

# MODELI KOMUNIKACIJE POTRESNEGA TVEGANJA

## MODELS OF SEISMIC RISK COMMUNICATION

### Nuša Lazar Sinković

asist. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana, nusa.lazar@gmail.com

### Matjaž Dolšek

prof. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana, matjaz.dolsek@fgg.uni-lj.si

### Anže Babič

asist. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana

#### Povzetek

Učinkovita komunikacija potresnega tveganja je podlaga za vzpostavitev zavedanja o potresnem tveganju pri interesnih skupinah, kar je pogoj za načrtovanje krepitve odpornosti skupnosti pri odzivu na močne potrese. V Sloveniji učinkovitega modela za komunikacijo potresnega tveganja še ni. Lastnikov in uporabnikov stavb ter drugih zato ni mogoče preprosto obvestiti o potresnem tveganju. V nekaterih državah z zmerno ali visoko stopnjo potresne nevarnosti, na primer v Italiji, na Novi Zelandiji in v ZDA v Kaliforniji, je obveščanje javnosti glede potresnega tveganja že sistematično urejeno. Potresno tveganje se posreduje do uporabnika z oceno po večstopenjskih lestvicah ali kot delež sprejemljivega tveganja, kar omogoča jasno komunikacijo ravni tveganja tudi nestrokovni javnosti. Namen članka je predstaviti novi model komunikacije tveganja zaradi naravnih nesreč, ki je bil pred kratkim razvit na Inštitutu za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo. Model temelji na petstopenjskem sistemu ocenjevanja tveganja z možnostjo razširitve na dodatne ocene, pri čemer se lahko upoštevajo različni kazalniki tveganja, kot sta na primer verjetnost prekoračitve mejnega stanja poškodovanosti objekta in pričakovana letna škoda. V model je vgrajen koncept dolgo- in kratkoročne sprejemljivosti tveganja, ki je temelj za časovno odvisno komunikacijo tveganja. Če je tveganje za obravnavani objekt ali skupino objektov sprejemljivo le kratkoročno, se ocena tveganja postopno zmanjšuje, če v predvidenem času ni bilo sprejetih ukrepov za zmanjšanje tveganja.

#### Abstract

Efficient communication of seismic risk is the basis for building awareness of seismic risk in different interest groups, which is a prerequisite for planning community resilience in response to strong earthquakes. An efficient model of seismic risk communication has not yet been established in Slovenia, so it is not possible to inform owners and users of buildings and other stakeholders about seismic risk in a simple way. In some countries with moderate or high earthquake risk, such as Italy, New Zealand and the United States (California), seismic risk communication to the public has already been established in a systematic manner; it is communicated by a multi-level rating or as a proportion of the acceptable risk, which enables clear communication of the level of risk, including to the non-professional public. This paper presents a new model for risk communication due to natural hazards which has recently been developed at the Institute of Structural Engineering, Earthquake Engineering and Construction IT. The model is based on a five-level grading system with the possibility of extension to additional grades, and it can take into account various risk indicators such as, for example, the probability of exceeding a building's damage state or the expected annual loss. The model incorporates the concept of long-term and short-term risk tolerance, which is the basis for time-dependent risk communication. Where the risk of a building or building stock is only tolerable in the short term, a gradual reduction in the rating is foreseen, if no measure for risk mitigation has been provided within the prescribed time.

## Uvod

Verjetnost pojava močnejšega potresa, ki lahko povzroči obsežno gospodarsko škodo in ogrozi tako prebivalce kot objekte, je v Sloveniji razmeroma nizka, posledice pa so lahko katastrofalne. Ljudje redko sami izkusimo močnejši potres, zato je zaznava potresnega tveganja med nestrokovno javnostjo zelo nizka, zavedanje o tveganju pa se pojavi le po močnejših potresih

po svetu (na primer Jesenko, 2017; Jesenko, 2018; Jesenko, 2019; Miranda in sodelavci, 2021). V Sloveniji je bilo opravljenih nekaj študij o potresni ogroženosti stavbnega fonda (na primer Tomaževič, 1994; Orožen Adamič in Perko, 1997; Kilar, 2004; Lutman in sodelavci, 2014; Dolšek in sodelavci, 2020). V javnosti se največkrat omenjajo rezultati projekta POTROG (2011–2017) (Lutman in sodelavci, 2014), v katerem je mogoče prek preproste spletne aplikacije oceniti

učinke izbrane intenzitete potresa. Pred tem je Kilar (2004) preučeval potresno odpornost stanovanjskega fonda Slovenije in ugotovil, da je kar dobra četrtina stanovanjskega fonda verjetno potresno ogrožena (Kilar, 2004). Študija Inštituta za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo (IKPIR) na podlagi časovno opredeljenega modela posledic in modela posledic potresnega dogodka, katerega ugotovitve so predstavljene v poročilu Dolška in sodelavcev (2020), je pokazala, da je potresno tveganje stavbnega fonda v Sloveniji dolgoročno nesprejemljivo. Predvsem za ljubljansko regijo, ki spada med najbolj ogrožene v Sloveniji (MO, 2018), je zato treba vzpostaviti zavedanje o tveganju in spodbujati protipotresno prenovo stavb ter druge ukrepe, ki krepijo odzivnost skupnosti pri odzivih na močne potrese. Oceno potresne odpornosti stavb v Sloveniji obravnava standard Evrokod 8-3 (SIST EN 1998-3, 2005), ki poleg metod za oceno stavb predlaga tudi ukrepe za njihovo potresno utrditev. Kljub temu v Sloveniji še nimamo učinkovitega modela za komunikacijo potresnega tveganja na ravni posameznih objektov. Lastnikov in uporabnikov stavb ter drugih zato ni mogoče preprosto obvestiti o potresnem tveganju, ki ga v sodobnem potresnem inženirstvu izražamo s kazalniki tveganja, kot je verjetnost prekoračitve mejnega stanja poškodovanosti objekta ali pričakovana gospodarska škoda, ki se nanaša na obravnavano dobo običajno leto dni ali 50 let. Pri vzpostavitvi komunikacije potresnega tveganja lahko izhajamo iz modelov komunikacije, ki so se jih ljudje že navadili. Tak primer je energetska izkaznica stavbe (Energetski zakon (EZ-1), 2019), ki pomaga krepiti ozaveščenost javnosti glede rabe energije in vplivov na okolje ter tako vpliva na odločitve pri nakupu ali najemu stavbe. Poleg tega so s pravnimi okviri (Zakon o varstvu okolja (ZVO), 2018) podprte tudi finančne spodbude za energetske prenove stavbe, kar pri nas ureja Eko sklad – Slovenski okoljski javni sklad. Pri vzpostavitvi komunikacije potresnega tveganja je smiselno preučiti tudi primere prakse po svetu. Potresno tveganje se v teh primerih posreduje do uporabnika z oceno po večstopenjskih lestvicah, podobno kot je predstavljen razred rabe energije na energetska izkaznica stavbe. Tak način omogoča jasno komunikacijo ravni tveganja tudi nestrokovni javnosti, deloma pa se ga uporablja tudi v novem modelu za oceno in komunikacijo tveganja zaradi naravnih nesreč, ki sta ga nedavno predlagala Babič in Dolšek (2019). Novost tega modela je koncept dolgo- in kratkoročne sprejemljivosti tveganja.

## Komunikacija potresnega tveganja po svetu

Komunikacija potresnega tveganja je ponekod po svetu že sistematično vzpostavljena. Gre večinoma za države z zmerno ali visoko stopnjo potresne nevarnosti, ki se potresne ogroženosti zavedajo predvsem zaradi

nedavnih rušilnih potresov in njihovih posledic. V nadaljevanju so predstavljene metode za oceno in komunikacijo potresnega tveganja ter sedanji načini za spodbujanje potresno varne obnove stavb v Italiji, na Novi Zelandiji in v Kaliforniji v ZDA.

### Italija

V Italiji so nedavni potresi iz let 2009, 2012, 2016 in 2017 ponovno opozorili na potrebo po potresni obnovi stavbnega fonda. Posledično so uvedli tako imenovani potresni bonus (it. Sisma bonus) (DM n. 24 29/01/2020), katerega namen je spodbujanje potresne utrditve stavb s povračilom stroškov obnove stavbe prek davčne olajšave. Uveljaviti ga je mogoče tako za posamezne hiše in večstanovanjske stavbe kot stavbe s komercialnimi ali nekomercialnimi proizvodnimi dejavnostmi. Višina povračila se določi s pomočjo razredov potresnega tveganja stavb od A+ do F oziroma G, kar omogoča jasno komunikacijo ravni tveganja strokovni in nestrokovni javnosti. Za posege utrditve posameznega objekta se v splošnem lahko povrne do 50 odstotkov stroškov, ta vrednost pa se lahko poveča do 70 odstotkov oziroma 75 odstotkov pri večstanovanjskih stavbah pri zmanjšanju tveganja stavbe za vsaj en razred in do 80 odstotkov oziroma 85 odstotkov pri večstanovanjskih stavbah, če se tveganje s posegom zmanjšanja za vsaj dva razreda (Agenzia delle Entrate, 2019). Pri tem se upošteva strošek prenove največ 96.000 evrov na leto na objekt oziroma enoto v večstanovanjski stavbi. V splošnem se razred tveganja lahko določi po tako imenovani konvencionalni metodi, ki temelji na pričakovani letni izgubi PAM (it. perdite annue medie), ki predstavlja pričakovane stroške potresne sanacije stavbe na letni ravni, in kazalniku varnosti IS-V (it. indice di sicurezza della vita), ki se posredno nanaša na varnost ljudi v stavbi (Cosenza in sodelavci, 2018). Kazalnik tveganja PAM se določi z analizo odziva stavbe pri različnih intenzitetah oziroma povratnih dobah potresa  $T_r$ , odzivu pa se priredijo pričakovani stroški sanacije poškodb kot delež stroška celotne rekonstrukcije stavbe (% RC). Vrednost PAM je površina nad krivuljo  $\lambda - \% RC$ , pri čemer je  $\lambda = 1/T_r$ , verjetnost pojava potresa s povratno dobo  $T_r$  v enem letu. Pri tem je največji izziv določiti strošek sanacije pri danem odzivu stavbe (Cosenza in sodelavci, 2018), zato so v Smernicah za klasifikacijo potresnega tveganja stavb (DM n. 24 29/01/2020) običajne vrednosti % RC med 0 in 100 odstotki za šest mejnih stanj, ki se lahko uporabijo pri določitvi PAM.

Kazalnik tveganja ISV je definiran kot razmerje med zmogljivostjo stavbe in zahtevo projektnega potresa, pri čemer je zmogljivost stavbe definirana s pospeškom tal, ki povzroči mejno stanje varovanja življenja v obravnavani stavbi, zahteva potresa pa s projektnim pospeškom tal na lokaciji stavbe za isto mejno stanje in povratno dobo 475 let. Za določitev obeh parametrov

Razred tveganja	Konvencionalna metoda		Poenostavljena metoda			
	PAM (%)	IS-V (%)	Območje potresne nevarnosti			
A+	$PAM \leq 0,5$	$100 \leq IS-V$				$V_1-V_2$
A	$0,5 < PAM \leq 1,0$	$80 \leq IS-V < 100$			$V_1-V_2$	$V_3-V_4$
B	$1,0 < PAM \leq 1,5$	$60 \leq IS-V < 80$	$V_1$	$V_1-V_2$	$V_3$	$V_5$
C	$1,5 < PAM \leq 2,5$	$45 \leq IS-V < 60$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_6$
D	$2,5 < PAM \leq 3,5$	$30 \leq IS-V < 45$	$V_3$	$V_4$	$V_5-V_6$	
E	$3,5 < PAM \leq 4,5$	$15 \leq IS-V < 30$	$V_4$	$V_5$		
F	$4,5 < PAM \leq 7,5$	$IS-V \leq 15$	$V_5$	$V_6$		
G	$7,5 < PAM$		$V_6$			

Preglednica 1: Določitev razreda potresnega tveganja s konvencionalno in poenostavljeno metodo (vir: Cosenza in sodelavci, 2018)

Table 1: Seismic risk class assessment by the conventional and simplified approaches (Source: Cosenza et al., 2018)

je potrebna ocena potresne odpornosti stavbe po oblaščenega inženirja gradbeništva, razred tveganja stavbe pa se določi kot nižji razred glede na parametra (preglednica 1).

Za začetno oceno tveganja ter oceno zidanih stavb in stavb, za katere ni podatkov o geometriji ter konstrukcijskih podrobnosti, je na voljo tudi poenostavljena metoda (preglednica 1). Stavbi se priredijo razred tveganja glede na območje potresne nevarnosti (od 1 do 4), ki je opredeljeno z višino pospeška tal, in razredi ranljivosti od  $V_1$  do  $V_6$ , ki so odvisni od načina zidanja ter vgrajenega materiala (DM n. 65 07/03/2017) (preglednica 1). Tako naj bi na primer nova stavba, ki je projektirana v skladu z določili veljavnih standardov v Italiji, glede na kazalnik IS-V dosegala oceno A+, glede na kazalnik PAM pa oceno B (Cosenza in sodelavci, 2018).

## Nova Zelandija

Sistematičen pristop k zmanjševanju števila potresno neodpornih stavb so vpeljali tudi na Novi Zelandiji, kar sta predstavila Hladnik in Aleksič (2017). Za stavbe, ki so prepoznane kot potresno neodporne (angl. earthquake-prone buildings – EPB), se izdajajo posebna opozorila (angl. earthquake-prone building notice – EPB) (New Zealand Government, 2017). Opozorilo mora biti na stavbi vidno prikazano, da so uporabniki seznanjeni z nevarnostjo, vsebuje pa podatke o stavbi, oceno potresne odpornosti in rok, do katerega je treba stavbo ali njen del ustrezno utrditi oziroma sanirati. Opozorila so predvidena za nestanovanjske in večje stanovanjske stavbe s premajhno potresno odpornostjo, izdaja pa jih lokalni regulator. Potresna odpornost je prikazana s parametrom % NBS (angl. percentage of the New

Building Standard), ki pomeni delež oziroma stopnjo, do katere stavba ali njen element izpolnjuje zahteve standarda, izrazi pa se lahko tudi s pripadajočo oceno na šeststopenjski lestvici od A+ do E (preglednica 2).

Smernice za določitev parametra % NBS je dalo Društvo za potresno inženirstvo Nove Zelandije (NZSEE, 2017) kot razmerje med mejno zmogljivostjo stavbe (nosilnosti ali deformacije) in projektno potresno zahtevo za podobno novo stavbo. Predvideni sta dve metodi za določitev % NBS, in sicer natančna ocena z analizo stavbe ter začetna ocena. Slednja ustreza, če inženir meni, da njeni rezultati kažejo resnično vedenje stavbe, in če lastnik jasno ne zahteva natančne ocene. Hladnik

% NBS	Ocena tveganja	Tveganje v primerjavi z novo stavbo	Tveganje za izgubo življenja
> 100	A+	manj ali primerljivo	nizko
80–100	A	od 1- do 2-krat večje	nizko
67–79	B	od 2- do 5-krat večje	nizko do srednje
35–66	C	od 5- do 10-krat večje	srednje
20–34	D	od 10- do 25-krat večje	visoko
> 20	E	več kot 25-krat večje	zelo visoko

Preglednica 2: Potresna odpornost % NBS in pripadajoča ocena tveganja, tveganje v primerjavi z novo stavbo in tveganje za izgubo življenja (vir: NZSEE, 2017)

Table 2: Earthquake resistance %NBS and the corresponding rating, risk relative to a new building and risk of loss of life (Source: NZSEE, 2017)

in Aleksič (2017) sta na primeru stavbe pokazala, da se lahko oceni zelo razlikujeta, zato mora biti strokovnjak za uporabo smernic ustrezno usposobljen. Elaborat potresne odpornosti stavbe lahko v Sloveniji pripravi pooblaščen inženir gradbeništva, moral pa bi imeti tudi posebno znanje iz potresnega inženirstva. Model komunikacije potresnega tveganja Nove Zelandije predvideva, da se stavba ali njen del opredeli kot potresno neodporen in prejme ustrezno opozorilno oznako, če je % NBS manjši od 34 odstotkov. Rok za izvedbo del za protipotresno utrditev je za običajne stavbe na območjih z visoko potresno nevarnostjo 15 let, na območjih s srednjo potresno nevarnostjo pa 25 let. Ta rok se prepolovi za prednostne gradnje, na primer bolnišnice, šole, stavbe, ki bi ob porušitvi ovirale reševalce, in podobno. Opozorilo ima lahko štiri barvne obrobe, ki nakazujejo na stopnjo tveganja in potrebo po izvedbi del. Primeri opozoril in dodatne informacije so dostopni na portalu Building Performance (New Zealand Government, 2017).

## Kalifornija v ZDA

V Kaliforniji je že od leta 1994 obvezna ocena potresne zmogljivosti bolnišnic z intenzivno nego (OSHPD, 2019), katerih uporabnost je tudi po močnejših potresih zelo

Varnost	
★★★★★	brez ujetih žrtev
★★★★	brez poškodb
★★★	brez smrtnih žrtev
★★	smrtne žrtve na izoliranih lokacijah
★	smrtne žrtve na več lokacijah
NR	brez ocene
Stroški sanacije	
★★★★★	znotraj operativnega proračuna (manj kot pet odstotkov vrednosti zamenjave)
★★★★	znotraj zavarovalnega odbitka (manj kot deset odstotkov vrednosti zamenjave)
★★★	znotraj pričakovanih izgub (manj kot 20 odstotkov vrednosti zamenjave)
★★	popravljiva škoda (manj kot 40 odstotkov vrednosti zamenjave)
★	nepopravljiva škoda (več kot 40 odstotkov vrednosti zamenjave)
NR	brez ocene
Obnovitev	
★★★★★	v nekaj urah
★★★★	v nekaj dneh
★★★	v nekaj tednih
★★	v nekaj mesecih
★	v nekaj letih
NR	brez ocene

Preglednica 3: Pregled ocenjevalnega sistema SEAONC (vir: SEAONC, 2011)  
Table 3: The SEAONC rating system (Source: SEAONC, 2011)

pomembna. Stavbi in njenim delom se na podlagi analize dodeli kategorija potresne zmogljivosti (angl. seismic performance category) med SPC-1 in SPC-5, pri čemer 1 nakazuje na porušitev ter 5 na uporabnost stavbe pri močnejšem potresu (California Administrative Code, 2019). Do 1. januarja 2013 so morale vse bolnišnice z intenzivno nego dobiti vsaj oceno SPC-2, po letu 2030 pa tudi bolnišnicam z oceno SPC-2 ne bo več dovoljeno opravljati intenzivne nege.

Zaradi obveščanja nestrokovne javnosti o potresni zmogljivosti stavb je Združenje gradbenih inženirjev severne Kalifornije predlagalo prostovoljen sistem ocenjevanja (SEAONC, 2011). Sistem je preprost in kakovosten ter stavbi dodeli oceno med eno in pet zvezdic za tri opazovane kategorije, in sicer varnost, stroške sanacije ter čas do ponovne rabe oziroma obnove stavbe (preglednica 3).

Združenje ne zahteva ali predlaga uporabe posebne metode za oceno odziva stavbe, vendar je že predlagalo postopek za pretvorbo rezultatov analize po standardu ASCE-31 (2003) v oceno skladno s predlaganim sistemom ocenjevanja. Neprofitna organizacija Svet odpornosti Združenih držav (angl. US Resiliency Council – USRC) prav tako promovira ocenjevanje zmogljivosti stavb pri naravnih katastrofah. Omogoča prostovoljen sistem ocenjevanja potresne zmogljivosti (angl. Verified earthquake rating system) (USRC, 2018), ki ima podlago v sistemu ocenjevanja združenja SEAONC. Ocena sicer temelji na zahtevah nacionalnih standardov in jo dodeljujejo certificirani strokovnjaki, vendar ne pomeni zanesljive ocene potresnega tveganja. Namenjena je promocijskim, tržnim in oglaševalskim namenom, na primer kot podlaga za zvišanje najemnine, določitev zavarovalnih pogojev ter podobno.

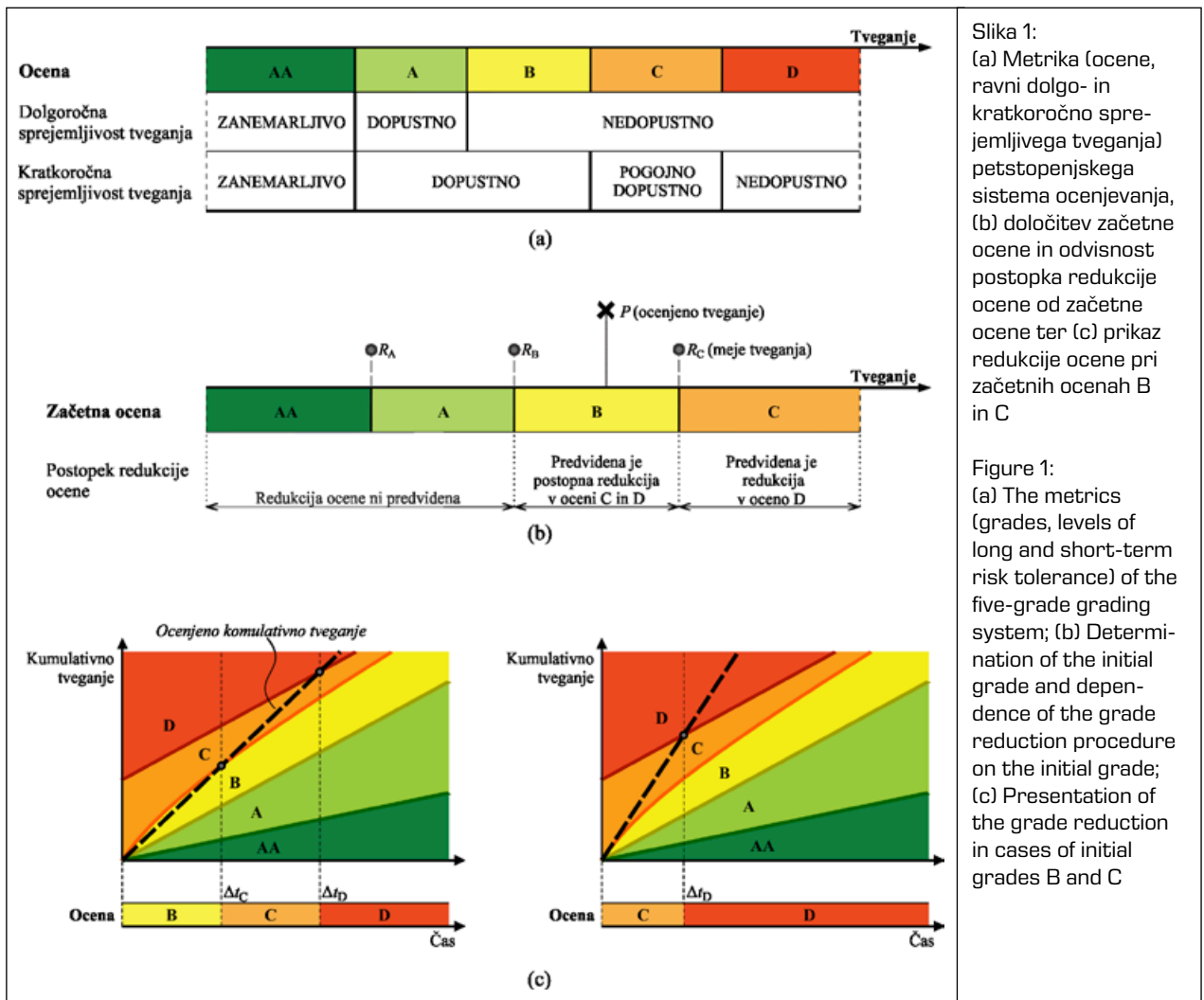
## Predlog modela komunikacije tveganja z upoštevanjem dolgo- in kratkoročne sprejemljivosti tveganja

Model komunikacije tveganja, ki je bil pred kratkim razvit na Inštitutu za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo (Babič in Dolšek, 2019), je zasnovan kot petstopenjski sistem ocenjevanja (AA, A, B, C in D), pri čemer se ocene dodelijo glede na količinsko opredeljeno potresno tveganje, na primer verjetnost prekoračitve izbranega mejnega stanja poškodovanosti ali pričakovano letno škodo. Oceni AA ustreza najmanjše, oceni D pa največje tveganje. Sistem ocenjevanja tako omogoča preprosto komunikacijo potresnega tveganja s širšo javnostjo, poleg tega pa je podlaga za določitev postopka stopnjevanja posledic zaradi nezadostnega ukrepanja lastnikov pri zmanjševanju tveganja.

Natančna razlaga modela komunikacije tveganja presega okvire tega prispevka, zato predstavljamo le razlago njegovih bistvenih elementov, podrobnosti pa so opisane v Babič in Dolšek (2019). Model vpeljuje merili dolgo- in kratkoročne sprejemljivosti tveganja (slika 1a). Merilo dolgoročne sprejemljivosti tveganja predvideva, da se stavbi glede na primerjavo med izračunanim tveganjem  $P$  (na primer verjetnostjo prekoračitve izbranega mejnega stanja za leto dni) in tremi mejami tveganja  $R_A$ ,  $R_B$  in  $R_C$  dodeli začetna ocena (slika 1b). Ocena AA se dodeli v primerih, ko je  $P < R_A$ . Tako tveganje označujemo kot zanemarljivo (slika 1a) in je predvidoma nižje od tveganja, ki mu je izpostavljena večina stavb, čeprav so projektirane po trenutno veljavnih standardih za potresnoodporno projektiranje. Ocena A naj bi ustrezala stavbam, ki so projektirane v skladu s trenutno veljavnimi standardi, ki jih povezujemo z dolgoročno dopustnim, toda obenem nezanimljivim tveganjem ( $R_A < P < R_B$ ). Predvideva se, da bodo posledice ocene AA za lastnike stavb ugodnejše kot posledice ocene A, zato bodo ti spodbujeni k še varnejši gradnji, kot jo zahteva standard. Taka nadstandardna gradnja je pomembna z vidika postopnega povečanja potresne varnosti na ravni grajenega okolja, saj delno uravnoteži razmeroma visoko tveganje nekaterih

starejših objektov, ki jih ni mogoče ustrezno utrditi. Pri oceni AA ali A, pri kateri je tveganje nižje od meje dolgoročno dopustnega tveganja, merilo kratkoročno dopustnega tveganja ni bistveno, začetna ocena pa se ohrani za nedoločen čas.

Če se ugotovi, da tveganje dolgoročno ni dopustno ( $P > R_B$ ), se dodatno upošteva merilo kratkoročno dopustnega tveganja. Slednji je milejši od merila dolgoročno dopustnega tveganja ( $R_B$ ), s čimer se upošteva, da je tveganje, ki smo mu izpostavljeni v omejenem obdobju, lahko večje od tveganja, ki smo mu izpostavljeni dolgoročno. Kratkoročno dopustno tveganje definiramo z mejo tveganja  $R_C$  in referenčnim obdobjem  $\Delta t_{ref}$ , v katerem je tveganje v višini  $R_C$  še dopustno, na primer deset let. Glede na merilo kratkoročno dopustnega tveganja in vrednost ocenjenega tveganja za obravnavano stavbo se najprej dodeli začetna ocena B (tj. kratkoročno dopustno tveganje,  $R_B < P < R_C$ ) ali C (tj. kratkoročno pogojno dopustno tveganje,  $P > R_C$ ). Če lastniki stavb tveganja ne zmanjšajo do še sprejemljive vrednosti v dovolj kratkem času, je predvideno tudi postopno zmanjševanje ocene do D (kratkoročno nedopustno tveganje) (slika 1b). Z vpeljavo postopnega zmanjševanja ocene omogočimo časovno odvisno komunikacijo



Slika 1: (a) Metrika (ocene, ravni dolgo- in kratkoročno sprejemljivega tveganja) petstopenjskega sistema ocenjevanja, (b) določitev začetne ocene in odvisnost postopka redukcije ocene od začetne ocene ter (c) prikaz redukcije ocene pri začetnih ocenah B in C

Figure 1: (a) The metrics (grades, levels of long and short-term risk tolerance) of the five-grade grading system; (b) Determination of the initial grade and dependence of the grade reduction procedure on the initial grade; (c) Presentation of the grade reduction in cases of initial grades B and C



tveganja, obenem pa vzpostavimo podlago za upravljanje tveganj zaradi nezadostnega ukrepanja lastnikov pri zmanjševanju tveganja. Z nižanjem ocene je namreč predvideno zaostrovanje posledic, ki bodo vse intenzivneje usmerjene v zmanjševanje potresnega tveganja na ravni grajenega okolja. Po drugi strani bodo take posledice za lastnike stavb predvidoma vse neugodnejše, zato bodo lastniki stavb, ki so izpostavljene visokemu tveganju, spodbujeni, da v čim krajšem času izvedejo ukrepe za povečanje potresne varnosti, obenem pa se jim ne bo treba takoj spoprijeti z zelo negativnimi posledicami, ki so predvidene ob oceni D.

Postopek zmanjševanja ocene je odvisen od začetne ocene (slika 1c) in temelji na merilu enakega kumulativnega tveganja. Če je začetna ocena B, se izračunata obdobje  $\Delta t_C$ , po katerem bo izvedena redukcija v oceno C, in obdobje  $\Delta t_D$ , po katerem bo ocena potem reducirana v D. Če je začetna ocena C, je predvidena le določitev obdobja  $\Delta t_D$ . Obdobji se začneta ob določitvi začetne ocene. Obdobje  $\Delta t_D$  je določeno na podlagi sprejemljivega kumulativnega tveganja (Babič in Dolšek, 2019):

$$\Delta t_D = \frac{R_C - R_B}{P - R_B} \Delta t_{ref} \quad (1)$$

Ob poznavanju obdobja  $\Delta t_D$  lahko določimo še obdobje  $\Delta t_C$ :

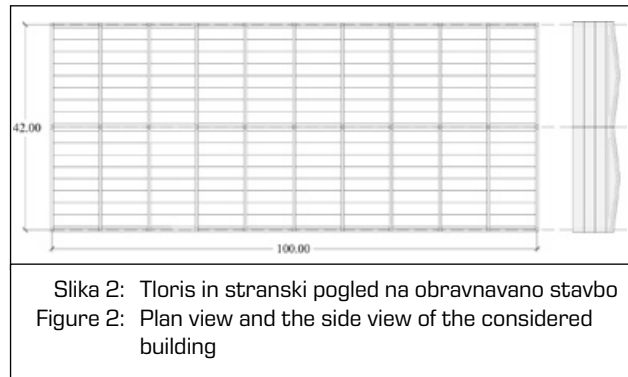
$$\Delta t_C = \frac{R_C - P}{P - R_B} \Delta t_{ref} \quad (2)$$

Pri tem upoštevamo, da je razlika med  $\Delta t_D$  in  $\Delta t_C$  natančno  $\Delta t_{ref}$ . S tem je za vse stavbe z začetno oceno B pred redukcijo do ocene D predvideno enako vmesno obdobje pri oceni C. Poleg tega tako omogočimo približno ocenjevanje (Babič in Dolšek, 2019), kar pomeni, da majhna razlika v izračunanem tveganju ne povzroči velike razlike v časovno odvisni oceni. Tako ocenjevanje je zaželeno, saj je postopek izračuna potresnega tveganja povezan z negotovostmi, ki lahko, če pomembno vplivajo na rezultat ocenjevanja, omejijo zaupanje javnosti v izračunano tveganje in njegove sporočevalce (Reid, 2009).

## Primer

Model komunikacije tveganja z upoštevanjem dolgo- in kratkoročne sprejemljivosti tveganja smo uporabili pri enoetažni montažni armiranobetonski hali v Ljubljani (slika 2).

Potresno tveganje smo ovrednotili z verjetnostjo prekoračitve mejnega stanja popolne poškodovanosti stavbe v letu dni. Za mejo zanemarljivega tveganja  $R_A$  smo privzeli vrednost  $10^{-5}$ , ki je v Sloveniji sprejemljiva

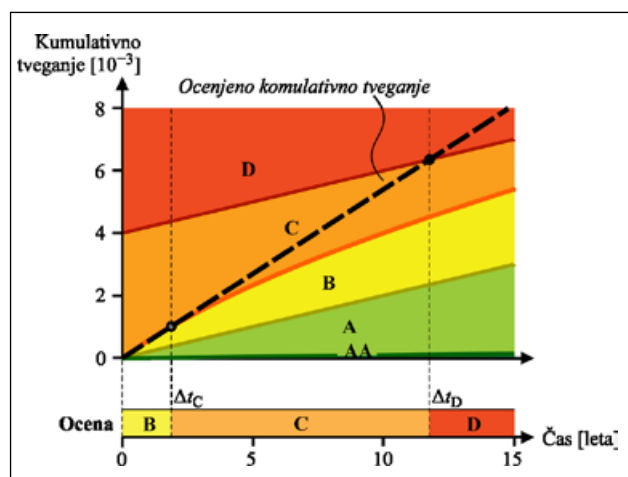


Slika 2: Tloris in stranski pogled na obravnavano stavbo  
Figure 2: Plan view and the side view of the considered building

tako za strokovnjake kot nestrokovnjake (Fajfar in sodelavci, 2014). Za mejo dolgoročno dopustnega tveganja  $R_B$  smo upoštevali vrednost  $2 \cdot 10^{-4}$ , ki ustreza ciljnim verjetnosti porušitve, kot jo uporabljajo pri projektiranju novih stavb v ZDA (Luco in sodelavci, 2007). Pri določitvi meje kratkoročno dopustnega tveganja  $R_C$  smo izhajali iz sprejemljive verjetnosti za izgubo življenja v obstoječih objektih, ki smo jo privzeli iz nizozemskih predpisov (Vrijling in sodelavci, 2005) in znaša  $10^{-5}$ . Ob dodatnem upoštevanju verjetnosti izgube življenja pri pogoju mejnega stanja popolne poškodovanosti stavbe (1,5 odstotka; FEMA, 2012) meja  $R_C$  znaša  $6 \cdot 10^{-4}$ . Predvideli smo, da tolikšno tveganje dopuščamo največ deset let (tj.  $\Delta t_{ref} = 10$  let).

Ocenjena verjetnost prekoračitve mejnega stanja popolne poškodovanosti stavbe v letu dni P znaša  $5,4 \cdot 10^{-4}$ . Pri oceni P smo upoštevali potresno nevarnost, določeno z metodo, ki je bila uporabljena tudi pri izračunu karte projektnega pospeška tal v Sloveniji (Lapajne in sodelavci, 2003), in potresno ranljivost stavbe, ki smo jo ocenili na podlagi številnih simulacij potresnega odziva matematičnega modela stavbe (Babič, 2017).

Na podlagi ocenjenega tveganja P smo najprej določili začetno oceno, ki je enaka B, saj je P med  $R_B$  in  $R_C$ .



Slika 3: Določitev časovno odvisne ocene tveganja za obravnavano stavbo  
Figure 3: Determination of the time-dependent grade for the considered building

Ocena B sporoča, da je tveganje dopustno na kratki rok, vendar nedopustno na dolgi rok (slika 1), zato je predvideno postopno zmanjševanje ocene. Z uporabo enačb izračunamo, da je zmanjšanje v oceno C predvideno v 1,9 leta, zmanjšanje v oceno D pa v 11,9 leta (slika 3). Predvidevamo, da sta ti obdobji dovolj dolgi, da lastnik potresno utrdi stavbo, preden se bo ukvarjal z negativnimi posledicami, ki so predvidene ob oceni C in D, obenem pa ne predolgi, da lastnika odvrneta od utrditve.

## Sklepne misli

Da bi v prihodnosti okrepili potresno varnost v Republiki Sloveniji, je treba najprej vzpostaviti sistematičen pristop k širjenju podatkov o potresni varnosti vsem zainteresiranim. Tako bi izboljšali zavedanje družbe o potresnem tveganju, z regulatorjem pa bi lahko vzpostavili vrednostni sistem, ki bi potresno varnost obravnaval kot tržno kategorijo. V Italiji, na Novi Zelandiji in v Kaliforniji so že vzpostavili sistematičen pristop za komunikacijo potresnega tveganja. Slovenija v tem pogledu zaostaja, čeprav je verjetno

zaradi majhnosti skupnosti potresno bolj ranljiva od omenjenih držav.

Predlagamo, da se v Sloveniji vpelje inovativen model komunikacije potresnega tveganja, ki temelji na zasnovi dolgo- in kratkoročne sprejemljivosti tveganja. Če tveganje dolgoročno ni dopustno, model omogoča vpeljavo zmanjševanja ocene na podlagi kumulativnega tveganja, kot smo pokazali pri armiranobetonski hali. Predlagani model komunikacije tveganja je bil nedavno uporabljen tudi pri vrednotenju potresnega tveganja stavbnega fonda v Sloveniji (Dolšek in sodelavci, 2020) in vrst kritične infrastrukture v drugih evropskih državah (Esposito in sodelavci, 2020).

Predlagano petstopenjsko lestvico ocenjevanja je mogoče razširiti na več stopenj, s čimer bi poenotili ocene s podobnimi sistemi ocenjevanja, ki so se jih ljudje že navadili. Tako bi poleg obveščanja javnosti o potresnem tveganju v Sloveniji vpeljali tudi podlago za razvoj optimalne strategije za upravljanje in zmanjševanje tveganj, saj poleg ocene tveganja pridobimo tudi podatke o dobi, v kateri je treba objekt potresno utrditi.

## Viri in literatura

1. Agenzia delle Entrate, 2019. Sisma bonus: Le detrazioni per gli interventi antisismici. L'agenzia informa.
2. ASCE, 2003. Seismic Evaluation of Existing Buildings (ASCE/SEI 31-03), American Society of Civil Engineers.
3. Babič, A., Dolšek, M., 2019. A five-grade grading system for the evaluation and communication of short-term and long-term risk posed by natural hazards. *Structural Safety*, 78, 48–62.
4. Babič, A., 2017. Potresni obremenitveni test za montažne armiranobetonske hale. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani.
5. California Administrative Code, 2019. California code of regulations, Title 24, Part 1: Chapter 6 - Seismic evaluation procedures for hospital buildings. California, California Building Standards Commission.
6. Cosenza, E., Del Vecchio, C., Di Ludovico, M., Dolce, M., Moroni, C., Prota, A., Renzi, E., 2018. The Italian guidelines for seismic risk classification of constructions: technical principles and validation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(12), 5905–5935.
7. Decreto Ministeriale n. 24 del 09/01/2020. Sisma Bonus—Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni nonché le modalità per l'attestazione, da parte di professionisti abilitati, dell'efficacia degli interventi effettuati. Governo Italiano, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.
8. Decreto Ministeriale n. del 65 07/03/2017. Sisma Bonus—Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni e i relativi allegati. Modifiche all'articolo 3 del Decreto Ministeriale Numero 58 del 28/02/2017. Governo Italiano, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.
9. Dolšek, M., Žižmond, J., Babič, A., Lazar Sinković, N., Jamšek, A., Gams, M., Isaković, T., 2020. Seizmični stresni test stavbnega fonda Republike Slovenije (2020–2050). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo (IKPIR).
10. Energetski zakon (EZ-1), 2019. Uradni list RS, št. 60/19.
11. Esposito, S., Stojadinović, B., Babič, A., Dolšek, M., Iqbal, S., Selva, J., Broccardo, M., Mignan, A., Giardini, D., 2020. Risk-based multilevel methodology to stress test critical infrastructure systems. *Journal of Infrastructure Systems*, 26 (1), 04019035.
12. Fajfar, P., Polič, M., Klinc, R., 2014. Zaznavanje potresne ogroženosti pri strokovnjakih in nestrokovnjakih. *Gradbeni vestnik*, 63, 111–118.
13. Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2012. HAZUS Multi-hazard loss estimation. <https://www.fema.gov/hazus/>, 7. 2. 2020.
14. Hladnik, L., Aleksič, N., 2017. Novozelandski pristop k zmanjševanju števila obstoječih potresno neodpornih stavb. *Gradbeni vestnik*, 66, 29–36.
15. Jesenko, T., 2017. Najmočnejši potresi po svetu leta 2016. *Ujma* 31, 72–77.
16. Jesenko, T., 2018. Najmočnejši potresi po svetu leta 2017. *Ujma* 32, 116–122.
17. Jesenko, T., 2019. Najmočnejši potresi po svetu leta 2018. *Ujma* 33, 142–148.
18. Kilar, V., 2004. Ocena potresne ogroženosti stanovanjskih stavb v Sloveniji. *AR arhitektura, raziskave*, 1, 62–65.
19. Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2003. Probabilistic seismic hazard assessment methodology for distributed seismicity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93 (6), 2502–2515.

20. Luco, N., Ellingwood, B. R., Hamburger, R. O., Hooper, J. D., Kimball, J. K., Kircher, C. A., 2007. Risk targeted versus current seismic design maps for the conterminous United States. Structural Engineers Association of California convention. Squaw Creek, California.
21. Lutman, M., Klemenc, I., Weiss, P., Zupančič, P., Šket Motnikar, B., Banovec, P., Cerl, M., 2014. POTROG – Potresna ogroženost v Sloveniji za potrebe civilne zaščite. Ujma 28, 201–212.
22. Ministrstvo za obrambo (MO), 2018. Ocena ogroženosti Republike Slovenije zaradi potresov. Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje.
23. Miranda, E., Brzev, S., Bijelić, N., Arbanas, Ž., Bartolac, M., Jagodnik, V., Lazarević, D., Mihalić S. A., Zlatović, S., Acosta, A., Archbold, J., Bantis, J., Borozan, J., Božulić, I., Blagojević, N., Cruz, C., Dávalos, H., Fischer, E., Gunay, S., ... Robertson, I., 2021. StEER-EER: Petrinja, Croatia, December 29, 2020, Mw 6.4 Earthquake Joint Reconnaissance Report (JRR).
24. New Zealand Government, 2017. Managing earthquake-prone buildings. New Zealand, Ministry of Business, Innovation and Employment. <https://www.building.govt.nz/managing-buildings/managing-earthquake-prone-buildings/>, dostopano 7. 2. 2020.
25. NZSEE, 2017. The Seismic Assessment of Existing Buildings, Technical Guidelines for Engineering Assessment. New Zealand Society for Earthquake Engineering, July 2017.
26. Orožen Adamič, M., Perko, D., 1997. Potresna ogroženost območij in naselij v Sloveniji. Ujma 11, 96–106.
27. OSHPD, 2019. Seismic compliance and safety. San Francisco, California, Office of Statewide Health Planning and Development (OSHPD). <https://oshpd.ca.gov/construction-finance/seismic-compliance-and-safety/>, 9. 12. 2019.
28. POTROG, raziskovalni projekt Potresna ogroženost v Sloveniji za potrebe Civilne zaščite, 2011–2017. <http://potrog2.vokas.si/>.
29. Reid, S. G., 2009. Confidence and risk. Structural Safety, 31(2), 98–104.
30. SEAONC Existing Buildings Committee, Building Ratings Subcommittee, 2011. SEAONC Rating System for the Expected Earthquake Performance of Buildings. California, SEAOC Convention Proceedings, Structural Engineers Association of California.
31. SIST EN 1998-3, Evrokod 8, Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij, 3. del: Ocena in prenova stavb, SIST EN 1998-3:2005, oktober 2005.
32. Tomažević, M., 1994. Projekt potresne ogroženosti in varstvo pred potresi. Ujma 8, 142–144.
33. US Resiliency Council, 2018. USCR rating system: understanding your building's performance in disasters. <http://usrc.org/building-rating-system>, 5. 12. 2019.
34. Vrijling, J. K., van Gelder, P. H. A. J. M., Ouwerkerk, S. J., 2005. Criteria for acceptable risk in the Netherlands. V: Taylor, C., VanMarcke, E. (ur.), Infrastructure risk management processes: natural, accidental, and deliberate hazards. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, US, 143–157 (poglavje 5).
35. Zakon o varstvu okolja (ZVO), 2018. Uradni list RS št. 39/06 – uradno prečiščeno besedilo, 49/06 – ZMetD, 66/06 – odl. US, 33/07 – ZPNačrt, 57/08 – ZFO-1A, 70/08, 108/09, 108/09 – ZPNačrt-A, 48/12, 57/12, 92/13, 56/15, 102/15, 30/16, 61/17 – GZ, 21/18 – ZNOrg in 84/18 – ZIURKOE.