

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/43



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J2-4180
Naslov projekta	Razvoj praktične metode za oceno potresnega tveganja konstrukcij stavb in opreme
Vodja projekta	25 Peter Fajfar
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	8430
Cenovni razred	
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2014
Nosilna raziskovalna organizacija	792 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	581 Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta 1502 Zavod za gradbeništvo Slovenije
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.01 Gradbeništvo 2.01.04 Potresno inženirstvo
Družbeno-ekonomski cilj	02. Okolje
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.01 Gradbeništvo

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

V okviru projekta smo razvili praktično uporabno metodo za oceno potresnega tveganja stavb. Raziskave so bile temeljne in so na več področjih prispevale k svetovni zakladnici znanja, končni rezultat pa je metoda, ki jo bodo projektanti lahko uporabljali v vsakodnevni praksi. Metoda omogoča kvantitativno oceno potresnega tveganja gradbenih konstrukcij in njihove opreme, izraženo z letno verjetnostjo porušitve ali

prekoračitve izbranega mejna stanja. Metoda je dovolj enostavna, da je uporabna za prakso, obenem pa dovolj natančna (ob upoštevanju vseh negotovosti povezanih s potresnim odzivom konstrukcij in njihove opreme). Predstavlja razširitev N2 metode, ki je bila razvita v IKPIRu in ki je vključena v evropski in slovenski standard za gradnjo potresnoodpornih objektov Evrokod 8, in njeno povezavo z verjetnostno metodologijo, razvito v PEER centru v Kaliforniji. Glavni problemi, ki jih je bilo treba rešiti (ali izboljšati obstoječe rešitve) v okviru projekta, so bile: določanje kapacitete elementov in celotne konstrukcije; pridobitev kvantitativnih podatkov o aleatorni in epistemični nezanesljivosti podatkov in rezultatov za tipične armiranobetonske in zidane konstrukcije; razširitev N2 metode z možnostjo določanja etažnih spektrov; soočanje podatkov o tehničnem tveganju z njihovo zaznavo. Raziskave so bile analitične in numerične, uporabljali smo sodobno računalniško programsko in strojno opremo. Poenostavljena metoda je bila verificirana z rezultati natančnejših numeričnih metod. Dobro formalno in neformalno sodelovanje raziskovalne skupine z vodilnimi raziskovalnimi centri po svetu je zagotavljalo, da so raziskave upoštevale najnovejše raziskovalne dosežke in so bile koordinirane s podobnimi raziskavami po svetu. Posebno pomembna sta bila partnerstvo pri evropskem raziskovalnem projektu 7.okvirnega programa SERIES, kjer je sodelovalo 23 evropskih inštitucij, vključno z vsemi velikimi eksperimentalnimi laboratoriji, in odlično sodelovanje s Stanford univerzo, kjer je bilo opravljenega večina dela pri razvoju PEERove verjetnostne metodologije. Predlagan projekt je bil tesno povezan z delom programske skupine Potresno inženirstvo. Pri izvajanju raziskav so sodelovali raziskovalci na Univerzi v Ljubljani (FGG in FF) in v raziskovalni organizaciji ZAG. Posebno kvaliteto projekta predstavlja sodelovanje med tehniki in družboslovci, ki je ključnega pomena pri uvajanju različnih ukrepov v prakso, vendar je redko pri nas in tudi v svetu. Nova metoda in ob raziskavah pridobljena nova znanja, ki smo jih in jih bomo še objavili v mednarodni in domači strokovni literaturi ter posredovali študentom, projektantom in drugim udeležencem v procesu graditve objektov, lahko prispevajo k racionalnim odločitvam v procesu projektiranja in, v končni fazi, k večji potresni odpornosti gradbenih objektov in njihove opreme ob sprejemljivih stroških in s tem k zmanjšanju števila žrtev in materialne škode ter k zaščiti kulturne dediščine v bodočih potresih.

ANG

Within the research project, a practice-oriented method for the estimation of seismic risk has been developed. The method enables a quantitative assessment of the seismic risk of building structures and their equipment, expressed in terms of the annual probability of collapse (or of the failure of equipment), or of the exceedance of a selected limit state. The method is relatively simple in order to be useful for practice, but is capable to take into account the most essential features of structural response. It represents an extension of the N2 method, which was developed at the University of Ljubljana and has been implemented in the Slovenian and European standard for earthquake-resistant structures Eurocode 8, and in the probabilistic methodology developed in the PEER Center, California. The main problems, for which new solutions have been found or existing solutions have been improved within the proposed project, were: determination of the deformation capacity of the elements and of the entire structure; obtaining quantitative data on aleatory and epistemic uncertainties related to typical reinforced concrete and masonry structures; extension of the N2 method with the option for determination of floor response spectra; spacing of technical data on risk with the perception of risk. The research was analytical and numerical. The simplified method was verified by using the results of more accurate numerical methods. Established formal and informal links of the research group with leading research centers worldwide guaranteed that the latest research achievements were taken into account, and that the project was coordinated with similar efforts around the world. Particular importance was the partnership in the European research project SERIES (Co-ordinated Framework Program), which involved 23 European institutions, including all the major experimental laboratories, and excellent cooperation with the Stanford University, where the majority of the work related to the development of the PEER probabilistic methodology has been done. The project was closely associated with the national research program Earthquake Engineering. It was performed in a collaboration of researchers at the University of Ljubljana (FGG and FF) and a research organization (ZAG). A special quality of the project represents the collaboration between researchers in engineering and social sciences, which is crucial for practical implementation of earthquake mitigation measures, but is

Slovenia and also worldwide. The new method and new knowledge, which have been published in international and national literature, and have been and will be disseminated to students, designers and other stakeholders, will contribute to rational decisions in design process and, ultimately, to increased seismic resistance of structures and their equipment at a reasonable cost, thereby reducing the number of casualties and damage to property and cultural heritage in future earthquakes.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

Raziskovalno delo v okviru projekta je bilo v skladu s programom razdeljeno v pet sklopov, ki so opisani v nadaljevanju.

1. Potresna kapaciteta armiranobetonskih elementov in konstrukcij

Pri raziskavah kapacitete AB elementov smo sodelovali pri pripravi baze eksperimentalno dobljenih podatkov za stebre, nosilce in stene. Delo je poteklo v sodelovanju z Univerzo v Patrasu (prof. Fardis) in je bilo koordinirano v okviru evropskega projekta 7. okvirnega programa SERIES. V bazo je vključenih 477 testov stebrov, 128 nosilcev in 350 sten. Digitalizirali smo starejše eksperimentalne rezultate iz dostopne literature in poprosesirali tako dobljene podatke, kar omogoča enostavno določitev parametrov kapacitete. Baza je javno dostopna (<http://www.dap.series.upatras.gr/>). Zaenkrat vsebuje ovojnice odnosa obtežba deformacija samo za nosilce, pripravljamo še ovojnice za stebre in stene. Kratek opis baze podatkov je pripravljen v posebni publikaciji (družbenoekonomski dosežek), pripravljen je bil članek za 2. Evropsko konferenco o potresnem inženirstvu in seizmologiji (2ECEES).

Predlagan je bil alternativni empirični pristop s CAE metodo za oceno krivulj ranljivosti za armiranobetonske stebre. Uporaba LHS postopka je z upoštevanjem različnih nezanesljivosti omogočila določitev krivulj ranljivosti za upogibno in osno porušene stebre. Dodatno so bile krivulje ranljivosti določene tudi za različna stanja poškodovanosti (npr. drobljenje betona, uklon vzdolžne armature, zlom vzdolžne armature). Rezultati so prikazani v članku Fragility curves of RC columns estimated by the CAE method, ki bo objavljen v RMZ v 2015.

Mejna stanja celotne konstrukcije niso definirana v standardih in predpisih, niti ni splošno sprejetih definicij v literaturi. Ukvarjali smo se z definicijo mejnega stanja konstrukcije blizu porušitve NC. Dve možni definiciji sta (1) 20 % padec odpornosti konstrukcije v vodoravni smeri in (2) mejno stanje NC je doseženo pri najbolj izpostavljenem stebri ali steni. Namen raziskav je bil raziskati odnos med mejnimi stanji NC po obeh definicijah. Analizirali smo okvirne, stenaste in mešane konstrukcije, projektirane po EC8, pa tudi okvire, projektirane po starih predpisih. Rezultati kažejo, da v splošnem prva definicija NC mejnega stanja daje bolj konservativne rezultate kot druga. Razlika se povečuje z višino konstrukcije zaradi vpliva teorije drugega reda ($P\Delta$ vpliv). Pripravili smo članek za 2ECEES.

Pri raziskavah mejnih stanj AB konstrukcij smo se ukvarjali tudi s problemom strižne nosilnosti posameznih elementov in njihovega vpliva na kapaciteto konstrukcij. Ni na razpolago primernih modelov, ki bi omogočali upoštevanje strižne porušitve elementov na obnašanje celotne konstrukcije. V okviru doktorske disertacije D. Celarca je bila predlagana metoda, ki na iteracijski način upošteva strižne porušitve posameznih elementov. Opis metode in njena uporaba pri AB okvirih s polnili sta sestavni del članka, objavljenega v reviji Earthquake Engineering Structural Dynamics (znanstveni dosežek).

2. Potresna kapaciteta zidanih konstrukcij

Raziskave na področju zidanih zgradb sta opravljala ZAG in FGG. Delo na ZAGu je obsegalo zbiranje in analizo dokumentacije o eksperimentalnih raziskavah in računskih ocenah potresne odpornosti stavb. Zbirali in analizirali smo tudi podatke, pridobljene med ogledom po potresih leta 1998 in 2004 poškodovanih stavb v Posočju. Zaradi spreminjanja računskih orodij in kriterijev za vrednotenje tekom let je bilo treba z dodatnimi analizami postaviti ocene na skupni imenovalec. Pri tem smo za merilo uporabili primerjavo poškodb na stavbah, ki so jih že poškodovale potresi, z računskimi ocenami. Preiskave zidov, s katerimi ugotavljamo vrednosti mehanskih lastnosti zidovja, smo razvrstili po osnovnih parametrih preiskave. Del preiskav smo izvedli na novo, pri čemer smo za ugotavljanje deformaciji preizkusnih zidov uporabili sodobno digitalno merilno fotografijo. Bazo ocen potresne odpornosti in ranljivosti stavb smo dopolnili s predvsem z ocenami javnih stavb posebnega pomena (gasilski domovi, bolnišnice, zdravstveni domovi, šole) in večih stanovanjskih stavb, ki se nahajajo na območjih večje potresne nevarnosti v Sloveniji. Na osnovi ocen za več kot 1300 posameznih stavb smo ugotovili korelacije med potresno ranljivostjo in osnovnimi lastnostmi stavb ter izdelali model potresne ogroženosti grajenega območja. Model uporablja Register nepremičnin v RS in upošteva določila Evropske potresne lestvice (EMS-98). Model smo preverili na večji skupini stavb v Posočju, ki so bile poškodovane med potresi l. 1998 in 2004 ter nato sanirane in utrjene. Z modelom smo približno ocenili potresno odpornost in ranljivost večine stavb v območjih večje potresne nevarnosti ter njihovo poškodovanost pri potresu s povratno dobo 475 let. Delo je bilo povezano z delom v okviru razvojnega projekta POTROG.

Na FGG smo v okviru doktorske disertacije J. Snoja zbrali in uredili podatke iz poročil o eksperimentih na zidanih preizkušancih, ki so jih izvedli v večjih raziskovalnih centrih po Evropi. V podatkovno bazo smo vključili 69 preizkušancev iz opečnih votlakov ter 27 preizkušancev iz zidakov iz kalcijevega silikata. Spremljali smo pogoje preizkušanja, splošne lastnosti preizkušanca, lastnosti zidakov, lastnosti malte ter materialne karakteristike zidovja. Pri vsakem preizkušancu smo beležili zamike, ki so privedli do nastanka prvih razpok, maksimalne nosilnosti, končnega mejnega stanja pri 80% ter končno do porušitve. Na ta način smo pridobili podatke, s katerimi lahko določimo krivulje ranljivosti zidov iz opečnih votlakov in sicer za različna mejna stanja ter za dva načina porušitve. Dodatno smo pokazali, da je s kalibracijo modela konstrukcije na osnovi rezultatov neporušnih preiskav (ambientne in vsiljene vibracije) mogoče znatno povečati točnost vmesnih rezultatov ocene potresne odpornosti (znanstveni dosežek).

3. Negotovosti pri armiranobetonskih in zidanih konstrukcijah

Na področju negotovosti pri konstrukcijah smo povezali nelinearno statično analizo za skupino modelov konstrukcije, ki so določeni z uporabo metode stratificiranega vzorčenja slučajnih spremenljivk, ter nelinearno dinamično analizo na ekvivalentnem sistemi z eno prostostno stopnjo. Na primerih smo pokazali, da neupoštevanje epistemičnih negotovosti vodi v podcenjeno oceno potresnega tveganja. Ob primerni programski opreми je predlagano metodo možno uporabiti tudi v praktične namene. Glavni cilj raziskav je bil določitev tipičnih vrednosti raztrosa potresnega odziva stavb zaradi negotovosti potresne obtežbe in parametrov modela konstrukcije. V okviru doktorske disertacije M. Kosiča so bile opravljene obsežne parametrične študije. Za študijo raztrosa potresnega odziva je bil uporabljen

dvostopenjski postopek, ki temelji na analizi ekvivalentnega sistema z eno prostostno stopnjo. Rezultate smo kontrolirali z uporabo natančnejših metod. Obravnavane so bile AB okvirne, stenaste in mešane konstrukcije, za katere smo določili tipične vrednosti raztrosa. Rezultati za AB okvire so bili predstavljeni v članku, ki je bil objavljen v *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* (znanstveni dosežek in izjemni dosežek)). Delni rezultati so bili prikazani tudi na 15. svetovni konferenci o potresnem inženirstvu (15WCEE)

Vpliv negotovosti pri modeliranju zidanih objektov smo preučevali tako na nivoju elementa kot tudi na nivoju celotne konstrukcije. Osredotočili smo se predvsem na oceno deformacijske kapacitete elementov. Vzpostavili smo podatkovno bazo 69 preizkušancev, ki so bili testirani v raziskovalnih centrih po Evropi. Za vsak preizkušanec smo ocenili deformacijsko kapaciteto za mejno stanje razpok, mejno stanje nosilnosti in mejno stanje blizu porušitve. Razvili krivulje ranljivosti za opečne zidove za tri mejna stanja ter dva različna tipa porušitve. Krivulje ranljivosti opečnih zidov smo uporabili za oceno potresne odpornosti večetažnih zidanih objektov.

4. Etažni spektri

Tako imenovani nekonstrukcijski elementi predstavljajo v stavbah bistveno večji strošek od konstrukcije, vendar je njihovi potresni odpornosti zaenkrat posvečeno premalo pozornosti. Za potresno projektiranje in ocenjevanje tistih nekonstrukcijskih elementov, ki so občutljivi na pospeške, se uporabljajo etažni spektri pospeškov. Pri tem se maksimalne vrednosti v etažnih spektrih praviloma precej zmanjšajo, če se upošteva neelastično obnašanje konstrukcije. Glavni cilj raziskav je bil razvoj praktično uporabne direktne metode za določanje etažnih spektrov ob upoštevanju elastičnega in neelastičnega obnašanja konstrukcije in elastičnega obnašanja opreme. Najprej smo opravili obsežno parametrično študijo sistemov z eno prostostno stopnjo in ob upoštevanju rezultatov te študije razvili direktno metodo za določanje etažnih spektrov. Rezultati so bili objavljeni v članku v *Bulletin of Earthquake Engineering* (glej znanstveni dosežek). V nadaljevanju smo proučevali etažne spektre v konstrukcijah z več prostostnimi stopnjami in direktno metodo razširili tako, da omogoča tudi račun spektrov v takšnih konstrukcijah. V pripravi je članek za mednarodno revijo. Vsi rezultati so zbrani v doktorski disertaciji Vladimira Vukobratovića.

5. Sprejemljivo tveganje

Izračunano tveganje za porušitev gradbenega objekta, ki je povezana s človeškimi žrtvami in veliko materialno škodo, včasih pa tudi s katastrofalnimi sekundarnimi posledicami, je potrebno primerjati s tveganjem, ki so ga posamezniki in družba kot celota pripravljene sprejeti. Sprejemljivo tveganje je seveda odvisno od osebnih in družbenih vrednostnih sodb ter izkušenj in je različno v različnih kulturnih okoljih.

Raziskave sprejemljivega tveganja so potekale v sodelovanju z Oddelkom za psihologijo na Filozofski fakulteti UL (prof. Polič). Najprej smo pregledali ugotovitve raziskav tveganja nasploh in tiste, povezane s potresi posebej, posebno raziskave Centra za raziskavo nesreč v Delawareu. Pri preučevanju različnih modelov za določitev sprejemljive verjetnosti porušitve objekta smo ugotovili, da je sprejemljivo tveganje precej odvisno od uporabljenega modela, kar potrjuje subjektivno naravo tega problema. Izpeljana je bila internetna anketa o

pričakovanih in sprejemljivih posledicah potresov ter o potrebnih ukrepih in težavah pri tem med člani Inženirske zbornice Slovenije (217 odgovorov) in na FGG (23 odgovorov). Analiza rezultatov je pokazala, da strokovnjaki precej različno ocenjujejo potresno ogroženost različnih zgradb in drugih objektov zgrajenih v različnih obdobjih oz. iz različnih materialov, kot tudi sprejemljivo tveganje. Podobno internetno anketo smo po metodi snežene kepe izpeljali tudi med 502 nestrokovnjakoma. Z anketo smo po eni strani pridobili vpogled v razmišljanje strokovnjakov, ki lahko vpliva na njihovo strokovno presojo, po drugi pa v razlike med njimi in nestrokovnjaki, saj je uvajanje in izvajanje različnih preventivnih in drugih ukrepov odvisno tudi od naravnosti nestrokovnjakov, ki morajo te ukrepe podpreti. Pridobili smo podatke o zaznavanju potresne ogroženosti, vključno s podatki o sprejemljivi verjetnosti porušitve. Analiza rezultatov je pokazala razlike in podobnosti v ocenah strokovnjakov in nestrokovnjakov, kar je pomembno upoštevati pri uveljavljanju ukrepov za zmanjševanje potresne ogroženosti. Pokazalo se je, da so strokovnjaki bolj zaskrbljeni zaradi potresne ogroženosti Slovenije kot nestrokovnjaki. Rezultati ankete in njihova analiza so prikazani v dveh člankih v Gradbenem vestniku (družbeno-ekonomski dosežek). Z referatom smo sodelovali tudi v simpoziju "Earthquakes: Psychosocial effects and risk perception" na kongresu ICAP (Mednarodni kongres za uporabno psihologijo). Bili smo soorganizatorji simpozija, ki ga je vodil M. Polič. Sodelovanje kolegov iz Japonske in Turčije je omogočalo primerjavo spoznanj o psiholoških vidikih potresov v različnih kulturah.

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Cilj projekta je bil razvoj praktično uporabne metode za oceno potresnega tveganja. Ta cilj je bil v celoti dosežen. Razvita je bila metoda, ki omogoča kvantitativno oceno potresnega tveganja gradbenih konstrukcij in njihove opreme, izraženo z letno verjetnostjo porušitve (odpovedi delovanja pri opremi) ali prekoračitve izbranega mejna stanja. Metoda je dovolj enostavna, da je uporabna za prakso, obenem pa dovolj natančna (ob upoštevanju vseh negotovosti, povezanih s potresnim odzivom konstrukcij in njihove opreme), saj upošteva bistvene značilnosti dejanskih razmer. Predstavlja razširitev N2 metode, ki je bila razvita v IKPIRu in ki je vključena v evropski in slovenski standard za gradnjo potresnoodpornih objektov Evrokod 8, in njeno povezavo z verjetnostno metodologijo, razvito v PEER centru v Kaliforniji. Izračunano verjetnost porušitve je treba oceniti s stališča sprejemljivosti za posameznika in za družbo kot celoto. Najprej je bila razvita ustrezna metodologija, ki je bila objavljena v najuglednejši reviji s področja potresnega inženirstva Earthquake Engineering and Structural Dynamics (EESD) v letu 2012. V okviru doktorske disertacije Mirka Kosiča so bili predlagane tipične vrednosti raztrosa potresnega odziva za AB okvirne, stenaste in mešane konstrukcije, ki so potrebne za praktično uporabo predlagane metodologije. Rezultati za okvirne konstrukcije so že objavljeni v EESD, v pripravi so dodatni članki za mednarodne revije. Na področju kapacitete AB elementov smo v sodelovanju s kolegi iz inozemstva pripravili javno dostopno bazo podatkov. Raziskave o zvezi med NC mejnim stanjem elementov in konstrukcij so dale podatke, ki pomagajo določiti mejno stanje blizu porušitve na nivoju konstrukcije. Pomembni rezultati so bili doseženi tudi na področju kapacitete zidanih konstrukcij. Izvedli smo ločeni ankete med strokovnjaki in nestrokovnjaki in dobili precej podatkov o zaznavanju potresne ogroženosti, vključno s podatki o sprejemljivi verjetnosti porušitve. V Gradbenem vestniku sta bila objavljena dva članka z opisi rezultatov ankete in njihovo analizo. Zasnovovali smo praktično metodo za določanje etažnih spektrov konstrukcije, ki omogoča direkten račun spektrov pospeškov iz

spektra pospeškov gibanja tal. Etažni spektri so potrebni za projektiranje in preverjanje opreme. Za konstrukcije, modelirane kot sistem z eno prostostno stopnjo, je metoda že objavljena v reviji Bulletin of Earthquake Engineering, v pripravi je članek, ki opisuje razširitev metode na sisteme z več prostostnimi stopnjami.

5.Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁴

Sprememb programa ni bilo. Iz raziskovalne skupine je izpadla dr.Maja Kreslin, ki je bila mlada raziskovalka v raziskovalni skupini, po končanem usposabljanju in nekajmesečni zaposlitvi na FGG pa se je potem zaposlila na ZAG.

6.Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	5478241	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Praktično ocenjevanje verjetnosti porušitve konstrukcij stavb
		<i>ANG</i>	A practice-oriented estimation of the failure probability of building structures
	Opis	<i>SLO</i>	V predlaganem postopku za verjetnostno ocenjevanje potresnega obnašanja stavb, ki je zaradi svoje enostavnosti namenjen za uporabo v praksi, sta kombinirana SAC-FEMA metoda, ki je del širše verjetnostne metodologije, razvite v PEER centru v Kaliforniji in ki omogoča ocene verjetnosti s pomočjo enačb v zaključeni obliki, in N2 metoda, ki temelji na nelinearni statični (potisni) analizi. Najzahtevnejši del PEERove verjetnostne metodologije, to je Inkrementalna Dinamična Analiza (IDA), je nadomeščena z veliko enostavnejšo N2 metodo, ki zahteva precej manj vhodnih podatkov in veliko manj računskega časa, vendar lahko kljub temu pogosto zagotavlja sprejemljive ocene za srednje vrednosti odziva konstrukcij. S pomočjo nekaj dodatnih poenostavitev in predpostavk, ki so skladne s postopki v potresnih predpisih, je mogoče izpeljati enačbo za hitro oceno letne verjetnosti "odpovedi" (to je verjetnost preseganja mejnega stanja »blizu porušitve«) v zaključeni obliki. Enačba je primerna za uporabo v praksi, pod pogojem, da so vnaprej določene standardne vrednosti za raztros. V prispevku je podan povzetek predlaganega postopka. Postopek je uporabljen za verjetnostno oceno "odpovedi" armiranobetonskih okvirnih konstrukcij, ki predstavljajo tako obstoječe stavbe, ki niso bile projektirane za prevzem potresnih obremenitev, kot tudi nove konstrukcije, projektirane po Evrokodu 8. Rezultati analiz kažejo na veliko verjetnost "odpovedi" stavb, ki niso bile projektirane za prevzem potresnih obremenitev. Za stavbe, projektirane v skladu s sodobnimi predpisi, je konzervativno določena verjetnost "odpovedi" približno 30-krat manjša kot pri starih stavbah, a še vedno precejšnja (približno 1% v življenjski dobi objekta).
		<i>ANG</i>	In the presented practice-oriented probabilistic approach for the seismic performance assessment of building structures, the SAC-FEMA method, which is a part of the broader PEER probabilistic framework and permits probability assessment in closed form, is combined with the pushover-based N2 method. The most demanding part of the PEER probabilistic framework, i.e. Incremental Dynamic Analysis (IDA), is replaced by the much simpler N2 method which requires considerably less input data and much less computational time, but which can, nevertheless, often provide acceptable estimates for the mean values of the structural response. Using some additional simplifying assumptions that are consistent with seismic code procedures, an explicit equation for a quick estimation of the annual probability of "failure" (i.e. the probability of exceeding the near collapse

		limit state) of a structure can be derived, which is appropriate for practical applications, provided that predetermined default values for the dispersion measures are available. In the paper, this simplified approach is summarized and applied to the estimation of the "failure" probability of reinforced concrete frame buildings representing both old structures, not designed for earthquake resistance, and new structures designed according to Eurocode 8. The results of the analyses indicate a high probability of the "failure" of buildings which have not been designed for seismic loads. For a building designed according to a modern code, the conservatively determined probability of "failure" is about 30 times less but still significant (about 1% over the lifetime of the structure).
	Objavljeno v	J. Wiley.; Earthquake engineering & structural dynamics; 2012; Letn. 41, št.; str. 531-547; Impact Factor: 1.898; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.951; A': 1; WoS: IM, IX; Avtorji / Authors: Fajfar Peter, Dolšek Matjaž
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	6496353 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Približna ocena potresnega tveganja gradbenih konstrukcij z neposrednim upoštevanjem negotovosti.
		<i>ANG</i> Approximate seismic risk assessment of building structures with explicit consideration of uncertainties
	Opis	<i>SLO</i> Predlagali smo približno metodo za oceno potresnega tveganja z upoštevanjem negotovosti. Metoda temelji na potisni analizi determinističnega modela konstrukcije in simulacijah vpliva modelnih in fizikalnih negotovosti na nivoju ekvivalentnega sistema z eno prostostno stopnjo. Prednost postopka je, da potresni odziv in simulacije modelnih ter fizikalnih negotovosti ne izvajamo na nivoju konstrukcijskega modela ampak na nivoju t.i. probabilističnega modela z eno prostostno stopnjo. Tak pristop omogoča bistveno zmanjšanje računskega časa v primerjavi z nekaterimi obstoječimi metodami. Predlagana metoda je splošno uporabna, vendar zahteva, da za obravnavane konstrukcijske sisteme najprej razvijemo probabilistične modele z eno prostostno stopnjo. V članku smo na podlagi obsežne parametrične študije predlagali probabilistični model z eno prostostno stopnjo okvirnih konstrukcij, ki omogoča poenostavljeno oceno potresnega tveganja sodobnih in obstoječih okvirov. Natančnost predlagane metode smo preverili na štirih izbranih primerih. Ugotovili smo, da predlagana metoda kljub vpeljanim poenostavitvam in uporabi manjšega števila simulacij zagotavlja zadovoljivo natančnost ocen potresnega tveganja. Na podlagi izdelane študije smo podali tudi preliminarno oceno pričakovanega obsega raztrosov odziva sodobnih in obstoječih armiranobetonskih okvirov.
		<i>ANG</i> An approximate seismic risk assessment procedure for building structures, which involves pushover analysis that is performed utilizing a deterministic structural model and uncertainty analysis at the level of the equivalent SDOF model, is introduced. Such an approach is computationally significantly less demanding in comparison with procedures based on uncertainty analysis at the level of the entire structure, but still allows for explicit consideration of the effect of record-to-record variability and modelling uncertainties. A new feature of the proposed pushover-based method is the so-called probabilistic SDOF model. Herein, the proposed methodology is illustrated only for RC frames, although it could be implemented in the case of any building structure, provided that an appropriate probabilistic SDOF model is available. An extensive parametric analysis has been performed within the scope of this study in order to develop a probabilistic SDOF model which could be used for the seismic risk assessment of both code-conforming and old, i.e. non code-conforming

		reinforced concrete frames. Based on the results of risk analysis for the four selected examples, it is shown that the proposed procedure can provide conservative estimates of seismic risk with reasonable accuracy, in spite of the employed simplifications and the relatively small number of Monte Carlo simulations with LHS, which are performed at the level of the SDOF model. An indication of the possible default values of dispersion measures for limit-state intensities in the case of low to medium-height RC frames is also presented.
	Objavljeno v	J. Wiley.; Earthquake engineering & structural dynamics; 2014; Letn. 43, št. 10; str. 1483-1502; Impact Factor: 1.951; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.11; A': 1; WoS: IM, IX; Avtorji / Authors: Kosič Mirko, Fajfar Peter, Dolšek Matjaž
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	6747489 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Metoda za direktno določanje približnih etažnih spektrov odziva za neelastične konstrukcije z eno prostostno stopnjo
		<i>ANG</i> A method for the direct determination of approximate floor response spectra for SDOF inelastic structures
	Opis	<i>SLO</i> Etažni spektri, ki se uporabljajo za potresne analize opreme, običajno temeljijo na predpostavki, da je obnašanje konstrukcije in opreme elastično. Če se upošteva neelastično obnašanje konstrukcije, se lahko maksimalne vrednosti pospeškov etaž bistveno zmanjšajo. V članku so prikazani najpomembnejši rezultati obsežne parametrične študije etažnih spektrov pospeškov, pri čemer je bilo upoštevano neelastično obnašanje konstrukcije in elastično obnašanje opreme. Konstrukcija in oprema sta bili modelirani kot sistema z eno prostostno stopnjo. Raziskovali smo vplive gibanja tal, duktilnosti, histereznega obnašanja in nihajnega časa konstrukcije, kot tudi dušenja opreme. Predlagali in preverili smo praktično uporabno metodo za direktno določanje spektra pospeškov iz neelastičnega spektra za konstrukcijo in elastičnega spektra za opremo. V tej metodi etažni spektri v območju resonance temeljijo na empiričnih vrednosti, dobljenih v parametrični študiji, medtem ko v pred- in po-resonančnem območju izhajajo iz načel dinamike konstrukcij. Postopek je namenjen za hitro oceno približnih etažnih spektrov pospeška.
		<i>ANG</i> Floor response spectra, which are used for the seismic design of equipment, are often based on the assumption that the behaviour of a structure and its equipment is linearly elastic. Significant reductions in the peak values of floor acceleration spectra can be achieved if inelastic behaviour of the structure is taken into account. This paper presents the most important results of an extensive parametric study of floor acceleration spectra, taking into account inelastic behaviour of the structure, and linear elastic behaviour of the equipment. The structure and the equipment were modelled as single-degree-of-freedom systems. The influences of the input ground motion, ductility, hysteretic behaviour and the natural period of the structure, as well as that of damping of the equipment, have been studied. A simple practice-oriented method for direct determination of floor acceleration spectra from an inelastic spectrum for the structure and an elastic spectrum for the equipment is proposed and validated. In this method, the floor response spectra in the resonance region, where the natural period of the equipment is close to the natural period of the structure, are based on the empirical values obtained in the parametric study, whereas the spectra in the pre- and post-resonance regions are based on the principles of dynamics of structures. The method is intended for a quick estimation of approximate floor acceleration spectra.
		Springer; Bulletin of earthquake engineering; 2014; Letn. XX, št. XX; str. 1-20; Impact Factor: 1.368; Srednja vrednost revije / Medium Category

	Objavljeno v	Impact Factor: 1.154; WoS: IX, LE; Avtorji / Authors: Vukobratović Vladimir, Fajfar Peter	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	6102113	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Praktičen postopek za verjetnostno oceno potresnega obnašanja okvirov s polnili ob upoštevanju strižne porušitve stebrov
		ANG	Practice-oriented probabilistic seismic performance assessment of infilled frames with consideration of shear failure of columns
	Opis	SLO	Razvili smo praktičen postopek iterativne potisne analize za približno simulacijo vpliva strižne porušitve stebrov na potresni odziv armiranobetonskih okvirov s polnili. Metodologija obsega potisno analizo, procesiranje rezultatov za kontrolo mejnih stanj in adaptacijo modela, če je zaznana strižna porušitev stebrov. Pokazali smo, da je nosilnost in deformacijska kapaciteta obravnavane štirietažne in sedemetažne stavbe občutno precenjena, če zanemarimo vpliv strižne porušitve stebrov zaradi vpliva zidanih polnil. Neupoštevanje vpliva strižne porušitve stebrov tako privede do precej podcenjene povratne dobo mejnega stanja blizu porušitve objekta.
		ANG	The objective of the study presented in this paper is to investigate the effects of masonry infills on the shear demand and failure of columns for the case when reinforced concrete frames with such infills are modeled by means of simplified nonlinear models that are not capable of the direct simulation of these effects. It is shown that an approximate simulation of the shear failure of columns can be achieved through an iterative procedure that involves pushover analysis, post-processing of the analysis results using limit state checks of the components, and model adaptation if shear failure of columns is detected. The fragility parameters and the mean annual frequency of limit state exceedance are computed on the basis of nonlinear dynamic analysis by using an equivalent SDOF model. The proposed methodology is demonstrated by means of two examples. It was shown that the strength of the four-story and seven-story buildings and their deformation capacity are significantly overestimated if column shear failure due to the effects of masonry infills is neglected, whereas the mean annual frequency of limit state exceedance for the analyzed limit states is significantly larger than that estimated for the case if the shear failure of columns is neglected.
	Objavljeno v	J. Wiley.; Earthquake engineering & structural dynamics; 2013; Letn. 42, št. 9; str. 1339-1360; Impact Factor: 1.951; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.11; A ¹ : 1; WoS: IM, IX; Avtorji / Authors: Celarec Daniel, Dolšek Matjaž	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
5.	COBISS ID	6420577	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Pomen meritev ambientnih in vsiljenih vibracij na rezultate ocene potresne odpornosti stavb na osnovi poenostavljenega nelinearnega postopka: primer stare zidane stavbe
		ANG	The importance of ambient and forced vibration measurements for the result of seismic performance assessment of buildings obtained by using a simplified non-linear procedure
			Ocena potresne odpornosti obstoječih zidanih stavb vključuje številne negotovosti, katerih učinek se do neke mere zmanjša z uporabo neporušnih preiskav, ki predstavljajo alternativo porušnim preiskavam, če teh ni mogoče izvesti. V prispevku smo predstavili potencialne koristne učinke za kalibracijo konstrukcijskega modela na osnovi meritev vibracij, s katerimi lahko določimo nihajni čas konstrukcije. Meritve vibracij smo izvedli na stari

Opis	SLO	dvoetažni zidani stavbi in ocenili njeno potresno odpornost brez upoštevanja rezultatov meritev in z njim. Rezultati numeričnih raziskav so pokazali, da je s poenostavljenimi nelinearnimi modeli mogoče dovolj natančno določiti nihajni čas konstrukcije, čeprav je možno, da se izračunan nihajni čas in eksperimentalno določen nihajni čas razlikujeta do 40%, če so vhodni podatki določeni na osnovi inženirske presoje. Pokazali smo, da je s kalibracijo modela konstrukcije na osnovi rezultatov meritev mogoče znatno povečati točnost vmesnih rezultatov ocene potresne odpornosti. Poleg tega so bili koristni učinki takšne kalibracije opazni tudi v primeru končnega rezultata nelinearne analize, s katero določimo pospešek, ki povzroči mejno stanje blizu porušitve objekta.
	ANG	The seismic performance assessment of existing masonry buildings involves many uncertainties, whose impact can be reduced to some extent by using nondestructive in-situ tests of such buildings, at least when destructive in-situ tests, which can provide more reliable results, cannot be performed. In this paper the extent of the potential beneficial effects achievable by calibration of a structural model of a building to its experimentally estimated vibration periods has been investigated. This was done by performing measurements of ambient and forced vibrations on an old two-storey masonry building, and by then assessing its seismic performance using a simplified nonlinear method. The results of numerical investigations revealed that the natural vibration periods of such buildings can be reproduced with sufficient accuracy, although it is possible that they will be overestimated or underestimated by analysts by up to around 40 %. This means that the accuracy of the prediction of the intermediate results of the seismic performance assessment of any particular building can be significantly increased by calibration of the structural model. Additionally, the beneficial effects of such calibration were observed even in the case of the final outcome of the nonlinear analysis, which is expressed through the near collapse limit state capacity in terms of the peak ground acceleration.
Objavljeno v	Springer; Bulletin of earthquake engineering; 2013; Letn. 11, št. 6; str. 2015-2132; Impact Factor: 1.368; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.154; WoS: IX, LE; Avtorji / Authors: Snoj Jure, Österreicher M., Dolšek Matjaž	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID	6615905	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Zaznavanje potresne ogroženosti pri strokovnjakih in nestrokovnjakih	
	ANG	Perception of seismic risk by experts and lay people	
Opis	SLO	Članek prikazuje rezultate ankete o zaznavi potresne ogroženosti nasploh in ogroženosti posameznih tipov stavb posebej, opravljene med 240 gradbenimi strokovnjaki in 502 nestrokovnjakoma. V uvodu najprej predstavljamo nekaj splošnih ugotovitev o spoprijemanju ljudi s potresi in njihovimi posledicami. Nato podajamo rezultate ankete, ki kažejo, da so nestrokovnjaki manj zaskrbljeni od strokovnjakov zaradi potresne ogroženosti Slovenije. Glede zaznave potresne ogroženosti različnih vrst stavb se pri strokovnjakih pričakovano kažejo kot pomembna tako obdobje gradnje kot vrsta konstrukcije.	
		The results of a survey on perception of earthquake risk in general and risk to different types of constructions in particular, which was carried out on a	

		sample of 240 engineers and 502 lay persons, are presented. In the introduction, some general findings about people's coping with earthquakes and their consequences are given. The results of the survey show that lay people feel less worried because of earthquake threat to Slovenia than experts. Regarding the perception of seismic risk to different types of buildings, for experts both the time period and the type of construction are important, as expected.
Šifra	F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin
Objavljeno v	Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije; Gradbeni vestnik; 2014; Letn. 63; str. 111-118; Avtorji / Authors: Fajfar Peter, Polič Marko, Klinc Robert	
Tipologija	1.01	Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	5620577
		Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	STORE - "Ovrednotenje stopnje varnosti NE Krško proti potresom in poplavam"
	ANG	STORE - "Evaluation of seismic and flooding margins" for NPP Krško
Opis	SLO	Po nesreči v jedrski elektrarni Fukushima na Japonskem je bila v Evropi sprejeta odločitev, da je treba preveriti varnost vseh jedrskih elektrarn v EU z uporabo celovite in pregledne ocene tveganja ("stresni testi"). Stresni test predstavlja ponovno presojo varnostnih rezerv jedrskih elektrarn v luči ekstremnih naravnih dogodkov, ki so se zgodili v Fukushimi in povzročili hudo nesrečo. V okviru te akcije je JE Krško (NEK) avgusta 2011 pripravila posebno začasno varnostno poročilo. Univerza v Ljubljani (Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo je bil izvajalec in Fakulteta za elektrotehniko je bil podizvajalec) je opravila neodvisno oceno dokumenta Ovrednotenje varnostnih rezerv pri potresnih in poplavah, ki predstavlja osnovo za del NEK-ovega varnostnega poročila. Skupina, ki jo je vodil P.Fajfar, je kritično pregledala poročilo NEKa in zahtevala znatne spremembe prvotnega poročila, zlasti v zvezi z obravnavo potresnega tveganja. Po obsežnih razpravah med ocenjevalci in avtorji prvotnega poročila je NEK, po nekaj iteracijah, pripravil končno poročilo, ki je bilo odobren s strani ocenjevalcev. Delo prispeva k potresni varnosti NEK.
	ANG	Considering the accident at the Fukushima nuclear power plant in Japan, the European Council declared that the safety of all EU nuclear plants should be reviewed, on the basis of a comprehensive and transparent risk assessment ("stress tests"). A stress test is defined as a targeted reassessment of the safety margins of nuclear power plants in the light of the events which occurred at Fukushima: extreme natural events challenging the plant safety functions and leading to a severe accident. As a part of this action, NEK prepared in August 2011 the Special Safety Review Interim Report. The University of Ljubljana (Faculty of Civil and Geodetic Engineering was the contractor and Faculty of Electrical Engineering was the subcontractor) was engaged for the independent evaluation of the document Evaluation of Seismic and Flooding Margins, which represents the background of a part of the Special Safety Review Interim Report. The team was led by P.Fajfar. The team has critically reviewed the NEK report and requested substantial modifications of the original report, especially related to the treatment of seismic risk. After extensive discussions between the evaluators and authors of the original report and after an iteration procedure, the final report was prepared by NEK, which was approved by the evaluators. The work contributes to the seismic safety of the NPP Krško.
Šifra	F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso
		University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering; University

	Objavljeno v	of Ljubljana, Faculty of electrical engineering; 2011; 1 zv. (loč. pag.); Avtorji / Authors: Fajfar Peter, Čepin Marko, Globevnik Lidija	
	Tipologija	2.13 Elaborat, predstudija, študija	
3.	COBISS ID	6467169	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Priprava baze podatkov o armiranobetonskih elementih
		<i>ANG</i>	Enrichment of the distributed database with existing data, Background report accompanying Deliverable D2.7, SERIES, Seismic Engineering Research Infrastructures for European Synergies, Seventh Framework Programme, July 2013
	Opis	<i>SLO</i>	V sedmem okvirnem programu (FP7) se je v obdobju 2009-2013 izvajal raziskovalni projekt SERIES (http://www.series.upatras.gr). Vključeval je 23 partnerjev, vključno z vso pomembno raziskovalno infrastrukturo na področju potresnega inženirstva v Evropi in tremi partnerji iz industriji. Projekt je raziskovalcem v akademski sferi in v industriji omogočil možnost dostopa do velike raziskovalne infrastrukture (potresne mize, laboratoriji za pseudodinamične raziskave, centrifuge). Del projekta je bil namenjen razvoju podatkovne baze, ki vsebuje rezultate eksperimentalnih testov armiranobetonskih (AB) elementov. Baza podatkov, ki vsebuje obstoječe eksperimentalne podatke iz literature, je namenjena raziskovalcem kot orodje za razvoj in vrednotenje modelov potresnega obnašanja različnih AB nosilnih nosilnih elementov. Baza podatkov vsebuje podatke o AB stenah, stebrih in nosilcih.
		<i>ANG</i>	In the EU Seventh Framework Programme (FP7) the research project Seismic engineering research infrastructures for European synergies (SERIES) was carried out in the period 2009-2013 (SERIES, http://www.series.upatras.gr). 23 partners, including all major infrastructures in Europe and three industrial beneficiaries, were involved. The project offered to the European earthquake engineering research community and industry an opportunity to access large-scale research infrastructures. Within the project, a task was devoted to the development of a database of existing tests on reinforced concrete (RC) structural elements. The database has been assembled from existing experimental data from literature, to provide researchers with the data needed to evaluate and develop seismic performance models for different RC load bearing elements. The database includes data on RC walls, columns and beams.
	Šifra	F.15 Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Objavljeno v	University of Ljubljana, Faculty for Civil and Geodetic Engineering;UPAT;Stanford University; 2013; VIII, 44 str.; Avtorji / Authors: Peruš Iztok, Biskinis Dionysis, Fajfar Peter, Fardis Michael N., Grammatikou Sonia, Krawinkler Helmut, Lignos Dimitrios	
	Tipologija	2.12 Končno poročilo o rezultatih raziskav	
4.	COBISS ID	5859681	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Uvod v testni primer AB stavbe. Modeliranje in analiza testne stavbe
		<i>ANG</i>	Introduction to the RC building example. Modelling and analysis of the building example
	Opis	<i>SLO</i>	Pripravljena je bila monografije z naslovom "Eurocode 8:Seismic Design of Buildings", ki vsebuje opis teoretičnih osnov posameznih delov standarda Evrokod 8 in prikaz primerov uporabe standarda. Monografija je izšla kot poročilo JRC (Joint Research Center) Ispra in je dostopna na http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS_335/report/EC8_Seismic_Design_Worked_examples.pdf . A.Kreslin in P.Fajfar sta prispevala poglavje o analizi konstrukcij stavb. Monografija bo projektantom olajšala razumevanje

		standarda, ki je precej zahteven, in omogočila njegovo korektno uporabo, kar bo v končni fazi prispevalo k večji potresni odpornosti stavb.
	ANG	The monograph entitled "Eurocode 8: Seismic Design of Buildings" was prepared, which contains a description of the theoretical basis of individual parts of the standard and shows examples of the application of the standard. The monograph was published as a JRC (Joint Research Centre) Ispra report and is available at http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS_335/report/EC8_Seismic_Design_Worked_examples.pdf . A.Kreslin and P.Fajfar contributed a chapter on the analysis of building structures. The monograph will facilitate to the designers the understanding of the standard, which is quite demanding, and allow its proper application, which will ultimately contribute to greater seismic resistance of buildings.
	Šifra	F.04 Dvig tehnološke ravni
	Objavljeno v	Publications Office of the European Union; Joint Research Centre European Commission; Eurocode 8; 2012; Str. 25-52; Avtorji / Authors: Fajfar Peter, Kreslin Maja
	Tipologija	1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji
5.	COBISS ID	6465377 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO NEK Etažni spektri za nuklearni otok za potres 0.6g
		ANG NEK - Main complex FRS for DEC (0.6g)
	Opis	SLO V jedrski elektrarni Krško (NEK) se stalno preverja potresna varnost ob upoštevanju najnovejših dostopnih podatkov in sodobnih metod analize. Raziskovalna skupina, ki se na FGG ukvarja s potresnim inženirstvom, že dolga leta uspešno sodeluje z NEK predvsem pri pregledovanju in ocenjevanju projektov, ki so povezani s potresno varnostjo objektov NEK in njihove opreme. Poročilo vsebuje rezultate pregleda projekta, ki ga je izvedla firma iz ZDA in ki vsebuje določitev etažnih spektrov za vse objekte nuklearnega otoka pri povišani potresni obremenitvi (maksimalni pospešek tal 0.6g). V okviru pregleda smo neodvisno od izvajalcev analize izdelali matematični model objektov nuklearnega otoka in opravili več neodvisnih kontrolnih analiz. Pri delu nam je pomagalo znanje pridobljeno pri raziskavah etažnih spektrov.
		ANG In the nuclear power plant Krško (NEK) the seismic resistance is continuously checked by taking into account the latest available data and modern methods of analysis. The research team at FGG, involved in earthquake engineering, has successfully collaborated with the NPP Krško for many years, especially in reviewing and assessing projects that are related to the seismic safety of NPP facilities and their equipment. The report contains the results of an independent evaluation of a project, conducted by a U.S. company, comprising the determination of floor spectra for all objects of the nuclear island at increased seismic loading (maximum ground acceleration of 0.6g). In the review, we developed, independently of the contractors, the mathematical model of the buildings of the nuclear island and conducted several independent control analyzes. Our work was facilitated by the knowledge gained in the research of floor spectra.
	Šifra	F.17 Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso
	Objavljeno v	University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Institute of Structural Engineering, Earthquake Engineering and Construction IT; 2013; 14 f., pril.; Avtorji / Authors: Fajfar Peter, Dolšek Matjaž, Peruš Iztok
	Tipologija	2.13 Elaborat, predštudija, študija

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine³

9.1. Pomen za razvoj znanosti³

SLO

V okviru raziskovalnega projekta je bilo doseženih več rezultatov, ki prispevajo v svetovno zakladnico znanja na področju potresnega inženirstva. Delni rezultati so bili že objavljeni v najuglednejših revijah s področja potresnega inženirstva.

Poenostavljena nelinearna N2 metoda za potresne analize konstrukcij je priznana v svetu in vključena v evropski standard EC8. Novi rezultati, ki smo jih dobili pri raziskavah razširitve uporabnosti te metode za verjetnostne analize, predstavljajo pomembne dosežke v mednarodnem merilu. S kombinacijo N2 metode in enačb za določitev verjetnosti prekoračitve izbranega stanja poškodovanosti konstrukcije v zaključeni obliki, izpeljanih v PEER centru v Kaliforniji, nam je uspelo formulirati metodo za kvantitativno oceno potresnega tveganja gradbenih konstrukcij in njihove opreme, izraženo z letno verjetnostjo porušitve (odpovedi delovanja pri opremi) ali prekoračitve izbranega mejna stanja. Metoda je dovolj enostavna, da je uporabna za prakso, obenem pa dovolj natančna (ob upoštevanju vseh negotovosti, povezanih s potresnim odzivom konstrukcij in njihove opreme), saj upošteva bistvene značilnosti dejanskih razmer. Za praktično uporabo metode so zahtevani kvantitativni podatke o aleatornih in epistemičnih negotovostih, to so podatki o vrednostih disperzij na nivoju konstrukcije. Z obsežnimi numeričnimi raziskavami smo določili te vrednosti za tipične armiranobetonske (okvirne, stenaste in mešane konstrukcije) in zidane konstrukcije stavb.

Potresni odpornosti opreme, ki predstavlja bistveno večji strošek od konstrukcije, je zaenkrat posvečeno premalo pozornosti. V okviru projekta smo razvili praktično uporabno direktno metodo za določanje etažnih spektrov, ki omogoča račun etažnih spektrov pospeškov neposredno iz projektne spektra za konstrukcijo in s tem bistveno zmanjša obseg računskega postopka. Upoštevano je neelastično obnašanje konstrukcije, kar lahko pomembno zmanjša maksimalne vrednosti pospeškov v spektrih odziva in s tem vpliva na racionalnost projektiranja. Ocenjujemo, da je predlagana metoda, ki predstavlja razširitev N2 metode, enostavnejša in natančnejša od obstoječih metod in primerna za vključitev v predpise.

Določanje deformacijske kapacitete armiranobetonskih elementov v veliki meri temelji na analizi empiričnih podatkov. Na tem področju je najpomembnejši dosežek priprava javno dostopne baze eksperimentalno dobljenih podatkov za stebre, nosilce in stene. Baza omogoča nadaljnje raziskovalno delo vsem raziskovalcem, ki se ukvarjajo s kapaciteto armiranobetonskih elementov.

Ni nam znano, da bi bili v svetu na razpolago podatki o sprejemljivem potresnem tveganju gradbenih objektov, ki bi bilo pridobljeni z anketiranjem strokovnjakov in nestrokovnjakov. Rezultati, dobljeni v okviru projekta predstavljajo zato dragocene podatke, ki bodo prispevali k izbiranju ciljnih vrednosti tveganja.

ANG

Within the research project several results were obtained which contribute to the knowledge in the field of earthquake engineering. Partial results have already been published in the leading journals in the field of earthquake engineering.

The practice-oriented nonlinear N2 method for seismic analysis of structures has been widely recognized and applied worldwide. It has been implemented in the European standard Eurocode 8. New results obtained on the extensions of the applicability of the method for probabilistic analyses represent important achievements. By combining the N2 method and the close-form equations for the assessment of the probability of exceedance of selected performance state of

structures it was possible to formulate a method for quantitative assessment of the seismic risk of building structures and their equipment, expressed in terms of the annual probability of collapse (or of the failure of equipment), or of the exceedance of a selected limit state. The method is relatively simple in order to be useful for practice, but is reasonably accurate (considering all uncertainties related to seismic response of structures and their equipment) since it is capable to take into account the most essential features of structural response. For the practical application of the method quantitative data on aleatory and epistemic uncertainties are needed, i.e. data on dispersions on the structural level. These data were determined for typical reinforced concrete (frames, walls and dual structures) and masonry buildings by extensive parametric studies.

The cost of equipment is typically significantly greater than the cost of construction. Nevertheless, not enough attention is paid to its seismic resistance. As a further extension of the N2 method, a practice-oriented direct method for determining the floor spectra was developed, which allows the determination of floor acceleration spectra directly from the design spectrum for the construction and thereby significantly reduces the amount of the computational work. The inelastic behavior of the structure is taken into account, which could significantly reduce the maximum acceleration values in the floor spectra and thereby affect the rationality of the design. The proposed method is believed to be simpler and more accurate than existing methods and suitable for inclusion in the regulations.

Determining the deformation capacity of reinforced concrete elements is largely based on the analysis of empirical data. In this field, the most important achievement is the preparation a publicly accessible database of experimentally obtained data for columns, beams and walls. The database is an extremely useful tool for further research on the capacity of reinforced concrete elements.

We are not aware of any information on tolerable seismic risk for buildings, which would be obtained by interviewing professionals and laymen. The results obtained within the project therefore represent valuable information which will contribute to the selection of target values of risk .

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Potresna odpornost gradbenih objektov in njihove opreme je izjemnega pomena za varnost prebivalcev Slovenije kot tudi za materialne dobrine in za ohranitev kulturne dediščine. Rezultati raziskav v končni fazi prispevajo k zmanjševanju človeških žrtev in materialne škode ter ohranjanju kulturne dediščine v primeru močnih potresov. Pri delu v okviru projekta so se mladi raziskovalci usposabljali za reševanje najtežjih strokovnih problemov, kar bo prispevalo k njihovemu uspešnemu samostojnemu delu po končanem doktoratu. Doseženi so bili pomembni sinergetski učinki sodelovanja raziskovalcev na univerzi in v raziskovalnem inštitutu ter med raziskovalci na področju tehnike in področju družboslovja.

Čeprav so bile raziskave v okviru predlaganega projekta temeljne, je končni rezultat raziskav pregledna praktična metoda za verjetnostno oceno potresnega tveganja konstrukcij. Razvita metoda omogoča pridobitev kvantitativnih informacij o potresnem tveganju in tako olajša odločitve povezane s potresnoodpornim projektiranjem novih in s potencialnimi potresnimi utrditvami obstoječih konstrukcij. Pomemben rezultat je tudi prispevek k predpisom. Ker je obstoječa N2 metoda sestavni del Evrokoda 8 (EC8), ki se uporablja kot slovenski predpis za projektiranje na potresnih območjih, predvidevamo, da bo tudi dopolnjena N2 metoda, izdelana v okviru predlaganega projekta, v prihodnosti vsaj deloma vključena najprej v nacionalni dokument za uporabo Evrokoda 8 v Sloveniji, kasneje pa tudi v novo verzijo standarda Evrokod 8. Vpliv na Evrokod 8 bodo imeli tudi rezultati, dobljeni pri raziskavah potresne kapacitete armiranobetonskih in zidanih konstrukcij.

Rezultati raziskav bodo vplivali na delo raziskovalcev, projektantov, strokovnih organizacij in komisij za pripravo predpisov. Raziskovalna skupina je stalno prisotna pri organizaciji in izvedbi seminarjev za projektante. Pridobljeno znanje je in bo vključeno tudi v predavanja pri

predmetih potresnega inženirstva na FGG Univerze v Ljubljani in na FG Univerze v Mariboru.

Rezultati raziskav v končni fazi prispevajo k povečanju varnosti obstoječih in novih konstrukcij pri potresni obtežbi, izboljšavi razmerja stroškov in učinkov, produktivnosti in kvalitete pri načrtovanju in projektiranju objektov na potresnih območjih. Pridobljeni podatki o obstoječem in o sprejemljivem potresnem tveganju, relevantni za Slovenijo, bodo lahko prispevali k optimizaciji vlaganj v potresno odpornost gradbenih objektov.

ANG

Seismic resistance of structures and their equipment is extremely important for the safety of the population in Slovenia, as well as for the protection of the material goods and of the cultural heritage. The results of research will, at the end, contribute to diminishing the number of casualties and material damage as well as to the protection of cultural heritage in the case of strong earthquakes. Young researchers have been trained to solve the most difficult technical problems, which will contribute to their successful independent work after the doctorate. The collaboration of researchers at the university and at a research institute, as well as between researchers in engineering and social sciences has produced important synergetic effects.

Although the research was fundamental, the final result is a transparent design methodology that will be of practical significance. The developed method will enable obtaining quantitative information about seismic risk and will facilitate decisions related to earthquake resistant design of new buildings and strengthening of existing structures. An important result is also the contribution to code provisions. The existing N2 method is a constitutive part of the Eurocode 8 which is used as the Slovenian code for design of earthquake resistant structures. It is reasonably to assume that the extended N2 method, which has been developed within the research project, will be also, at least partly, implemented in Eurocode 8, first in the national document for the application in Slovenia, and then in the new version of Eurocode 8 standard. Eurocode 8 will be influenced also by the results obtained in research on the seismic capacity of reinforced concrete and masonry structures.

The research results will have an impact on the research community, practicing engineers, professional organizations and committees, and code writing bodies. The research group is constantly involved in the organization of seminars for practicing engineers. The knowledge created is and will be incorporated in earthquake engineering courses at the University of Ljubljana and University of Maribor.

The results of investigations, in their final consequence, contribute to an increase of the seismic safety of new and existing structures, to more economical construction and to a better productivity and quality of seismic design. Collected information about existing and tolerable seismic risk, relevant for Slovenia, may, inter alia, contribute to the optimization of investments in earthquake resistant construction.

10. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj	
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin
	Zastavljen cilj <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
	Zastavljen cilj <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text"/>

F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanju naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

--

11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva					
G.09.	Drugo:					

Komentar

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

	Sofinancer	
1.	Naziv	
	Naslov	

Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR
Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%
Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.	
	2.	
	3.	
	4.	
	5.	
Komentar		
Ocena		

13. Izjemni dosežek v letu 2014¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

Razvoj poenostavljenega postopka za oceno potresnega tveganja z upoštevanjem negotovosti

Določanje potresnega tveganja z upoštevanjem modelnih in fizikalnih negotovosti zahteva izvajanje velikega števila časovno zamudnih nelinearnih dinamičnih analiz. Razvili smo postopek, s katerim lahko računski čas analiz zmanjšamo za več velikostnih redov. Prednost postopka je, da potresni odziv in simulacije modelnih ter fizikalnih negotovosti ne izvajamo na nivoju modela celotne konstrukcije, pač na nivoju t.i. probabilističnega modela z eno prostostno stopnjo. Rezultati predlaganega postopka so bili verificirani z uporabo natančnejših metod. Ugotovljeno je bilo, da predlagani postopek kljub vpeljanim poenostavitvam zagotavlja ustrezno natančnost rezultatov. Izdelane študije so omogočile tudi preliminarno oceno tipičnih raztrosov odziva armiranobetonskih okvirov, ki predstavljajo pomemben prispevek k razvoju praktično uporabnih postopkov za oceno potresnega tveganja.

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

--

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
gradbeništvo in geodezijo

Peter Fajfar

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	12.3.2015
-----------	-----------

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/43

- ¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)
- ² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)
- ⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)
- ⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.
- Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.
- Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)
- ⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)
- ⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)
- ⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- ¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- ¹¹ Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)
- ¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2015 v1.00a
50-D0-33-7C-C5-DE-E6-10-2D-F7-AE-59-4E-37-A7-59-E7-B2-17-17

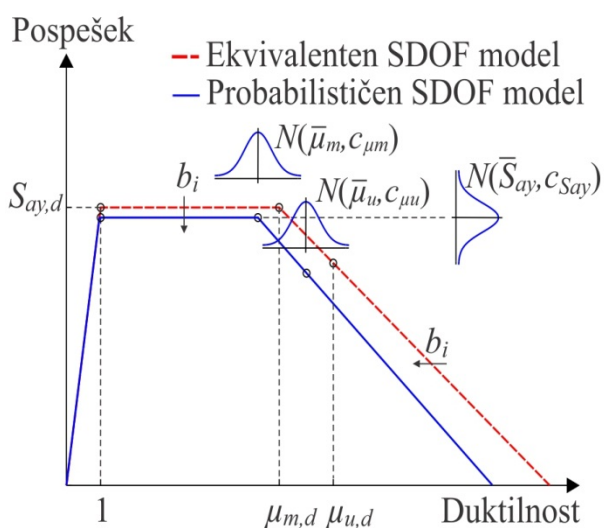
Priloga 1

TEHNIKA

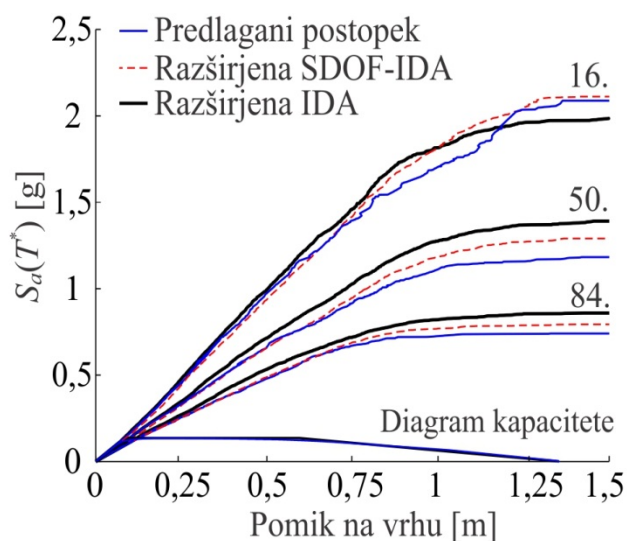
Področje: 2.01 Gradbeništvo

Dosežek: Razvoj poenostavljenega postopka za oceno potresnega tveganja z upoštevanjem negotovosti

Vir: KOSIČ, Mirko, FAJFAR, Peter, DOLŠEK, Matjaž. Approximate seismic risk assessment of building structures with explicit consideration of uncertainties. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 2014, vol. 43, no. 10, str. 1483-1502, doi: [10.1002/eqe.2407](https://doi.org/10.1002/eqe.2407), [COBISS.SI-ID [6496353](https://www.cobiss.si/id/6496353)]



(a) Probabilističen SDOF model



(b) Rezultati potresnega odziva

Razvit je bil nov poenostavljen postopek za določanje potresnega tveganja z upoštevanjem negotovosti. Prednost postopka je, da potresni odziv in simulacije modelnih ter fizikalnih negotovosti ne izvajamo na nivoju modela celotne konstrukcije, pač pa na nivoju t.i. probabilističnega modela z eno prostostno stopnjo (SDOF), kar omogoča bistveno zmanjšanje računskega časa v primerjavi z nekaterimi obstoječimi metodami. Rezultati predlaganega postopka so bili verificirani z uporabo natančnejših metod. Ugotovljeno je bilo, da predlagani postopek kljub vpeljanim poenostavitvam zagotavlja ustrezno natančnost rezultatov. Izdelane študije so omogočile tudi preliminarno oceno tipičnih raztrosov odziva armiranobetonskih okvirov, ki predstavljajo pomemben prispevek k razvoju praktično uporabnih postopkov za oceno potresnega tveganja.

Določanje potresnega tveganja z upoštevanjem modelnih in fizikalnih negotovosti zahteva izvajanje velikega števila časovno zamudnih nelinearnih dinamičnih analiz. S predlaganim postopkom, ki temelji na določanju potresnega odziva na nivoju probabilističnega modela z eno prostostno stopnjo, lahko računski čas analiz zmanjšamo za več velikostnih redov.