

Izloženost tipskih zgrada u Zagrebu izgrađenih u drugoj polovini 20. stoljeća

Žagar, Tea; Uroš, Mario; Atalić, Josip

Source / Izvornik: **7. simpozij doktorskog studija građevinarstva 2021. : zbornik radova, 2021, 135 - 150**

Conference paper / Rad u zborniku

Publication status / Verzija rada: **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

<https://doi.org/10.5592/CO/PhDSym.2021.02>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:048865>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-29**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



Izloženost tipskih zgrada u Zagrebu izgrađenih u drugoj polovini 20. stoljeća

Tea Žagar¹, izv.prof.dr.sc. Mario Uroš², izv.prof.dr.sc. Josip Atalić³

¹ Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, tea.zagar@grad.unizg.hr

² Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, mario.uros@grad.unizg.hr

³ Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, josip.atalic@grad.unizg.hr

Sažetak

Rizik od potresa ne ovisi samo o seizmičkom hazardu, nego i o dva faktora na koje je moguće utjecati s ciljem ublažavanja posljedica potresa – izloženosti i fizičkoj oštetljivosti. U sklopu projekta 2BESAFE, za kritičnu stambenu infrastrukturu izabrane su tipične zgrade u Zagrebu izgrađene u drugoj polovini 20. stoljeća kada su se sustavno gradile iste ili vrlo slične zgrade. Zgrade su grupirane u pet tipova zgrada kojima su grubo procijenjene razina oštetljivosti, analizom osnovnih atributa, te razina izloženosti, određivanjem njihovog broja i pripadne bruto razvijene površine. Zaključeno je da odabrani tipovi zgrada značajno pridonose riziku od potresa što opravdava njihovu daljnju analizu.

Ključne riječi: potres, rizik od potresa, seizmički hazard, izloženost, fizička oštetljivost, identifikacija, karakteristični tipovi, tipska gradnja

Exposure of standardised buildings in Zagreb built in the second half of the 20th century

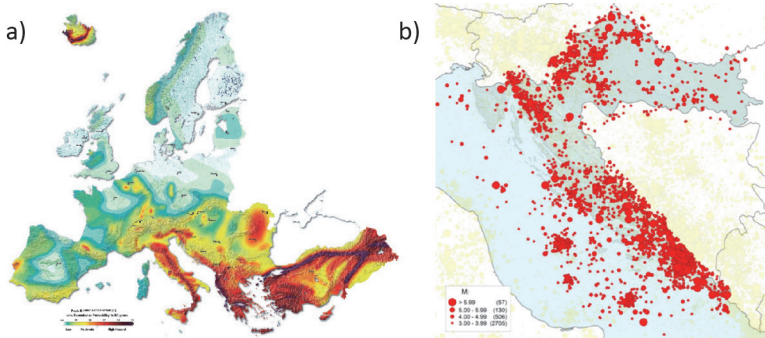
Abstract

The risk of earthquakes depends not only on seismic hazard, but also on two factors that can be influenced with the aim of reducing the effects of earthquakes – exposure and fragility. As part of project 2BESAFE, for the critical residential infrastructure for observation were chosen the standardised residential buildings in Zagreb, built in the second half of the 20th century, the period during which the very similar or identical buildings were being systematically build. The buildings are grouped into five types of buildings that roughly assess the fragility, analysing basic attributes, and level of exposure, determining their number and the corresponding gross floor area. In conclusion, selected types of buildings significantly contribute to the seismic risk, which approves their further analysis.

Key words: earthquake, seismic risk, seismic hazard, exposure, fragility, identification, characteristic types, construction standardisation

1 Uvod

Potres je prirodna katastrofa koju s određenom vjerojatnošću možemo očekivati diljem Zemlje u bilo kojem trenutku, ali ju je gotovo nemoguće predvidjeti i nemoguće spriječiti. Najčešće se očituje kao podrhtavanje tla zbog iznenadnog oslobađanja nakupljene elastične potencijalne energije unutar nekog ograničenog područja u Zemljinoj unutrašnjosti (kori) u obliku seizmičkih valova i topline. [1]. Uzroci oslobađanja energije mogu biti različiti, ali s obzirom na važnosti u pogledu utjecaja na ljudsku okolinu, posebice graditeljsku baštinu, u kontekstu potresnog inženjerstva se u pravilu razmatraju potresi povezani s teorijom tektonskih ploča, odnosno potresi koji nastaju zbog tektonskih promjena [2]. Područje Hrvatske nalazi se na dijelu Sredozemlja koje je seizmički i tektonski aktivno zbog konvergentnog kretanja Afričke prema Euroazijskoj ploči [3]. Središnji i istočni Mediteran seizmotektonski je najaktivnije područje u Europi, a s obzirom na to da Republika Hrvatska pripada mediteransko-transazijskom pojasu visoke potresne aktivnosti, prema Europskoj karti seizmičkog hazarda (slika 1.a) jedna je od potresno najugroženijih država u Europi [5]. Potresima je najviše izloženo priobalno područje, posebice južna Dalmacija, te sjeverozapadna Hrvatska [6]. Važno je istaknuti da su u Hrvatskoj područja najjače potresne aktivnosti ujedno i područja najveće naseljenosti, a time i od posebne gospodarske i društvene važnosti (primjerice područje Zagreba, Splita, Rijeke i Dubrovnika).

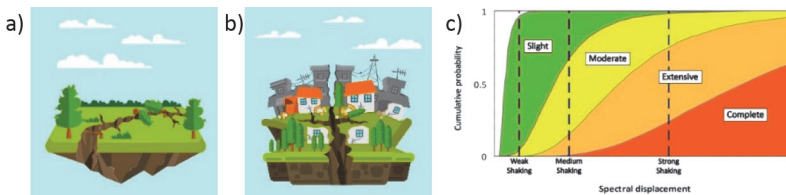


Slika 1. a) Karta seizmičkog hazarda u Europi [4]; b) Epicentri potresa u Hrvatskoj od 373. g. pr. Kr. do 2011. [7]

Unatoč velikom znanstvenom i tehnološkom napretku u području potresnog inženjerstva, uslijed potresa i dalje dolazi do uništenja izgrađenog okoliša uz često velik broj žrtava i golemih ekonomskih gubitaka. Na potres, njegovu pojavu, jačinu i intenzitet, čovjek ni na koji način ne može utjecati. Ipak, jačina i intenzitet potresa ne moraju biti i često nisu proporcionalni s gubicima (ekonomskim i socijalnim) uzrokovanim potresom. Postoje primjeri događaja umjerene jačine koji su uzrokovali

goleme posljedice i humanitarnu katastrofu (Drač, 2019.) kao i događaji veće jačine od spomenutog koji su rezultirali blažim posljedicama ili gotovo nikakvim. Razlog je tome što je potresna opasnost ili seizmički hazard samo jedna od komponenata koje utječu na konačni ishod nakon djelovanja potresa, drugim riječima, postoje i neki drugi čimbenici na koje se, za razliku od seizmičkog hazarda, ljudskom aktivnošću može utjecati s ciljem ublažavanja posljedica potresa. Ključni preduvjeti za provedbu mjera ublažavanja djelovanja potresa jesu procjena ponašanja potresom ugroženih građevina, što može omogućiti predviđanje šteta i dimenzioniranje sustava odgovora na katastrofe te osveščivanje društvene zajednice na rizik od potresa. Time se podrazumijeva ispravno, kontrolirano, planirano i ekonomski isplativo djelovanje prije potresa (identificiranjem i ciljanim ojačanjem kritičnih skupina građevina) i poslije potresa (planovima zbrinjavanja, intervencijama spašavanja i procjenama šteta) što nije samo pitanje stručnjaka i znanstvenika nego informiranost i način života cijele zajednice koja se nalazi na rizičnom području.

Ujedinjeni narodi su 2015. godine donijeli dokument *Sendai okvir za smanjenje rizika od katastrofa 2015–2030* koji potiče na djelovanje znanstvenoistraživačke zajednice usmjereno na faktore i scenarije rizika od katastrofa, a posebice za regionalne, nacionalne i lokalne primjene. Taj dokument je podloga i za strateška djelovanja Europske unije uslijed čega je Europska komisija 2017. godine potres identificirala kao jedan od jedanaest glavnih rizika Europske unije (European Commission SWD(2017) 176 final). Kao članica EU, Hrvatska je 2015. godine donijela dokument *Procjena rizika od katastrofa za RH* [5], ažuriran 2019. godine [8], gdje je prikazano da je rizik od potresa neprihvatljiv rizik za funkcioniranje cijele države s mogućim katastrofalnim posljedicama. Rizik od potresa može se definirati kao kombinacija posljedica događaja i odgovarajuće vjerojatnosti njegove pojave za određenu razinu seizmičkog hazarda [9]. Procjena rizika od potresa najčešće polazi od očekivanog oštećenja postojećeg fonda građevina na temelju kojeg se izračunavaju moguće opasnosti za ljudsko zdravlje i život te odgovarajući financijski gubici, izravni ili neizravni, zbog nastale štete [10]. Zbog toga je pri uspostavi modela rizika od potresa osim seizmičkog hazarda na nekoj lokaciji potrebno obuhvatiti izloženost izgrađenog okoliša i stanovništva te pridružiti odgovarajuću razinu fizičke oštetljivosti pojedinim tipovima građevina [11]. Rizik se od potresa može kvantitativno izraziti u obliku konvolucije individualnih faktora: seizmičkog hazarda, izloženosti i oštetljivosti [12] (slika 2.).



Slika 2. Faktori koji sačinjavaju rizik od potresa: a) seizmički hazard; b) izloženost; c) fizička oštetljivost

Seizmički hazard ili potresna opasnost obuhvaća potencijalno razorne učinke potresa (podrhtavanje tla, likvefakcija, odroni i slično) na promatranoj lokaciji. Izražava se statističkom vjerojatnošću premašivanja odabranog parametra u zadanom razdoblju (vršnog ubrzanja tla ili spektralnog ubrzanja). Na području je RH hazard definiran kartom potresnih područja [13]. Izloženost se može definirati kao razmjer ljudske aktivnosti (primjerice prisutnost građevina) u područjima izloženim seizmičkom hazardu. Najvažniji dio podataka o izloženosti odnosi se na popis postojećih zgrada (fond) koji značajno pridonosi društvenom i ekonomskom riziku. Fizička oštetljivost može se definirati kao podložnost izloženih građevina učincima potresa (oštećenjima), a cilj njene procjene je odrediti vjerojatnost pojave zadane razine oštećenosti kod određenog tipa građevine zbog djelovanja potresa. U suvremenim se procjenama rizika najčešće razina fizičke oštetljivosti građevina opisuje pomoću krivulja oštetljivosti (engl. vulnerability curves) često definiranih kao vjerojatnost gubitaka za određenu razinu djelovanja potresa, i/ili pomoću krivulja vjerojatnosti oštećenja (engl. fragility curves) koje predstavljaju vjerojatnost prekoračenja određenih graničnih stanja, npr. fizičkih oštećenja, za određenu razinu djelovanja potresa. Primjera radi, u područjima manjeg seizmičkog hazarda rizik od potresa može biti veći nego u području većeg seizmičkog hazarda zbog neprikladne gradnje (oštetljivost) i/ili velike gustoće naseljenosti (izloženost).

Izloženost, kao jedna od tri komponente procjene rizika, predmet je ovog istraživanja koje se provodi u sklopu projekta 2BESAFE. Projekt 2BESAFE interdisciplinarni je projekt iz područja potresnog inženjerstva koji se bavi upravo procjenom oštetljivosti ugroženih zgrada isključivo stambene namjene u urbanim područjima koje značajno pridonose riziku od potresa i mogućnostima poboljšanja njihovih svojstava primjenom ojačanja. Cilj je dobiti nove krivulje oštetljivosti te detektirati kritične elemente i mehanizme sloma ugroženih građevina u svrhu razvoja nove metodologije optimalnih ciljanih ojačanja. Općenito, rizik se od potresa procjenjuje na regionalnoj, nacionalnoj ili lokalnoj razini, uzimajući u obzir i promatrajući sve građevine kojima je jedini uvjet odabira pripadnost promatranom području. Bitno je, stoga, naglasiti da se projekt 2BESAFE neće baviti kompletnom izloženosti promatranog područja, konkretno grada Zagreba, nego samo odabranim tipovima armiranobetonskih i zidanih zgrada u urbanim područjima za koje se procijeni da su najviše ugrožene s obzirom na rizik od potresa, odnosno koje značajno pridonose riziku bilo zbog svoje brojnosti i velikog broja stanara ili zbog važnosti za zajednicu, a za koje se očekuje djelomično ili potpuno rušenje pri snažnijem potresu. Podaci o izloženosti fonda građevina su važna podloga pouzdanoj ocjeni rizika od potresa, ali i ozbiljna prepreka tome, ponajviše zbog velikih nedostataka baze podataka s karakteristikama postojećeg fonda građevina. U ovom radu bit će obrađen samo dio promatrane izloženosti koji se odnosi na tipsku gradnju zgrada stambene namjene nakon Drugog svjetskog rata i na područje koje velikim dijelom pripada Novom Zagrebu.

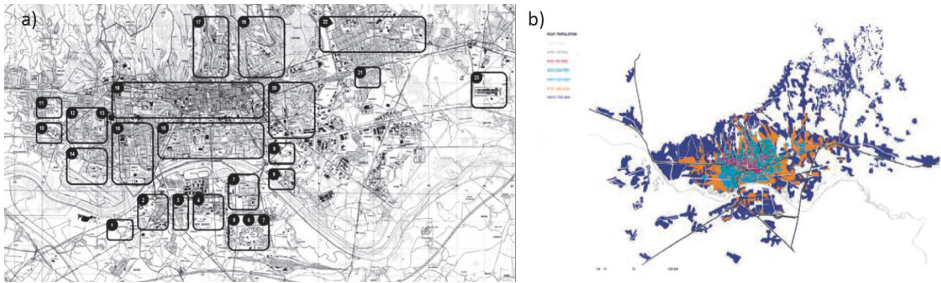
2 Izloženost fonda građevina

Uz seizmički hazard, bitnu komponentu procjene rizika na određenoj lokaciji čine značajke/atributi građevina. Ponovimo, izloženost se može definirati kao razmjernost ljudske aktivnosti (primjerice prisutnost građevina) u područjima izloženim seizmičkom hazardu. Najvažniji dio podataka o izloženosti odnosi se na popis postojećih zgrada (fond), jer oštećenje ili uništenje građevina prilikom djelovanja potresa značajno pridonosi društvenom i ekonomskom riziku [14]. Na popis se zgrada veže popis stanovnika, način korištenja (stambene, industrijske, kritična infrastruktura itd.), trošak zamjene zgrada (dio proračuna financijskih gubitaka) i slično. U izloženost se također ubrajaju osviještenost i pripremljenost stanovništva i hitnih službi na potres, no taj dio neće biti obuhvaćen ovim istraživanjem.

Fond zgrada uobičajeno se opisuje odabranom taksonomijom pomoću koje se pojedini odabrani atributi obuhvaćaju na ujednačen način tako da se može provesti jednodržna klasifikacija, jer se procjene rizika rade na „gruboj rezoluciji“ (primjerice za grupe sličnih zgrada) [12]. Primjer globalno primjenjivog sustava za opis zgrada je suvremena taksonomija *Brzev et al 2013* [15] razvijena u sklopu zaklade Global Earthquake Model (GEM). GEM je inicijativa s ciljem stvaranja opće prihvaćene baze podataka u skladu sa suvremenim dostignućima te modela i programskih paketa/alata za procjenu rizika od potresa na globalnoj razini i za razvitat prateće informatičke strukture. *GEM Basic Building Taxonomy* obuhvaća 13 atributa zgrada: smjer, materijal konstrukcijskog sustava za preuzimanje horizontalnih sila, konstrukcijski sustav za preuzimanje horizontalnih sila, visina, datum gradnje ili ojačanja, nastanjenost, položaj zgrade unutar bloka, tlocrtni oblik, konstrukcijske nepravilnosti, vanjski zidovi, stropni sustav i sustav temeljenja. Države uglavnom razvijaju/dopunjuju svoju taksonomiju ovisno o specifičnoj tipologiji gradnje u pojedinoj državi.

Grad Zagreb je glavni grad Republike Hrvatske u kojem živi više od 1/5 ukupnog stanovništva te kao takav predstavlja istaknuto administrativno i dominantno gospodarsko središte s više od 1/3 ekonomije [5]. U sklopu projekta NERA (*Network of European Research Infrastructures for Earthquake Risk Assessment and Mitigation*) napravljena je karta (slika 3.) [16] gdje je postojeći fond zgrada u Zagrebu grubo kategoriziran s obzirom na karakteristične tipove građevina (nosivih konstrukcija) i način gradnje uz odgovarajuća razdoblja izgradnje za pojedine dijelove grada što zapravo predstavlja prvi korak preciznije kategorizacije postojećeg fonda zgrada u gradu Zagrebu s obzirom na lokalne specifičnosti. Takvi podaci su vrlo bitni jer se tijekom povijesti način gradnje mijenjao ovisno o razvoju tehnologija građevinskih konstrukcija, spoznajama o karakteristikama tla, urbanističkim spoznajama o uređivanju prostora, potrebama za građevnim prostorom i slično [12]. Valja spomenuti da je za Zagreb, kao i za ostatak Hrvatske, specifična i vrlo slaba dokumentacija o rekonstrukcijama koje znatno utječu na ponašanje konstrukcije pri djelovanju potresa

i velik broj nezakonito izgrađenih ili rekonstruiranih zgrada, što nije tako čest slučaj u ostatku Europske unije.



Slika 3. a) Zastupljenost tipova građevina u urbanim područjima u Hrvatskoj prema rezultatima projekta NERA [16]; b) Dijagram rasta grada Zagreba [17]

Tijekom ažurirane procjene rizika [8] definirano je 14 karakterističnih tipova zgrada grada Zagreba (slika 4.), a unutar Studije za saniranje posljedica potresa [16] napravljena je još detaljnija kategorizacija na 42 tipa koja je nastala grananjem već postojećih tipova na podtipove.



Slika 4. Konstrukcijski sustavi zgrada za neke mjesne odbore

Od oznaka 14 karakterističnih tipova konstrukcijskih sustava, URM se odnose na zidane zgrade bez serklaža, RC2 na zgrade s armiranobetonskim zidovima, RC4 na zgrade kojima je dominantan konstrukcijski sustav okvir s ispunom i omeđeno žiđe, RC5 na tipske armiranobetonske zgrade (tzv. limenke) i NEB na armiranobetonske tornjeve. Na prikazanoj slici nedostaje još naknadno dodani tip CM koji se odnosi na omeđeno žiđe. U svim oznakama L, M i H se odnose na broj katova. Svaki karak-

teristični tip predstavlja skup karakterističnih atributa kojima se pod zajedničkim imenom mogu opisati zgrade istog ili, do određene granice, sličnog odgovora, ponašanja i posljedica od djelovanja potresa s obzirom na način i razdoblje gradnje te vrstu i materijal nosivog sustava. To omogućava provođenje proračuna na višestruko manjem broju numeričkih modela, a dobiveni se rezultati mogu primijeniti na značajnom dijelu fonda građevina na tom području.

Od ostalih aktivnosti u Hrvatskoj, važno je spomenuti Građevinski fakultet u Osijeku gdje je napravljena Brza procjena seizmičkog rizika u Hrvatskoj 2016. godine [18] [19] i izrađena baza podataka o građevinama za grad Osijek, pri čemu je dosad obrađeno više od 1500 zgrada [20].

2.1 Odabir kritičnih zgrada stambene namjene

Kao što je rečeno, predmet istraživanja neće biti izloženost ukupnog fonda građevina u gradu Zagrebu nego onih za koje se procjenjuje da predstavljaju kritičnu stambenu infrastrukturu.

Zgrade su procijenjene kao kritična stambena infrastruktura ako ispunjavaju sljedeće uvjete:

1. izgrađene do 1981. godine (zastarjeli propisi, dotrajalost, neodržavanje)
2. manjak ili nepostojanje elemenata za preuzimanje horizontalnog djelovanja u jednom ili oba smjera
3. velik broj istih ili izrazito sličnih zgrada
4. rasprostranjenost na relativno velikom području (pojavljivanje na više različitih mjesta u gradu)
5. velik broj stanara
6. nepovoljno ponašanje pri djelovanju potresa i značajan pridonos riziku

Brojnim je istraživanjima odavno utvrđeno da je cijelo područje Zagreba izloženo velikom riziku od potresa (pogotovo Donji grad) te velik broj tipova zgrada zadovoljava uvjete kritične stambene infrastrukture, no izbor u velikoj mjeri sužavaju uvjeti 3. – 5. kojima se problematika svodi prije na **tipski izgrađene zgrade u drugoj polovini 20. stoljeća**. Naime, nakon Drugog svjetskog rata započeta je gradnja novozagrebačkih naselja pri čemu su se sustavno gradile gotovo iste ili vrlo slične zgrade na cijelom području južno od rijeke Save. S obzirom na to, značajan se broj zgrada može svrstati u samo nekoliko vrlo specifičnih tipova zgrada. Okosnica identifikaciji tipova zgrada u urbanim područjima, koji su značajno ugroženi od djelovanja potresa, jest odabir karakterističnih tipova proveden u Ažuriranoj procjeni rizika od potresa [8] i Studijama za saniranje posljedica potresa [21]. Međutim, u ovom će se slučaju od tipski građenih zgrada unutar planski izgrađenih naselja promatrati vrlo uzak krug specifičnih atributa koje odabrane zgrade, uz minimalna odstupanja, moraju sadržavati. Pripadnost pojedinih zgrada istom tipu tada karakterizira

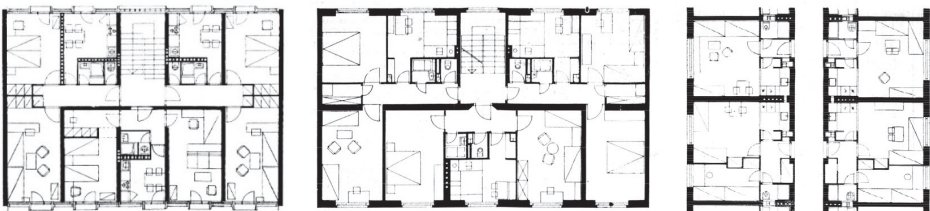
te zgrade kao gotovo iste, a ne samo slične. Drugim riječima, promatrat će se detaljno razgranati podtipovi već određenih karakterističnih tipova kako bi se mogle napraviti detaljne analize potresnog ponašanja prilagođene i primjenjive isključivo na odabrane tipove građevina i pripadajući modeli vjerojatnosti oštećenja i oštetljivosti dobiveni prikladnim, detaljnim i samo njima namijenjenim metodama, a da se uz tako visoku razinu točnosti proračuna i procjene rizika ipak može pokriti veliki broj građevina na relativno velikom području s velikim brojem stanara. Tako razvijen model procjene rizika i ponašanja tipskih izgrađenih građevina omogućava razvoj i predstavlja podlogu provedbe tipskih ojačanja svih građevina koje pripadaju identificiranom podtipu.

2.2 Tipologija

Promatrani tipovi zgrada koje pripadaju tipskoj gradnji druge polovine 20. stoljeća na području (uglavnom) Novog Zagreba su:

- tip Korbar (Volta)
- tip Bartolić
- tip Tučkorić
- tip Jugomont JU 59, JU 60 i JU 61
- tip tunelska oplata

Tip Volta, Tučkorić, Bartolić i Jugomont predstavljaju zgrade tipskih tlocrta koje se, u neznatno različitim podvarijantama, pojavljuju na brojnim lokacijama diljem grada. Tip tunelska oplata obuhvaća zgrade različitih tlocrta, ali istog načina i tehnike gradnje tunelskom oplatom, istog materijala i relativno bliskog vremenskog perioda nastanka zbog čega su uglavnom projektirane po istom propisu, što znači da su slično armirane. U nastavku će biti dan pregled osnovnih atributa pojedinih tipova određenih na temelju analize dostupnih podataka prikupljenih terenskim metodama iz postojećih arhiva i baza te dokumenata o procjenama rizika od potresa (nacrti, projektnu dokumentaciju) uz korištenje *Google Maps Street View*a.



Slika 5. Tlocrt karakterističnog kata tip a) Korbar (Volta); b) Bartolić [22]; c) tip Tučkorić

Tip Volta

- rasprostranjenost: Voltino, Trnsko, Siget, Sopot

Nosiva se konstrukcija sastoji od poprečnih nosivih zidova od betonskih blokova (ne-armirano žiđe) debljine 20 cm na razmaku 3,2 – 3,4 m s horizontalnim serklažima i međukatne konstrukcije debljine 16 cm širine 100, 120 i 140 cm. Temelji su trakasti. Montažne AB ploče izvedene su sa štednim otvorima koji se, nakon montaže, betoniranjem horizontalnih serklaža i spojnicama među pločama uz izradu monolitno izlivenih klinova za vezu, pretvaraju u monolitne stropove. Nosivi zidovi ukrućeni su uzdužnim zidom od bet. bloketa, a na krajevima okvirom kojeg formiraju horizontalni uzdužni serklaži kao prečke i AB završeci poprečnih zidova.

Tip Bartolić

- rasprostranjenost: Trnsko, Folnegovićevo naselje, Avenija Marina Držića, Selska ulica, Krapinska ulica, Paška ulica, Rapska ulica, Zvečajska ulica

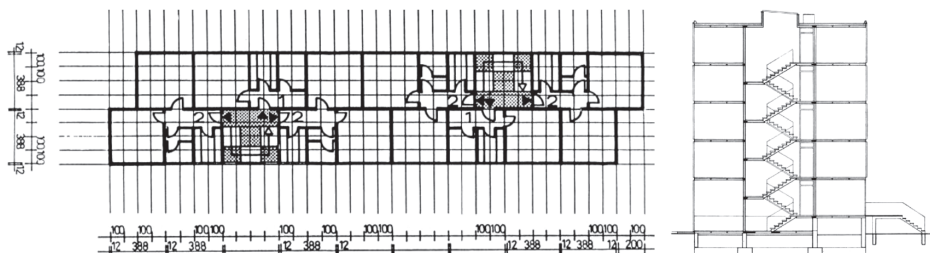
Nosiva se konstrukcija sastoji od uzdužnih nosivih zidova opeke NF (omeđeno žiđe) debljine 38 cm na razmaku cca 5 m s horizontalnim i vertikalnim serklažima i međukatne konstrukcije od predgotovljenih sitnobrečastih gredica T-presjeka. Temelji su trakasti.

Tip Tučkorić

- rasprostranjenost: Trnsko, Voltino, Folnegovićevo naselje

Nosiva se konstrukcija sastoji od uzdužni nosivih zidova od betonskih blokova debljine 20 cm i međukatne konstrukcije od predgotovljenih sitnobrečastih gredica T-presjeka. Temelji su trakasti.

Poprečni zidovi između stanova, osim kao zvučna izolacija, služe i za ukrutu.



Slika 6. Karakteristični tlocrt i presjek limenki sustava Jugomont JU 60

Tip Jugomont

Polumontažni sustav je srednje panelne predgotovljenosti od armiranobetonskih elemenata. Ovisno o godini gradnje i kvaliteti spojeva, postoje sustavi gradnje Jugomont JU 59, JU 60 i JU 61, poznate pod nazivom “kazete” i “limenke”.

- rasprostranjenost
 - JU 59 i 60: Folnegovićevo naselje, Remetinec, Borongaj
 - JU 61: Remetinec, Borongaj, Zapruđe, Utrina

Nosiva se konstrukcija sastoji od nosivih zidova od armiranobetonskih predgotovljenih panela (MB 30, C25/30) debljine 12 cm obostrano armiranih mrežama i dominantnih u poprečnom smjeru sa središnjim uzdužnim ukrutnim pojansom. Međukatna se konstrukcija razlikuje s obzirom na sustav gradnje, pa su tako kod Jugomonta JU 59 i JU 60 to polumontažne ploče debljine 12 cm na rasponu 3,6 m, a kod Jugomonta JU 60 montažne armiranobetonske ploče debljine 12 cm na rasponu 3,6 m armirane samo u vlačnoj zoni. Temelji su monolitni armiranobetonski.

Predgotovljeni zidni paneli i ploče međusobno su povezani horizontalnim i vertikalnim serklažima tako što su vareni nastavci armature. Zbog slabih veza među panovima, limenkama građenim sustavima JU 59 i JU 60 bila je limitirana visina građenja (P+3 i P+4). Uvođenjem dodatne ukrute sustava interpolacijom moždanika u reške nastala je „najmodernija“ i posljednja inačica Jugomont sustava – JU 61. Povećanjem krutosti spojeva, bila je omogućena gradnja viših zgrada, odnosno omogućeno je povećanje etažnosti i do 50 % (čak do P+8).

Tip tunelska oplata

Zgrade izgrađene prostornom ili tunelskom oplatom kojom se istovremeno betoničaju stijene i ploče. Radi se o klasičnoj monolitnoj gradnji armiranobetonskih zidova otprilike do 90-ih godina 20. stoljeća.

- rasprostranjenost: Dugave, Središće, Slobošćina

Nosiva se konstrukcija sastoji od nosivih zidova od betonskih blokova debljine 20 cm dominantnih u poprečnom smjeru i međukatne konstrukcije od armiranobetonskih ploča. Temelji su trakasti ili temeljna ploča.

Prizemlje često ima različitu visinu od katova. Pročelja su izvedena od predgotovljenih armiranobetonskih panela, svi ostali elementi izvedeni su monolitno.

3 Rezultati i diskusija

U tablici 1. prikazani su osnovni atributi iz poglavlja 2.2 *Tipologija* na temelju kojih je ugrubo kvalitativno procijenjena njihova oštetljivost.

Tablica 1. Prikaz osnovnih atributa odabranih tipova zgrada i gruba kvalitativna procjena oštećljivosti

NAZIV TIPa	Godina izgradnje			Katnost		Materijal			Nosivi zidovi		Pridonos fasadnih zidova	Serklaži		Međukatna konstrukcija		Podrumska etaža	Pravilnost		Zgrade u nizu	OŠETLJIVOST
	prije 1964.	1964. - 1982.	poslije 1982.	3-5 (6-15 m)	6-9 (> 15 m)	nearmirano zide	omeđeno zide	armirani beton	uzdužni	poprečni		horizontalni	vertikalni	AB ploče	sitnorebričaste T-gredice		u tlocrtu	po visini		
Korbar (Volta)	✓	✓		✓	✓				✓	X	✓		✓		X	✓	✓	✓	✓	VISOKA OŠETLJIVOST
Bartolić	✓	✓		✓		✓		✓		X	✓	✓	✓		X	✓	✓	○		
Tučkorić	✓	✓		✓	✓			✓		X	✓		✓		X	✓	✓	✓	✓	
JU 59																			○	
JU 60	✓	✓		✓			✓	✓		X			✓		○	✓	✓		○	
JU 61					✓														○	
tunelska oplata		✓	✓	✓	✓		✓		✓	X			✓		○	✓	✓	✓	✓	

✓ da X ne ○ moguće

Godina izgradnje

U tablici 1., godina izgradnje podijeljena je na tri intervala: do 1964., do 1982. i nakon 1982. godine. Navedene su godine prijelomna razdoblja u razvoju tehničkih propisa. Godina 1964. predstavlja prvi značajan korak propisa za projektiranje građevina u kojem se prvi put značajnije uzima u obzir djelovanje potresa nakon potresa u Skopju 1963. godine. Propisi do 1964. smatraju se zastarjelima, zatim slijedi prijelazno razdoblje do 1982. godine koja označava početak suvremenih propisa. Vidljivo je iz tablice 1. da su samo zgrade građene tunelskom oplatom građene i projektirane nakon 1982. godine, pa je u tom smislu upitna razina oštećljivosti svih navedenih tipova s obzirom na propise temeljem kojih su projektirani i izgrađeni.

Katnost

Tipovi zgrada su srednje (3 – 5 katova) i visoke (6 – 9 katova) katnosti.

Materijal

S obzirom na materijal, potresno najugroženiji su tipovi Korbar i Tučkorić jer se radi o neomeđenom zidu srednje do visoke katnosti zgrada. Valja spomenuti i činjenicu vrlo vjerojatne dotrajlosti materijala s obzirom na godinu izgradnje svih tipova, što dodatno pridonosi razini oštećljivosti.

Nosivi zidovi

Glavni elementi za preuzimanje horizontalnih potresnih sila su nosivi zidovi. Iz tablice 1. vidi se da niti jedan od odabranih tipova nema nosive zidove u oba smjera. Nedostatak elemenata za preuzimanje horizontalnih sila u oba smjera predstavlja velik problem potresnoj otpornosti promatranih tipova i izrazito negativno utječe na njihovu oštetljivost.

Pridonos fasadnih zidova

Svim tipovima ili nedostaju fasadni zidovi ili oni svojom dužinom ne pridonose značajno horizontalnoj krutosti. To je uz raspored nosivih zidova, drugi najveći problem potresne otpornosti odabranih tipova zgrada.

Međukatna konstrukcija

Međukatne konstrukcije ne utječu negativno na potresnu otpornost tipova zgrada.

Pravilnost

Svi tipovi zgrada su pravilni u tlocrtu i po visini što utječe povoljno na potresnu otpornost.

Zgrade u nizu

Zgrade promatranih tipova uglavnom se pojavljuju u nizu što je povoljno za ponašanje zgrade u potresu, no upitna je kvaliteta dilatacija.

S obzirom na navedene osnovne atribute koji su analizirani na temelju dostupnih podataka, može se zaključiti da odabrani tipovi zgrada imaju očekivanu visoku razinu oštetljivosti i nedovoljnu potresnu otpornost, što opravdava njihov odabir za daljnje razmatranje.

U tablici 2. prikazana je grubo procijenjena razina izloženosti odabranih tipova zgrada na temelju okvirnih podataka o površini karakterističnog kata, broju katova i istraženog broja zgrada te na temelju izračunane bruto razvijene površine (BRP).

Tablica 2. Izračun bruto razvijene površine odabranih tipova zgrada i gruba procjena razine izloženosti

	Korbar (Volta)	Bartolić	Tučkorić	Jugomont			
				P + 3	P + 4	P + 5	P + 8
Površina karakterističnog kata [m²]	204	200	360	456	456	550	595
Broj katova	6	6	6	4	5	6	9
Broj zgrada	57	160	16	28	17	25	39
BRP [m²]	69768	192000	34560	51072	38760	82500	208845
IZLOŽENOST	VISOKA IZLOŽENOST						
*u tablici nisu dani podaci o tunelskoj oplati jer u ovoj fazi istraživanja nije obrađen dovoljan broj zgrada							

S obzirom na broj zgrada koje su zahvaćene odabranim tipovima i na temelju grubo izračunanog BRP-a, može se zaključiti da je predviđena izloženost zgrada visoka, što opravdava odabir promatranih tipova za daljnju analizu.

U nastavku obrađivanja navedenih tipova zgrada u potpunosti će se definirati njihovi položaji u gradu Zagrebu radi točnog definiranja seizmičkog hazarda i kvalitete tla na lokalnoj razini. Sljedeći je korak utvrditi postojeće stanje zgrada procjenom degradacije svojstava materijala. Za to ispitivanje primijenit će se vizualne metode i terenska istraživanja, pri čemu se svojstva materijala i količina armature te njena raspodjela određuju eksperimentalnim metodama ispitivanja radiovalovima (radarom), ultrazvukom i sklerometrom. Procjena degradacije svojstava materijala, zajedno s eksperimentalnim ispitivanjima inicijalnih dinamičkih parametara zgrada, predstavljaju podlogu numeričkim modelima za preliminarnu ocjenu ponašanja odabranih zgrada.

4 Zaključak

Pri uspostavi modela rizika od potresa, osim seizmičkog hazarda na nekoj lokaciji, potrebno je obuhvatiti izloženost izgrađenog okoliša i stanovništva te pridružiti odgovarajuću razinu fizičke oštetljivosti pojedinim tipovima građevina. Od tri individualna faktora rizika od potresa, nije moguće utjecati samo na seizmički hazard, a poznavanje i utjecaj na preostala dva, izloženost i fizičku oštetljivost, može ublažiti posljedice djelovanja potresa. Podaci o izloženosti fonda građevina su važna podloga pouzdanoj ocjeni rizika od potresa, ali i ozbiljna prepreka tome, ponajviše zbog velikih nedostataka baze podataka s karakteristikama postojećeg fonda građevina. Karakteristični tip predstavlja skup karakterističnih atributa kojima se pod zajedničkim imenom mogu opisati zgrade istog ili, do određene granice, sličnog odgovora, ponašanja i posljedica od djelovanja potresa s obzirom na način i razdoblje gradnje te vrstu i materijal nosivog sustava.

Područje interesa istraživanja u sklopu kojeg je obrađivana tema ovog rada su kritične zgrade stambene namjene na području grada Zagreba. Zgrade su identificirane kao kritične slijedom ispunjavanja ovih uvjeta:

- izgrađene do 1981. godine (zastarjeli propisi, dotrajalost, neodržavanje)
- manjak ili nepostojanje elemenata za preuzimanje horizontalnog djelovanja u jednom ili oba smjera
- velik broj istih ili izrazito sličnih zgrada
- rasprostranjenost na relativno velikom području (pojavljivanje na više različitih mjesta u gradu)
- velik broj stanara
- nepovoljno ponašanje pri djelovanju potresa i značajan pridonos riziku

Na temelju postavljenih uvjeta, kao kritične zgrade stambene namjene procijenjene su tipski izgrađene zgrade iz druge polovine 20. stoljeća na području (uglavnom) Novog Zagreba. Razlog je tome taj što se na taj način značajan broj zgrada može svrstati u samo nekoliko specifičnih (precizno definiranih) tipova zgrada što bi omogućilo da pripadajući modeli vjerojatnosti oštećenja i oštetljivosti budu dobiveni prikladnim, detaljnim i samo njima namijenjenim metodama, a da se uz tako visoku razinu točnosti proračuna i procjene rizika ipak može pokriti veliki broj zgrada na relativno velikom području s velikim brojem stanara. Za procjenu izloženosti odabrani su sljedeći tipovi stambenih zgrada:

- tip Volta
- tip Bartolić
- tip Tučkorić
- tip Jugomont JU 59, JU 60 i JU 61
- tip tunelska oplata

Tip Volta, Bartolić, Tučkorić i Jugomont predstavljaju zgrade tipskih tlocrta koje se, u neznatno različitim podvarijantama, pojavljuju na brojnim lokacijama diljem grada, dok tip tunelska oplata obuhvaća zgrade različitih tlocrta, ali istog načina i tehnike gradnje tunelskom oplatom, istog materijala i relativno bliskog vremenskog nastanka zbog čega su uglavnom projektirane po istom propisu, što znači da su slično armirane.

Analizirajući dostupne podatke prikupljene terenskim metodama iz postojećih arhiva i baza te dokumenata o procjenama rizika od potresa (nacрте, projektну документацију) uz korištenje *Google Maps Street Viewa*, utvrđeni su osnovni atributi svakog tipa s najizraženijim nedostatcima u pogledu potresne otpornosti zgrada. Utvrđeno je da je glavni problem odabranih tipova preuzimanje horizontalne sile od djelovanja potresa i to mahom zbog kroničnog nedostatka nosivih zidova u jednom od dva glavna smjera (uzdužnom ili poprečnom) ili nepostojanja konkretne jezgre unutar konstrukcije te zbog zanemarive uloge fasadnih zidova u horizontalnoj krutosti zgrada, odnosno preuzimanju horizontalnih potresnih sila. Osim navedenih problema, potresnu otpornost dodatno umanjuje starost zgrade zbog zastarjelih propisa projektiranja i građenja te dotrajalih materijala izgradnje. Istražena brojnost zgrada i gruba procjena bruto razvijene površine opravdavaju pretpostavljenu visoku izloženost odabranih tipova zgrada. S obzirom na grubo procijenjenu visoku oštetljivost i izloženost, uz već utvrđenu potresnu opasnost zagrebačkog područja, zaključeno je da odabrani tipovi zgrada značajno pridonose riziku od potresa što opravdava njihovu daljnju analizu.

Literatura

- [1] Dasović, I., Herak, M., Prevolnik, S.: Uvodno o potresu i njegovim učincima (poglavlje), *Potresno inženjerstvo, Obnova zidanih zgrada* (ur. Uroš, M., Todorčić, M., Crnogorac, M., Atalić, J., Šavor Novak, M., Lakušić, S.), Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, pp. 13-36
- [2] Elnashai, A.S., Di Sarno, L. (2018) *Fundamentals of Earthquake Engineering*, John Wiley & Sons, Ltd.
- [3] Weber, J., Vrabec, M., Pavlovčić-Prešeren, P., Dixon, T., Jiang, Y., Stopar, B.: GPS-derived motion of the Adriatic microplate from Istria Peninsula and PO Plain sites, and geodynamic implications, *Tectonophysics* 483 (2010), pp. 214-222
- [4] Giardini D., Woessner J., Danciu L.: *European Seismic Hazard Map*, Swiss Seismological Service, ETH Zürich, Switzerland. (<http://www.share-eu.org/>), 2013.
- [5] Atalić, J., Hak, S.: Procjena rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj – rizik od potresa, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet u suradnji s Ministarstvom graditeljstva i prostornog uređenja i Državnom upravom za zaštitu i spašavanje, Hrvatska, 2014.
- [6] Državna uprava za zaštitu i spašavanje, Republika Hrvatska, Procjena ugroženosti Republike Hrvatske od prirodnih i tehničko-tehnoloških katastrofa i velikih nesreća (<http://www.duzs.hr/>), 2013.
- [7] Ivančić, I.: *Croatian Earthquake Catalogue – Presentation*, Hrvatska seizmološka služba, Geofizički odsjek, Prirodoslovnomatemički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, The Nato Science for Peace and Security Programme Workshop, (<http://www.wbalkanseismicmaps.org/>), 2011.
- [8] Atalić, J., Šavor Novak, M., Uroš, M.: Ažurirana procjena rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj – rizik od potresa, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet u suradnji s Ministarstvom graditeljstva i prostornog uređenja i Državnom upravom za zaštitu i spašavanje, Hrvatska, 2018.
- [9] Atalić, J., Šavor Novak, M., Uroš, M.: Rizik od potresa: pregled istraživanja i postojećih procjena sa smjernicama za budućnost, *GRAĐEVINAR* 71 (2019) 10, pp. 923-947
- [10] Calvi, G.M., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J.J, Restrepo- Velez, L.F., Crowley, H.: Development of Seismic Vulnerability Assessment Methodologies Over the Past 30 Years, *ISET Journal of Earthquake Technology*, 43 (2006) 3, pp. 75-104, <https://doi.org/10.1007/s11069-011-0082-4>
- [11] Erdik, M. (2017), Earthquake risk assessment, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15 (12), pp. 5055-5092
- [12] Bal, I.E., Crowley, H., Pinho, R.: *Displacement-Based Earthquake Loss Assessment: Method Development and Application to Turkish Building Stock*, Research Report Rose 2010/02, IUSS Press, Pavia, 2010.

- [13] Herak, M., Allegretti, I., Herak, D., Ivančić, I., Kuk, V., Marić, K., Markušić, S., Sović I.: Republic of Croatia, Seismic hazard map, 2011. <http://seizkarta.gfz.hr>
- [14] Spence, R., Foulser-Piggott, R., Pomonis, A., Crowley, H., Masi, A., Chiauzzi, L., Zuccaro, G., Cacace, F., Zulfikar, C., Markus, M., Schaefer, D., Sousa, M.L., Kappos, A.: The European Building Stock Inventory: Creating and Validating a Uniform Database for Earthquake Risk Modelling, Proceedings of the 15th World Conference of Earthquake Engineering, Lisbon, 2012.
- [15] Brzev, S., Scawthorn, C., Charleson, A.W., Allen, I., Greene, M., Jaiswal, K., Silva, V.: GEM Building Taxonomy Version 2.0, GEM technical report 2013-02 V1.0, GEM Foundation, Pavia, 2013.
- [16] Crowley, H., Ozcebe, S., Baker, H., Foulser-Piggott, R., Spence, R.: D7.2 State of the Knowledge of Building Inventory Data in Europe, NERA - Seventh Framework Programme EC project number: 262330 www.nera-eu.org, 2014.
- [17] Sekcija mladih DAZ-a, [ur.]: Zagreb - arhitektura u džepu, DAZ - Društvo arhitekata Zagreba, 2017.
- [18] Hadzima-Nyarko, M., Kalman Šipoš, T., Pavić, G., Trbojević, M., Markasović, D.: Potresna oštetljivost i karakteristike zgrada gradskog bloka u Osijeku, Zbornik VII. konferencije Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa (ur. Holcinger, N.), Zagreb, pp. 94-101, 2018
- [19] Kalman Šipoš, T., Hadzima-Nyarko, M.: Rapid Seismic Risk Assessment, International Journal of Disaster Risk Reduction, 24 (2017), pp. 348-360.
- [20] Hadzima-Nyarko, M.: Creating the database of buildings of Osijek, Croatia, research performed at the Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek, SERA Balkans Seismic Risk workshop, Belgrade, 2019.
- [21] Atalić, J., Krolo, J., Damjanović, D., Uroš, M., Sigmund, Z., Šavor Novak, M., Hak, S., Korlaet, L., Koščak, J., Duvnjak, I., Bartolac, M., Serdar, M., Dokoza, I., Prekupec, F., Oreb, J., Mušterić, B.: Studija za saniranje posljedica potresa, I-VI faza, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2013-2018.
- [22] Bobovec, B., Korlaet, L., Virag, N.: Arhitekt Ivo Bartolić, prolegomena opusu, *Znanstveni časopis za arhitekturu i urbanizam* 23 (2015), 1 (49), pp. 160-173