregleda na području Sisačko-moslavačke županije imao je Hrvatski centar za potresno inženjerstvo (HCPI), platforma osnovana nakon zagrebačkog potresa, koji je okupio velik broj stručnjaka građevinske i srodnih struka te omogućio učinkovitu koordinaciju poslijepotresnih aktivnosti [2]. S obzirom kako je stradao veliki broj zidanih zgrada, što je vidljivo na Slici 1, ta dva potresa probudila su svijest o visokoj seizmičkoj ranjivosti postojećeg fonda zgrada u Republici Hrvatskoj.



Slika 1: Oštećenja zidanih zgrada u Zagrebu i Petrinji

Za razliku od novih građevina, za koje su zahtjevi sigurnosti i projektni kriteriji jasno definirani normama, procjena i obnova postojećih zgrada predstavlja znatno složeniji problem. Postojeće građevine suočavaju se s brojnim ograničenjima, kao što su nedostatna ili nepostojeća projektna dokumentacija, nepoznata svojstva ugrađenih materijala, nedokumentirane rekonstrukcije i dogradnje, prisutnost izvornih i stečenih nedostataka konstrukcija te brojna arhitektonska, konzervatorska i ekonomska ograničenja [3]. Zbog navedenih razloga postizanje razine sigurnosti koja vrijedi za nove građevine u mnogim slučajevima kod postojećeg građevinskog fonda je tehnički i ekonomski zahtjevnija.

Nakon potresa koji su se dogodili 2020. godine otvorilo se pitanje definiranja prihvatljive razine potresne sigurnosti postojećih građevina te uspostavljanja jedinstvenog kriterija za vrednovanje njihove otpornosti. U tom je kontekstu uveden indeks znatnog oštećenja (IZO) kao pokazatelj relativne razine potresne otpornosti postojeće građevine [4].

2. IDENTIFIKACIJA KRITIČNOG STAMBENOG FONDA

Procjena potresnog rizika predstavlja temelj za razumijevanje mogućih posljedica budućih potresa i određivanje mjera smanjenja rizika. Sama procjena rizika temelji se na tri važne komponente, a to su seizmički hazard, izloženost i oštetljivost građevina, pri čemu sama analiza ranjivosti postojećeg građevinskog fonda omogućuje identifikaciju tipologija zgrada koje mogu uzrokovati najveće ljudske i gospodarske gubitke uslijed budućih potresa [3,6].

Dosadašnje procjene seizmičkog rizika za Republiku Hrvatsku i Grad Zagreb pokazale su da se najveći očekivani gubici povezuju s velikim brojem zidanih građevina izgrađenih prije uvođenja suvremenih protupotresnih propisa. Posebno su ranjive višestambene zidane zgrade u povijesnim gradskim jezgrama, koje su uglavnom izgrađene krajem 19. i početkom 20. stoljeća što je vidljivo na Slici 2 na kojoj je prikazana starost zgrada grada Zagreba. Ove građevine karakteriziraju nearmirano ziđe, slaba povezanost konstrukcijskih elemenata, fleksibilne međukatne konstrukcije i različiti konstrukcijski nedostaci nastali tijekom dugog razdoblja korištenja. Upravo su takve zgrade tijekom potresa u Zagrebu i Petrinji pretrpjele najveća oštećenja [2,3].



Slika 2: Komponente koje sačinjavaju seizmički rizik

Zbog toga je identifikacija kritičnog stambenog fonda jedan od važnih koraka u upravljanju seizmičkim rizikom. Prepoznavanje građevina koje mogu pretrpjeti najveća oštećenja omogućuje određivanje prioriteta obnove i usmjeravanje financijskih sredstava na područja gdje su ona najpotrebnija. Osim za procjenu mogućih šteta, procjena potresne oštetljivosti služi i kao podloga za planiranje mjera kojima se mogu smanjiti posljedice budućih potresa [6,7].

Međutim, pouzdanost takvih procjena u velikoj mjeri ovisi o dostupnosti podataka o postojećim građevinama. Za mnoge zgrade ne postoji potpuna projektna dokumentacija, često nedostaju podaci o konstrukcijskom sustavu, svojstvima materijala i prethodnim rekonstrukcijama, a ne postoje ni jedinstvene i redovito ažurirane baze podataka o građevinskom fondu [7]. Zbog toga se u procjenama rizika često primjenjuju pojednostavljene klasifikacije i tipološki pristupi, koji omogućuju procjenu velikog broja građevina, ali istodobno povećavaju nesigurnost dobivenih rezultata.

Jedan od važnijih projekata u recentno vrijeme bio je pilot projekt Potresni rizik Grada Zagreba. Bitan rezultat projekta bio je upravo kreiranje baze podataka o postojećim građevinama u svrhu pouzdanije procjene njihove potresne oštećljivosti. Takve baze podataka omogućuju bolje poznavanje postojećeg građevinskog fonda, lakše prepoznavanje najranjivijih tipologija građevina i učinkovitije planiranje budućih ulaganja u povećanje njihove potresne otpornosti [7].

Prema tome, identifikacija kritičnog stambenog fonda nije samo postupak razvrstavanja građevina prema njihovim karakteristikama, već predstavlja važan dio upravljanja seizmičkim rizikom. Za kvalitetnu procjenu potrebni su podaci o konstrukcijskom sustavu, godini izgradnje, broju etaža, stanju održavanja i eventualnim rekonstrukcijama. Kada takvi podaci nisu dostupni, građevine se najčešće grupiraju prema sličnim karakteristikama i primjenjuju se pojednostavljene pretpostavke o njihovom ponašanju tijekom potresa. Iako takav pristup omogućuje procjenu rizika za velik broj građevina, on povećava nesigurnost rezultata [6].

Tijekom procjene potresnog rizika Grada Zagreba kao jedan od glavnih problema prepoznat je nedostatak jedinstvene i ažurne baze podataka o postojećim građevinama. Zbog toga se ističe potreba za sustavnim prikupljanjem i redovitim ažuriranjem podataka o građevinskom fondu, jer kvalitetnije baze podataka omogućuju pouzdaniju procjenu seizmičkog rizika [3,7].

3. RAZINA POTRESNE OTPORNOSTI

Definiranje što je prihvatljiva razina potresne otpornosti jedno je od ključnih pitanja pri procjeni i obnovi postojećih zgrada. Za nove zgrade zahtjevi su jasno definirani važećim propisima i normama, dok je kod postojećih zgrada situacija složenija [3,5].

Nakon razornog potresa u Skoplju, dogodila se važna prekretnica u razvoju protupotresnog projektiranja na području Hrvatske donošenjem prvih službenih seizmičkih propisa 1964. godine. Građevine izgrađene prije tog razdoblja uglavnom nisu bile projektirane na djelovanje potresa. Zbog toga veliki dio postojećeg fonda karakterizira nedovoljna potresna otpornost, osobito kod zgrada od nearmiranog zida, koje često imaju slabu povezanost konstrukcijskih elemenata što uzrokuje loše ponašanje prilikom potresnog djelovanja [3].

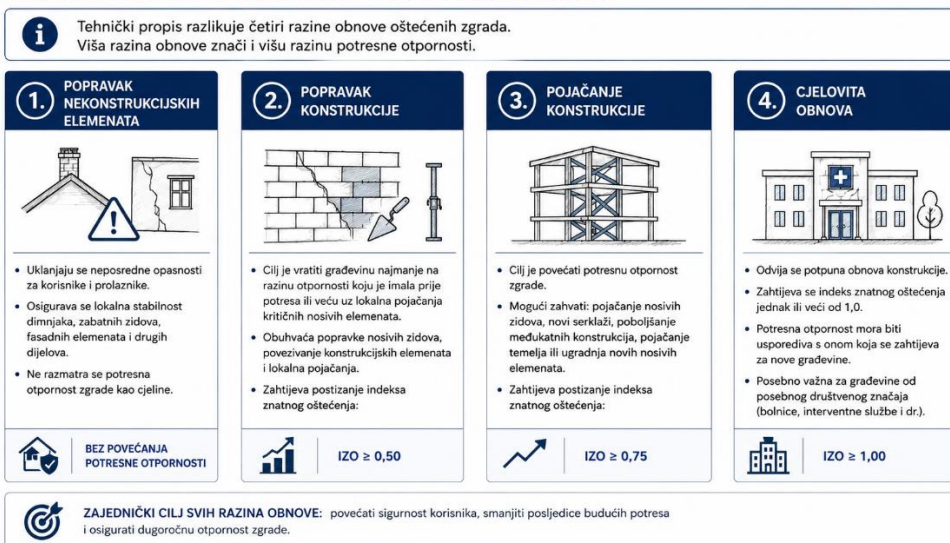
Suvremeni pristup procjeni postojećih zgrada definiran je normom HRN EN 1998-3, koja govori da postojeće građevine nije moguće promatrati na isti način kao nove građevine. Pri procjeni potresne otpornosti potrebno je uzeti u obzir stvarno stanje konstrukcije, raspoloživu dokumentaciju, rezultate istražnih radova i razinu poznavanja konstrukcije. U tu se svrhu uvodi faktor povjerenja, čija vrijednost ovisi o količini i kvaliteti raspoloživih podataka. Što je razina poznavanja konstrukcije viša, to je procjena njezine otpornosti pouzdanija [3,5].

Nakon potresa u Zagrebu i Petrinji otvorilo se pitanje koja je minimalna razina sigurnosti koja se treba postići pri obnovi postojećih zgrada. Izmjenama Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije uveden je indeks znatnog oštećenja (IZO), koji predstavlja odnos između proračunske potresne otpornosti konstrukcije i zahtjeva za granično stanje znatnog oštećenja. Proračunska potresna otpornost predstavlja najveće potresno djelovanje koje građevina može podnijeti prije nego što dosegne granično stanje znatnog oštećenja. Potresno djelovanje izražava se vršnim ubrzanjem tla na tlu tipa A. Zahtjev za granično stanje znatnog oštećenja određuje se na temelju poredbenog vršnog ubrzanja tla za potres s povratnim razdobljem od 475 godina, odnosno s vjerojatnošću premašaja od 10 % u 50 godina [4].

Međutim, primjena IZO koeficijenta povezana je s određenim ograničenjima i nesigurnostima. Njegova vrijednost ovisi o kvaliteti dostupne dokumentacije, provedenim istražnim radovima, odabranoj metodi proračuna te inženjerskim pretpostavkama [3].

Tehnički propis razlikuje nekoliko razina obnove potresom oštećenih zgrada, što je vizualno prikazano na Slici 3 [4].

RAZINE OBNOVE POTRESOM OŠTEĆENIH ZGRADA



Slika 3: Razine obnove potresom oštećenih zgrada

Najniža razina odnosi se na popravak nekonstrukcijskih elemenata, pri čemu se uklanjaju neposredne opasnosti i osigurava lokalna stabilnost dimnjaka, zabatnih zidova, fasadnih elemenata i drugih dijelova koji mogu ugroziti korisnike i prolaznike. Pri toj razini ne razmatra se potresna otpornost zgrade kao cjeline.

Sljedeća razina odnosi se na popravak konstrukcije, čiji je cilj vratiti građevinu najmanje na razinu otpornosti koju je imala prije potresa ili veću uz lokalna pojačanja kritičnih nosivih elemenata. U pravilu obuhvaća popravke nosivih zidova, povezivanje konstrukcijskih elemenata i lokalna pojačanja, a zahtijeva postizanje indeksa znatnog oštećenja od najmanje 0,50.

Viša razina obnove podrazumijeva pojačanje konstrukcije s ciljem povećanja njezine potresne otpornosti. Takvi zahvati mogu uključivati pojačanje nosivih zidova, izvedbu novih serklaža, poboljšanje međukatnih konstrukcija, pojačanje temelja ili ugradnju novih nosivih elemenata. Za ovu razinu obnove potrebno je postići indeks znatnog oštećenja od najmanje 0,75.

Najviša razina odnosi se na cjelovitu obnovu konstrukcije. U tom slučaju zahtijeva se indeks znatnog oštećenja jednak ili veći od 1,0, odnosno potresna otpornost usporediva s onom koja se zahtijeva za nove građevine. Ovakva razina obnove posebno je važna za građevine od posebnog društvenog značaja, poput bolnica, zgrada interventnih službi i drugih objekata važnih za funkcioniranje zajednice nakon potresa.

Prihvatljiva razina potresne otpornosti stoga nije jednaka za sve građevine, već ovisi o njihovoj starosti, namjeni, stupnju oštećenja, važnosti i mogućnosti provedbe konstruktivnih zahvata. Kod postojećih zgrada cilj nije uvijek postići razinu sigurnosti propisanu za nove građevine, nego osigurati razinu otpornosti kojom se značajno smanjuje rizik za ljude i imovinu [3,4,5].

Indeks znatnog oštećenja razmatra se i kao moguća mjera seizmičke otpornosti postojećih zgrada kako bi se omogućila njihova međusobna usporedba. Takvom bi se mjerom obuhvatili svi

kritični mehanizmi otkazivanja određene tipologije. Primjerice, za zidane zgrade od neomeđenog ziđa razmatrali bi se uvjeti za otkazivanje elemenata u ravnini i izvan ravnine, te posebno za nekonstrukcijske elemente budući da i takvi elementi mogu znatnog ugroziti sigurnost korisnika.

Trenutno, aktivnosti koje su usmjerene na razvoj seizmičkog certifikata za zgrade je u fazi pilot projekta Grada Zagreba čija uspješnost će ovisiti i o daljnjim preporukama za državna tijela.

3.1. METODOLOGIJA PROCJENE POTRESNE OTPORNOSTI

Preciziranje metodologije za procjenu potresne otpornosti postojećih građevina ključan je korak za definiranje seizmičkog certifikata. Njezin cilj nije samo odrediti ponašanje konstrukcije tijekom potresa, nego osigurati da rezultati budu međusobno usporedivi, ali i pokazati postoje li znatni nedostaci koji mogu bitno kompromitirati razinu sigurnosti građevine. Za razliku od novih građevina, kod postojećih zgrada često nedostaju podaci o konstrukcijskom sustavu, svojstvima ugrađenih materijala, prethodnim rekonstrukcijama i stvarnom stanju konstrukcije. Zbog toga je procjena njihove potresne otpornosti povezana s većim nesigurnostima koje treba uzeti u obzir pri provedbi analize [3, 5].

Trenutno još uvijek važeće smjernice HRN EN 1998-3 preporučuju nekoliko metoda procjene potresne otpornosti koje se međusobno razlikuju prema razini složenosti, potrebnim ulaznim podacima i točnosti rezultata [5], koje su kratko opisane i komentirane u nastavku. Nova generacija Eurokoda 8, koja je trenutačno u procesu izrade i još nije implementirana, za razliku od važećeg Eurokoda razmatrati će i odzive konstrukcijskih elemenata izvan ravnine, poput lokalnih mehanizama prevrtanja, koji u važećoj normi nisu sustavno obuhvaćeni.

Linearne metode, odnosno metoda bočne sile i metoda spektra odziva, temelje se na linearnom proračunskom modelu konstrukcije. Učinci plastifikacije i oštećenja ne modeliraju se izravno, već se uzimaju u obzir primjenom faktora ponašanja q čija je vrijednost za postojeće konstrukcije ograničena na 1,5, dok se krutost konstrukcije prema potrebi reducira kako bi bolje predstavljala njezino stvarno stanje [5].

Prednost linearnih metoda je njihova jednostavnost i manji zahtjevi za ulaznim podacima. Zbog toga se često koriste u početnim procjenama postojećih zgrada i za procjenu velikog broja građevina [3].

Međutim, iako njihova primjena na postojeće građevine ima određena ograničenja, primjerice to što ne mogu dovoljno dobro opisati mehanizme otkazivanja konstrukcije tijekom jakog potresa, njihova uporaba je vrlo raširena u inženjerskoj praksi.

Primjena nelinearnih metoda omogućuje realniji prikaz ponašanja konstrukcije tijekom potresa jer uzimaju u obzir pojavu pukotina, plastifikaciju elemenata i postupno smanjenje krutosti i nosivosti konstrukcije [3,5].

Najčešće korištene nelinearne metode su:

- nelinearna statička analiza (pushover analiza)
- nelinearna dinamička analiza (engl. „time-history“ analiza)

Kod nelinearne statičke analize konstrukcija se postupno opterećuje horizontalnim silama sve do postizanja graničnog stanja, pri čemu se određuje njezina nosivost i očekivani mehanizam sloma, dok nelinearna dinamička analiza predstavlja najdetaljniji pristup jer se odgovor konstrukcije određuje uporabom stvarnih ili umjetno generiranih zapisa potresa [5].

S druge strane, njihova primjena zahtijeva veliki broj podataka o konstrukciji, uključujući:

- geometriju i detalje konstrukcija
- mehanička svojstva materijala
- stanje oštećenosti
- podatke o prethodnim rekonstrukcijama
- odgovarajuće modele ponašanja pojedinih elemenata

U praksi takvi podaci često nisu dostupni, zbog čega rezultati nelinearnih analiza mogu biti prilično nepouzdan [3,5].

Procjena potresne otpornosti može se provoditi na globalnoj ili lokalnoj razini. Globalne metode promatraju ponašanje građevine kao cjeline, odnosno pretpostavljaju tzv. „box behaviour“. Njima se procjenjuje ukupna nosivost i deformacijska sposobnost konstrukcije te mogućnost nastanka mehanizama sloma[5].

S druge strane imamo i metode usmjerene su na pojedine dijelove konstrukcije ili lokalne mehanizme otkazivanja, koje su primjerice posebno važne kod postojećih zidanih građevina, kao primjerice prevrtanje zabatnih zidova, pročelja ili nekonstrukcijskih elemenata. Ono što svakako treba uzeti u obzir je da kod postojećih zidanih građevina lokalni mehanizmi često nastupaju prije globalnog sloma konstrukcije, zbog čega je njihovu pojavu nužno razmatrati pri procjeni potresne otpornosti [3].

3.2. NORMATIVNI OKVIR ZA PROCJENE POTRESNE OTPORNOSTI

U Republici Hrvatskoj procjena postojećih građevina trenutačno se provodi Tehničkom propisu za građevinske konstrukcije koji se u svojim smjernicama oslanja na prvu generaciju Eurokod 8, zajedno s pripadajućim nacionalnim dodatcima.. Norma definira postupke prikupljanja podataka, razine poznavanja konstrukcije, metode proračuna i kriterije za ocjenjivanje potresne otpornosti [4,5]. Nova generacija norme za projektiranje potresne otpornosti donosi važna unaprjeđenja vezanih za ocjenjivanje postojećih zgrada, pri tome se poseban naglasak stavlja se na:

- procjenu postojećeg stanja konstrukcije i upravljanje nesigurnostima
- detaljnije smjernice za procjenu zidanih i armiranobetonskih građevina
- jasnije definiranje razina izvedbe i ciljeva obnove
- bolju povezanost između procjene rizika i donošenja odluka o obnovi
- veću primjenu metoda temeljenih na razinama izvedbe [3]

Iako je uvijek potrebno određeno izvjesno vrijeme za prilagodbu i potpunu implementaciju novog standarda, očekuje se da će nove smjernice omogućiti realniju procjenu postojećih građevina i pružiti kvalitetniju podlogu za donošenje odluka o njihovoj obnovi i povećanju potresne otpornosti.

Uzimajući u obzir trenutačno važeće tehničke smjernice, ali i zahtjeve koji proizlaze iz uvođenja novog standarda, nužno je osigurati da razine procjene potresne otpornosti budu jasno definirane te da sama metodologija slijedi jasne korake koji moraju biti u skladu sa normativnim okvirom.

4. ZAKLJUČAK

Potresi u Zagrebu i Petrinji pokazali su da velik dio postojećeg građevinskog fonda u Hrvatskoj nema zadovoljavajuću potresnu otpornost, osobito starije zidane građevine izgrađene prije donošenja prvih seizmičkih propisa. Zbog toga procjena potresne otpornosti postojećih građevina ima važnu ulogu u smanjenju seizmičkog rizika i planiranju buduće obnove.

Jedan od najvećih problema pri procjeni potresne otpornosti je nedostatak pouzdanih podataka o postojećim građevinama. Nepotpuna dokumentacija, nepoznata svojstva materijala i nedostatak jedinstvenih baza podataka povećavaju nesigurnost rezultata i otežavaju donošenje odluka o obnovi.

U radu je prikazano da ne postoji jedna metoda procjene koja je prikladna za sve građevine. Odabir metode ovisi o raspoloživim podacima, složenosti konstrukcije i cilju procjene. Linearne metode jednostavnije su za primjenu, dok nelinearne metode omogućuju realniji prikaz ponašanja građevine tijekom potresa, ali zahtijevaju znatno više podataka i stručnog znanja.

Uvođenje indeksa znatnog oštećenja i razvoj seizmičkog certifikata predstavljaju važan korak prema sustavnijem vrednovanju potresne otpornosti postojećih građevina. Istodobno, novi Eurokod 8 donosi suvremeniji pristup procjeni postojećih konstrukcija i daje kvalitetniju podlogu za donošenje odluka o obnovi i povećanju njihove sigurnosti.

Može se zaključiti da su kvalitetni podaci o građevinama, pouzdane metode procjene i sustavno upravljanje seizmičkim rizikom ključni preduvjeti za povećanje otpornosti postojećeg fonda zgrada i smanjenje posljedica budućih potresa.

ZAHVALA

Ovaj rad nastao je u okviru projekta „Unaprjeđenje postojećih metoda procjene potresne oštetljivosti zgrada za potrebe razvoja metodologije seizmičkog certificiranja (CERTIS)”, institucionalnog projekta Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, financiranog sredstvima Nacionalnog plana oporavka i otpornosti 2021. – 2026. (NextGenerationEU).

REFERENCE

- [1] Atalić J, Uroš M, Šavor Novak M, Demšić M, Nastev M, Herak M, et al. The Mw5.4 Zagreb (Croatia) earthquake of March 22, 2020: impacts and response. Bull Earthq Eng. 2021;19(8):3461-3489. doi:10.1007/s10518-021-01117-w.
- [2] Atalić J, Demšić M, Baniček M, Uroš M, Dasović I, Prevolnik S, Kadić A, Šavor Novak M, Nastev M. The December 2020 magnitude (Mw) 6.4 Petrinja earthquake, Croatia: seismological aspects, emergency response and impacts. Bull Earthq Eng. 2023;21(13):5767-5808. doi:10.1007/s105018-023-01758-z.
- [3] POTRESNO INŽENJERSTVO – obnova zidanih zgrada. (2021). Uroš, M., Todorić, M., Crnogorac, M., Atalić, J., Šavor Novak, M., & Lakušić, S. (ur.). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet. ISBN: 978-953-8168-43-7.
- [4] Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine. Tehnički propis o izmjenama i dopunama Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije. Narodne novine. 2022;7:72 [Internet]. Dostupno na: [Narodne novine – Tehnički propis o izmjenama i dopunama Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije](#).
- [5] Hrvatski zavod za norme. HRN EN 1998-3:2011 Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – Dio 3: Ocjenjivanje i obnova zgrada [Internet]. Zagreb: Hrvatski zavod za norme; 2011. Dostupno na: [HRN4You – HRN EN 1998-3:2011](#)
- [6] Atalić J, Šavor Novak M, Uroš M. Rizik od potresa za Hrvatsku: pregled istraživanja i postojećih procjena sa smjernicama za budućnost. Građevinar [Internet]. 2019. 71(10):923-947. Dostupno na: <https://doi.org/10.14256/JCE.2732.2019>
- [7] Grad Zagreb. Projekt Potresni rizik Grada Zagreba [Internet]. Zagreb: Grad Zagreb; 2023. Dostupno na: [Potresni rizik Grada Zagreba](#)