



UDRUGA HRVATSKIH GRAĐEVINSKIH FAKULTETA



SVEUČILIŠTE U SPLITU / FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

PRVI SKUP MLADIH ISTRAŽIVAČA IZ PODRUČJA
GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE, GEODEZIJE I ELEKTROTEHNIKE

ZAJEDNIČKI TEMELJI

ZBORNİK SAŽETAKA

Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Matice hrvatske 15, Split

26. i 27. rujna 2013.

www.gradst.hr
zajednicki.temelji@gradst.hr

**PRVI SKUP MLADIH ISTRAŽIVAČA IZ
PODRUČJA GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE, GEODEZIJE I
ELEKTROTEHNIKE
„ZAJEDNIČKI TEMELJI“**

ZBORNİK SAŽETAKA

Split, 26.-27. rujna, 2013.

Izdavač: Sveučilište u Splitu
Fakultet građevinarstva,
arhitekture i geodezije
Matice hrvatske 15

Urednici: Vladimir Divić
Boris Trogrlić
Hrvoje Gotovac

**Grafička
obrada:** Dujmo Žižić

Naklada: 80 primjeraka
ISBN 978-953-6116-55-3

*CIP - Katalogizacija u publikaciji
SVEUČILIŠNA KNJIŽNICA
U SPLITU*

*UDK 624(082)
72(082)*

*SKUP mladih istraživača iz područja
građevinarstva, arhitekture, geodezije i
elektrotehnike "Zajednički temelji" (1 ;
2013 ; Split)*

*Zbornik sažetaka / Prvi skup mladih
istraživača iz područja građevinarstva,
arhitekture, geodezije i elektrotehnike
"Zajednički temelji", Split, 26.-27.
rujna, 2013. ; [urednici Vladimir Divić,
Boris Trogrlić, Hrvoje Gotovac]. - Split :
Fakultet građevinarstva, arhitekture i
geodezije, 2013.*

Bibliografija uz svaki rad. - Kazalo.

ISBN 978-953-6116-55-3

*1. Divić, Vladimir 2. Trogrlić, Boris 3.
Gotovac, Hrvoje*

150327077

SADRŽAJ

SEKCIJA 1 - GRAĐEVINARSTVO	7
101 - HIDROLOŠKI MODEL MODROG JEZERA U IMOTSKOM	9
102 - UTJECAJ KONTAKTNIH NAPREZANJA NA NOSIVOST TRADICIJSKIH KAMENIH STUPOVA	11
103 - OCJENA OŠTEĆENJA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA PRIMJENOM DINAMIČKIH PARAMETARA	13
104 - KONCEPT ODRŽIVOSTI RADA URBANOG VODOOPSKRBNOG SUSTAVA KORIŠTENJEM SOLARNE FOTONAPONSKE ENERGIJE	15
105 - IMPLEMENTACIJA DINAMIČKE ANALIZE KOD GEOMETRIJSKI TOČNIH PROSTORNIH GREDNIH ELEMENATA TEMELJENIH NA FIXED-POLE PRISTUPU	17
106 - HOLISTIČKI PRISTUP PLANIRANJU PROIZVODNJE, TRANSPORTA I UGRADNJE ASFALTA POMOĆU PROŠIRENOG TRANSPORTNOG PROBLEMA	19
107 - PONAŠANJE NESEIZMIČKI PROJEKTIRANIH ARMIRANO BETONSKIH OKVIRA SA ZIDANIM ISPUNOM PRI HORIZONTALNOM CIKLIČKOM OPTEREĆENJU	21
108 - PROBLEM KONVERGENCIJE NEKIH NUMERIČKIH METODA PRI ODREĐIVANJU OBLIKA PREDNAPETIH MREŽA KABELA	23
109 - PLATFORMA ZA DINAMIČKA ISPITIVANJA	25
110 - 'PERFORMANCE CONCEPT' – RAZVOJ I IMPLEMENTACIJA U GRADITELJSTVU	27
111 - OGRANIČENJE OŠTEĆENJA ZIDANIH ISPUNA U AB OKVIRNIM KONSTRUKCIJAMA	29
112 - UPOTREBA NEIZRAZITE LOGIKE U PROBLEMATICI KVANTIFIKACIJE ODRŽIVOSTI URBANIH VODNIH SUSTAVA	31
113 - ANALIZA ČELIČNE OKVIRNE KONSTRUKCIJE NA POTRESNA DJELOVANJA	33
114 - ANALIZA POUZDANOSTI METEOROLOŠKOG X-BAND RADARA U MJERENJU OBORINA NA PODRUČJU KVARNERA	35
115 - DELAMINACIJA RAVNINSKIH KONSTRUKCIJA PRIMJENOM KONTAKTNIH ELEMENATA	37
116 - STRATEŠKO ODLUČIVANJE - ODABIR INVESTICIJSKOG PROJEKTA IZ PORTFELJA JAVNE UPRAVE	39
117 - MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA TEHNOLOŠKOG POSTUPKA RECIKLIRANJA FLUORESCENTNIH SVJETILJKI	41
118 - PARAMETARSKE OSCILACIJE KABELA	43
119 - ODREĐIVANJE PODRUČJA I INTENZITETA PROCJEĐIVANJA U LIJEVOM ZAOTALJU BRANE HIDROELEKTRANE MOSTAR	45
120 - IZRADA GIS BAZE PODATAKA ZA SLIV RIJEKE DUBRAČINE RADI UTVRĐIVANJA STANJA SLIVA TE UMANJENJA I SPREČAVANJA POJAVE BUJICA, POPLAVA, EROZIJE I LOKALNIH KLIZIŠTA	47
121 - MODELIRANJE RASPUCAVANJA SLOJEVITIM GREDNIM KONAČNIM ELEMENTIMA	49

122 - GEOMETRIJSKI NELINEARNI MODEL VIŠESLOJNE GREDE	51
123 - SLOŽENO IZBOČENJE REŠETKASTIH KUPOLA	53
124 - OPERATIVNE BRZINE U HORIZONTALNIM KRIVINAMA	55
125 - FEM/DEM MODEL ZA NELINEARNU ANALIZU AB KONSTRUKCIJA	57
SEKCIJA 2 - ARHITEKTURA	59
201 - UMJETNIČKA INTERDISCIPLINARNOST U SUVREMENOJ HRVATSKOJ ARHITEKTURI	61
202 - GRADSKA ULICA – POUKE MEDITERANA U OBLIKOVANJU SUVREMENOG JAVNOG PROSTORA	63
203 - ARHITEKT FRANO GOTOVAC	65
SEKCIJA 3 - GEODEZIJA	67
301 - SEMANTIČKI WEB ZA GEOSTATIČKE PODATKE	69
302 - KARTA STJEPANA GLAVAČA IZ 1673. GODINE	71
303 - KARTE CRKvene DRŽAVE IZ 1755. I 1770. GODINE	73
SEKCIJA 4 - ELEKTROTEHNIKA	75
401 - ROBUSNA ESTIMACIJA STANJA U ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU	77
402 - ARHITEKTURE OBJEKATA ZA SMJEŠTAJ OPREME MAKRO BAZNIH POSTAJA	79

PREDGOVOR

Nedostatak komunikacije na bilo kojem polju, a pogotovo u znanosti može imati vrlo jak i uglavnom negativan efekt. Poznata je kontroverzna priča o izumu integralno-diferencijalnog računa i borbi između Newtona i Leibniza, kad su se obojica usudila izaći u javnost sa svojim nezavisno otkrivenim teorijama. Danas, u svijetu koji funkcionira na trenutačnoj prohodnosti informacija i nevjerojatno važnom fenomenu 'networkinga', takve poteškoće bi trebale biti davno zaboravljena prošlost. Ipak, koliko god nam sva čuda tehnologije bila dostupna, ljudski faktor je taj koji će presuditi o povezanosti.

Politika razvoja znanosti, znanstvene novake upućuje na konferencije, pisanje članaka i objavljivanje, dok su isti s druge strane pod pritiskom nastave. U tehničkim granama poznat je fenomen predanosti znanosti koja ionako traži puno, dok se paralelno borimo s pritiscima stručne kompetentnosti i tržišne konkurentnosti. Takvi uvjeti nerijetko rezultiraju zatvaranjem u vlastite čahure u kojima pati efikasnost i izvrsnost. Što napraviti? Razbijmo takav obrazac ponašanja – vrijeme je za promjenu paradigme. Povežimo se, podijelimo posao i ideje, pomognimo jedni drugima, ujedinito sposobnosti i stvorimo novo ozračje, bolje, jače i bogatije.

Vođeni ovim idejama koje su upravo temelji moderne znanosti, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije (FGAG) Split, uz podršku *Udruge hrvatskih građevinskih fakulteta* organizirao je *Prvi skup mladih istraživača iz područja građevinarstva, arhitekture, geodezije i elektrotehnike* pod nazivom *ZAJEDNIČKI TEMELJI*. Skup je održan u Splitu 26. i 27. rujna 2013. u prostorijama FGAG-a, a sudjelovali su predstavnici fakulteta iz cijele Hrvatske, pa i susjedne nam Bosne i Hercegovine. Cilj je bio stvoriti kritičnu masu mladih ljudi za koje se nadamo da će biti motor zajedničkog prijavljivanja i rada na nacionalnim i međunarodnim kompetitivnim projektima. Mladi znanstvenici iz četiri navedena područja su na Skupu prezentirali svoja znanstvena istraživanja organizirana u šest sekcija s izmiješanim temama u svrhu podizanja svijesti o interdisciplinarnosti i važnosti svake od struka. Ovaj zbornik sadrži 33 sažetka organizirana prema području kojem pripada pojedini od sudionika i predstavlja jedan zanimljiv kompleks tema i kao takav prikazuje širinu koju navedene struke obuhvaćaju.

Zahvaljujemo se na doprinosu pozvanih predavača, kao i na odazivu i doprinosu svih sudionika koji su učinili da se ova ideja ostvari i još važnije ostavi trag iza sebe. Nadalje zahvalili bismo se našim sponzorima koji su podržali ovaj Skup, te svima koji su na bilo koji način pomogli u organizaciji i provedbi ovog djela.

Morena Galešić

Boris Trogrlić

Hrvoje Gotovac

PREDSJEDNIŠTVO ORGANIZACIJSKOG ODBORA

- Morena Galešić (mladi istraživači FGAG-a)
- Boris Trogrlić (uprava FGAG-a)

ORGANIZACIJSKI ODBOR

- Goran Baloević
- Hrvoje Bartulović
- Milko Batinić
- Martina Baučić
- Nives Brajčić-Kurbaša
- Vladimir Divić
- Dijana Erceg
- Nikola Grgić
- Alen Harapin
- Maja Karačić
- Katja Marasović
- Marija Smilović
- Marina Sunara
- Robert Šakić Trogrlić
- Ivana Vlaić
- Goran Vlastelica
- Biljana Vukoje
- Dujmo Žižić
- Ivan Žižić

MODERATORI SEKCIJA

- Sekcija 1A – Marina Sunara
- Sekcija 1B – Nikola Grgić
- Sekcija 2A – Maja Karačić
- Sekcija 2B – Ivan Žižić
- Sekcija 3A – Vladimir Divić
- Sekcija 3B – Dujmo Žižić, Hrvoje Bartulović

SEKCIJA 1 - Građevinarstvo

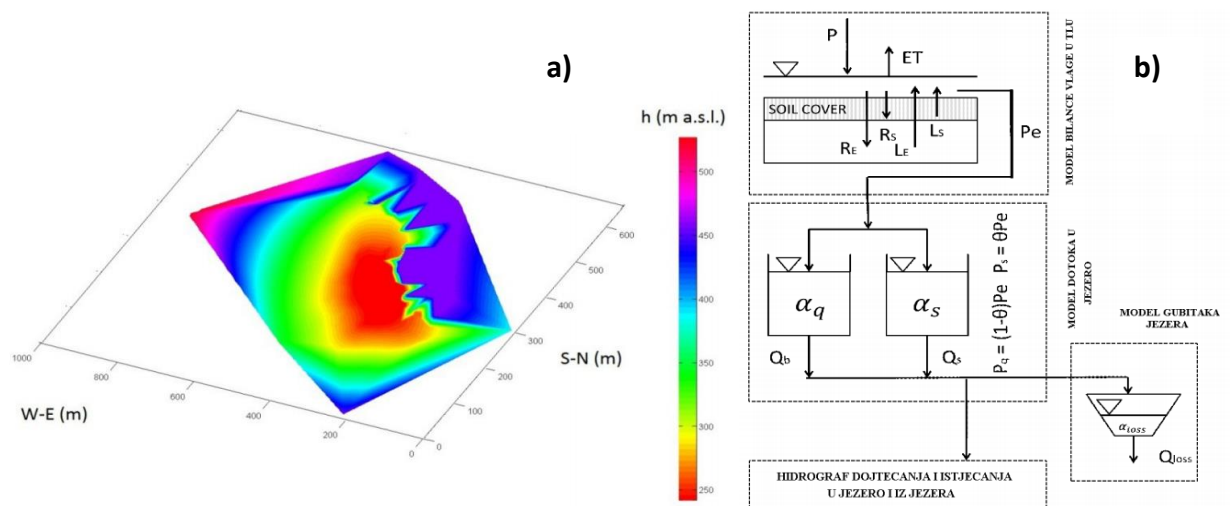
101 - HIDROLOŠKI MODEL MODROG JEZERA U IMOTSKOM

Ivo Andrić (ivo.andric@gradst.hr)

Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Ovaj rad obuhvaća problem modeliranja u kršu na primjeru Modrog jezera kod Imotskog. Modro jezero kod Imotskog predstavlja fascinantant fenomen Dinarskog krša Hrvatske. U njegovoj neposrednoj blizini (udaljeno je tek oko 500 m) nalazi se nešto poznatije i u literaturi češće opisivano Crveno jezero. Geomorfološki gledano, Modro jezero predstavlja urušenu vrtaču (collapsed doline) kod koje proces urušavanja i dalje traje. Iako se radi o svjetski poznatim krškim geomorfološkim vodnim objektima činjenica je da su oni u biti znanstveno neistraženi. U malobrojnoj stručno-znanstvenoj literaturi uglavnom su iznesene njihove geološke, geografske i geomorfološke karakteristike [1], [2], [3], [4], [5], [6], [10]. Hidrološki i hidrogeološki aspekti funkcioniranja ovih jezera slabo su izučeni. Osnovni razlog leži u nedostatku mjerenja, prije svega razine vode u samim jezerima, a osobito razine podzemne vode u njihovoj široj i užoj okolici. Modro jezero spada u povremena krška jezera. Povremena krška jezera, tj. jezera koja povremeno presuše relativno su česta pojava u Dinarskom kršu [9]. Najčešći razlog njihovog presušivanja je spuštanje razine podzemne vode, koja ih prihranjuje, ispod nivoa dna jezera.

Koncept modela se zasniva na određivanju efektivne oborine (PE) i modelu prihranjivanja jezera temeljenog na modelu linearnog rezervoara. Ulazni parametri se temelje na prikupljanju meteoroloških podataka sa službene meteorološke postaje DHMZ-a u Imotskom, a podaci fizikalno kemijskih parametara vode unutar jezera skupljeni su mjerenjima prikupljenim u razdoblju od 06.11.2009. do 04.09.2010. (hidrološka godina) koristeći mjerni uređaj CTD diver (Schlumberger). Mjerni uređaj je u promatranom razdoblju bilježio vodostaj, temperature vode i električnu vodljivost vode u rezoluciji od jedan sat. Za potrebe modela, podaci su se osrednjivali na razinu dana. Da bi se izradio što vjerniji model geometrije jezera, korištena su geodetska terenska mjerenja s totalnom stanicom kao i fotogrametrijska mjerenja te obrađivanje istih unutar specijaliziranog računalnog programa "KURAWES-G2" (Slika 1.) Uz pomoć uvodnih terenskih mjerenja, prikupljeni podaci su korišteni u daljnjem razvijanju modela. Određena geometrija jezera poslužila je za određivanje protoka u jezero koji ujedno sačinjava dotok i gubitke. Konceptualni model koji opisuje funkcioniranje Modrog jezera konstruiran je na temelju postojećih saznanja o modeliranju u kršu [7], [8] te je primijenjena bilanca vlage u tlu prema Palmeru [11] model linearnog rezervoara za dotok u jezero, te model nelinearnog rezervoara za gubitke.



Slika 1. Računalni model geometrije a) i konceptualni hidrološki model Modrog jezera b)

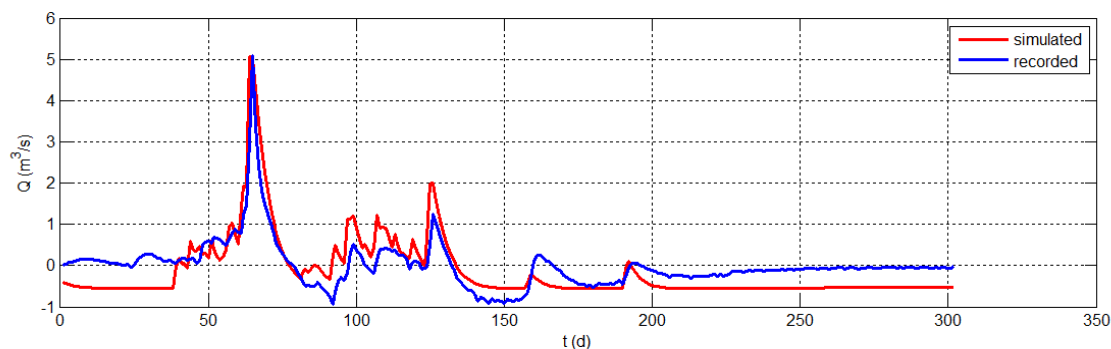
Ako se uzme u obzir da je jednadžba kontinuiteta za linearni rezervoar linearna diferencijalna jednadžba prvog reda i da za nju postoji analitičko rješenje, izraz koji opisuje izlaz za svaki korak je dat u nastavku. Opće rješenje koje primjenom za svaki vremenski korak Δt , uz poznavanje početnog uvjeta, daje vrijednost hidrograma otjecanja iz rezervoara na kraju tog vremenskog koraka je prikazano izrazom (1).

$$Q(t + \Delta t) = Q(t) \cdot e^{-\alpha \Delta t} + R(t + \Delta t)(1 - e^{-\alpha \Delta t}) \quad (1)$$

Nelinearni rezervoar ima nešto drugačije rješenje s obzirom da se parametri kod jednadžbe za nelinearni rezervoar nalaze u eksponentu. Rješenje nelinearnog rezervoara se temelji na pretpostavci da parametar eksponent ima srednju vrijednost 0,5 temeljeno na empirijskim istraživanjima [13] kod velikog broja promatranih slivova. Rješenje nelinearnog rezervoara je u izrazu (2).

$$Q_t = Q_0 \left[1 + \frac{(1-b)Q_0^{1-b}}{ab} t \right]^{1/(b-1)} \quad (2)$$

Na taj način opisane veze između elemenata sustava daju rezultate na osnovu kojih se vrši kalibracija modela uz usporedbu s mjerenim podacima. Kalibracija kao u većini slučajeva temelji se na određivanju srednje kvadratne pogreške te procesu minimiziranja iste. Dakle, uspostavlja se koeficijent efikasnosti modela koji je ujedno i funkcija srednje kvadratne pogreške u odnosu na realizaciju modela uz određene parametre. Ako se za kalibrirani model izvrši simulacija i simulirane podatke usporedimo s mjerenim (Slika 2.), može se vidjeti kako model ima nedostatke i kako na nekim mjestima bolje opisuje prirodni sustav, a na drugim lošije.



Slika 2. Mjereni hidrogram i simulirani hidrogram Modrog jezera

Razlike između modela i stvarnog sustava su posljedice nedovoljno dobrog opažanja prirodnog sustava tj. neprepoznavanja ostalih važnih elemenata koji sačinjavaju sustav. U slučaju Modrog jezera radi se o elementima koji bi mogli predstavljati komunikaciju vode između Modrog i susjednog Crvenog jezera, evaporaciju s površine, bazno dotjecanje generirano otapanjem snijega s viših horizonata itd. Ipak uspostavljeni model pruža uvid u funkcioniranje nekih od osnovnih elemenata sustava i daje alat za upravljanje i gospodarenje prirodnim resursom kao što je Modro jezero.

Potrebno je navesti kako hidrološki model Modrog jezera nije verificiran uslijed nedostatka mjerenja nad kojima bi se verifikacija provela. Sva buduća mjerenja mogu poslužiti u tu svrhu, no svakako je potrebno proširiti opseg istih. Prije svega se radi o neophodnosti istovremenog mjerenja hidroloških parametara na Modrom i Crvenom jezeru, a možda i na još nekom od vodnih fenomena u području kao što su Galipovac jezero, Knezovića jezero, Lokvičko jezero i rijeka Vrljika. Osim toga duboki piezometri u blizini Modrog i Crvenog jezera bi dali uvid regionalne smjerove cirkulacije podzemnih voda kao i proces kretanja vode između dva vrlo bliska jezera. U planu su mjerenja temperature vode i električne provodljivosti u više vertikalnih stupaca Modrog jezera, u sredini i na bokovima, pri raznim vodostajima i u raznim razdobljima (sezonama) godine kao i kontinuirano praćenje vodostaja.

Literatura

- [1] Bahun, S. (1991.): O postanku Crvenog i Modrog jezera kod Imotskog. Geološki Vjesnik 44:275-280.
- [2] Bögli, A. (1980.): Karst hydrology and physical speleology. Springer Verlag, Berlin. Germany.
- [3] Bonacci, O. (2006.): Crveno i Modro jezero kod Imotskog. Hrvatske Vode 14(54): 45-54.
- [4] Bonacci, O., Andrić, I. and Yamashiki, Y. (2013), Hydrology of Blue Lake in the Dinaric karst. Hydrological Processes. doi: 10.1002/hyp.9736
- [5] Bonacci, O., Roje Bonacci, T. (2000.b): Interpretation of groundwater level monitoring results in karst aquifers: examples from the Dinaric karst. Hydrological Processes 14(14): 2423-2438.
- [6] Cvijić, J. (1926.): Geomorfologija II. Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd. Cvijić, J. (1960.) : La géographie de terrains calcaires. Naučno Delo, Beograd.
- [7] Geyer T. et al., (2008.): Quantification of temporal distribution of recharge in karst systems from spring hydrographs, Journal of Hydrology, Vol. 348, 3–4, 452-463.
- [8] Jukić, D. and Denić-Jukić, V. (2008.): Estimating parameters of groundwater recharge model in frequency domain, Water and Energy Abstracts. 18, 3; 322-327
- [9] Mulec, J, Mihevc, A., Pipan, T. (2005.): Presihajoča jezera na Pivškem. Acta Carsologica 34(3): 543-565.
- [10] Palandačić, A., Bonacci, O., Snoj, A. (2012.): Molecular data as a possible tool for tracing groundwater flow in karst: Example of *Delminichthys adspersus* in Dinaric karst system. Ecohydrology DOI: 10.1002/eco.269.
- [11] Palmer, W. C. (1965.): Meteorological Drought US Weather Bureau Technical Paper No.45, Washington D.C., 58 pp
- [12] Petras I.(1996): An approach to the mathematical expression of recession curves, Water SA, Vol. 12., N3.
- [13] Wittenberg, H. (1999.): Baseflow recession and recharge as nonlinear storage processes. Hydrological Processes 13(13): 715-726.

102 - UTJECAJ KONTAKTNIH NAPREZANJA NA NOSIVOST TRADICIJSKIH KAMENIH STUPOVA

*Josip Atalić (atalic@grad.hr)
Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet*

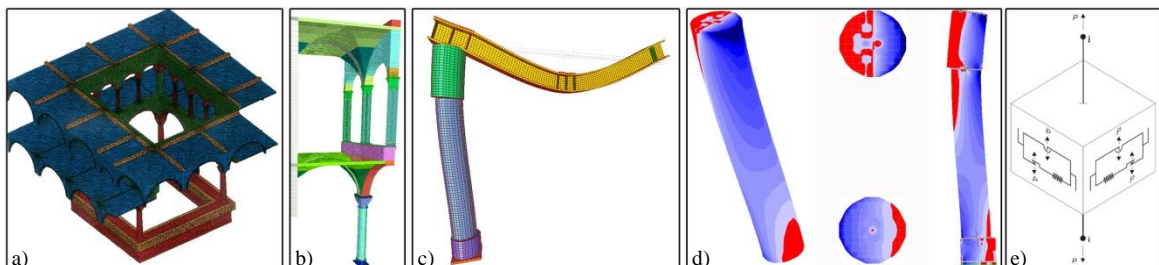
Osnovni motiv istraživanja su karakteristične pukotine u okolici spojeva tradicijskih kamenih stupova s kapitelom i bazom (Slika 1.). Takvi stupovi su često korišteni u tradicijskoj gradnji zbog svoje vitkosti posebice jer je tijelo stupa izrađeno od jednog komada kamena i tek neprimjetno spojeno s kapitelom i bazom (željeznim trnom u osi stupa). Istraživanje je počelo na kamenim stupovima atrija Kneževa dvora u Dubrovniku gdje nakon brojnih sanacija kroz povijest nije otkriven osnovni uzrok raspucavanja, ali isti problemi su prisutni i diljem Hrvatske (Veliki Tabor, Zadar, Split, Orebić itd.). Problem potvrđuju brojni stari izvještaji (bilješke) kao i ostatci brojnih sanacija (Slika 1.) poput raspucanih dijelova pridržanih žicom, obruča oko stupova, raznih umetaka i procjepa zapunjenih olovom ili drvetom, različitih vrsta kamena, drugačijih stilova i oblika kapitela itd. Sve upućuje da u određenim slučajevima postoji (ili je naknadno napravljen) neki strukturalni nedostatak koji sustavno raspucava elemente stupa. S obzirom da su povijesne građevine specifični dio graditeljske struke problem je zahtijevao jedan složeni multidisciplinarni pristup, a konačni cilj istraživanja je određivanje i testiranje prihvatljivog rješenja sanacije (zasad su napravljena testiranja olovnog umetka).



Slika 1. Pukotine na tradicijskim kamenim stupovima s ostacima prethodnih sanacija [1]

Početne analize su pokazale da je razina uzdužne sile u takvim stupovima relativno mala, ali da je veliki problem što spojevi tradicijskih stupova nisu u mogućnosti preuzeti značajnije ekscentrično opterećenje. Svojstva poput poravnatih i sljubljenih spojnih (kontaktne) ploha, trna položenog u osi stupa, male duljine sidrenja trna, jasno upućuju da su spojevi predviđeni za preuzimanje tlačnih napreznja što je u skladu s tradicijskom gradnjom ali i svojstvima materijala. Nažalost, brojna događanja kroz povijest uzrokuju ekscentrično opterećenje koje dovodi do otklona stupova od uspravne osi i međusobni zaokret spojnih elemenata stupa odnosno otvaranje spoja s jedne i nalijeganje kontaktnih ploha na drugu stranu presjeka. Površina nalijeganja odnosno tlačna zona je tada iznimno mala pa nastaju velika rubna tlačna napreznja što uzrokuje otvaranje karakterističnih pukotina u blizini kontakata [1].

Numeričke analize su odigrale veliku ulogu u definiranju slabosti spoja pri ekscentričnom opterećenju, posebice numerički model atrija Kneževa dvora u Dubrovniku (Slika 2.a) uporabom programskih paketa FEAP 7.4 i GID 6.1.2a. Program je nadopunjen originalnim rutinama za isključenje konačnog elementa pri prekoračenju čvrstoće čime se dobio bolji opis ponašanja u blizini spojeva [2]. Spomenutim istraživanjem je definirana priroda problema, a ovo istraživanje se izravno oslanja na dobivene zaključke s težištem na detaljnijem pristupu spoju (Slika 2.b). Sve analize u ovom istraživanju su napravljene primjenom programskog paketa SAP2000 koji je odabran s obzirom na raspoloživost ulaznih podataka i planirane algoritme. Tijekom istraživanja napravljeno je mnogo numeričkih modela različite složenosti, a ovdje je izdvojen model laboratorijskog ispitivanja (Slika 2.c).



Slika 2. Numerički modeli: a) Knežev dvor s volumnim elementima, b) detaljni model karakterističnog dijela, c) model laboratorijskog ispitivanja, d) karakteristični rezultati, e) model ponašanja spoja [2]

Ključno je da se prilagodbom integriranih elemenata SAP-a dostupnim rezultatima laboratorijskih ispitivanja i brojnim testovima osjetljivosti uspješno opisalo ponašanje spojeva. Osnovna ideja je bila omogućiti relativnu rotaciju između elemenata stupa odnosno odvajanje kontaktnih ploha i nalijeganje na jednu stranu presjeka što se postiglo primjenom volumnih elemenata i elemenata veze (*engl. link*) između čvorova modela. Svojstva elemenata veze su definirana da omogućuju samo tlačne veze (*engl. compression only*), a naknadno su nadopunjena s parametrima za definiranje koeficijenta trenja i neravnina na kontaktnim ploham. Ovi su pažljivo testirani parametri ključni za definiranje modela ponašanja spojeva između elemenata stupa i nužno je istaknuti da svi rezultati nedvojbeno dokazuju

da modeli koji ne sadrže detaljniji pristup spojevima mogu značajno podcijeniti koeficijent sigurnosti građevine što je potvrđeno i laboratorijskim ispitivanjima. Teorijska podloga je temeljena na histereznom ponašanju (Slika 2.e).

Laboratorijska ispitivanja uzoraka stupa (Slika 3.a) su ključna za pouzdanu potvrdu svih pretpostavki i rezultata numeričkih proračuna. Uzorci za ispitivanja su napravljeni na tradicijski način od kamena Korunito iz kamenoloma Piske na otoku Korčuli, a jedino su kontaktne plohe odrezane strojno s ciljem da se osigura što bolje nalijeganje elemenata stupa. Tijekom ispitivanja se pokazalo da su i neznatne neravnine na kontaktnim ploham (ispod 0,3 mm) dovoljne za odstupanje od pretpostavljenog idealnog nalijeganja kontaktnih ploha odnosno jednolike raspodjele naprezanja pri centričnom opterećenju. Budući da neravnine nije moguće u potpunosti izbjeći, prije početka ispitivanja se mjerilo odstupanje između kontaktnih ploha uporabom mjernih listića što se pokazalo odlučujuće za interpretaciju rezultata. Za svaki uzorak su provjerena mehanička svojstva kamena ispitivanjima tlačne i vlačne čvrstoće te modula elastičnosti. Dimenzije samog uzorka stupa su odabrane prema udvojenim stupovima na katu Kneževa dvora u Dubrovniku. Postavka ispitivanja je sadržavala brojna mjerna mjesta za mjerenje pomaka i relativnih deformacija koja su postavljena prema rezultatima numeričkih simulacija ispitivanja. Opterećenje se unosilo univerzalnom tlačno-vlačnom prešom Zwick/Roell s dva pistona koristeći čeličnu gredu, posebno prilagođenu za unos centričnog i ekscentričnog opterećenja (u sredini raspona). Ekscentrično opterećenje se unosilo kontroliranim savijanjem grede u elastičnom području tako da se dobiveni kut zaokreta grede (iznad stupa) prenosio na kapitel preko spoja s vijcima u epoksi smoli čime dobivamo željeno nalijeganje kapitela na jednu stranu presjeka tijela stupa.



Slika 3. Laboratorijska ispitivanja: a) postavka ispitivanja i b) uzorak nakon sloma [2]

Rezultati ispitivanja su pokazali da i pri centričnom opterećenju dolazi do stvaranja koncentracija naprezanja na kontaktnim ploham koja ovise o površini i položaju ostvarenog kontakta. Vrijednosti koncentracija naprezanja su bile višestruko veće od očekivane vrijednosti naprezanja pri jednolikoj raspodjeli naprezanja što je dovelo do otvaranja pukotina i pri niskoj razini centričnog opterećenja. Unosom ekscentričnog opterećenja koncentracije naprezanja od centričnog opterećenja se dodatno povećavaju ili rasterećuju (ovisno o položaju) s tim da su prirasti naprezanja bili toliko veliki da je otvaranje pukotina bilo neizbježno. Time su potvrđeni rezultati numeričkih proračuna (Slika 2.d) i sve pretpostavke o osjetljivosti spojeva na ekscentrično opterećenje posebice jer je promjena kuta zaokreta kapitela u odnosu na tijelo stupa bila oko neprimjetnih $0,05^\circ$! Ipak, otvaranje inicijalnih pukotina nije kritično za stup jer preraspodjelama naprezanja u okolici pukotine stup uspijeva prenijeti opterećenje i zadržava nosivost. Daljnje opterećivanje uzorka stvara nove koncentracije naprezanja, propagaciju postojećih pukotina ali i otvaranje novih sve do iscrpljenja nosivosti presjeka i sloma stupa (Slika 3.b). Treba napomenuti da se brojnim mjerenjima omogućio razvoj numeričkog modela kojim se moglo dobro procijeniti područja otvaranja prvih pukotina (početne faze ispitivanja). Razvoj modela sa složenijim zakonitostima raspucavanja (prisutnim i unutar presjeka) planiran je u budućim fazama istraživanja koje uključuju i složeniji postupak mjerenja.

Zaključno, rezultati istraživanja odgovaraju ponašanju uočenom na tradicijskim građevinama odnosno dostupnim rezultatima mjerenja na stupovima i mogu pomoći u odgovoru na pitanje: zašto pri relativno maloj uzdužnoj sili dolazi do raspucavanja tradicijskih stupova. Srećom, uobičajena uporaba provjerenih dimenzija među konstruktivnim elementima (Vitruvius) daje faktor sigurnosti tradicijskih stupova preko 10 pa se preraspodjelama naprezanja izbjegne potpuni slom. Ipak, treba imati na umu doprinos specifičnog detalja poput spoja odnosno problem neravnina na kontaktnim ploham i stvaranje izrazitih koncentracija naprezanja zbog međusobnog zaokreta elemenata stupa uzrokovanog ekscentričnim opterećenjem koji vjerojatno nije obuhvaćen originalnim konceptom.

Literatura

- [1] Atalić, J.; Uroš, M. & Šavor, M.: Utjecaj kontaktnih naprezanja na tradicijski kameni stup, Građevinar 64 (2012), 11; 891-903, 2012
- [2] Lazarević, D.; Atalić, J.; Uroš, M.; Šavor, M.; & Gidak, P.: Utjecaj kontaktnih naprezanja na nosivost stupova tradicijskih građevina, Sabor hrvatskih graditelja 2012, Graditeljstvo - poluga razvoja, Cavtat, Hrvatska, 217-228, 2012

103 - OCJENA OŠTEĆENJA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA PRIMJENOM DINAMIČKIH PARAMETARA

Ivan Duvnjak (*iduvnjak@grad.hr*)
Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet

Veliki je broj građevinskih konstrukcija koje su još i danas u upotrebi a izgrađene su pedesetih i šezdesetih godina prošlog stoljeća kao što su mostovi, tuneli, potporni zidovi, brane, visoke zgrade, naftne platforme, itd. U fazi projektiranja i gradnje takvih konstrukcija poštivani su svi standardi toga vremena. Od tada pa do danas infrastruktura je potpuno promijenjena. Tako je primjerice za mostove u Švedskoj bruto težina vozila sa 15 tona četrdesetih godina prošlog stoljeća narasla na 60 tona. U Kanadi je trenutno više od 40% mostova u upotrebi koji su stariji od 30 godina, čije stanje konstrukcije zahtjeva hitno ojačanje, sanaciju ili uklanjanje. Slični problemi postoje i u Hrvatskoj, ali u manjem postotku u odnosu na ukupan broj mostova. Veliki dio postojećih mostova ulazi u kritične godine i zahtijevaju rekonstrukciju. Svaka od ovih građevina ima veliku važnost za društvenu zajednicu. Njihov gubitak nosivosti ili slom takve konstrukcije imao bi dalekosežne ekonomske posljedice, te opasnost za ljudske živote.

Stoga je važno točno predvidjeti izvanrednu opasnost kako bi se izbjeglo otkazivanje konstrukcije. Danas postoje razne upute, propisi o pregledu i održavanju građevinskih konstrukcija. Široko prihvaćen način pregleda konstrukcija temelji se na vizualni pregledima ili lokalno ograničenim nedestruktivnim metodama procjene oštećenja kao što su akustične ili ultrazvučne metode, radiografija, metode toplinskih polja, rendgenske zrake itd. Ovakve eksperimentalne metode imaju niz nedostataka kao što je poznavanje lokacije oštećenja unaprijed te da taj dio konstrukcije mora biti pristupačan. Kada je riječ o malim oštećenjima u unutrašnjosti konstrukcije tada vizualnim pregledom nije moguće utvrditi nedostatke.

Lokalno stanje konstrukcije može se pratiti klasičnim monitoringom, gdje se statički prikupljaju informacije. Mogu se prikupljati različite fizikalne i kemijske veličine kao što su pomaci, deformacije, temperatura, vlaga, korozija materijala itd. čime se omogućuje razumijevanje ponašanja konstrukcije. Koristeći statički monitoring možemo predvidjeti trajnost i preostali životni vijek konstrukcije. Povratna informacija o ponašanju konstrukcije je od iznimne važnosti za projektante te može poslužiti kao podloga za nove slične konstrukcije. Kao relevantni primjeri ovakvih monitoringa konstrukcija u Hrvatskoj može se navesti Knežev dvor u Dubrovniku, sportska dvorana Arena Zagreb, stari most preko rijeke Kupe u Sisku, lučni most preko Cetine kod Trilja, dvorana Višnjik u Zadru i peristil Dioklecijanove palače u Splitu (Slika 1.).



Slika 1. Primjeri statičkih monitoringa u Hrvatskoj

Primjenom vibracijskog (dinamičkog) monitoringa na građevinskim konstrukcijama može se pratiti globalno stanje konstrukcije koristeći dinamičke parametre. Osnovna ideja je da uslijed nastanka oštećenja dolazi do promjene dinamičkih parametara konstrukcije kao što su vlastite frekvencije, modalni oblici i koeficijenti prigušenja. Prema autorima Doebling i sur. [1] mora se biti u mogućnosti identificirati oštećenje koje se dogodilo u vrlo ranoj fazi, odrediti lokaciju oštećenja, ocijeniti razinu oštećenja te predvidjeti preostali životni vijek konstrukcije. Teorijski taj koncept je vrlo dobro poznat, dok primjena vibracijskog monitoringa kod ocjene oštećenja konstrukcija predstavlja veliki izazov od samog određivanja dinamičkih parametara. Kao na primjer, utjecaj okoliša kao što je temperatura može promijeniti dinamičke parametre više nego oštećenje konstrukcije [2]. Nažalost do sada u Hrvatskoj nisu poznati značajni dinamički monitorinzi vibracija na građevinskim konstrukcijama, dok po cijelom svijetu mogu se pronaći relevantni primjeri: viseći mostovi Tsing Ma u Hong Kongu i Akashi Kaikyo u Japanu, ovješeni mostovi Seohae u Koreji i Oresund u Danskoj, gredni most Confederation Bridge u Kanadi i konzolni most Commodore Barry u New Jersey.

Promjena vlastitih frekvencija jedna je od najraširenijih i najjeftinijih metoda određivanja oštećenja na konstrukciji. Ukoliko postoji oštećenje na konstrukciji, dolazi do smanjene krutosti te ujedno do smanjenja vlastite

frekvencije. Jedna od osnovnih prednosti je da se jednim senzorom može odrediti vlastita frekvencija. Kao globalni parametar oštećenja konstrukcije vrlo teško se može primijeniti za određivanje lokacije i razine oštećenja.

Oblik osciliranja konstrukcije pri odgovarajućoj vlastitoj frekvenciji naziva se modalni oblik. Uslijed oštećenja konstrukcije dolazi do promjene vlastite frekvencije zajedno s modalnim oblikom. U teoriji modalni oblik može se koristiti za određivanje lokacije oštećenja, međutim za eksperimentalno određivanje modalnog oblika potreban je veliki broj senzora. Direktna promjena modalnog oblika između oštećenog i neoštećenog stanja konstrukcije naziva se kriterij modalne ortogonalnosti. Za direktno određivanje lokacije oštećenja koristeći informaciju različitih modalnih oblika koristi se koordinatni kriterij modalne ortogonalnosti. Metode modalnih oblika za određivanje oštećenja na konstrukcijama daju bolje rezultate od primjene samo vlastitih frekvencija. U usporedbi s vlastitom frekvencijom i modalnim oblicima, primjena prigušenja za detekciju oštećenja nije toliko istražena. Korištenjem prigušenja za detekciju oštećenja ima prednosti u odnosu na vlastite frekvencije i modalne oblike zbog mogućnosti da se detektira nelinearni efekt od raspršenih pukotina po konstrukciji.

Ukoliko se izvrši dvostruka derivacija modalnog oblika po položaju može se odrediti modalna zakrivljenost. Osnovna pretpostavka je da uslijed smanjenja krutosti sukladno tome dolazi do povećanja modalne zakrivljenosti. Modalna energija deformacije definirana je na zakrivljenosti modalnih oblika i na energiji deformacije sustava. Ova metoda u literaturi često je poznata kao metoda indeksa oštećenja.

Fleksibilnost je još jedan parametar koji se može koristiti za detekciju oštećenja koristeći dinamički izmjerenu matricu fleksibilnosti. Budući da je matrica fleksibilnosti definirana kao inverzna matrica krutosti, tako nam matrica fleksibilnosti daje vezu između nanese statičke sile i odgovarajućeg statičkog pomaka.

Veliki broj istraživača se bavio detekcijom i lokacijom oštećenja primjenom mjerenja vibracija tako da jedan od prvih objavljenih radova na tu temu seže još u 1969 godinu [3]. Kao relativno sigurna, pouzdana i jeftina metoda detekcije oštećenja primjenom vibracija uspješno je primjenjena kod rotirajućih strojeva, zatim u strojarstvu, avionskoj industriji i raznim inženjerskim problemima.

U posljednja dva desetljeća izrazito se razvila globalna metoda detekcije oštećenja posebno s primjenom u građevinskim konstrukcijama. Tako su Kato i Shimada [4] proveli ispitivanja vibracija na prednapetom betonskom mostu za vrijeme rušenja u nekoliko faza. Dodavanjem mase cestovnom mostu Ariyaratne i sur. [5] pokušali su odrediti fleksijsku krutost koristeći dinamička ispitivanja mjereći promjene vlastite frekvencije mosta. Maeck i De Roeck [6] koristili su direktni pristup proračuna krutosti za detekciju oštećenja, lokaciju i razinu na prednapetom grednom armirano betonskom mostu Z24 u Švicarskoj. Autori su uspješno pronašli lokaciju i razinu oštećenja za svaki slučaj oštećenja na mostu koristeći direktnu metodu. Fritzen i sur. [7] pokušali su pronaći višestruke pukotine na dvokatnici u Europskom istraživačkom centru Ispra u Italiji. Autori su koristili tehniku ažuriranja modela iz mjerenja u neoštećenom stanju te funkciju kriterija modalne ortogonalnosti. Cerri i sur. [8] primjenom inverznog problema uspjeli su odrediti lokaciju, veličinu i količinu oštećenja kod armirano betonskih grednih elemenata. Nandwana i Maiti [9] odredili su lokaciju i veličinu pukotine za konzolnu gredu koristeći vlastite frekvencije.

Dosadašnja istraživanja u području određivanja stanja i oštećenja konstrukcija određivanjem dinamičkih parametara nisu detaljno obuhvatila eksperimentalna i numerička istraživanja na plošnim armirano betonskim konstrukcijama. Eksperimentalni dio istraživanja potrebno je provesti u kontroliranim laboratorijskim uvjetima, koristeći različite rubne uvjete i razine oštećenja. Numerički model primjenom metode konačnih elemenata nakon usklađivanja s eksperimentalnim dijelom, trebao bi u kasnijoj fazi poslužiti kao proširenje istraživanja simulirajući različita oštećenja.

Literatura

- [1] S. W. Doebling, C. R. Farrar, and M. B. Prime, "A Summaray Review of Vibration-based Damage Identification Methods," pp. 1–34, 1997.
- [2] D. Damjanović, "Utjecaj temperature na dinamičke parametre građevinskih konstrukcija," Sveučilište u Zagrebu, doktorska disertacija, 2010.
- [3] A. Lifshitz, J. M. & Rotem, "Determination of Reinforcement Unbonding of Composites by a Vibration Technique," *Jurnal of Composite Materials*, 1969.
- [4] S. Kato, M., Shimada, "Vibration of PC Bridge during Failure Process," *Structural Engineering*, vol. 112, no. 7, pp. 1692–1703, 1986.
- [5] W. Ariyaratne, M. Al-dawod, B. Samali, A. Saleh, and S. Bakoss, "Testing and Assessment of a 3-span Steel-Concrete Highway Bridge Using Dynamic Methods," in *Austrroads bridge conference*, 2004.
- [6] J. Maeck and G. De Roeck, "Damage Detection on a Prestressed Concrete Bridge and RC Beams Using Dynamic System Identification," *Key Engineering Materials*, vol. 167–168, pp. 320–327, 1999.
- [7] A. Fritzen, C.P., Bohle, K., and Stepping, "Damage Detection in Structures with Multiple Cracks Using Computational Models," in *European COST F3 Conference on System Identification and Structural Health Monitoring, Madrid, Spain*, 2000, pp. 191–200.
- [8] F. Cerri, M.N., and Vestroni, "Identification of Damage in Reinforced Concrete Beams," in *European COST F3 Conference on System Identification and Structural Health Monitoring, Madrid, Spain*, 2000, pp. 179–189.
- [9] S. K. Nandwana, B.P., and Maiti, "Detection of the Location and Size of a Crack in Stepped Cantilever Beams Based on Measurements of Natural Frequencies," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 203, no. 3, pp. 434–446, 1997.

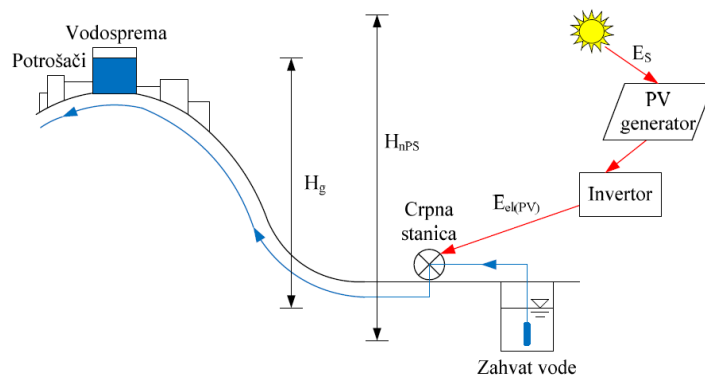
104 - KONCEPT ODRŽIVOSTI RADA URBANOG VODOOPSKRBNOG SUSTAVA KORIŠTENJEM SOLARNE FOTONAPONSKE ENERGIJE

Bojan Đurin (bojan.djurin@gfv.hr)
Sveučilište u Zagrebu; Geotehnički fakultet Varaždin

U ovom radu opisuje se primjena solarne fotonaponske energije u svrhu opskrbe vodom urbanog vodoopskrbnog sustava. U sklopu toga, opisuju se energetske i hidrauličke odnose između pojedinih dijelova analiziranog sustava, a to su PV generator s inverterom, vodosprema, te crpna stanica. Također se prikazuju i ekonomske karakteristike analiziranog sustava. Cilj rada je prikaz koncepta energetske održivosti rada vodoopskrbnog sustava.

Ulazna solarne energija je redovita svaki dan, ali s različitim zračenjem i trajanjem insolacije. Ulaz solarne energije u većem dijelu dana podudara se s dinamikom življenja u gradovima, a time i s potrebama za vodom, što je posebice naglašeno u gradovima male i srednje veličine. Solarni fotonaponski proces samostalno i bez buke proizvodi energiju, budući da nema nikakvih pokretnih dijelova. To znači da korištenje Sunčeve energije omogućava široku uporabu solarnog fotonaponskog postrojenja za dovod električne energije u vodoopskrbni sustav.

Na Slici 1. prikazan je sustav "PV generator s inverterom - vodosprema - crpna stanica", koji osigurava kontinuiranu opskrbu energijom i vodom urbanog vodoopskrbnog sustava.



Slika 1. Prikaz sustava "PV generator s inverterom - vodosprema - crpna stanica"

Solarne fotonaponske energije posredstvom PV generatora i invertera (koji pretvara istosmjernu električnu struju u izmjeničnu) pretvara se u električnu energiju, koja daje pogon crpnoj stanici koja crpi vodu u vodospremu. Voda iz vodospreme koristi se u skladu s potrebama potrošača. Vodosprema treba biti projektirana tako da ima dovoljan kapacitet za ravnotežu između precrpljene vode i potrebe za vodom. PV generator treba imati dovoljnu snagu za opskrbu crpne stanice električnom energijom u cijelom planskom razdoblju.

Potrebna snaga PV generatora P_{el} (W) dobije se iz [3], [4]:

$$P_{el} = \frac{2.72 H_{nPS}}{[1 - \alpha_c (T_{cell} - T_0)] \eta_{MPI} \eta_S} \frac{V_{PS(i)}}{E_{S(i)}} \quad (1)$$

Potrebni volumen vodospreme V (m³) dobije se iz [5]:

$$V = \max \left[\sum_{t=1}^j (Q_{PS,t} - Q_{WS,t}) \right], 1 \leq t \leq j \leq t_b = x \cdot T, T = 24 \text{ h} \quad (2)$$

Potrebna snaga crpne stanice P_{PS} (W) dobije se iz [5]:

$$P_{PS} = \frac{\rho g Q_{PS} H_{nPS}}{\eta_{PS}} \quad (3)$$

Dimenzioniranje sustava, korištenjem jednačbi (1) - (3), napraviti će se za periode bilanciranja t_b od 1 do 5 dana. Prvo se za svaki period bilanciranja t_b određuju kritični dani t^* (dani kod kojih je odnos (omjer) između hidrauličke i Sunčeve energije maksimalan), za koje se proračunava potrebna snaga PV generatora P_{el} (jednačba (1)). Za odabranu snagu PV sustava P_{el} i za vrijeme njegovog rada tijekom dana, određuje se potrebni volumen vodospreme V (jednačba (2)). Potrebni volumen vodospreme V određuje se za svaki dan u godini (kritični period) shodno potrebnim količinama vode i raspoloživom dotoku vode. Mjerodavni je najveći volumen V . Volumen vodospreme V određuje se na osnovi procjene ravnoteže ulaza vode kojeg generira solarne energija i planiranih izlaza vode generiranih od strane potrošača. Na taj način, volumen vodospreme V znatno utječe na veličinu/snagu PV generatora P_{el} i obrnuto.

Potrebna snaga crpne stanice P_{PS} definirana je na način da se prvo odredi potrebni kapacitet crpne stanice Q_{PS} (l/s) za svaki dan u godini (kritični period) i pripadno trajanje insolacije. Rezultat je potrebni kapacitet crpne stanice za satno

izravanje. Mjerodavni je najveći kapacitet, na osnovu kojeg se određuje potrebna snaga crpne stanice P_{PS} (jednadžba (3)).

Ekonomska analiza provodi se za svaku od pet proračunatih varijanti korištenjem metode *LCC* (Life Cycle Cost) (€), koja uzima u obzir sadašnju vrijednost kapitalnih troškova ulaganja ($C_{capital}$), sadašnju vrijednost troškova zamjene ($C_{replacement}$) i sadašnju vrijednost troškova pogona i održavanja ($C_{(O\&M)}$) [1], [3]:

$$LCC = C_{capital} + C_{replacement} + C_{(O\&M)} \quad (4)$$

U Tablici 1. prikazani su dobiveni rezultati za analizirani hipotetski primjer naselja sa ekvivalentnim brojem stanovnika jednakim 8970. Naselje je smješteno na brdovitom području otoka u južnom dijelu mediteranske Hrvatske i ima jednu vodospremu smještenu na nadmorskoj visini od 250 m iznad mora. Voda dotiče u vodospremu iz crpnog bazena crpne stanice, smještenog na razini od 180 m iznad razine mora, pri čemu je manometarska visinu $H_{n,PS} = 82.41$ m. Voda u crpni bazen dotječe gravitacijski iz izvora. Kvaliteta vode je zadovoljavajuća, tako da obrada vode nije potrebna. Položaj osnovnih objekata vodoopskrbnog sustava prikazan je na Slici 1.

Budući da je u ovom radu naglasak na prikazu koncepta održivosti urbanog vodnog sustava, te s obzirom na ograničenost opsega ovog rada, ekonomska analiza će se pojednostaviti na način da se prikažu samo kapitalni troškovi. Navedeno će omogućiti dovoljno informacija potrebnih za razumijevanje provedene analize.

Tablica 1. Prikaz dobivenih rezultata

PERIOD BILANC. t_b (dani)	SNAGA PV SUSTAVA P_{el} (kW)	VOLUMEN VODOSPR. V (m ³)	SNAGA CRPNE STANICE P_{PS} (kW)	KAPITALNI TROŠ. $C_{capital}$ (€)
1	512.50	1100	106.05	1571050
2	432.29	1178	119.70	1455480
3	416.10	1242	104.24	1433240
4	420.76	1178	100.50	1413220
5	390.10	1361	92.91	1417510

Iz dobivenih rezultata, vidljivo je da je varijanta sa periodom bilanciranja $t_b = 4$ dana najjeftinija. Varijante od $t_b = 2$ dana do $t_b = 4$ dana su slične. Također je vidljivo da su s povećanjem koraka perioda bilanciranja t_b prirasti prikazanih veličina relativno mali.

Provedena analiza pokazuje da je vodoopskrbni sustav pokretan solarnom fotonaponskom energijom održiv, budući da su zadovoljeni svi energetske i hidrauličke odnosi u analiziranom sustavu. Ovakav sustav može funkcionirati kao samostalni sustav kod kojeg je opskrba vodom osigurana potrebnim volumenom vodospreme. Prikazani koncept uklapa se u postojeće trendove vezane za razvoj održivih urbanih sredina koje ne mogu biti održive bez održivih vodoopskrbnih sustava.

Međutim, postavlja se pitanje dali je izgradnja PV postrojenja isplativa. Ako se problem promatra iz ekonomske točke gledišta, odgovor je ne, ali ako se uzima u obzir ekološko i društveno stajalište, odgovor i nije tako jednostavan. Zbog toga će biti potrebno primijeniti višekriterijalne metode u izboru optimalnog rješenja.

Postizanje održivosti i korištenje "zelene" energije ima svoju cijenu. Iako je osnovni izvor energije besplatan (Sunce), tako da tu otpada značajan dio troškova, troškovi izgradnje su znatno veći i uglavnom se odnose na troškove izgradnje PV generatora. Međutim, troškovi izgradnje PV generatora stalno se smanjuju i na odgovarajući način povećava se njihova učinkovitost [2], [6]. Dakle, smanjenjem troškova izgradnje PV generatora, isplativost primjene planiranog koncepta se povećava.

Detaljnije analize, analize senzitivnosti s obzirom na ulazne podatke, trend promjene cijene PV generatora i energije iz energetskog sustava, subvencije za "zelenu" energiju, itd., prikazale bi potpuniju sliku o problemu koji treba riješiti.

Literatura

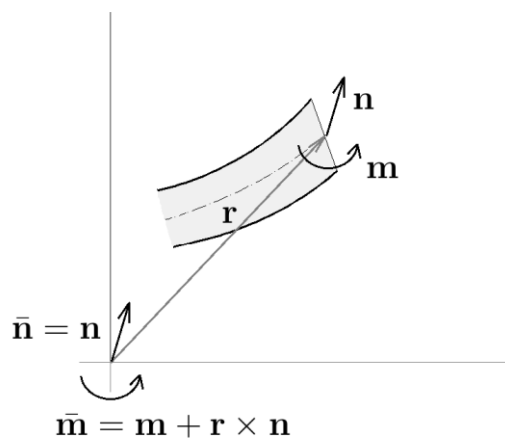
- [1] Bakelli, Y., Hadj, A. A. & Azoui, B.: Optimal sizing of photovoltaic pumping system with water tank storage using LPSP concept, *Solar Energy*, Vol. 85, No. 2, str. 288-294, 2011.
- [2] Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W. & Dunlop, E. D.: Solar cell efficiency tables (version 41), *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Vol. 21, No. 1, str. 1-11, 2013.
- [3] Kenna, J. & Gillett, B.: *Solar Water Pumping: A Handbook*, 1. izdanje, Intermediate Technology Publications, London, Velika Britanija, 1985.
- [4] Margeta, J. & Glasnović, Z.: Exploitation of temporary water flow by hybrid PV-hydroelectric plant, *Renewable Energy*, Vol. 36, No. 8, str. 2268-2277, 2011.
- [5] Margeta, J.: Vodoopskrba naselja: planiranje, projektiranje, upravljanje, obrada vode, 1. izdanje, Građevinsko - arhitektonski fakultet, Sveučilište u Splitu, Split, Hrvatska, 2010.
- [6] PVX spot market price index solar PV modules, 2013. <<http://www.solarserver.com/service/pvx-spot-market-price-index-solar-pv-modules.html>>, datum pristupa: 05.08.2013.

105 - IMPLEMENTACIJA DINAMIČKE ANALIZE KOD GEOMETRIJSKI TOČNIH PROSTORNIH GREDNIH ELEMENATA TEMELJENIH NA FIXED-POLE PRISTUPU

Maja Gaćeša (maja.gacesa@gradri.hr)
Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet

Glavni cilj doktorskog istraživanja je definicija novog grednog konačnog elementa proizvoljnog reda, koji se temelji na Reissner-Simovim kinematičkim jednadžbama [1], koji je prostoran i koji održava energiju i vektore količina kretanja bez dodatnih algoritamskih intervencija te je dovoljno robustan, odnosno, u stanju je konvergirati rješenju i za relativno velike vremenske inkremente.

Kao jedno od mogućih polazišta, trenutno istražujemo tzv. „fixed-pole“ koncept (teoriju nepomičnog pola) koji su predložili Bottasso i Borri, čije razne implementacije rezultiraju algoritmima koji prirodno nasljeđuju invarijantnost deformacija s obzirom na kretanje krutog tijela [2] ili su sposobni istovremeno čuvati i energiju kao i vektore količine kretanja [3], za razliku od formulacije [1]. Ta prirodno naslijeđena svojstva su vrlo atraktivna za opis ponašanja deformabilnih tijela izloženih velikim pomacima. Međutim, njihova originalna formulacija koristi nestandardne kinematičke nepoznanice kao posljedicu drugačije definicije rezultanti naprezanja (Slika 1.) pa je zbog toga takve elemente teško kombinirati sa mrežama konačnih elemenata koji koriste standardne nepoznanice (pomake i rotacije) što ih automatski čini manje atraktivnima.



Slika 1. Odnos standardnih (n, m) i „fixed-pole“ (\bar{n}, \bar{m}) rezultanti naprezanja

U radu [4] dan je prijedlog konačnog elementa proizvoljnog reda, koji je dobiven modificiranim fixed-pole pristupom. Naime, na razini čvorova uvedena je veza između standardnih i fixed-pole testnih funkcija što nam omogućuje definiciju elementa koji koristi prednosti ovog pristupa, ali istovremeno kao nepoznanice koristi standardne kinematičke veličine te je stoga pogodniji za kombiniranje sa ostalim mrežama konačnih elemenata. Rezultati prikazani u radovima [Maja, Maja stubica] dobiveni su koristeći potpuno originalne programe za geometrijski nelinearnu statičku analizu prostornih konstrukcija te je pokazano da bi jedna od opcija u statičkoj analizi mogla dati bolje rezultate od postojećih elemenata. To je bila motivacija za istražiti ponašanje ovakvih elemenata kod dinamičke analize u smislu robustnosti (veličine vremenskog inkrementa) te u smislu očuvanja energije kao i vektora količina kretanja.

Iz [4] slijede čvorni vektori inercijalnih i unutarnjih sila koji glase

$$\bar{\mathbf{q}}_m^i = \int_0^L I^i \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \widehat{\mathbf{r} - \mathbf{r}_i} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{k} \\ \boldsymbol{\pi} \end{Bmatrix} dx \quad \text{ i } \quad \bar{\mathbf{q}}_i^i = \int_0^L I^i \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \widehat{\mathbf{r} - \mathbf{r}_i} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{n} \\ \mathbf{m} \end{Bmatrix} dx, \quad i = 1..N \quad (1)$$

gdje je x položaj poprečnog presjeka duž referentne osi grede, i označava redni broj čvora konačnog elementa dok je N ukupni broj čvorova; L je duljina elementa, $I^i = I^i(x)$ je i -ti Lagrangeov interpolacijski polinom stupnja $N-1$, $\mathbf{r} = \mathbf{r}(x)$ je vektor položaja referentne osi u poprečnom presjeku x , \mathbf{r}_i vektor položaja referentne osi u čvoru i , a \mathbf{I} i $\mathbf{0}$ označavaju jediničnu, odnosno nul-matricu dimenzija 3×3 ; $\mathbf{k} = A\rho\dot{\mathbf{r}}$ i $\boldsymbol{\pi} = \boldsymbol{\Lambda}\mathbf{J}_\rho\mathbf{W}$ su specifična količina, odnosno moment količine kretanja gdje su A i ρ površina poprečnog presjeka te specifična gustoća materijala, a \mathbf{J}_ρ je tenzor momenata inercije, dok je $\boldsymbol{\Lambda}$ rotacijska matrica, a \mathbf{W} vektor kutnih brzina s obzirom na materijalni koordinatni sustav; $\mathbf{n} = \boldsymbol{\Lambda}\mathbf{N}$, $\mathbf{N} = \mathbf{C}_N\boldsymbol{\Gamma}$ i $\mathbf{m} = \boldsymbol{\Lambda}\mathbf{M}$, $\mathbf{M} = \mathbf{C}_M\mathbf{K}$ su vektori rezultanti naprezanja, $\boldsymbol{\Gamma}$ i \mathbf{K} translacijske odnosno rotacijske mjere deformacija, \mathbf{C}_N i \mathbf{C}_M konstitutivne matrice (konstitutivni zakon je linearan). Točkica (npr. $\dot{\mathbf{r}}$) označava derivaciju te veličine u vremenu, dok šesirić (npr. $\widehat{\mathbf{r} - \mathbf{r}_i}$) označava antisimetričnu matricu koja zamjenjuje vektorski produkt $(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i) \times$.

Integracija čvornih vektora (1) izvodi se numerički, primjenom Gaussove integracije i to sa $N-1$ točaka za vektor unutarnjih sila, kako bi se izbjegla pojava shear-lockinga, a sa N točaka za vektor inercijalnih sila. U smislu kodiranja to predstavlja dodatan zahtjev, s obzirom na to da se rotacijska matrica $\boldsymbol{\Lambda}$ pojavljuje u oba vektora, a to znači da se mora

računati u dva seta Gaussovih točaka. U slučaju treće interpolacijske opcije iz [4], vrijednosti nepoznatih funkcija \mathbf{r} se ne interpoliraju nego popravljaju direktno u integracijskim točkama, što znači da se i te vrijednosti moraju i računati i pamtiti u dva seta Gaussovih točaka te na to treba obratiti pažnju pri programiranju. U preostale dvije interpolacijske opcije, \mathbf{r} interpoliramo pomoću Lagrangeovih polinoma $N-1$ stupnja.

Kao najjednostavniji slučaj, rješavamo problem uz odsustvo vanjskog opterećenja, pa čvorni vektor rezidualnih sila, $\tilde{\mathbf{g}}^i$ postaje

$$\tilde{\mathbf{g}}_{n+1}^i = \tilde{\mathbf{q}}_{m,n+1}^i + \tilde{\mathbf{q}}_{i,n+1}^i = \mathbf{0}, \quad i = 1..N \quad (2)$$

što je sustav nelinearnih jednadžbi koji rješavamo iterativno, primjenom Newton-Raphsonovog postupka. Indeks $n+1$ označava da jednadžbu postavljamo u trenutku t_{n+1} . Kao što je ranije spomenuto, razmatramo nekoliko mogućnosti za interpolaciju nepoznanica, \mathbf{r} i popravaka (odnosno probnih funkcija), $\Delta\mathbf{r}$ i $\Delta\mathbf{\theta}$.

Vrijednosti brzina i akceleracija se unutar svake iteracije popravljaju pomoću Newmarkovih formula kao što je prikazano u [1] i popravljaju se inkrementalno [6] što znači da nove vrijednosti uvijek ovise samo o zadnjim iskonvergiranim vrijednostima, a ne o vrijednostima iz zadnje iteracije te na taj način izbjegavamo da izračunate veličine ovise o veličinama koje nisu povezane sa stanjem dinamičke ravnoteže. Na taj način iskodirana je druga interpolacijska opcija u programskom paketu Wolfram Mathematica.

Preliminarni rezultati pokazuju da ovakva implementacija nije dovoljno robustna, ali treba razmotriti i ostale interpolacijske opcije. Kao moguće poboljšanje, razmotrit će se drugačije sheme numeričke integracije u vremenu.

Zahvala

Istraživanje koje je rezultiralo ovim radom je provedeno u sklopu znanstvenog projekta br. 114-0000000-3025: “Unapređivanje točnosti nelinearnih grednih elemenata s neograničenim 3D rotacijama” koji je financijski podržalo Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske. Dodatno se zahvaljujem Hrvatskoj zakladi za znanost koja je sufinancirala projekt br. 03.01/129 iz programa “Stipendije za doktorante” s naslovom “Očuvanje mehaničkih konstanti pri numeričkoj integraciji nelinearnih jednadžbi kretanja grede u vremenu”.

Literatura

- [1] Simo, J.C. & Vu-Quoc, L.: On the dynamics in space of rods undergoing large motions—A geometrically exact approach, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 66, no. 2, str. 125–161, 1988.
- [2] Borri, M. & Bottasso, C.: An intrinsic beam model based on a helicoidal approximation—Part I: Formulation, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 37, no. 13, str. 2267–2289, 1994.
- [3] Bottasso, C. & Borri, M.: Integrating finite rotations, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 164, no. 3-4, str. 307–331, 1998.
- [4] Jelenić, G., Gaćeša, M. & Saje, M.: A note on relationship between fixed-pole and moving-pole approaches in static and dynamic analysis of non-linear spatial beam structures, 6th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering Proceedings, Beč, 2012.
- [5] Gaćeša, M. & Jelenić, G.: Geometrijski točan 3D gredni konačni element – koncept nepomičnog pola, *Zbornik radova petog susreta Hrvatskog društva za mehaniku*, Zagreb, 2013.
- [6] Jelenić, G. & Crisfield, M.: Geometrically exact 3D beam theory: implementation of a strain-invariant finite element for statics and dynamics, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 171, no. 1-2, str. 141–171, 1999.

106 - HOLISTIČKI PRISTUP PLANIRANJU PROIZVODNJE, TRANSPORTA I UGRADNJE ASFALTA POMOĆU PROŠIRENOG TRANSPORTNOG PROBLEMA

*Mario Galić (mgalic@gfos.hr)
Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku; Građevinski fakultet*

U građevinarstvu se do danas vrlo malo govorilo o računalnom modeliranju organizacijskih procesa. Dosadašnja su istraživanja ove tematike stala na razvoju matematičkih (teorijskih) modela, a razlog tome je kompleksna priroda modeliranja stohastičkih procesa koji su karakteristični za građevinarstvo. Razvojem računalnih programa kompleksnost planiranja i modeliranja ovakvih procesa više nije toliko izražena, rješenja su optimalna, a ovom metodom se brzo i efikasno do njih dolazi. Danas postoji gotovo podjednaki broj računalnih programa koji rješavaju stohastičke diskretne i kontinuirane procese. Modeliranje i optimiziranje organizacijskih procesa linearnim i nelinearnim programiranjem je opet u središtu pažnje znanosti koja se bavi problemima organizacije, planiranja i kontrole, te optimizacije građevinskih radova i proizvodnje. Transportni problem je samo jedan u nizu problema koji su ponovno aktualni i koji se proširuju i dorađuju. Rješavanje glomaznih matricnih zapisa ovog tipa problema je napokon realno, kao i višekriterijsko optimiziranje pri rješavanju transportnog problema.

Transportni problem (TP) je definiran kao problem koji se rješava linearnim programom transporta nekog dobra iz više ishodišta (izvora) na više odredišta (ponora) uz zadane rubne uvjete (strukturna ograničenja: kapacitet ponude i potražnja; te uvjet ne-negativnih vrijednosti) i funkcije cilja (minimalni troškovi transporta) [1,2]. Matematička teorija je TP definirala kao problem u domeni linearnog programiranja s $m+n$ jednadžbi i $m*n$ varijabli (gdje je m broj izvora nekog dobra i n broj odredišta koja potražuju to dobro). Poveznice (i,j) između izvora (i) i odredišta (j) pokazuju cijenu transporta dobra c_{ij} iz pojedinog izvora na pojedino odredište, te konačno i traženu (nepoznatu) optimalnu količinu dobra koja se transportira iz određenih izvora na određena odredišta i koja će zadovoljiti zadana ograničenja [3,4]. Matematički izrazi za funkciju cilja uz ograničenja, te pretpostavku balansiranog modela (ponuda mora zadovoljiti potražnju) su sljedeći [5]:

$$\min z = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_{ij} * x_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = a_i, \sum_{i=1}^n x_{ij} = b_j; x_{ij} \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

(1)

Prilikom izrade početnog plana transporta asfalta iz asfaltnih baza na zadana gradilišta s determiniranim potrebnim količinama asfalta, ova matematička teorija ne može poslužiti kao konačno rješenje. Naime, teško je predvidjeti točan broj izvora i koji će izvori (asfaltna baza) ponuditi optimalni program s obzirom na velike matricne zapise (veliki broj gradilišta/dionica cesta i asfaltnih baza). Uvažavajući spomenuti problem, a na bazi ove matematičke teorije, autor ovoga rada je izradio računalni program MCS (Multiple Criteria Solver) koji rješava kompleksne matricne zapise proširenog transportnog problema [6]:

Destinations		B ₁	B ₂	B ₃	B _n	a _i
Sources	A ₁	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X _{1n}	a ₁
		c ₁₁	c ₁₂	c ₁₃	c _{1n}	
	A ₂	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X _{2n}	a ₂
		c ₂₁	c ₂₂	c ₂₃	c _{2n}	
	A ₃	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X _{3n}	a ₃
		c ₃₁	c ₃₂	c ₃₃	c _{3n}	
	A _m	X _{m1}	X _{m2}	X _{m3}	X _{mn}	a _m
		c _{m1}	c _{m2}	c _{m3}	c _{mn}	
	b _j	b ₁	b ₂	b ₃	b _n	∑a _i =∑b _j

Slika 1. Fizikalni model standardnog TP



Sources		Nominal capacity [tons/hour]		Destinations				capacity - a _i [tons]	mean c _{ij} [€/ton]	median c _{ij} [€/ton]
				B ₁	B ₂	B ₃	B _n			
A ₁	NC ₁	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X _{1n}	a ₁ = (NC ₁ /∑NC _i) * ∑b _j	mean c _{1j}	median c _{1j}		
		C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C _{1n}					
A ₂	NC ₂	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X _{2n}	a ₂ = (NC ₂ /∑NC _i) * ∑b _j	mean c _{2j}	median c _{2j}		
		C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C _{2n}					
A ₃	NC ₃	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X _{3n}	a ₃ = (NC ₃ /∑NC _i) * ∑b _j	mean c _{3j}	median c _{3j}		
		C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C _{3n}					
A _m	NC _m	X _{m1}	X _{m2}	X _{m3}	X _{mn}	a _m = (NC _m /∑NC _i) * ∑b _j	mean c _{mj}	median c _{mj}		
		C _{m1}	C _{m2}	C _{m3}	C _{mn}					
		∑NC _i	b ₁	b ₂	b ₃	b _n	demand - b _j [tons]			

x_{ij} [tons]; c_{ij} [€/ton]

Slika 2. Fizikalni model proširenog TP

Standardni model transportnog problema je proširen s tri dodatna kriterija: nominalni kapaciteti asfaltnih baza, srednja vrijednost cijena transporta i medijan vrijednost cijena transporta. MCS program funkcionira tako da se prilikom unošenja ulaznih parametara u model TP uzmu u obzir svi potencijalni izvori (asfaltne baze), zatim riješi taj inicijalni model, a potom izvrši sortiranje modela prema dodanim kriterijima (srednja vrijednost c_{ij} , medijan vrijednost c_{ij} i nominalni kapaciteti izvora). Sortiranje se napravi za kriterije srednje vrijednosti i medijan vrijednosti od najniže vrijednosti ka najvećoj, a zatim se pojedinačno isključuju izvori koji daju najveće vrijednosti spomenutih kriterija i rješavaju modeli sve do modela sa 2 izvora i zadanim/konstantnim brojem odredišta n . Kod provjere kriterija nominalnog kapaciteta sortiranjem modela se vrši od najvećeg kapaciteta ka najmanjem, te se onda p uklanjaju izvori koji imaju najmanji nominalni kapacitet i rješavaju modeli sve do modela s 2 izvora i zadanim/konstantnim brojem odredišta n . Rezultat provjere prema proširenom TP je matrica rješenja gdje je optimalno rješenje najniža vrijednost ($\min Z$) [6]:

		criteria		
		mean cij	median cij	nom cap
models	m/n	Z_i	Z_i	Z_i
	m-1/n	Z_{m-1}^{mean}	Z_{m-1}^{median}	$Z_{m-1}^{\text{nom cap}}$
	m-2/n	Z_{m-2}^{mean}	Z_{m-2}^{median}	$Z_{m-2}^{\text{nom cap}}$
	⋮	⋮	⋮	⋮
	2/n	$Z_{m=2}^{\text{mean}}$	$Z_{m=2}^{\text{median}}$	$Z_{m=2}^{\text{nom cap}}$

Slika 3. Matrica rješenja MCS

Koristeći MCS program autor je proveo simulaciju TP modela s 10 izvora i 10 odredišta, a gdje su ulazni parametri uzeti s konkretnog slučaja iz prakse. Variranjem ulaznih parametara simulirana su 4 slučaja TP sa 100 simuliranih situacija. U prvom setu simulirani su slučajevi TP kada kapaciteti izvora i potražnja odredišta značajno variraju međusobno, i kada su odredišta relativno međusobno raspršena; u drugom setu (koji je izveden iz prvog) simulirani su slučajevi kada kapaciteti izvora ne variraju tako značajno; u trećem setu simulirani su slučajevi kada kapaciteti izvora i potražnja odredišta značajno međusobno variraju, ali su odredišta zbijenija; i u četvrtom setu simulirani su slučajevi kada kapaciteti izvora značajno međusobno variraju, no potražnja odredišta je ujednačenija i odredišta nisu međusobno značajno raspršena.

Rezultati simulacija su pokazali kako je ova višekriterijska provjera MCS korisna i nužna jer osigurava iznalaženje optimalnog rješenja TP za funkciju cilja minimalnih troškova transporta. Uštede u odnosu na inicijalni model su od 0,5-4%, te je samo u 10% slučajeva inicijalni model bio taj koji je ponudio optimalno rješenje, a osim toga MCS olakšava unos potrebnih informacija u početni model TP.

U daljnjem radu autor namjerava sagledavanjem kompletnog procesa razviti cjeloviti matematički i računalni model koji transportni problem dodatno proširuje i uvažava veliki nerazmjer učinaka glavnih dijelova procesa (proizvodnja asfalta ima značajno veći učinak od odvoza i ugradnje, a i značajna je razlika učinka transporta i ugradnje asfalta). Simulacijom slučajeva proširenih transportnih problema, mijenjanjem ulaznih parametara, postaviti će se optimalni odnos učinaka spomenutih glavnih dijelova ukupnog procesa, i to je glavni cilj ovoga istraživanja.

Literatura:

- [1] Dobrenić, S. 1978: Operations research, Faculty of organization and informatics, Varazdin, Croatia
- [2] Taha, H.A.;Taha HA 1997: Operations research: an introduction, Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey, NJ
- [3] Reeb, J.E.;Leavengood S.A. 2002: Transportation problem: a special case for linear programming problems, Vol. Iss. pp 1-35
- [4] Kumar, Amit;Kaur Amarpreet 2012: Optimization for different types of transportation problems with fuzzy coefficients in the objective function, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, Vol. 23, Iss. 5, pp 237-248
- [5] Jurecka, W.;Zimmermann H.J. 1972: Operations research im Bauwesen: Optimierung und Entscheidung von Ingenieurproblemen, Springer-Verlag, Berlin
- [6] Galić, Mario;Dolaček-Alduk Zlata;Završki Ivica 2013: The importance of additional criteria in solving transportation problem, Creative Construction Conference 2013, Budapest, editors: Skibniewski M, Hajdu M

107 - PONAŠANJE NESEIZMIČKI PROJEKTIRANIH ARMIRANO BETONSKIH OKVIRA SA ZIDANIM ISPUNOM PRI HORIZONTALNOM CIKLIČKOM OPTEREĆENJU

Goran Gazić (ggazic@gfos.hr)
Vladimir Sigmund (sigmund@gfos.hr)
Sveučilište J.J Strossmayera u Osijeku; Građevinski fakultet

Sažetak

U radu je dan prikaz dijela rezultata ispitivanja jedanaest skaliranih, jedno rasponskih-jedno etažnih, neseizmički projektiranih armirano betonskih okvira sa zidanim ispunom (u nastavku teksta *uokvireno zide*). Provedenim ispitivanjima sagledan je utjecaj različitih parametara uokvirenog zida na nosivost i ponašanje sustava prilikom horizontalnog cikličkog opterećenja u ravnini. Na temelju rezultata kvantitativno je opisan doprinos pojedinih parametara nosivosti, stabilnosti, lokalnom i globalnom ponašanju.

1. Uvod.

Sustav *uokvireno zide* uobičajen je kompozitni konstruktivni sustav za prijenos opterećenja kod niskih i srednje visokih konstrukcija i kao takav čest je u područjima srednje i visoke seizmičnosti. Iako najčešće nije projektiran kao jedinstven nosivi sustav, spoznaje o ponašanju pri djelovanju potresa nisu pratile ekspanziju njegove primjene. Općenito, s gledišta novih seizmičkih propisa [2], dani su načini za izbjegavanje neželjenih efekata koje može uzrokovati ispun, dok se eventualni pozitivni učinci ne razmatraju. Opažanja nakon nedavnih jakih potresa [3], [4], [5] ukazuju na potrebu sagledavanja i pozitivnih učinaka ispuna, koji mogu biti presudnog karaktera, a omogućavaju i uštede u izvedbi. Nedostaci sustava *uokvireno zide*, naročito kod *slabih* neseizmički projektiranih okvira, te činjenica da upravo ovakav tip nosivog sustava tvori većinu graditeljskog fonda diljem svijeta, ukazuju na potrebu klasifikacije navedenog sustava te razvoj inženjerski prihvatljive metode procjene ponašanja i nosivosti, a naročito sukladno modernim načelima potresnog inženjerstva [2] i projektiranju prema očekivanom ponašanju.

2. Opis uzoraka i provedenog ispitivanja.

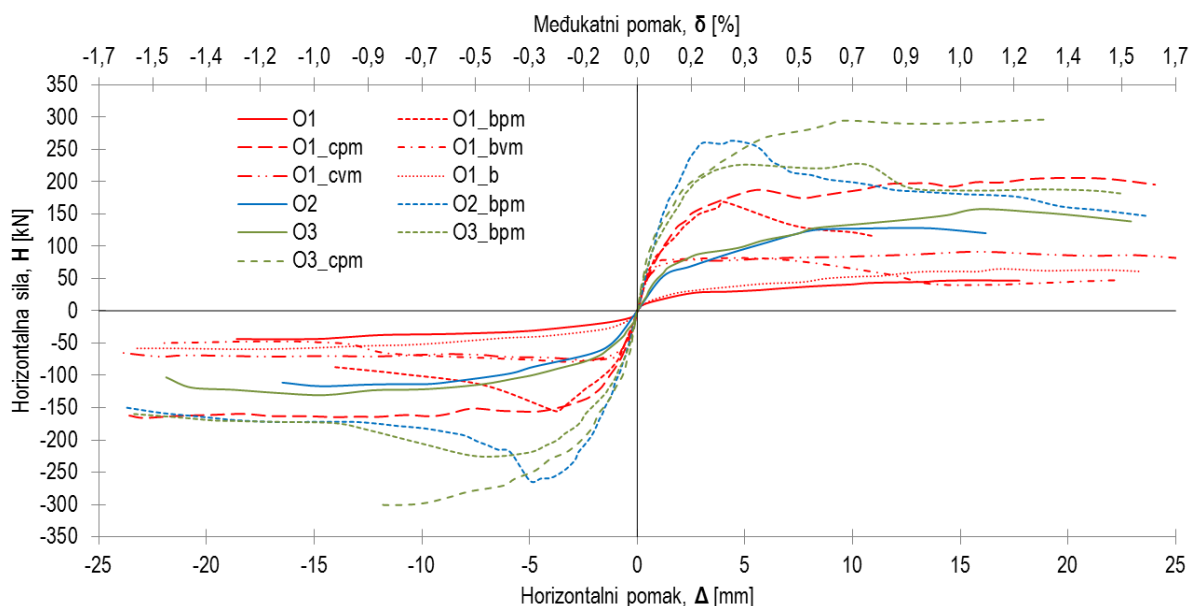
Promatrani parametri sustava *uokvireno zide* podijeljeni su u dvije glavne grupe: (1) parametri okvira i (2) parametri ispuna, čijom je kombinacijom dobiveno ukupno jedanaest uzoraka, tablica 1. Parametri okvira određeni su na temelju odnosa visine i duljine (α), momenta tromosti stupova i greda (β), te koeficijenta armiranja stupova i greda (ρ_s i ρ_G), čime su definirane tri osnovne skupine uzoraka. Prilikom izvedbe ispuna korištene su po dvije vrste zidnih elemenata (blok opeka i puna opeka) i morta (produžni i vapneni), pri čemu se, na temelju određenih mehaničkih karakteristika, ispuna može kategorizirati kao jaka i slaba. Svi uzorci izvedeni su u mjerilu 1:2, te nakon postavljanja u čelični reaktivni okvir, podvrgnuti konstantnom vertikalnom i horizontalnom cikličkom opterećenju u ravnini do sloma. Vertikalnim opterećenjem simulirana je težina gornjih etaža, a vrijednost je određena sa 30% projektirane čvrstoće betona. Horizontalno opterećenje unošeno je u sustav s obje strane uzorka u smjeru težišne osi grede. Kontrola horizontalnog opterećenja vršena je u dva koraka: (1) u području malih deformacija (do 0,1 % međukatnog pomaka) primjenjena je kontrola sile i nakon toga (2) kontrola pomaka do sloma. Svaki korak opterećenja ponovljen je dva puta kako bi se obuhvatio utjecaj degradacije nosivosti i krutosti. Mjereni su horizontalni pomaci sustava na krajevima grede te promjena duljine dijagonale okvira i ispuna. Pojava i razvoj pukotina praćena je vizualno i 3D optičkim mjernim sustavom ARAMIS. Svi uzorci izvedeni su u kontroliranim uvjetima od strane kvalificiranog osoblja, kako bi odgovarali stvarnoj građevinskoj praksi.

Tablica 1. Prikaz ispitanih uzoraka.

Uzorak	Tip okvira	Tip zidanog ispuna	Tip morta
(1) O1 (2)*	O1	-	-
(2) O1_bpm	O1	Blok opeka	Produžni (1:1:5)
(3) O1_cpm	O1	Puna opeka	Produžni (1:1:5)
(4) O1_bvm	O1	Blok opeka	Vapneni (1:3)
(5) O1_cvm	O1	Puna opeka	Vapneni (1:3)
(6) O1_b	O1	Blok opeka	-
(7) O2	O2	-	-
(8) O2_bpm	O2	Blok opeka	Produžni (1:1:5)
(9) O3	O3	-	-
(10) O3_bpm	O3	Blok opeka	Produžni (1:1:5)
(11) O3_cpm	O3	Puna opeka	Produžni (1:1:5)

3. Prikaz rezultata ispitivanja.

Rezultati ispitivanja za oba smjera opterećenja, u obliku envelope nosivosti (primarnih krivulja), prikazani su na Slici 1. Primarne krivulje konstruirane su na temelju parova vrijednosti sila-pomak za prvi korak opterećenja svakog ciklusa. U odnosu na referentne, prazne okvire, uočen je doprinos ispuna, neovisno o tipu, maksimalnoj nosivosti i krutosti sustava *uokvireno zide*. Analizom rezultata može se ustvrditi da je dominantan parametar maksimalne nosivosti sustava tip morta, dok je za ponašanje nakon doseganja maksimalne nosivosti odgovoran tip zidnog elementa.



Slika 1. Prikaz primarnih krivulja ispitanih uzoraka.

4. Zaključak

Ispitano je jedanaest uzoraka *uokvirenog zida*, pri čemu su uzorci svrstani u tri grupe ovisno o karakteristikama okvira. Doprinos pojedinih parametara ispuna određen je u odnosu na vrijednosti dobivene ispitivanjem praznih okvira, s ciljem utvrđivanja mehanizma otkazivanja nosivosti. Kvantitativan doprinos pojedinih parametara definiran je u odnosu na prosječne vrijednosti obaju smjerova ispitivanja.

Najveći doprinos ispuna maksimalnoj nosivosti uočen je kod grupe uzoraka *O1* konstruiranih od jakog ispuna. Neovisno o vrsti primijenjenog zidnog elementa, ostvareno je povećanje u iznosu od 3,6 puta u odnosu na referentni okvir. U slučaju slabog ispuna, također neovisno o vrsti zidnog elementa, ostvareno povećanje nosivosti znatno je niže, te iznosi 1,8 puta. Kod uzoraka *O2* grupe, ispitan je samo utjecaj jakog ispuna sačinjenog od produžnog morta i blok opeke. Dobiveno povećanje nosivosti iznosi 2,2 puta u odnosu na prazan okvir. Uzorci *O3* grupe, koji su također sačinjeni od jakog ispuna, bilježe doprinos od 1,6 i 2,1 puta, pri čemu se potonji porast odnosi na uzorak konstruiran od pune opeke.

Prema navedenom, može se ustvrditi kako je čvrstoća morta (zida) dominantan parametar za nosivost sustava *uokvireno zide*.

Ponašanje uzoraka dominantno je određeno vrstom zidnog elementa. Tako je, neovisno o čvrstoći morta, kod uzoraka konstruiranih od blok opeke izražena degradacija nosivosti i krutosti nakon doseganja maksimalne nosivosti. Uzrok degradacije je pojava drobljenja ispuna u uglovima i na kontaktnim plohamo okvir-ispuna, indicirajući na razvoj ekscentričnih tlačnih dijagonala u ispunu. Po doseganju međukatnog pomaka od oko 1% gubi se doprinos ispuna nakon čega u prijenosu opterećenja sudjeluje samo okvir. Spomenuta degradacija izostaje kod uzoraka konstruiranih od pune opeke, gdje nema degradacije nosivosti po doseganju maksimalne vrijednosti. Uočeni oblik sloma ispuna može se klasificirati kao kombinacija dijagonalnog tlačnog i posmičnog sloma. Iako se radi o slabim okvirima, slom ispuna nije uzrokovao slom okvira.

Zahvala

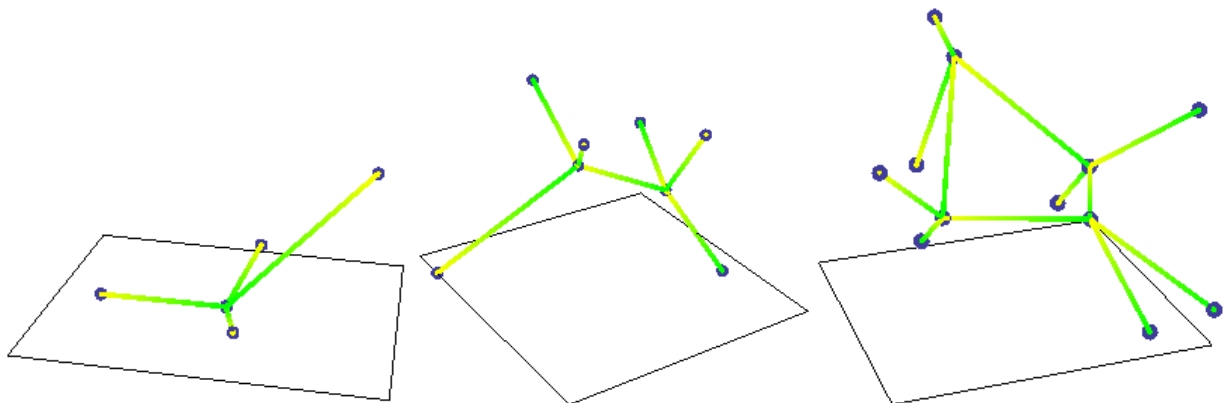
Autori se zahvaljuju na potpori istraživanju koju daje Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta RH, u okviru projekta "Seizmičko ponašanje okvira s ispunom", pod brojem 149-1492966-1536.

108 - PROBLEM KONVERGENCIJE NEKIH NUMERIČKIH METODA PRI ODREĐIVANJU OBLIKA PREDNAPETIH MREŽA KABELA

*Petra Gidak (pgidak@grad.hr)
Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet*

Numeričke metode sadržane unutar programa za analizu nelinearnog ponašanja konstrukcija, najčešće nisu pogodne za proračun oblika vlačnih konstrukcija. Naime, nakon određivanja geometrije rubnih elemenata vlačne konstrukcije, valja iteracijski pronaći potreban oblik, polazeći od odabranog početnog položaja. Različite, standardne numeričke metode osjetljive su na izbor toga položaja, a područja konvergencije u kojem ti položaji leže najčešće imaju obilježje fraktala. Zbog toga postoje numeričke metode specifične za problem traženja oblika koje daju rješenje pogodno za nastavak klasičnim nelinearnim postupcima proračuna. Primjerice, jedna od najpopularnijih jest metoda gustoće sila kojom se nelinearan problem traženja oblika može linearizirati. Dobiveni sustav jednažbi lako je rješiv, a konvergencija metode vrlo je stabilna čak i uz lošiji izbor početnog položaja elemenata. Protivno tome, ako se nelinearni sustav rješava klasičnim Newton-Raphsonovim iteracijskim postupkom, konvergencija izrazito ovisi o izboru početne aproksimacije koja mora ležati unutar unaprijed nepoznatog područja konvergencije. I kod drugih iteracijskih algoritama postoje slični problemi s konvergencijom. Istraživanjem se želi pojasniti ponašanje temeljnih metoda proračuna oblika prednapetih mreža kabela s obzirom na postupke rješavanja, stabilnost i brzinu konvergencije postupka.

Predmet rada su prednapete mreže kabela kao vrsta vlačnih konstrukcija. Odabrana su tri primjera mreže (Slika 1.) koji se razlikuju po broju stupnjeva slobode, odnosno broju slobodnih čvorova. Uvjeti ravnoteže (izraz 1) zapisuju se na mjestima slobodnih čvorova i zajedno čine sustav jednažbi koji je izrazito nelinearan. Postavljena je hipoteza da područje konvergencije sustava s više stupnjeva slobode ima obilježje fraktala. Primjenom prikladnih nelinearnih proračuna takvo se područje može proširiti i izglatiti. Fraktali u matematici nastaju uzastopnim ponavljanjem istog matematičkog postupka a osnovno im je svojstvo samosličnost.



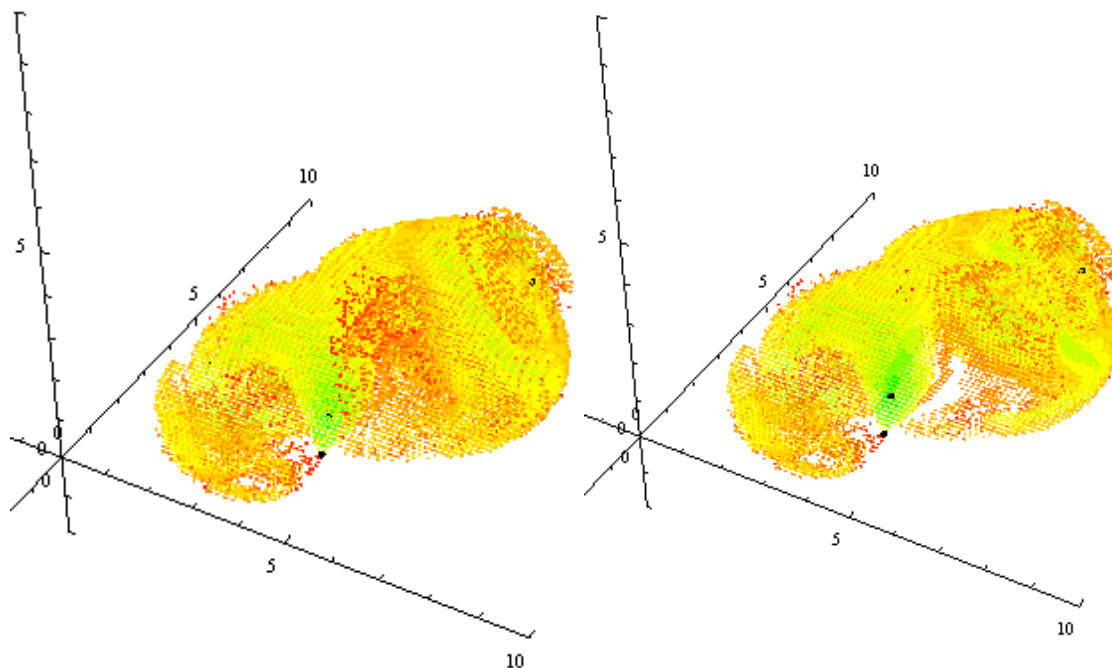
Slika 1. Tri odabrana primjera mreža kabela koji se razlikuju po broju stupnjeva slobode

$$\begin{aligned} \sum_j^m \frac{(x_j - x_i)}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}} S_{ij} &= 0 \\ \sum_j^m \frac{(y_j - y_i)}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}} S_{ij} &= 0 \\ \sum_j^m \frac{(z_j - z_i)}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}} S_{ij} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

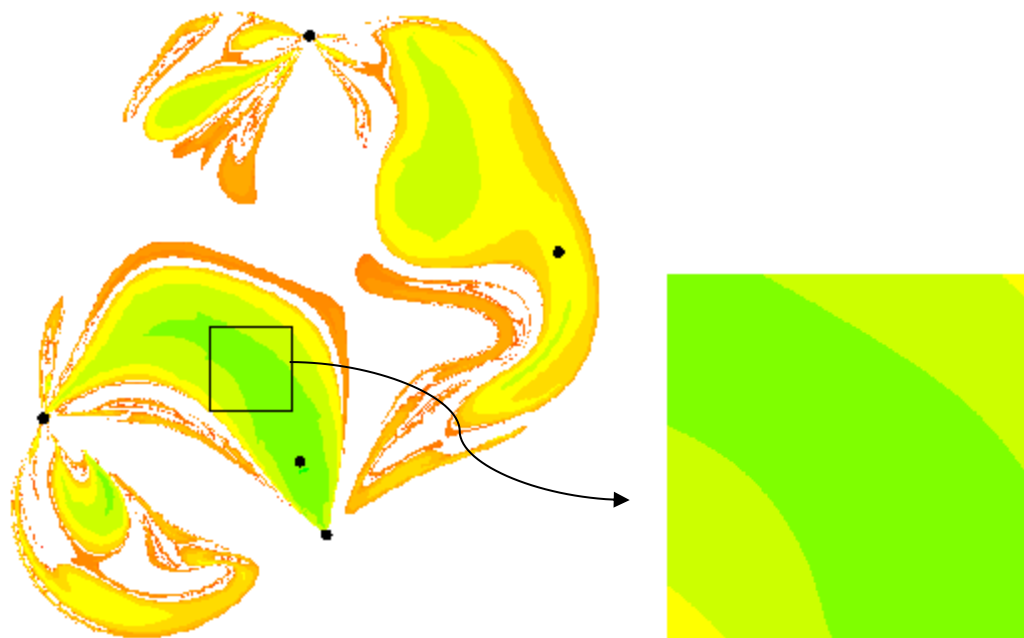
Ciljevi istraživanja su:

- utvrditi utjecaj izbora metode rješavanja nelinearnog sustava jednažbi ravnoteže na brzinu konvergencije rješenja
- odrediti ponašanje osnovnih metoda proračuna s obzirom na odabrani početni položaj

Za potrebe rada napravljen je programski kod koji je omogućio analizu osjetljivosti metoda rješavanja nelinearnog sustava jednadžbi na početnu aproksimaciju rješenja. Za svaki pixel unutar odabranog područja koji je označavao jednu aproksimaciju rješenja, ispitivala se konvergencija metode. Ako je metoda konvergirala taj se pixel označio bojom koja ovisi o broju koraka koji je bio potreban da bi se došlo do rješenja sustava. U protivnom pixel ostaje nebojan (bijel). Skup obojenih pixela predstavlja područje konvergencije iterativnog postupka koji se analizira (Slika 3.). S obzirom na različitu boju pixela unutar područja konvergencije moguće je analizirati brzinu konvergencije. Uzastopnom relaksacijom osnovnih numeričkih metoda (metode Newton-Raphson i modificirane metode Newton-Raphson) područje konvergencije se proširilo ili se postupak ubrzao.



Slika 2. Prikaz 3D fraktalnog područja konvergencije metode Newton-Raphson primijenjena na traženje oblika mreže s jednim slobodnim čvorom (unutarnja područja divergencije jasno vidljiva)



Slika 3. Područje konvergencije metode Newton-Raphson prerezano ravninom $Z=0$ i detalj područja

Analizom područja konvergencije u ravnini $Z=0$ uočava se da je samosličnost svojstvo područja konvergencije (Slika 3).

Literatura

- [1] J. Dvornik, D. Lazarević: *Fractals and formfinding – magic with real numbers*, Engineering and modelling **16** (2003), 1-2,1-11.

109 - PLATFORMA ZA DINAMIČKA ISPITIVANJA

Nikola Grgić (nikola.grgic@gradst.hr)

Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Jedna od najučinkovitijih i najpouzdanijih tehnika eksperimentalnog istraživanja utjecaja potresa na građevine jesu ispitivanja na potresnim (dinamičkim) platformama (eng. shaking table). To je vrlo složena i skupa oprema s kojom se može najtočnije simulirati stvarno ponašanje i procijeniti sigurnost građevine pri potresu. Pri tome je moguća reprodukcija proizvoljnih pomaka, brzina i ubrzanja na realnu (prototip) ili umanjenu građevinu (model), a time i simulacija stvarnih potresa.

Dinamičke su platforme u tlocrtu najčešće kvadratne ili pravokutne, s osloncima koji mogu imati do 6 stupnjeva slobode (3 pomaka u smjeru osi x, y, z i 3 rotacije oko tih osi), te su najčešće ukopane u tlo. Platforme za ispitivanje građevina najčešće imaju do 3 slobodna pomaka (dva su horizontalna i jedan vertikalna), a brojne platforme imaju samo jedan pomak (u horizontalnoj ravnini). U Japanu i SAD-u se danas grade velike potresne platforme s nosivošću većom od 10.000 kN na kojima se mogu ispitivati stvarne zgrade veće od deset etaža. U svakom slučaju potrebno je poticati dinamička ispitivanja stvarnih građevina (prema veličini te svojstvima gradiva i načina gradnje). Modelska dinamička ispitivanja mogu poslužiti pri istraživanjima relativnih učinaka potresa na građevine i za provjeru suvremenih nelinearnih numeričkih modela za dinamičku analizu konstrukcija.

U tekstu što slijedi ukratko je opisana nedavno izgrađena i ispitana platforma za potresna ispitivanja Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu smještena u laboratoriju u Žrnovnici pokraj Splita. Nastala je kao posljedica uvjerenja i ustrajnosti da se ta vrlo sofisticirana oprema u nedostatku golemih financijskih sredstava može izraditi vlastitim snagama i znanjem. Veće potresne platforme u Europi ima samo deset država, a ta platforma prema tehničkim karakteristikama i mogućnostima može se svrstati među prvih pet. Dimenzije su joj 4 x 4 m i nosivost 200 kN, a ima mogućnost proizvoljnog ubrzanja (pomaka, brzina) u horizontalnom smjeru. Očekuje se da će platforma znatno pridonijeti izobrazbi studenata iz područja potresnog inženjerstva spoznajama o stvarnom ponašanju građevina u potresnim uvjetima, provjeri suvremenih numeričkih modela za dinamičku analizu svih tipova građevina (konstrukcija) te potaknuti znanstveno istraživački rad i praktičnu primjenu rezultata istraživanja. Točan je broj dosad izgrađenih potresnih platformi u svijetu nepoznat, a posebno su nepoznate i nepouzdate njihove tehničke karakteristike i stvarne mogućnosti. Veće platforme se smatraju one koje imaju tlocrtne izmjere barem 2 x 2 m i nosivosti od 40 kN, a u svijetu ih je izgrađeno približno 115, od čega najviše u Japanu (27) i SAD-u (16). U Europi ih ima ukupno 20 (pet u Italiji, tri u Turskoj i Francuskoj, dvije u Makedoniji i Grčkoj te po jedna u Njemačkoj, Nizozemskoj, Rusiji, Portugalu i Španjolskoj). Pritom je tek sedam platforma onih koje su veće od 4 x 4 m i nosivosti od 200 kN. Mnoge platforme u svijetu nisu u funkciji ili su im deklarirane mogućnosti znatno smanjene. Neke od velikih potresnih platformi prikazane su na Slici 1.



Slika 1. Potresna platforma u NESS-u na Kalifornijskom sveučilištu u San Diego u SAD-u (lijevo) i u NIED-u, u prefekturi Hygo u Japanu (desno)

Platforma u Žrnovnici smještena je u dvoranu tlocrtnih dimenzija 15 x 30 m visine 12 m. Konstrukciju gornje plohe platforme, ležajeve odnosno njihala (koeficijent trenja $\leq 0,02$), vodilice te pogonski cilindar ($D = \pm 200$ mm) izradio je AdriaWinch d.o.o. iz Splita, temeljnu betonsku školjku AGZ d.o.o. iz Omiša, servo razvodnik (D 684) proizveden je od tvrtke Moog GmbH iz Njemačke, a pumpni agregat sa zupčastom pumpom ($Q = 350$ l/min, $p = 140$ bara), spremnici za ulje (300 l + 200 l), nepovratni ventil i ostale hidrauličke komponente, davači ubrzanja i hoda,

energetski ormar, upravljački pult, prijenosno računalo, kontrolor na bazi PC-a te sustav za akviziciju podataka, dobavljeni su od tvrtki iz Srbije, Njemačke i Hrvatske.

Gornja je "ploča" platforme zavarena sandučasta čelična ljuska s potrebnim ukrućenjima tankih limova. Nastojalo se sa što manjom masom platforme postignuti što veću krutost i otpornost kako bi se osiguralo osobito poželjno ponašanje pri dinamičkim vibracijama. Ukupna je masa platforme približno 4 tone. Platforma je oslonjena na posebno konstruirane mehaničke ležajeve - njihala, koji omogućuju horizontalne pomake s vrlo niskim koeficijentom trenja na ležajevima (oko 0,02). Bočni su horizontalni pomaci platforme spriječeni uzdužnim "vodilicama". Horizontalna sila s pogonskog cilindra prenosi se na platformu u njezinom težištu. Platforma je smještena u masivnoj krutoj armirano betonskoj školjci koja prenosi dinamičke vibracije (reakcije) platforme na okolno tlo. Vanjski izgled platforme te pogled na njene ukopane dijelove prikazan je na Slici 2.



Slika 2. Vanjski izgled platforme (lijevo) te ukopani dijelovi platforme (desno)

Platforma omogućuje ispitivanja stvarnih građevina i njihovih modela tlocrtnih izmjera do 4 x 4 m, mase do 20 tona i visine do 9 m. Smjer gibanja je horizontalan, najveća nosivost je 200 kN, najveći pomaci su ± 200 mm, najveće ubrzanje 5 g i najveća frekvencija 30 Hz. Upravlja se pomoću računala koristeći TVC (Three Variable Control) algoritam, a željena funkcija ubrzanja je proizvoljna. Međusobno su ovisni težina ispitnih uzoraka, pomaci ubrzanja i frekvencije oscilacija platforme. Moguće je zadavati proizvoljni oblik ubrzanja platforme (harmonijsko, "trokutasto", "pravokutno" i stvarni potres). Zadana i ostvarena ubrzanja platforme imaju visoku razinu podudarnosti.

Platforma omogućuje široku primjenu u području potresnog inženjerstva poput, primjerice, već spomenute izobrazbe studenata preddiplomskih, diplomskih i doktorskih studija u području građevinarstva i arhitekture i razvoj znanstveno-istraživačkog rada. Također pridonosi boljem poznavanju ponašanja realnih konstrukcija (zgrada, mostova, javnih građevina, tornjeva, silosa, tunela i sl.) pri djelovanju potresa, odnosno racionalnije i pouzdanije građenje u seizmičkim područjima.

Literatura:

- [1] Wicander, R., Monroe, J. S.: Essentials of Geology, Laboratory Manual in Physical Geology (9th Edition), AGI-American Geological Institute (1999);
- [2] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Potres>;
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Earthquake_haking_table;
- [4] <http://nees.ucsd.edu/facilities/shaketable.shtml>
- [5] <http://nees.ucsd.edu/facilities/shaketable.shtml>;
- [6] <http://www.bosai.go.jp/e/facilities/earthquake.html>

110 - 'PERFORMANCE CONCEPT' – RAZVOJ I IMPLEMENTACIJA U GRADITELJSTVU

*Ivona Gudac (ivona.gudac@uniri.hr)
prof.dr.sc. Diana Car – Pušić (dpusic@uniri.hr)
dr.sc. Ivan Marović (ivan.marovic@uniri.hr)
Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet*

'Performance concept' u gradnji predstavlja pristup gradnji na temelju traženih zahtjeva koje izgrađeni objekt mora ispunjavati. 'Performance concept' nije nova ideja, a može se pratiti tisućama godina unatrag. Kralj Hamurabi napisao je prvi propis o gradnji kroz perspektivu zahtjeva korisnika u Hamurabijevom zakoniku pred gotovo 4.000 godina, gdje se u članku 229 navodi da je "graditelj izgradio kuću za čovjeka, a ako se izgrađena kuća sruši i ubije vlasnika, graditelj će biti ubijen" [1]. Iako propis određuje konstrukcijsku stabilnost, možemo govoriti o počecima gradnje na temelju zahtjeva korisnika. Oko 2.000 godina kasnije, rimski arhitekt Marko Vitruvije napisao je "Deset knjiga o arhitekturi" u kojima je dao detaljan opis o tome kakve karakteristike objekt treba imati kako bi zadovoljio zahtjeve korisnika [2].

Iako je svijest o uporabi izvedenog objekta vrlo stara, tek je u ovom stoljeću metodologija pristupa formalno razvijena i primijenjena. Općenitu ideju pristupa sazeo je Gibson u definiciji [3] 'pristup gradnji na temelju traženih zahtjeva je praksa razmišljanja i rada za krajnji cilj, a ne razmišljanje o sredstvima kojima se cilj postiže'. Takav pristup gradnji fokusira se na postizanje ciljanih karakteristika određenih za potrebe korisnika. Radi se o definiranju zahtjeva i svrsishodnosti objekta, njegovog dijela, odnosno građevinskog proizvoda ili usluge, od samog početka projektiranja [4]. Korisnički zahtjevi mogu uključivati različite aspekte, kao što su tehnički, psihološki, fiziološki i sociološki. Ovi aspekti opisuju se kao ciljevi koje je potrebno ispuniti kroz gradnju. O njima se prvo razmišlja u kvalitativnom smislu, kao ciljane karakteristike za projektni tim - objekt treba osigurati prikladan standard (tehničke, psihološke, fiziološke i sociološke naravi) za planirane aktivnosti ili buduće stanare. Kroz gradnju stručnjaci zahtjeve korisnika definiraju u izvedbene zahtjeve u kvantitativnom smislu. Potrebne karakteristike objekta mogu se definirati pomoću različitih kriterija, od kojih jedan može biti vrijednost nekretnine.

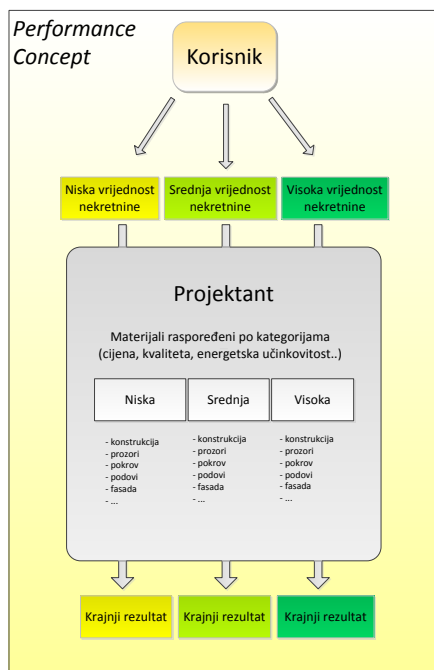
Urbana područja razvijene su regije koje okružuju grad. Ona uključuju višu gustoću naseljenosti, društvene i gospodarske organizacije i transformaciju prirodnog okoliša u izgrađeni u kojem se isprepliću svi elementi u inženjerskom, funkcionalnom i organizacijskom smislu. Neke ključne značajke urbanog područja su konstantni rast, razvoj i širenje, koje slijede stalne promjene poslovanja, društvenih i funkcionalnih sposobnosti. Pluralizam privatnih i javnih interesa i ciljeva u upravljanju urbanim područjima čini proces odlučivanja mnogo složenijim. U takvoj složenoj situaciji, u uvjetima ograničenih financijskih sredstava postoji potreba za djelomičnim uplitanjem u javni prostor. Neophodan uvjet za kvalitetno upravljanje urbanim područjem je poznavanje njegove vrijednosti. To se može postići određivanjem vrijednosti nekretnina u promatranom području. U javnom upravljanju urbanim područjima postoji stalna potreba za poznavanjem vrijednosti područja tj. vrijednosti nekretnina u svrhu pravilnog upravljanja i odlučivanja, posebno u projektima razvoja nekretnina.

Definiranje, razvoj i implementacija pristupa gradnji na temelju traženih zahtjeva u procjeni vrijednosti stambenih nekretnina mogla bi dati donositeljima odluka pravi alat za izradu kvalitetne i dosljedne odluke na temelju odgovarajućih podataka. Prema toj ideji stvoren je model za pristup gradnji na temelju traženih zahtjeva u procjeni stambenih nekretnina. Model je prikazan na Slici 1.

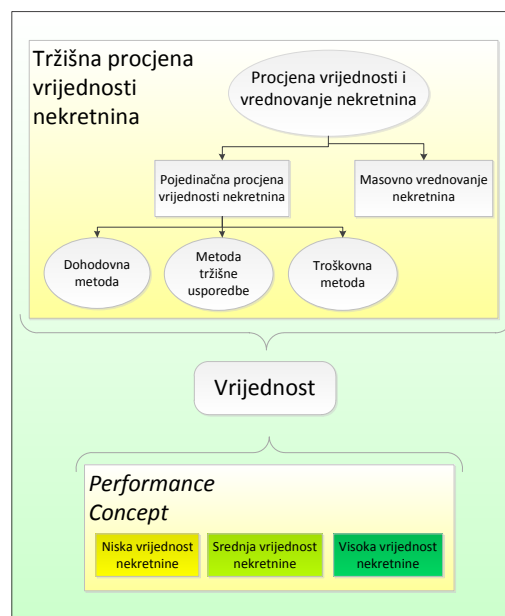
Ako se vrijednost imovine, kao kriterij, ograniči na tri različite razine - nisku, srednju i visoku - krajnji korisnik može odabrati željenu vrijednost imovine kao ishodišnu točku za izgradnju objekta. Izgrađeni objekt sastoji se od više ili manje neovisnih elemenata koji omogućuju neovisno donošenje odluka. Model prikazuje neke od elemenata koji se mogu svrstati pod navedenim vrijednosnim listama s obzirom na cijenu, kvalitetu ili čak i energetsku učinkovitost. Ako se ti elementi mogu kategorizirati prema navedenim listama, može se steći izvjesna prednost u upravljanju nekretninama za procjenu njihove vrijednosti i upravljanje objektima prema dobivenoj vrijednosti. Na primjer, srednja vrijednost objekta može se dobiti gradnjom s elementima iz odgovarajućeg popisa iz kategorije srednje vrijednosti elemenata, ali također može biti dobivena gradnjom s elementima iz drugih popisa (niska i visoka kategorija). Konačni cilj je uskladiti ukupnu vrijednost objekta traženoj vrijednosti, tj. traženim karakteristikama od strane korisnika.

Ovaj model bi se mogao koristiti u gradnji novih objekata, kao i kod rekonstrukcije starih. U početnim fazama procesa gradnje pristup nudi krajnjem korisniku priliku da definira ono što on očekuje od objekta kroz vlastito poimanje gradnje – ne nužno u „graditeljskim izrazima“. Stručnjaci u području graditeljstva (poput projektanta i/ili izvođača) prevode dobiveni skup zahtjeva u specifikaciju izvedbe i konačno se dobiva tehničko rješenje [5]. Kako su ciljevi procesa jasno definirani od samog početka ('objekt treba biti isporučen s takvom vrijednosti'), to će biti lakše preusmjeriti ulazne parametre u dobivanju krajnjeg rezultata. Model može biti primjenjiv kako na objekte tako i na elemente objekta ili njihovu rekonstrukciju.

Nakon procesa gradnje krajnji korisnik mora biti siguran da je tražena vrijednost objekta sukladna dobivenoj vrijednosti. Moguće metode ocjene zadovoljenosti zahtjeva prikazane su na Slici 2.



Slika 1. Model implementacije pristupa gradnji na temelju traženih zahtjeva u procjeni vrijednosti nekretnina



Slika 2. Prikaz verifikacije rezultata naspram traženih zahtjeva

Korištenje pristupa gradnji na temelju traženih zahtjeva u građevinskoj industriji omogućuje otvorenije natjecanje, promovira transparentnu nabavu i troškovno učinkovitu gradnju. Posebna primjena u gradnji sastoji se od prevođenja ljudskih potreba u zahtjeve korisnika, pretvarajući ih u tehničke zahtjeve izvedbe i kvantitativne kriterije koji ne diktiraju propisano rješenje, nego su sredstvo za istraživanje različitih alternativa. Odgovor na ove zahtjeve u raznim fazama (konceptualnoj, idejnoj i izvedbenoj) omogućuje isplativu gradnju objekata koji pružaju dugoročno zadovoljavajuće performanse. Gradnja na temelju traženih zahtjeva je sredstvo za poboljšanje profesionalnosti i usmjerenosti ka krajnjem korisniku u građevinarstvu.

Literatura

- [1] Gross, J. G.: Developments in the application of the performance concept in building, In 3rd International Symposium on Application of the Performance Concept in Building, Tel-Aviv, Israel, 1996.
- [2] Vitruvius Polio, M.: Deset knjiga o arhitekturi = De architectura libri decem (preveo s latinskog M. Lopac). Zagreb: Institut građevinarstva, 1997.
- [3] Gibson, E. J.: Working with the performance approach in building (CIB Report Publication 64), Rotterdam: International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), 1982.
- [4] Szigeti, F. & Davis, G.: Performance Based Building: Conceptual Framework (Final Report), Rotterdam: International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), 2005.
- [5] Tempelmans Plat, H. & Hermans, M.: Economic Benefits of the Application of the Performance Concept in Building (Phase 1: The Development of a Framework), Rotterdam: International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), 2001.
- [6] Lützkendorf, T., Speer, T., Szigeti, F., Davis, G., le Roux, P., Kato, A. & Tsunekawa, K.: A comparison of international classifications for performance requirements and building performance categories used in evaluation methods, In P. Huovila (Ed.), Performance based building, Finland: VTT – Technical Research Centre of Finland and RIL – Association of Finnish Civil Engineers, str. 61-80, 2005.
- [7] Spekkink, D.: Performance based design of buildings (Domain 3 Final Report), Rotterdam: International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), 2005.
- [8] Becker, R.: Research and development needs for better implementation of the performance concept in building, Automation in Construction, Vol. 8, str. 525-532, 1999.

111 - OGRANIČENJE OŠTEĆENJA ZIDANIH ISPUNA U AB OKVIRNIM KONSTRUKCIJAMA

*Sanja Hak (sanja.hak@grad.hr)
Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet*

Ograničenje oštećenja nekonstrukcijskih zidanih ispuna u AB konstrukcijama prouzročenih gibanjem tla zbog potresa od ključne je važnosti u prevenciji prekomjernih ekonomskih gubitaka i mogućih opasnosti za ljudske živote. Opažanja s terena nakon većih seizmičkih događaja ponavljano ukazuju na veliku seizmičku osjetljivost ispunskog zida, ne samo u starijim postojećim građevinama, nego i u AB okvirnim konstrukcijama koje su sagrađene u novije vrijeme. U posljednjih deset godina na prostoru Italije dogodilo se nekoliko snažnih potresa, primjerice u pokrajini Molise na jugoistoku Italije 2002. (Decanini et al. [1]), zatim je pogođen Abruzzo (L'Aquila) u središnjoj Italiji 2009. (Braga et al. [2]), a 2012. godine je zahvaćeno područje u Emiliji na sjeveru zemlje (Magenes et al. [3]). Uz ostale posljedice nakon potresa je uočen niz problema povezan s ponašanjem različitih tipova zidanih ispuna i načina gradnje koji se uobičajeno primjenjuju u seizmički aktivnim područjima u Italiji i drugim europskim zemljama. Primjeri zabilježenih oštećenja u ravnini, odnosno kombiniranih oštećenja u ravnini i izvan nje, prikazani su na Slici 1. (Abruzzo) i na Slici 2. (Emilia). Iako je u prošlosti proveden niz opširnih teorijskih i eksperimentalnih istraživanja vezanih uz ponašanje AB građevina s nekonstrukcijskom ispunom, te su u suvremene propise za projektiranje potresne otpornosti konstrukcija (npr., Eurocode 8 [4], New Zealand Standard [5]) donekle uključene pojedine mjere za sprječavanje oštećenja ispunskog zida. Razmjeri opaženih oštećenja upozoravaju da još nije uspostavljen jednostavan i učinkovit, praktičan postupak proračuna koji osigurava zadovoljavajuće ponašanje konstrukcije i odgovarajuću prevenciju oštećenja (i/ili otkazivanja) zidanih ispuna. S obzirom na širok raspon raspoloživih tipova zida i na neprekidne istraživačke napore usmjerene na mogućnosti poboljšano ponašanja u seizmičkim uvjetima uvođenjem novih proizvoda i inovativnih načina gradnje, primjena istog kriterija kontrole oštećenja za različite tipove ispune očigledno ne može uvijek na zadovoljavajući način osigurati postizanje potrebne razine sigurnosti bez prekomjernog utjecaja na nosivu konstrukciju.



Slika 1. Abruzzo (L'Aquila), Italija, 2009.



Slika 2. Emilia, Italija, 2012.

Motivirano opisanim zapažanjima, ovo istraživanje je usmjereno na detaljan razvoj kriterija proračuna u europskim [4] i talijanskim [6] propisima za projektiranje potresne otpornosti za AB okvirne konstrukcije s ispunskim zidom. Pozornost je posebice posvećena skupini zidanih ispuna široko rasprostranjenih u europskoj građevinskoj praksi koja predstavlja tradicijske tipove zida od opeke, pri čemu su zidovi ispune u potpunom kontaktu s okolnom okvirnom konstrukcijom. Glavni ciljevi istraživanja su usmjereni na (i) poboljšanje razumijevanja seizmičkog odgovora AB konstrukcija s ispunskim zidom projektiranih prema suvremenim propisima u ovisnosti o bitnim proračunskim parametrima i tipovima ispune, (ii) razvoj preporuka za detaljniji postupak provjere s namjerom poboljšane kontrole oštećenja ispunskog zida i (iii) priprema opširnog programa eksperimentalnih ispitivanja za određivanje potrebnih proračunskih parametara za određene tipove ispunskog zida koji su prethodno nedovoljno istraživani.

Prva dva glavna cilja ovog rada su postignuta opširnim parametarskim numeričkim proračunima tipskih konstrukcijskih sustava AB okvira s ispunskim zidom proračunatih prema važećim propisima. Na numeričkim modelima, koji su kalibrirani s obzirom na prikaz ispunskog zida tlačnom dijagonalom temeljem postojećih eksperimentalnih rezultata dobivenih u ranijim istraživanjima [7], proveden je niz nelinearnih dinamičkih vremenskih analiza koristeći stvarne potresne zapise. Odgovor konstrukcije prvenstveno je promatran s obzirom na međukatne pomake koji su usko povezani s oštećenjima ispunskog zida. Proučen je utjecaj različitih proračunskih parametara na seizmički odgovor konstrukcije, uključujući visinu zgrade, intenzitet potresne pobude, klasu duktilnosti i tip ispune, a pozornost je posebice usmjerena na odgovarajuće ponašanje ispune [8]. Usvojeni kriteriji za ocjenu postignutih razina ponašanja u ovisnosti o odgovoru ispunskog zida su prikazani u Tablici 1. S obzirom da se u sadašnjoj projektantskoj

praksi, koja se još uvijek uglavnom temelji na proračunu sila (za razliku od proračuna pomaka), provjera AB konstrukcija s ispunskim zidom u pravilu se vrši na odgovarajućim okvirima bez ispune, posebna je pozornost usmjerena na ograničenja pomaka konstrukcije u postojećim propisima i njihove učinke na odgovor ispunskog zida. Predloženo je uvođenje poboljšanih graničnih međukatnih pomaka u ovisnosti o različitim proračunskim uvjetima temeljem procjene očekivanih pomaka konstrukcije s ispunskim zidom za proračunate pomake konstrukcije bez ispunskog zida, s ciljem postizanja učinkovitije kontrole oštećenja.

Tablica 1. Međukatni pomaci AB okvira za razine ponašanja ispunskog zida

Međukatni pomak [%]	Granično stanje			
	Tip ispune	Uporabljivost	Ograničenje oštećenja	Krajnje
Nearmirana ispuna	0.20	0.30	1.00	
Slabo armiran ispuna – Šipke u sljubnici	0.23	0.35	1.00	
Slabo armiran ispuna – Mrežica u sloju žbuke	0.33	0.50	2.20	

Vodeći računa o povezanosti oštećenja ispunskog zida opterećenjem u njegovoj ravnini i izvan nje te o značajnom smanjenju otpornosti zida na djelovanja izvan ravnine zbog prethodnog opterećenja u ravnini, ovo istraživanje je usmjereno prvenstveno na odgovor konstrukcije i ograničenje oštećenja u ravnini. Unatoč tome, u rad je uključen osvrt na važeće propise za provjeru stabilnosti nekonstrukcijskih elemenata izvan ravnine i predložen je pojednostavljen postupak određivanja otpornosti ispunskog zida na djelovanja izvan ravnine uzimajući u obzir smanjenje čvrstoće zbog prethodnog oštećenja u ravnini [9]. Provjera mogućih lokalnih učinaka prouzročenih zidom, prvenstveno na AB stupovima, također je uzeta u obzir i uveden je postupak za određivanje proračunskih poprečnih sila stupova u ovisnosti o očekivanim međukatnim pomacima konstrukcije [10].

Pored toga, u okviru ovog rada je pripremljen program eksperimentalnih ispitivanja koja se provode na Odsjeku za građevinarstvo i arhitekturu Sveučilišta u Paviji i pri istraživačkom centru EUCENTRE, s ciljem da se predloženi postupci proračuna u budućnosti dopune dodatnim eksperimentalnim rezultatima i novim zapažanjima. U tu svrhu projektiran je novi eksperimentalni postav za ispitivanje jednoetažnih, jednorasponskih AB okvira s ispunskim zidom mjerila 1:1 u ravnini i izvan ravnine te su proračunati odgovarajući uzorci okvirne konstrukcije.

Zahvala

Ovo istraživanje je provedeno na Sveučilištu u Paviji i pri Eucentru u Paviji u Italiji, pod pokroviteljstvom udruge ANDIL Assolaterizi i u okviru izvršnog projekta DPC-RELUIS 2010-2013, zadatak AT2-1.3. Stoga autor zahvaljuje na pruženoj financijskoj potpori.

Literatura

- [1] Decanini, L.D., De Sortis, A., Goretti, A., Liberatore, L., Mollaioli, F., Bazzurro P. „Performance of reinforced concrete buildings during the 2002 Molise, Italy, Earthquake,” *Earthquake Spectra*, Vol. 20, No. S1, pp. S221-S255, 2004.
- [2] Braga, F., Manfredi, V., Masi, A., Salvatori, A., Vona, M. [2011] „Performance of non-structural elements in RC buildings during the L’Aquila, 2009 earthquake,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 9, pp. 307-324.
- [3] Magenes, G., Bracchi, S., Graziotti, F., Mandirola, M., Manzini, C.F., Morandi, P., Palmieri, M., Penna, A., Rosti, A., Rota, M., Tondelli, M. *Preliminary damage survey to masonry structures after the May 2012 Emilia earthquakes*, v.1, <http://www.eqclearinghouse.org/2012-05-20-italy-it>, 2012.
- [4] CEN Eurocode 8 - *Design of structures for earthquake resistance*, Part 1: *General rules, seismic actions and rules for buildings*, EN 1998-1, European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium, 2004.
- [5] NZS 1170.5:2004 *Structural Design Actions – Part5: Earthquake Actions New Zealand*, Standards Council New Zealand, Wellington, New Zealand, 2004.
- [6] NTC08 [2008] *Norme tecniche per le costruzioni* (in Italian), D.M. 14 Gennaio 2008, Ministero delle Infrastrutture, S.O. No. 30 alla G.U. del 4.2.2008, No. 29., Rome, Italy.
- [7] Hak, S., Morandi, P., Magenes, G. „Evaluation of infill strut properties based on in-plane cyclic tests” *Građevinar*, Vol. 65, No. 6, pp. 509-521, 2013.
- [8] Hak, S., Morandi, P., Magenes, G., Sullivan, T. „Damage control for clay masonry infills in the design of RC frame structures,” *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 16, S1, pp. 1-35, 2012.
- [9] Morandi, P., Hak, S., Magenes, G. „Simplified Out-of-plane Resistance Verification for Slender Clay Masonry Infills in RC Frames,” XV Convegno ANIDIS, Padova, Italy, 2013.
- [10] Hak, S., Morandi, P., Magenes, G. „Local Effects in the Seismic Design of RC Frame Structures with Masonry Infills,” 4th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Kos Island, Greece, 2013.

112 - UPOTREBA NEIZRAZITE LOGIKE U PROBLEMATICI KVANTIFIKACIJE ODRŽIVOSTI URBANIH VODNIH SUSTAVA

*Halkijević Ivan (halkijevic@grad.hr)
Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet*

Od uvođenja pojma održivog razvoja 1987. godine, pored upućenih kritika na račun nejasne definicije, odmah se postavilo pitanje njegovog mjerenja i kvantifikacije.

Termini održivost i održivi razvoj vrlo se često koriste kao sinonimi, međutim između njima postoji suptilna razlika koja je naročito bitna u kontekstu kvantifikacije. Održivi razvoj je proces, neodređenog vremena trajanja, u kojem se ostvarivanjem ravnoteže između ekonomskog razvoja, očuvanja okoliša i društvene jednakosti i solidarnosti postiže održivost [1]. Održivost se definira kao konačan cilj održivog razvoja tj. kao stanje procesa u kojem su zadovoljeni svi kriteriji i uvjeti održivosti [2].

Nakon što je 90-tih godina prošlog stoljeća naročito adresirano pitanje očuvanja prirodnih resursa i prepoznata njihova važnost u konceptu održivog razvoja uslijedilo je združivanja koncepta održivog razvoja i gospodarenja vodom. Brojna teorijska razmatranja rezultirala su konsenzusom u shvaćanju važnosti uloge vodnih sustava u održivom gospodarenju vodom te se postavilo pitanje ocjene stupnja održivosti vodnog sustava [3].

Kako je jedan od ciljeva svakog društva i zadovoljenje potrebe za vodom, s današnjeg aspekta, opskrbu vodom dostatne količine i kvalitete, predstavljaju vodoopskrbni sustavi, dok se sustavi odvodnje, u funkciji zaštite okoliša, bave tretmanom upotrebljene vode. Stoga se naročito interesantnim ocjenjuje potreba vrednovanja održivosti ovih urbanih vodnih sustava.

Danas prevladavajuća metodologija ocjene stupnja održivosti urbanih vodnih sustava temelji se na upotrebi pokazatelja, koji s definicijskog gledišta najmanje triju dimenzija održivosti (ekonomske, okolišne i društvene), mogu okarakterizirati promatrane vodne sustave. Pokazatelji daju informaciju o trenutnom stanju pojedinog procesa koji se u sustavu odvija.

Pored tri osnovne dimenzije definiraju se i druge, dodatne dimenzije održivosti čiji se pokazatelji također koriste u ocjeni stupnja održivosti. Najčešće je riječ o pokazateljima tehničke dimenzije urbanih vodnih sustava.

Postupak ocjene stupnja održivosti započinje odabirom dimenzijskih pokazatelja prema određenim kriterijima koji definiraju eksperti i istraživači ili dionici analiziranih sustava. Pokazatelji se svode na istu mjernu jedinicu, najčešće njihovim relativnim vrijednostima u rasponu od 0 do 1 (ili od 0 do 100) te se dodjeljivanje određenih težinskih udjela ponderiraju i u konačnici agregiraju u podindeks pojedine dimenzije održivosti. U posljednjem koraku svi podindeksi dimenzija održivosti se agregiraju u jedan indeks koji predstavlja ocjenu ili stupanj održivosti vodnih sustava [4].

Osnovni nedostatak upotrebe pokazatelja je, pored subjektivne ocjene izbora i davanja važnosti pojedinog pokazatelja u ukupnoj ocjeni održivosti, izostanak graničnih vrijednosti stupnja održivosti. Sama upotreba pokazatelja bez referentne, granične vrijednosti koja karakterizira održivost ne daje podatak o promatranom stupnju održivosti [5].

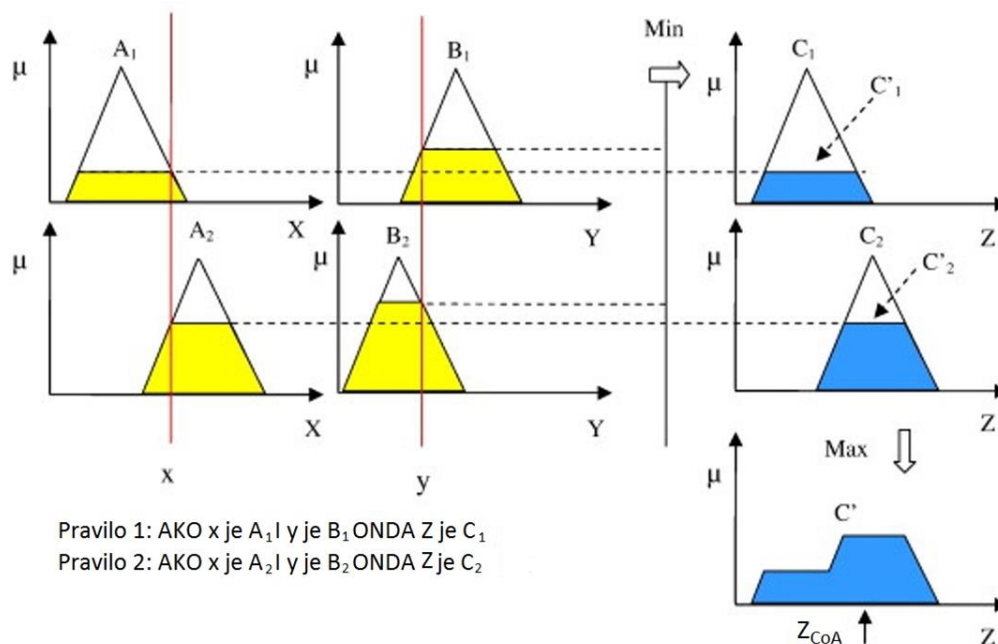
Za razliku od izloženog teorijskog koncepta kvantifikacije, realne pokušaje kvantifikacije u pravilu karakterizira nedostupnost ili nepoznavanje vrijednosti određenih pokazatelja, što utječe na mogućnost i točnost obrade podataka, stvarajući određeni stupanj nesigurnosti u proračunu. Navedeno rezultira potrebom proširivanja broja pokazatelja čime se povećava i broj kriterija, kako za izbor samog pokazatelja, tako i za odabir njihovih graničnih vrijednosti s aspekta održivosti, čime divergira mogućnost izračuna indeksa stupnja održivosti. Zato se u postupku ponderiranja a naročito agregacije i vrednovanja indeksa koriste različite metode koje omogućuju kvantifikaciju i odlučivanje uslijed postojanja nesigurnosti i više kriterija. Jedna takva metoda je i neizrazita logika.

Temeljena na teoriji neizrazitih skupova, neizrazita logika (eng. Fuzzy Logic) je metoda kvantificiranja i zaključivanja nepouzdatih podataka i znanja kao i semantičkih neodređenosti govornog jezika [6]. Teoriju neizrazitih skupova kao i metodu neizrazite logike formulirao je Lofty A. Zadeh 1965. godine s ciljem primjene ljudskog načina razmišljanja u radu računala, a osnovna ideja teorije neizrazitih skupova je da element može pripadati skupu s određenim stupnjem pripadnosti, koji se kreće od 0.0 do 1.0 te da element može istovremeno pripadati većem broju skupova s istim ili različitim stupnjevima pripadnosti.

Postojanje veze između elemenata i skupa, ili dva i više skupova, definira neizrazita propozicija, dok stupanj pripadnosti elementa skupu definira funkcija pripadnosti (udjela); tj ona prikazuje stupanj pripadnosti elementa nekom neizrazirom skupu. Između dva ili više neizrazita skupa mogu se pomoću neizrazitih operatora vršiti operacije nad vrijednostima funkcija udjela čime se više neizrazitih skupova dovodi u vezu. Kombinacijom propozicija i operatora nastaje neizrazito pravilo, koje zapisano u matematičkom obliku u vidu neizrazite relacije, definira osnovne operacije nad neizrazitim skupovima. Neizrazito pravilo se sastoji od premise i zaključka (implikacije).

Kako složene sustave karakterizira interakcija pojedinih procesa, u postupku ocjene održivosti i odluke potrebno je definirati više neizrazitih pravila. Sva definirana pravila rezultiraju izlaznim funkcijama udjela koje kvantificiraju zaključak neizrazitog pravila, stoga je potrebno združiti rezultate svih pravila u jedan izlazni neizraziti skup. Postupak agregacije u jedan izlazni neizraziti skup vrši se različitim kompozicijama izlaznih funkcija udjela. Kao konačni cilj

potrebno je dobiti jednu izrazitu i konačnu vrijednost koja se dobije postupkom izoštravanja agregiranog neizrazitog skupa. Konačna, izrazita vrijednost predstavlja stupanj održivosti urbanih vodnih sustava.



Slika 1. Kvantificiranje zaključka neizrazitog pravila i agregacija izlaznog neizrazitog skupa[7]

Zaključno se o problematici kvantifikacije urbanih vodnih sustava može zaključiti da unatoč brojnim naporima različitih istraživača, institucija i organizacija na lokalnoj, nacionalnoj i međunarodnoj razini, nema opće prihvaćenog konsenzusa definicije održivosti i održivog razvoja kao ni postupka kvantifikacije [8], [9]. Pri tome ne postoje univerzalni pokazatelji dimenzija održivosti već različiti autori, kao bitne za održivost, predlažu različite pokazatelje. Navedena nastojanja najčešće karakterizira nedovoljna povezanost svih dimenzijskih aspekata održivosti (holistički pristup), nepostojanje unificirane terminologije i metoda, nepostojanje specifičnih graničnih vrijednosti stanja održivosti te vrlo mali broj praktično primijenjenih analiza na konkretnim sustavima.

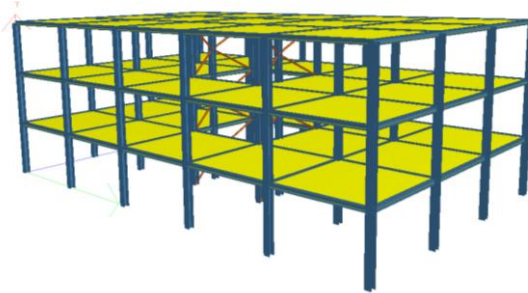
Literatura

- [1] Loucks, D.; Quantifying trends in system sustainability; Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 42(4), 513 - 530; August 1997.
- [2] Juwana, I.; Muttill, N. and Perera, B.J.C.; Indicator-based water sustainability assessment - A review; Science of the Total Environment 438 (2012) 357–371; Elsevier B.V.; 2012.
- [3] Harmancioglu, N. B.; Barbaros, F. and Cetinkaya, C. P.; Sustainability Issues in Water Management; Water Resources Management; Volume 27, Issue 6, pp 1867-1891, 2012.
- [4] Popawala, R. and Shah, N. C.; Evaluation of Sustainability index for Urban Water Management System; 2011 2nd International Conference on Environmental Science and Development - IPCBEE vol.4; Singapore; 2011.
- [5] Singh, R. K.; Murty, H.R.; Gupta, S.K. and Dikshit, A.K.; An overview of sustainability assessment methodologies; Ecological Indicators 9; 189 - 212; Elsevier; 2008.
- [6] Laia, E.; Lundiea, S. and Ashbolta, N.J.; Review of multi-criteria decision aid for integrated sustainability assessment of urban water systems; Urban Water Journal; Vol. 5, No. 4, 315–327, December 2008.
- [7] Rezaei, J. and Ortt, R.; Supplier segmentation using fuzzy logic; Industrial Marketing Management; Volume 42, Issue 4; 507–517; May 2013.
- [8] Simonovic, S.; Risk in sustainable water resources management; Suslainabilityof Water Resources under Increasing Uncertainty (Proceedings of Rabat Symposium SI, April 1997); IAHS Publ. no. 240; 3 - 17; 1997.
- [9] Adinyira, E.; Oteng-Seifah, S. and Adjei-Kumi, T.; 2007.; A Review of Urban Sustainability Assessment Methodologies; International Conference on Whole Life Urban Sustainability and its Assessment; Glasgow, 2007.; Scotland; United Kingdom.

113 - ANALIZA ČELIČNE OKVIRNE KONSTRUKCIJE NA POTRESNA DJELOVANJA

*Paulina Krolo (paulina.katavic@gradri.hr); Mehmed Čaušević (mehmed.causevic@gradri.hr);
Mladen Bulić (mladen.bulic@gradri.hr)
Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet*

U radu je prikazana analiza djelovanja seizmičkih sila tipične okvirne čelične konstrukcije koja je izvedena i patentirana u Švedskoj. Tipičan švedski model se sastoji od čeličnih okvira sa armirano-betonskom jezgrom unutar koje je smješteno stubište. Stupovi i grede izvedeni su od H profila, a njihovi spojevi izvedeni su vijčano. Suvremeni pristup projektiranja konstrukcija u seizmičkim područjima nalaže iskorištavanje duktilnih svojstava konstrukcije, odnosno nelinearno ponašanje. Kako bi se osiguralo nelinearno ponašanje, konstrukcija je „omekšana“ na način da se armirano-betonska jezgra zamjeni čeličnom stabilizacijom, Slika 1.



Slika 1. Aksonometrijski prikaz konstrukcije

Kako bi se dobila vjerna slika ponašanja konstrukcije za zadano seizmičko djelovanje, potrebno je znati pomake konstrukcije. Relativni pomaci katova su najbolji indikator oštećenja elemenata konstrukcije, dok su apsolutni pomaci važni u slučaju guste gradnje kada postoji opasnost od sudara susjednih zgrada. Seizmička analiza provedena je prema dvije linearne i dvije nelinearne metode.

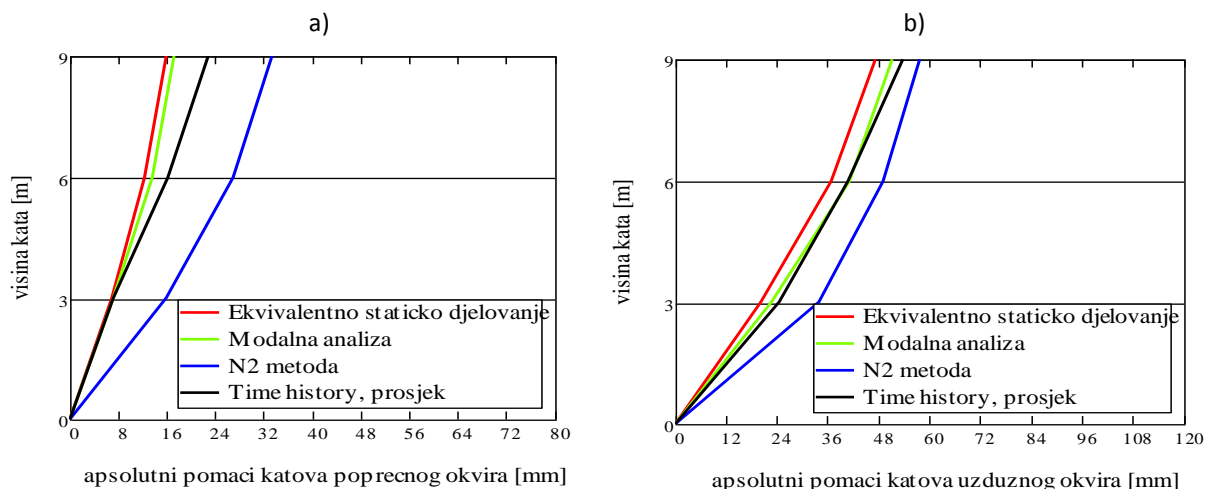
Kako bi se izbjegla nelinearna analiza, a da se pri tome ne zanemari sposobnost trošenja energije u konstrukciji, uveden je faktor ponašanja. On je neizostavan dio linearne statičke metode ekvivalentnim statičkim djelovanjem, koja je primjenjiva za konstrukcije kod kojih ne postoji značajan doprinos viših oblika osciliranja. Odabrana konstrukcija oscilira dominantno u prvom tonu. Na Slici 2., crvenom linijom su prikazani rezultati apsolutnih pomaka konstrukcije dobiveni linearnom metodom ekvivalentnim statičkim djelovanjem. Pomaci su direktno proporcionalni vršnom ubrzanju.

Druga metoda prema kojoj je provedena seizmička analiza je modalna analiza primjenom spektra odziva. To je linearna dinamička metoda te se može primjenjivati bez ograničenja na sve konstrukcije jer uzima u obzir i više oblike osciliranja. Rezultati apsolutnih pomaka su prikazani zelenom bojom (Slika 2.). Razlika pomaka dobivenih modalnom analizom u odnosu na metodu ekvivalentnim statičkim djelovanjem je zanemariva i nastala je zbog utjecaja viših tonova u modalnoj analizi. Prvi ton u uzdužnom smjeru sudjeluje s 91,23 %, te s 90,90 % u poprečnom smjeru što pokazuje da ova konstrukcija oscilira dominantno u prvom tonu. Međutim, u modalnoj analizi se moraju uzeti u obzir svi tonovi sa efektivnim modalnim masama većim od 5%. Zbog toga su u obzir uzeta prva dva tona za svaki smjer konstrukcije. Razlika u pomacima nastaje također i uslijed pretpostavljene trokutne raspodjele ukupne horizontalne seizmičke sile po visini objekta. Ukoliko bi se pretpostavila raspodjela horizontalnih sila po obliku prvog tona, razlika bi bila još manja. Sve linearne metode imaju zajedničke nedostatke: kada ponašanje konstrukcije uđe u nelinearno područje dolazi do preraspodjele sila i deformacija, što nije obuhvaćeno linearnim proračunom. Vjerniji prikaz ponašanja konstrukcije moguće je dobiti uporabom nelinearnih metoda.

Prva je nelinearna statička metoda N2 pri čemu N označava da se radi o nelinearnom proračunu, a 2 znači da se primjenjuju dva matematička modela. Metoda N2 kombinira metodu postupnog guranja (pushover) modela s više stupnjeva slobode sa spektralnim proračunom ekvivalentnog sustava s jednim stupnjem slobode. Osnovna pretpostavka ove metode je da oblik pomaka ostaje nepromjenjiv u vremenu. Samim time je to i nedostatak metode te se ne može koristiti za konstrukcije kod kojih su izraženi viši tonovi osciliranja. U stvarnosti se oblik pomaka mijenja već pri formiranju prvog plastičnog zgloba što mijenja dinamičke karakteristike konstrukcije, a time i njen odziv. Ovdje je pretpostavljen trokutni oblik pomaka, a rezultati pomaka prikazani su plavom bojom (Slika 2.). Promjene dinamičkih karakteristika koje su posljedica smanjivanja krutosti uslijed pojave plastičnih zglobova, nije moguće uzeti u obzir ovom metodom. Za razliku od klasične pushover metode, koristi se adaptivna metoda koja računa dinamičke karakteristike u svakom koraku i prema tome prilagođava oblik pomaka.

Najtočnija i najpreciznija je time history metoda. To je nelinearni dinamički proračun koji koristi umjetne ili stvarne vremenske zapise, što je zapravo seizmičko opterećenje prikazano u obliku ubrzanja temeljnog tla u vremenu. Sam postupak je iterativan te se računaju dinamičke karakteristike konstrukcije u svakom koraku, a duljina trajanja postupka ovisi o duljini zapisa. Proračun je proveden za 5 realnih vremenskih zapisa te je za dobivene pomake izračunata srednja vrijednost, prikazano crnom bojom na Slici 2. Ova metoda je najkompleksnija i vremenski

najzahtjevnija, ali uzimajući u obzir da su u ovom proračunu izuzete sve restrikcije koje su bile karakteristične za prethodne metode, onda je to opravdano. Za seizmičku analizu korišteni su programski paketi tvrtke SeismoSoft, a vlastite vrijednosti su određene u Tower-u 6.



Slika 2. Prikaz pomaka katova dobivenih ekvivalentnim statičkim djelovanjem, modalnom analizom, N2 metodom i time history metodom, a) apsolutni pomaci katova poprečnog okvira b) apsolutni pomaci katova uzdužnog okvira

Pri formiranju modela konstrukcije, priključci su definirani kao nepopustljivi. Na taj način je spriječena rotacija između konstruktivnih elemenata, te su primijenjeni kriteriji „zgrade posmika“. Međutim, priključci su u vijčanoj izvedbi i njihovo realno ponašanje nije apsolutno kruto, te prema tome niti sami apsolutni pomaci konstrukcije ne opisuju realno stanje pomaka. Prema tome je daljnji plan u seizmičku analizu uvesti realno ponašanje priključaka, odnosno modelirati ih kao djelomično nepopustljive.

Zahvala

Istraživanja prezentirana u ovom radu rađena su u sklopu znanstvenog projekta "Razvoj konstrukcija povećane pouzdanosti obzirom na potres" (114-0821466-1470) koji financira Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske.

Literatura

- [1] Fajfar P. & EERI M., A Nonlinear Analysis Method for Performance Based Seismic Design, *Earthquake Spectra*, 16: 573-597, August 2000
- [2] Fajfar P. Capacity Spectrum Method Based on Inelastic Demand Spectram, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 28: 979-993, 1999
- [3] Chopra, A. K. & Goel, R. K.: A modal pushover analysis procedures for estimating seismic demands for buildings, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 31: 561–582, 2002
- [4] Čaušević M. *Dinamika konstrukcija: Golden marketing*, Tehnička knjiga, Zagreb, 2010.
- [5] Čaušević M. & Zehentner E., Nelinearni seizmički proračun konstrukcija prema normi EN 1998-1:2004, *Građevinar* 59:767-777, 2007
- [5] Boore D. M. & Bommer J. J., Processing of strong-motion accelerograms: needs, options and consequences, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 25: 93-115, 2005
- [6] Eurocode 8 -Design of structures for earthquake resistance – EN 1998-1:2004, CEN, Brussels, November 2004
- [7] Herak M. Karte potresnih područja Republike Hrvatske, <http://seizkarta.gfz.hr/karta.php>
- [8] Eurocode3 –Design of steel structures – Part 1-8:Design of joints– EN 1993-1-8:2002, CEN, Brussels, May 2005
- [9] Design od structural connections to eurocode 3 – Frequently asked questions, Building Research Establishment Ltd. Watford, Septeber 2003., http://www.e-konstrukcije.si/user_files/vsebina/Informacije/DESIGN_OF_STRUCTURAL_CONNECTIONS_TO%20EUROCODE_3.pdf
- [10] Eurocode 0 –Basis of structural design – EN 1990:2002, CEN, Brussels, December 2005
- [11] Radimpex, Tower 3D Model Builder 6.0, „Professional Integrated Software for Finite Element Analysis and Design of Structures“
- [12] <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html> - Peer Strong Motion Database
- [13] SeismoSoft, SeismoStruct Version 6 „A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of frame structures“, Dostupno na URL: <http://www.seismosoft.com>
- [14] SeismoSoft, SeismoSignal Version 5.1.0.,“A computer program for processing strong-motion data“, Dostupno na URL: <http://www.seismosoft.com>

114 - ANALIZA POUZDANOSTI METEOROLOŠKOG X-BAND RADARA U MJERENJU OBORINA NA PODRUČJU KVARNERA

Nino Krvavica (*nino.krvavica@gradri.hr*); Igor Ružić (*igor.ruzic@gradri.hr*); Nevenka Ožanić (*nozanic@gradri.hr*)

Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet

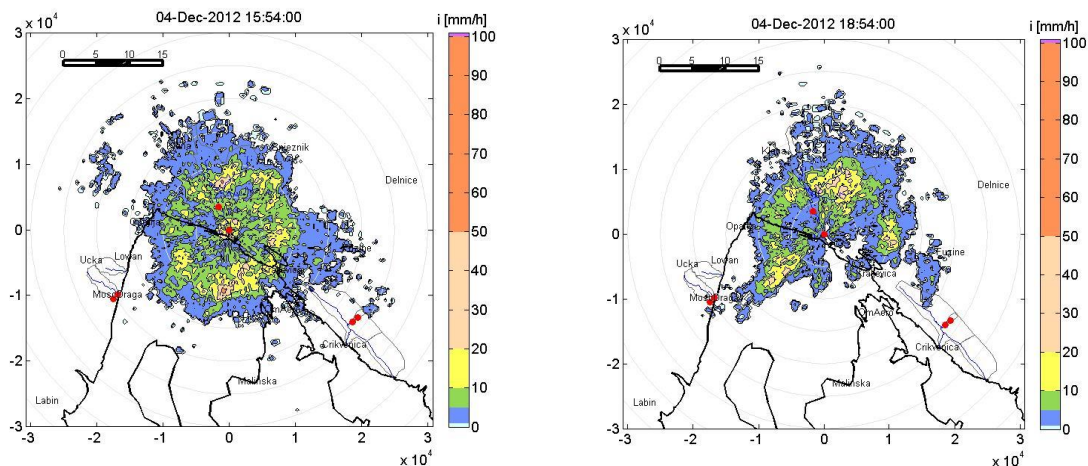
Mjerenje intenziteta te prostorne i vremenske raspodjele kišnih događaja neophodni su za detaljne hidrološke analize te uspostavu pouzdanog sustava ranog uzbunjivanja za poplave i odrone zemlje. Na orografski složenom i brdovitom terenu ponekad niti nekoliko kišomjera nije dovoljno kako bi se dovoljno precizno izmjerila prostorna raspodjela kišnih intenziteta [1]. Meteorološki radar, s druge strane, pruža mogućnost vrlo preciznog mjerenja prostorne i vremenske raspodjele oborine, ali zahtijeva temeljitu provjeru i kalibraciju izmjerenih podataka kako bi se osigurala zadovoljavajuća pouzdanost za upotrebu u hidrološkim modelima.[2]

U sklopu bilateralnog hrvatskog-japanskog projekta "*Identifikacija rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje nepogoda kod odrona zemlje i poplava u Hrvatskoj*" Građevinski fakultet u Rijeci osigurao je dobavu i instalaciju prototipa malog X-band meteorološkog radara (*Mini X-band Dual Polarimetric Weather Radar, Furuno Electric Co.*), postavljenog krajem 2012. godine na krov zgrade Fakulteta.

Radar pokriva punih 360°stupnjeva, uz maksimalni doseg od 30 km s horizontalnom pozicijom snopa zrake od 7°. Iako se radi o polarimetrijskom radaru (horizontalna i vertikalna polarizacija), trenutni algoritam za proračun intenziteta oborine koristi samo horizontalnu polarizaciju. Što znači da su dostupni jedino izmjereni podaci o faktoru reflektivnosti Z i Dopplerovoj brzini V . Intenzitet kiše R se računa prema jednadžbi izvedenoj prema poznatoj Z - R funkciji [3].

$$R = 0,394 \cdot Z^{0,619} \quad (1)$$

Na Slici 1. prikazana su dva primjera izmjerenih i obrađenih podataka s radara o trenutnom stanju oborina iznad šireg Riječkog područja.

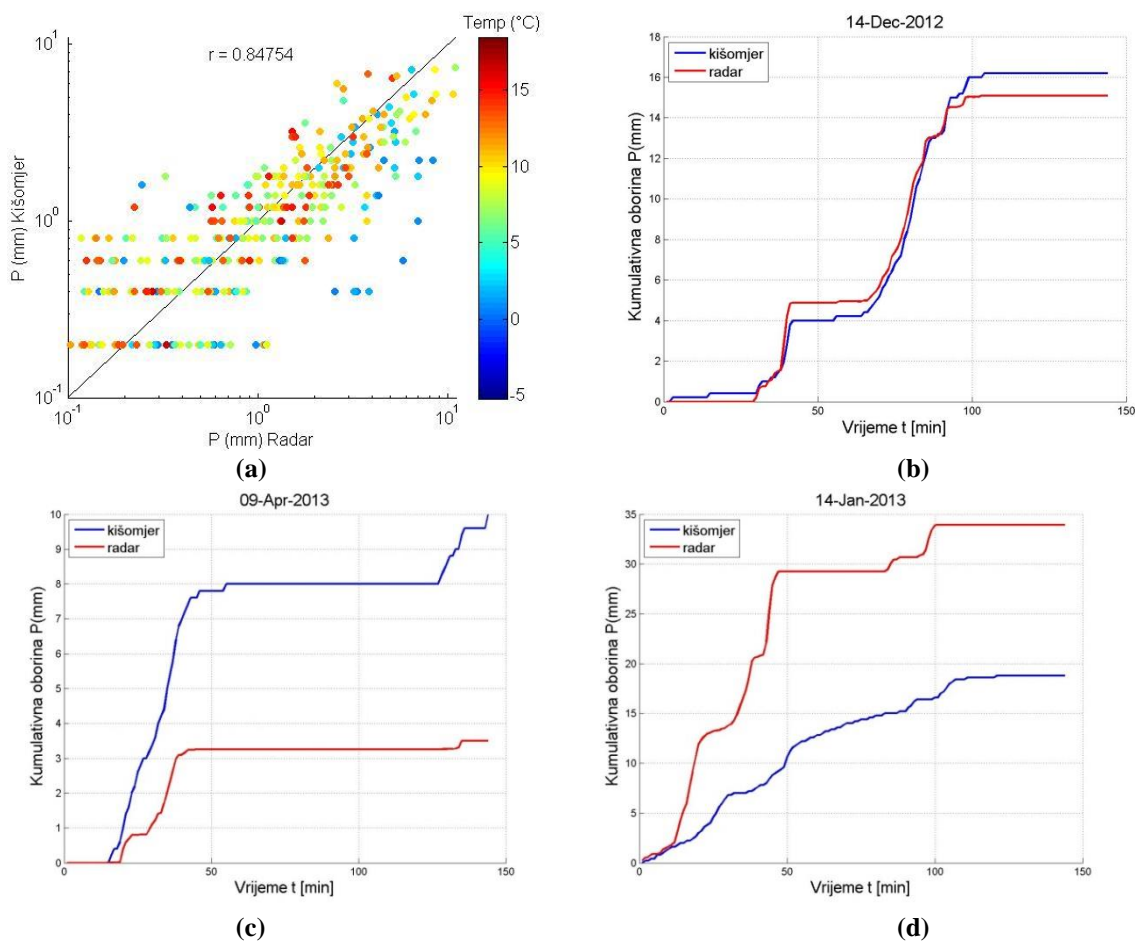


Slika 1. Primjeri grafičkog prikaza izmjerenih i obrađenih podataka s radara o intenzitetu oborina

Cilj ovog rada je analizirati preciznost i pouzdanost radara, koristeći podatke od ukupno 22 mjerodavna kišna događaja unutar 6 mjeseci (studeni 2012. – travanj 2013.) s obližnjeg kišomjera instaliranog u blizini klizišta Grohovo, približno 5 km od lokacije radara. Kišomjer je standardnog tipa samopražnjive klackalice s lijevkom (*eng. tipping bucket*), rezolucije 0,2 mm s 10-min vremenskim intervalom.

Analizirana je trenutna (10-min) i kumulativna (24-satna) količina kiše, kao i koeficijenti korelacije 30-min oborine s radara i kišomjera (vidi Slika 2. a, b, c i d). Usporedbom izmjerenih vrijednosti može se zaključiti kako radarski podaci vrlo dobro odgovaraju onima s kišomjera u 9 od 22 kišna događaja (greška unutar 20% izmjerene vrijednosti), za 5 događaja podaci s radara podcjenjuju ukupnu količinu kiše, dok ih u 8 događaja precjenjuju. Unatoč tome korelacija 30 minutnih podataka je vrlo dobra ($r=0.848$) što može značiti da radar točno mjeri promjenu intenziteta kiše, ali ne i njegovu apsolutnu vrijednost. Ovaj nedostatak je potrebno korigirati kalibracijom s podacima s kišomjera na predmetnom području.

Usporedba izmjerenih vrijednosti prikazana je i uz podatke o izmjerenoj temperaturi (Slika 2.a). Primjetno je kako su slučajevi u kojima podaci s radara precjenjuju količinu oborine vrlo često povezani s nižim temperaturama (ispod 5°C), što upućuje na poznatu činjenicu kako radar često precjenjuje intenzitet oborine kada skenira sloj atmosfere u kojem zaleđene ili snježne čestice prelaze u tekuće stanje (tzv. *bright band effect*). [4] S druge strane, razlog zbog kojeg radar podcjenjuje intenzitet oborine nije tako jednostavno obrazložiti.



Slika 2. Usporedba izmjerenih podataka o oborinama s radara i kišomjera: a) Korelacija svih 30 minutnih podataka (studeni 2012 – travanja 2013), b) primjer dobrog poklapanja (događaj 14.12.12), c) primjer podcjenjivanja radara (09.04.13), d) primjer precjenjivanja radara (14.01.13)

Zaključno možemo reći kako radar instaliran na području grada Rijeke, bez kalibracije, djelomično uspješno može izmjeriti prostornu raspodjelu i intenzitet oborine, iako dobivene veličine pokazuju relativno snažnu korelaciju s podacima s kišomjera. U planu je usporedba podataka radara s većim brojem kišomjera raspoređenih po širem riječkom području kako bi se dobio kvalitetniji uvid u mogućnosti i preciznost radara te kako bi se stvorila kvalitetna baza podataka za potrebe kalibracije istoga. Također, treba napomenuti kako trenutni softver na radaru funkcionira temeljem podataka dobivenim samo horizontalnom polarizacijom, a vrlo uskoro će se s novom verzijom softvera dobiti mogućnosti korištenja punog kapaciteta radara, tj. dvostruke polarizacije koja je značajno preciznija i pouzdanija. [3]

Jednom kada se osigura potpuna funkcionalnost radara te se sa sigurnošću utvrdi njegova preciznost u mjerenju kišnih intenziteta, ovi podaci biti će značajan doprinos u izradi kvalitetnih hidroloških modela, kao i nezaobilazan dio sustava ranog uzbunjivanja za poplave i odrone zemlje na području Kvarnera.

Zahvala

Istraživanja prezentirana u ovom radu dio su bilateralnog hrvatsko-japanskog projekta „Identifikacija rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje nepogoda kod odrona zemlje i poplava u Hrvatskoj“. Također dio istraživanja je proveden u sklopu znanstvenog projekta „Hidrologija osjetljivih vodnih resursa u kršu“ (114-0982709-2549) koji podržava Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske.

Literatura

- [1] Berne, A., Delrieu, J., Creutin, J., Obled, C.: Temporal and spatial resolution of rainfall measurements required for urban hydrology, *Journal of Hydrology*, No. 299, str. 166-179, 2004.
- [2] Collier, C. G.: *Applications of Weather Radar Systems: A Guide to Users of Radar Data in Meteorology and Hydrology*, John Wiley & Sons, Chichester, 1989.
- [3] Bringi, V. N. & Chandrasekar, V.: *Polarimetric Doppler Weather Radar: Principles and applications*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2004.
- [4] Smyth, T. J. & Illingworth, A. J.: Radar estimates of rainfall rates at the ground in bright band and non-bright band events, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, No. 124, str. 2417-2434, 1998.

115 - DELAMINACIJA RAVNINSKIH KONSTRUKCIJA PRIMJENOM KONTAKTNIH ELEMENATA

Nikola Lustig (*nikola.lustig@gradri.hr*)
 Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet

Raspucavanje i delaminacija su česti načini otkazivanja konstrukcija. U ovom radu je analizirana delaminacija ravninskih konstrukcija i ugrađena u metodu konačnih elemenata. Cilj rada je izraditi nelinearni model u konačnim elementima pomoću kojeg se može simulirati raspucavanje odnosno delaminacija konstrukcije kako bi se moglo opisati ponašanje konstrukcije pri slomu. Rad je baziran na prethodnom radu autora Alfana i Crisfielda [1].

U radu su izvedeni kontaktni materijalno nelinearni elementi s 4 odnosno 6 čvorova kod kojih je konstitutivni zakon definiran u ovisnosti o relativnim pomacima elementa $\delta = (\delta_1, \delta_2)$ i napreznjima na kontaktu $\mathbf{t} = (t_1, t_2)$. Kontaktni elementi zajedno sa pripadajućim ravninskim elementima, prikazani su na Slici 1. Vektori relativnih pomaka i napreznja na kontaktu sadržavaju komponente paralelne na os elementa (indeks $i = 1$) i okomite na os elementa (indeks $i = 2$). Pretpostavljamo da je debljina nelinearnog elementa jednaka nuli. Nelinearni konstitutivni zakon je definiran kao bilinearan i prikazan je na Slici 2. Parametri koje je potrebno definirati kako bi se mogao opisati cijeli zakon su δ_{0i} – relativni pomak pri kojem započinje oštećenje elementa, t_{0i} – kontaktno napreznje pri kojem započinje oštećenje elementa, δ_{ci} – relativni pomak pri kojem je element potpuno oštećen i isključuje se iz nosivosti i G_{ci} – energija propagacije pukotine. Parametar K_i predstavlja krutost uzlazne grane i zadaje se kao vrlo velika numerička vrijednost. Izračunavamo ga pomoću jednadžbe

$$K_i = \frac{t_{0i}}{\delta_{0i}}. \quad (1)$$

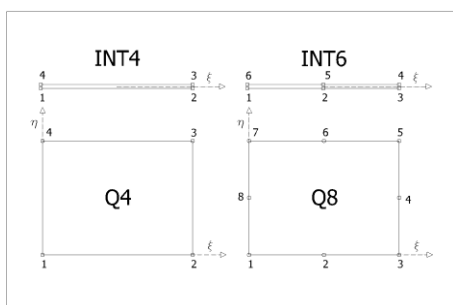
Vrijednost δ_{ci} se određuje izjednačavanjem površine ispod bilinearnog konstitutivnog dijagrama s vrijednosti energije propagacije pukotine G_{ci} pomoću izraza

$$\delta_{ci} = \frac{2G_{ci}}{t_{0i}}. \quad (2)$$

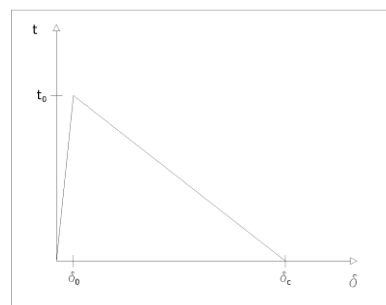
Elementi su geometrijski linearni a kinematička jednadžba veze pomaka \mathbf{p} i relativnih pomaka δ je

$$\delta = \mathbf{B}_{int}\mathbf{p} \quad (3)$$

gdje matrica \mathbf{B}_{int} predstavlja transformaciju iz globalnih u lokalne koordinate pomoću funkcija oblika i matrice rotacije.



Slika 1. Kontaktni elementi s pripadajućim ravninskim elementima



Slika 2. Konstitutivni zakon za kontaktne elemente

Konstitutivni zakon se definira za dva načina sloma u ravnini. Prvi način sloma predstavlja otvaranje pukotine okomito na os dok drugi način predstavlja posmično otvaranje pukotine. Kako bi se izbjeglo utiskivanje elemenata koristimo kao zapis oznaku $s_i[x]$ gdje je x jednak apsolutnoj vrijednosti u slučaju drugog načina sloma dok je u slučaju prvog načina vrijednost x različita od nule samo ako imamo otvaranje pukotine. U slučaju utiskivanja vrijednost x postaje 0. Parametar $(s_i[x])_{\max}$ označava maksimalnu vrijednost koju je $s_i[x]$ dostigao u proračunu do tog trenutka. Uz takvu notaciju definiramo konstitutivni zakon kao

$$t_i = \begin{cases} K_i \delta_i & \text{ako } (s_i[\delta_i])_{\max} \leq \delta_{0i} \quad \text{ili } (i = 2 \quad i \quad \delta_i < 0) \\ K_i \delta_i \left[1 - \left(\frac{(s_i[\delta_i])_{\max} - \delta_{0i}}{(s_i[\delta_i])_{\max}} \right) \left(\frac{\delta_{ci}}{\delta_{ci} - \delta_{0i}} \right) \right] & \text{ako } \delta_{0i} < (s_i[\delta_i])_{\max} < \delta_{ci} \quad i \quad (i \neq 2 \quad \text{ili } \delta_i \geq 0) \\ 0 & \text{ako } (s_i[\delta_i])_{\max} \leq \delta_{ci} \quad i \quad (i \neq 2 \quad \text{ili } \delta_i \geq 0) \end{cases} \quad (4)$$

Ovakav zapis nam garantira nepovratnost procesa oštećenja s obzirom na to da se uslijed rasterećenja relativni pomak sekantno vraća u ishodište. Linearizacijom (4) dolazimo do tangentne matrice krutosti pomoću koje ulazimo u proračun.

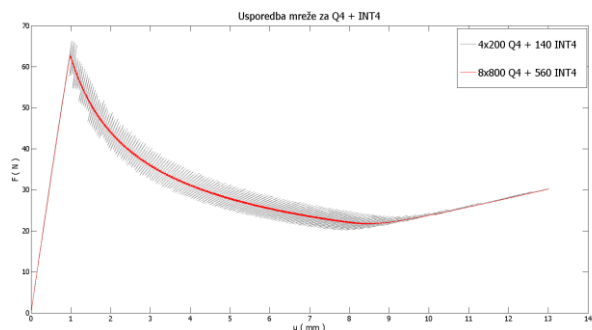
Proračun je karakteriziran vrlo ostrim skokovima u dijagramu sila/pomak i stoga je konvergencija vrlo problematična. Tipični pristup rješavanju nelinearnih problema (Newton-Raphsonov postupak s kontrolom sile) nam ne rješava ovaj problem radi vrlo ostrih skokova i višeznačnosti rješenja kao što je vidljivo iz Slike 3. i Slike 4. Stoga je potrebno primijeniti naprednije metode kao što je metoda lučne dužine (engl. Arc-length method) [2]. Ipak, radi specifičnosti problema i izraženih ostrih oscilacija dijagrama sila/pomak čak ni standardna metoda lučne dužine ne uspijeva konvergirati u svim slučajevima stoga je u radu korištena modificirana metoda lučne dužine predložena u [3]. Razlika između standardne i modificirane metode lučne dužine je u odabiru jednog od dva rješenja koja dobijemo rješavanjem jednadžbe lučne dužine gdje se u modificiranoj metodi odabire rješenje s najmanjim rezidualom dok se kod standardne metode odabire rješenje koje zatvara najmanji kut s rješenjem iz prošlog koraka.

Pomoću gore izvedenih elemenata proračunat je primjer standardne dvostruke konzolne grede (engl. double cantilever beam test) koji se sastoji od konzolno spojene grede duljine $l = 100$ mm, visine $h = 3$ mm, debljine $t = 20$ mm zarezane u osi simetrije u dužini od 30 mm na slobodnom kraju. U osi simetrije su postavljeni kontakti dok je ostatak konstrukcije modeliran četveročvornim odnosno osmočvornim pravokutnim ravninskim elementima kod kojih se pretpostavlja ravninsko stanje deformacija. Materijalne karakteristike kompozitne grede dane su u Tablici 1.

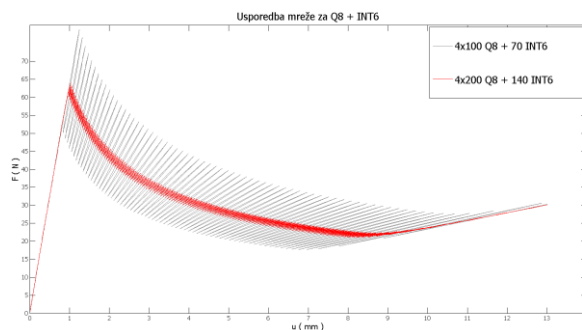
Tablica 1. Materijalne karakteristike kompozitne grede i kontaktnog sloja [1].

E_{11}	135.3 GPa	$\nu_{12} = \nu_{13}$	0.24
$E_{22} = E_{33}$	9.0 GPa	ν_{23}	0.46
G_{12}	5.2 GPa	G_c	0.28 N/mm ²
t_0	57.0 MPa	δ_0	10^{-7}

Rezultati za 4x200 Q4 pravokutna elementa i 140 INT4 kontaktna elementa su prikazani na Slici 3. zajedno s rezultatima dobivenim za mrežu 8x800 Q4 i 560 INT4. Rezultati za 4x100 Q8 pravokutna elementa i 70 INT6 kontaktna elementa su prikazani na Slici 4. zajedno s rezultatima za gušću mrežu od 4x200 Q8 i 140 INT6. Iz rezultata je vidljiv doprinos većeg broja elemenata u smanjenju oscilacija na dijagramu sila/pomak kao i bolje ponašanje Q8 elemenata s INT6 kontaktom za istu mrežu od 4x200 pravokutnih elemenata i 140 kontaktnih elemenata.



Slika 3. Usporedba mreže za Q4 i INT4



Slika 4. Usporedba mreže za Q8 i INT6

Prikazani rezultati su uspoređeni s numeričkim rezultatima i rezultatima ispitivanja kompozitne grede iz [1] i ostvarena je podudarnost rezultata. Korištenjem ovakvih kontaktnih elemenata može se simulirati nelinearno ponašanje nakon popuštanja kod kompozitnih greda i može se pratiti ponašanje grede do njenog sloma. U daljnjem radu se predviđa modifikacija konstitutivnog zakona (4) kako bi se simuliralo ponašanje drvenih greda u ovakvim ispitivanjima i provođenje ispitivanja na drvenim uzorcima za potrebe verifikacije i kalibracije modela.

Literatura

- [1] Alfano, G. & Crisfield, M. A.: Finite element interface models for the delamination analysis of laminated composites: mechanical and computational issues, International journal for numerical methods in engineering, Vol. 50, str. 1701-1736, 2001.
- [2] Crisfield, M. A, Non-linear finite element analysis of solids and structures, volume 1, Wiley, 1996.
- [3] Hellweg, H. B. & Crisfield, M. A.: A new arc-length method for handling sharp snap-backs, Computers & Structures, Vol. 66, No. 5, str. 705–709, 1998.

116 - STRATEŠKO ODLUČIVANJE - ODABIR INVESTICIJSKOG PROJEKTA IZ PORTFELJA JAVNE UPRAVE

Ivan Marović (ivan.marovic@uniri.hr)
Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet

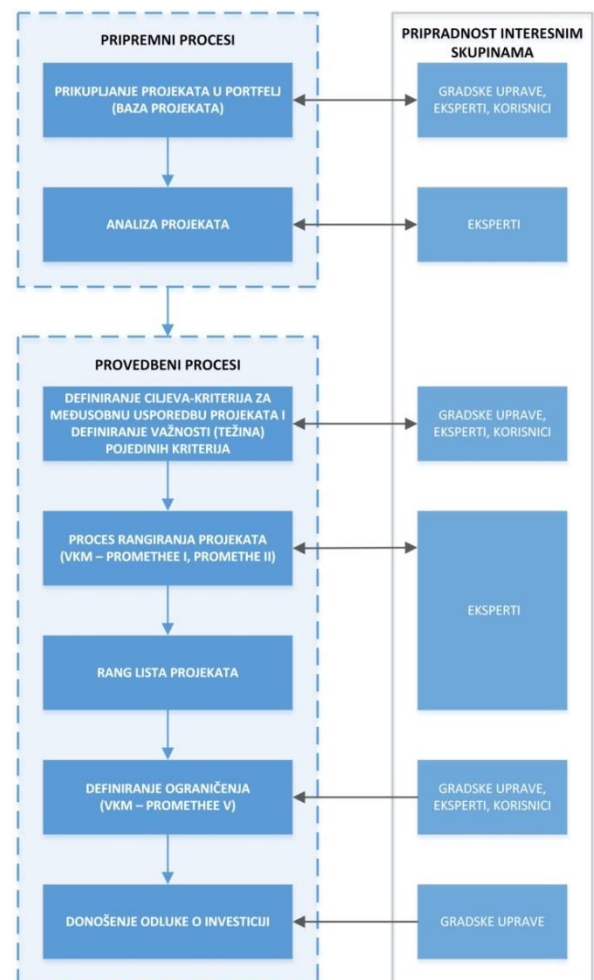
Investiranje i izvođenje javnih projekata posredstvom kojih se isporučuju javne usluge predstavlja složen poslovni proces koji zahtjeva posebnu pozornost, ozbiljnost i društvenu odgovornost ne samo neposrednog javnog menadžmenta već i šire društvene zajednice. Budući da živimo u svijetu ograničenih resursa, dok je istovremeno broj zainteresiranih za njihovu eksploataciju neograničen, razumljivi su povećani zahtjevi za kvalitetnijom, opsežnijom i pravovremenom informacijom upotrebom u dinamičnom procesu donošenja odluka. U modernim društvima slijed događaja je iznimno brz i međusobno uvjetovan, stoga svaka pogrešna odluka predstavlja generator potencijalne katastrofe pri čemu donositelji odluka nemaju vremena za eksperimentiranje metodom pokušaja i pogrešaka. Pri tome je javni menadžment odgovoran za osmišljavanje i definiranje javnih politika (strategija) među kojima je i politika javnih investicija, dok se odgovornost društvene zajednice očituje u javnom izjašnjavanju o predloženoj politici javnih investicijskih projekata. Stoga izbor najboljeg projekta za investiranje iz portfelja javne uprave predstavlja veliki i složen izazov koji za sobom nosi dalekosežne posljedice. Za kvalitetno i konzistentno rješavanje ove multidisciplinarnе zadaće, višekriterijalne metode mogu pripomoći donositeljima odluka u procesu donošenja odluka.

Investicijski projekt predstavlja osmišljen skup međusobno povezanih i vremenski raspoređenih multidisciplinarnih aktivnosti koje za cilj imaju realizaciju nekog ulaganja odnosno investicije, pri čemu u javnoj upravi osim pokretanja i upravljanja projektima veliku obvezu i odgovornost predstavlja provedba postupka javne nabave (Gunjača i dr., 2013). Klasično pri investiranju, vrijednost se čuva na način da se odredi minimalna kvaliteta ulaganja, osigura diversifikacija investicija (instrumenti i izdavatelji) te definira ročnost ulaganja, no za uspješnu i konzistentnu provedbu javnih investicija posebno je bitan strateški okvir koji je definiran kroz strategije razvoja i akcijske planove.

Odlučivanje, ukoliko se razmatra racionalno odlučivanje (Grdešić, 1995), mora udovoljiti dvjema logičnim postavkama: konzistentnosti i tranzitivnosti. Pri tome se pod konzistentnosti zahtijeva od donositelja odluka da svaki slučaj tretira jednako, dok tranzitivnost predstavlja posebnu vrstu konzistentnosti koja se primjenjuje na vrijednosti koje su u hijerarhijskom odnosu. Upravo pravilo tranzitivnosti stvara hijerarhijski rang preferencija i donositelj odluke ga mora poštovati ako želi donijeti racionalnu odluku. U potrazi za racionalnim temeljima odluka moguće je osloniti se na nekoliko njenih dimenzija (Dunn, 1981): tehničke racionalnosti (kriterij efektivnosti), ekonomske racionalnosti (kriterij efikasnosti), pravne racionalnosti (pravednosti i zakonitosti), društvene racionalnosti (koja unapređuje društvene institucije) i opće racionalnosti (valjanosti) kao općeg uvida u međusobne odnose pojedinih racionalnih dimenzija.

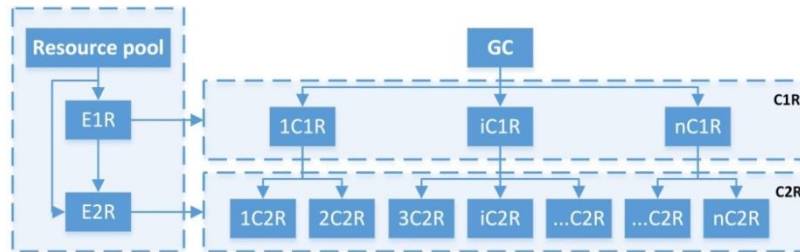
Na Slici 1. prikazan je model za donošenje odluke o investiciji iz portfelja javne uprave. Model se sastoji od dva dijela: pripremnih i provedbenih procesa. Također je prikazana povezanost navedenih procesa s interesnim skupinama (gradskom upravom, ekspertima i građanima). Pripremni procesi ovog modela se vežu na postojeći strateški okvir (Gunjača i dr., 2013) te postojeće procese prijave projekata i njihovog uvrštavanja u bazu i plan razvojnih projekata. Baza razvojnih projekata na razini jedne jedinice lokalne samouprave predstavlja njen investicijski portfelj. Pripremni procesi završavaju ekspertnom analizom projekata iz postojećeg portfelja

čime su stvoreni preduvjeti za međusobnu usporedbu predloženih projekata iz portfelja javne uprave.



Slika 1. Model za donošenje odluke o investiciji iz portfelja javne uprave

U prvoj fazi provedbenih procesa potrebno je definirati ciljeve-kriterije za međusobnu usporedbu projekata te definirati važnosti (težine) pojedinih kriterija odnosno stvoriti hijerarhijsku strukturu ciljeva. Na Slici 2. prikazana je uspostava hijerarhijske strukture ciljeva gdje na temelju glavnog cilja eksperti, kroz dvije razine, generiraju ciljeve i kriterije. Određivanje težina kriterija je sljedeća zadaća eksperata. Ovisno o razini na kojoj se ciljevi-kriteriji nalaze težine im dodjeljuju eksperti dotične razine. Kod definiranja kriterija veliku pomoć pruža tzv. „ciljna analiza“, odnosno analiza ciljeva koji se žele postići rješavanjem definiranog problema (Jajac, 2010). Postojanjem jedinstvene hijerarhijske strukture ciljeva je ostvarena konzistentnost i tranzitivnost svih ciljeva i kriterija jer se prilikom donošenja odluke koriste kriteriji koji su proizašli iz istog glavnog cilja čime je osigurana konzistentnost glavnog cilja, a ujedno i procesa odlučivanja.



Slika 2. Hijerarhijska struktura ciljeva (Marović, 2013)

Podaci prikupljeni tijekom analize projekata strukturirani prema definiranim ciljevima stvaraju matricu odluke koja, uz utvrđene težine pojedinih kriterija, predstavlja ulazni element za provođenje višekriterijalne analize. Za potrebe provođenja višekriterijalne analize sugerira se korištenje metode PROMETHEE (Brans i dr., 1986) koja omogućava slobodan rad sa širokom podrškom procesima odlučivanja, gdje se podaci unose interaktivno, a moguća je vizualizacija većine informacija, te dobivenih rješenja.

Matricom odluke obuhvaćeni su svi parametri na temelju kojih se može provesti parcijalno uspoređivanje (parcijalni poredak) promatranih projekata po svim kriterijima (PROMETHEE I) odnosno ukupno uspoređivanje (ukupni poredak) promatranih projekata po svim kriterijima (PROMETHEE II). Osim unosa osnovnih parametara i težina kriterija iz matrice odluke, metoda zahtijeva i izbor tipa kriterija preko kojeg se mogu korigirati eventualne nesuvislosti u setu podataka te funkcije preferencije. Potrebno je formirati složenu relaciju preferencije kako bi se naglasila činjenica da se ta relacija temelji na uvažavanju više kriterija tzv. *outranking relation*, a zasnovana je na poopćenju pojma kriterija. Definiranjem indeksa preferencija dobiva se navedena složena relacija preferencije koja se prikazuje pomoću grafa preferencije. Suština ovog koraka je u tome da donositelj odluke mora dati prednost jednoj od dvije alternative po svakom od kriterija i to na temelju razlike kriterijalnih vrijednosti alternative koje uspoređuje (Marović, 2013).

Nakon numeričke obrade kao rezultat ovog procesa dobiva se rang lista projekata. Kod javnih investicija nije nužan slučaj da je najbolje rangirani projekt dobiven provođenjem metode PROMETHEE II ujedno i najbolji izbor za investiranje. S obzirom da se želi odabrati najbolji mogući investicijski projekt koji se nalazi u portfelju javne uprave, model predstavljen u ovom radu koristi mogućnost kombiniranja metode PROMETHEE i 0-1 linearnog programiranja (PROMETHEE V). Pri tome se rezultatima dobivenim metodom PROMETHEE II i uzimajući u obzir postojeće strategije razvoja i akcijske planove, te želje i mogućnosti kako donositelja odluke u vidu javnog menadžmenta tako i šire društvene zajednice, definiraju relacije tj. uvjeti (u obliku nejednadžbi) koji ulaze kao ograničenja u model. Kao rezultat provedbe metode PROMETHEE V dobiva se jedno ili više rješenja tj. projekata za investiranje. Dotični projekti predstavljaju kompromisne projekte za investiranje iz portfelja javne uprave koji su prikazali svoju vrijednost i kvalitetu prilikom međusobne usporedbe s ostalim projektima prema definiranim kriterijima, ali i prema željama, stavovima i mogućnostima donositelja odluka. Konačnu odluku i odabir investicijskog projekta, na temelju dobivenih rezultata, donosi donositelj odluke koji se može odlučiti za samo jedan, ali i za više predloženih projekata.

Vrijednost ovog modela leži u konzistentnosti procesa donošenja odluke te pruža donositelju odluka sigurnost da, ukoliko je proveo proceduru predloženu predstavljenim modelom, nije donio pogrešnu već racionalnu i sustavno razmotrenu odluku temeljenu na kompromisu. Prednost ovakvog pristupa donošenju odluka leži i u činjenici ukoliko dođe do promjene u strukturi donositelja odluka sami proces donošenja odluka ostaje konzistentan.

Literatura

- [1] Brans, J.-P., Vincke, Ph., Mareschal, B.: How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method, *European Journal of Operational Research*, Vol. 24, No. 2, 1986., pp. 228-238.
- [2] Dunn, W.: *Public Policy Analysis*, Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, 1981.
- [3] Grdešić, I.: *Političko odlučivanje*, Alineja, Zagreb, 1995.
- [4] Gunjača, N., Linić, V., Medvedec, D., Pranjić, I., Urek, R.: *Priprema i realizacija investicija u javnoj nabavi*, Hrvatska zajednica računovođa i financijskih djelatnika, Zagreb, 2013.
- [5] Jajac, N.: *Modeliranje sustava za podršku odlučivanju o razvoju i održavanju urbane cestovne infrastrukture*, Disertacija, Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet, Split, 2010.
- [6] Marović, I.: *Sustav za podršku odlučivanju u upravljanju vrijednostima nekretnina*, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2013.

117 - MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA TEHNOLOŠKOG POSTUPKA RECIKLIRANJA FLUORESCENTNIH SVJETILJKI

Ivana Melnjak (*ivana.melnjak@gfv.hr*)
Sveučilište u Zagrebu; Geotehnički fakultet Varaždin

Cilj ovog rada je utvrditi moguća tehnološka poboljšanja u procesu recikliranja fluorescentnih svjetiljki kako bi se proizvelo lomljeno staklo kategorizirano kao neopasan otpad, odnosno kako bi se učinkovitije uklonio fosforni prah onečišćen živom, a otpadni aluminij se koristio kao sekundarna sirovina. Laboratorijska ispitivanja provedena su na tri uzorka fluorescentnih svjetiljki i žarulja prikupljenih na području Republike Hrvatske u 13 sabirnih centara i obrađenih u tri uređaja različitih karakteristika (A, B i C). Fluorescentne svjetiljke se prvo mehanički obrađuju, tj. lome u jedinici za drobljenje. Materijali nakon mehaničke obrade prolaze kroz separator, gdje se odvajaju aluminijske kapice i lomljeno staklo od luminofora. Izvršene su analize koncentracije Hg u radnom prostoru, koncentracije Hg u eluatu lomljenog stakla, granulometrijska analiza uzoraka te učinkovitost uklanjanja fosfornog praha onečišćenog živom. Vrijednosti koncentracije žive u radnom prostoru uređaja A i B višestruko prelaze graničnu vrijednost koja za Hg iznosi $0,05 \text{ mg/m}^3$, dok je koncentracija za uređaj C unutar dozvoljenih vrijednosti. Analizama eluata uzoraka lomljenog stakla u uređajima A i B dobivene su vrijednosti koncentracija koje prelaze granične vrijednosti za odlagalište neopasnog otpada te je ispitano uklanjanje žive zagrijavanjem u laboratorijskim uvjetima kako bi se poboljšala desorpcija žive, čime je moguće postići vrijednosti koje zadovoljavaju potrebne uvjete. Gledano s energetskog i ekonomskog aspekta, zadovoljavajući rezultat uklanjanja žive može se postići grijanjem lomljenog materijala na 80°C u trajanju od 15 min. Što se tiče uređaja C, osim što se postiže dobra separacija stakla i aluminija, povećana je učinkovitost usisavanja fosfornog praha onečišćenog živom i učinkovitost drobljenja svjetiljki. Najbolje rezultate u učinkovitom uklanjanju luminofora dao je uređaj C uz proveden postupak zagrijavanja, gdje luminofor uklonjen filterom čini oko 3% ukupne mase, dok je na uređaju A uklonjeno oko 1 kg luminofora (cca 0,3% ukupne mase) odnosno na uređaju B oko 1% ukupne mase.

Prema dobivenim kemijskim analizama koje zadovoljavaju propisane parametre, moguće je korištenje stakla i aluminija kao sekundarnih sirovina čime se doprinosi uštedi prirodnih resursa i smanjenju negativnih učinaka na okoliš u odnosu na zbrinjavanje odlaganjem. Mogućnosti upotrebe stakla u građevinarstvu predstavlja materijal za novi rad, aluminij se prodaje kao sekundarna sirovina dok se sakupljeni fosforni prah onečišćen živom zbrinjava kao opasan otpad.



Slika 1. Sirovine dobivene recikliranjem fluorescentnih svjetiljki; A.) aluminij, B.) lomljeno staklo, C.) luminofor

Literatura

- [1] Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 117/07)
- [2] Nina Črnica: Poboljšanje tehnološkog postupka recikliranja fluorescentnih svjetiljki, diplomski rad, 2010.
- [3] Tanel, B. i sur., Comparative analysis of fluorescent lamp recycling and disposal options; *Journal of Solid Waste Technology and Management* 25 (1998); 82-88
- [4] Aucott, M. i sur., Release of mercury from broken fluorescent bulbs; *Journal of Air and Waste Management* 53 (2003); 143-151
- [5] 4Chung, T.C. i sur., Treating high-mercury-containing lamps using full scale thermal desorption technology; *Journal of Hazardous Materials* 162 (2009); 967-972
- [6] Raposo, C. i sur., Mercury speciation in fluorescent lamps by thermal release analysis; *Waste Management* 23 (2003); 879-886
- [7] M.Jang i sur., Characterization and recovery of mercury from spent fluorescent lamps; *Waste Management* 25 (2005); 5-14

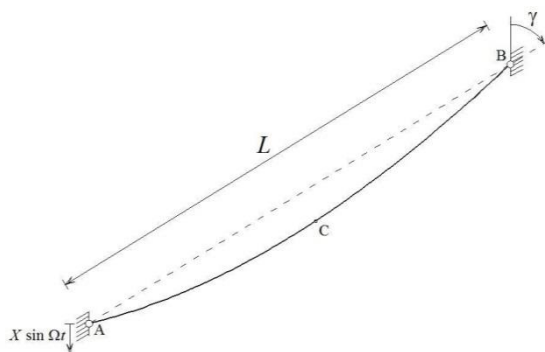
118 - PARAMETARSKE OSCILACIJE KABELA

Marija Nikolić (*mnikolic@grad.hr*)
Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet

Kabeli imaju vrlo široku primjenu u mnogim poljima inženjerstva kao što je građevinarstvo, strojarstvo, promet i dr. Vlačni prijenos opterećenja, čime je osigurana visoka iskoristivost materijala, pogoduje tome da su različiti kabeli, sajle i zatege vrlo česti konstruktivni dijelovi mostova, telekomunikacijskih tornjeva, i različitih prednapetih konstrukcija od platna. Uz redukciju materijala, značajan interes izazivaju zbog atraktivnosti svojih oblika te male težine struktura. Radi njihove sve češće uporabe, razni aspekti dinamičkog ponašanja kabela već su istraženi. Irvine [2] je razvio teoriju linearne dinamike elastičnih kabela s malim omjerom progiba i raspona. Međutim, velika fleksibilnost, mala masa, slabo prigušenje i mogućnost pojave velikih pomaka zahtjeva da se u proračun vrlo često uzmu u obzir i utjecaji geometrijske nelinearnosti. Zbog velike fleksibilnosti ovi sustavi posebno su osjetljivi na različita dinamička djelovanja, posebice uzrokovane vjetro, kišom i snijegom. Dinamičke pobude mogu biti i posljedica prijenosa oscilacija drugih dijelova konstrukcije (kolnika, piona i slično) na kabele, što može uzrokovati parametarsku pobudu odnosno oscilacije kabela s visokim amplitudama i pri vrlo malim pomacima oslonca.

Istraživanja provedena u posljednjih nekoliko desetljeća objasnila su vrlo dobro fenomen pojave parametarskih oscilacija: komponenta gibanja oslonca u smjeru osi kabela inducira poprečne oscilacije. Pri analizi utjecaja aksijalnog periodičnog opterećenja na pojavu parametarskih oscilacija kabela [6] korištena je metoda harmonijske ravnoteže (*eng. harmonic balance method*). Pokazano je da postoji više zona nestabilnosti u okolini cjelobrojnih vrijednosti omjera frekvencije pobude i osnovnih frekvencija kabela, te da širina nestabilnog područja ovisi o omjeru progiba i raspona. U [4] je za određivanje područja nestabilnih parametarskih oscilacija, odnosno parametarske rezonancije, korišten perturbacijski postupak MMS (*eng. method of multiple scales*), te je analiziran utjecaj istovremenih prisilnih i parametarskih oscilacija kod kosih kabela.

U ovom radu istraživanje parametarskih oscilacija kosog kabela konačnim elementima provedeno je uz pomoć programskog paketa *Wolfram Mathematica 9.0. Student Edition*. Za rješavanje sustava jednadžbi napisan je algoritam za određivanje numeričke vrijednosti odziva, pri čemu je primijenjena metoda prediktor-korektor. Slika 1. prikazuje analizirani model kosog kabela. Vertikalno gibanje oslonca A zadano je harmonijskom funkcijom s amplitudom X i frekvencijom Ω . Zanimarene su sve ostale vanjske sile osim vlastite težine. Zbog usporedbe rezultata, mehanička i geometrijska svojstva modela uzeta su kao u [4]: masa po jedinici duljine $m=0,0113$ kg/m', duljina kabela $L=12$ m, aksijalna krutost $EA=194000$ N, statička sila prednaprezanja $T_0=63$ N, nagib kabela prema vertikalnoj osi je $\gamma=68^\circ$. Zanimareno je prigušivanje oscilacija.



Slika 1. Model kabela

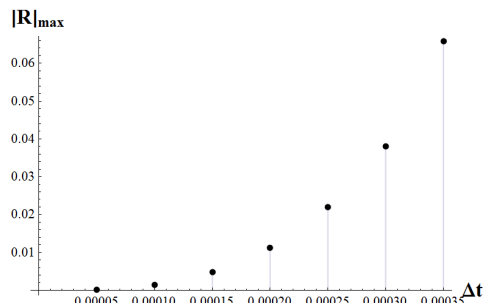
Za definiciju konačnih elemenata općenito mogu se koristiti dva pristupa. Prvi primjenjuje polinome koji opisuju polje pomaka za odgovarajuće opterećenje. Najjednostavniji element ovog tipa je aksijalni element koji se najčešće koristi za modeliranje kabela. U drugom pristupu koristi se analitičko rješenje lančanice uzimajući u obzir djelovanje distribuiranog opterećenja po duljini elementa, pri čemu je za određivanje tangentne matrice krutosti potrebno koristiti iterativne postupke [1, 5]. Ovaj tip elemenata daje egzaktno rješenje za elemente opterećene samo vlastitom težinom. Analizom statičkog i dinamičkog odziva kabela modeliranih na oba načina [3] ustanovljeno da su rješenja približno ista ako su kabeli prednapregnuti i imaju malu masu. Stoga su za odziv pri djelovanju vertikalnog gibanja oslonca korišteni 'jednostavniji' aksijalni elementi.

Sustav diferencijalnih jednadžbi oscilacija kabela formuliran je primjenom d'Alembertovog principa. Inkrementalna jednadžba gibanja za vanjsku pobudu uzrokovanu gibanjem čvora A je:

$$\mathbf{M}_n \Delta \ddot{\mathbf{u}}_n + \mathbf{K}_n \Delta \mathbf{u}_n = -\mathbf{K}_{n,x} \Delta \mathbf{X} \quad (1)$$

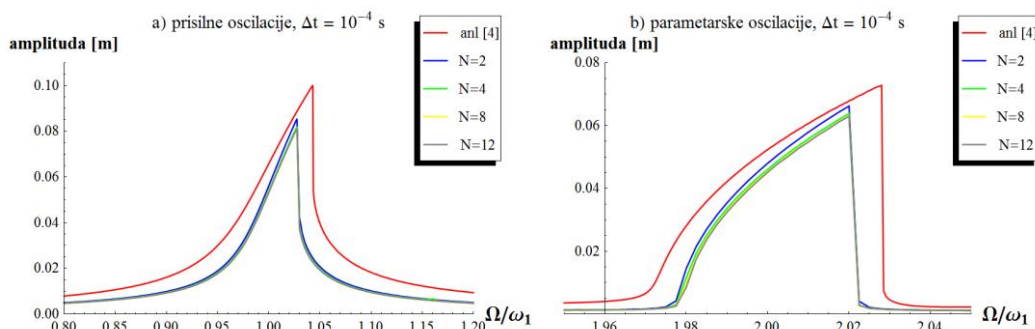
Gdje je \mathbf{M}_n matrica masa, \mathbf{K}_n je tangentna matrica krutosti koja povezuje nepoznate veličine pomaka unutarnjih čvorova a produkt s desne strane predstavlja ekvivalentnu dinamičku pobudu od elastičnih sila koje se generiraju vertikalnim gibanjem oslonca.

Za rješavanje sustava diferencijalnih jedandžbi (1) koristi se inačica metode prediktor- korektor [3] pri čemu se na temelju poznatih vrijednosti na početku koraka i pretpostavke o linearnoj promjeni ubrzanja na intervalu Δt izračunava vrijednost varijabli na kraju koraka. Pretpostavka o linearnoj promjeni ubrzanja na vremenskom koraku je zadovoljavajuća za dovoljno male vremenske intervale što možemo vidjeti na Slici 2.



Slika 2. Maksimalna vrijednost modula vektora rezidualnih sila

Ovisno o frekvenciji harmonijskog gibanja oslonca A, mogu nastati dvije vrste rezonancije: prisilna, koju uzrokuje komponenta gibanja okomita na os kabela, i parametarska, koja je posljedica komponente gibanja oslonca u smjeru osi kabela. Oscilacije kosog kabela inducirane su amplitudom gibanja oslonca $X=0,5$ mm i promjenjivom frekvencijom Ω . Na Slici 3. prikazani su dijagrami maksimalnih amplituda oscilacija za različite omjere frekvencije pobude i prve frekvencije sustava za trajanje odziva od 40 sec. Dobiveni rezultati uspoređeni su s analitičkim rješenjem [4]. Za oba područja rezonancije karakterističan je fenomen udaranja (*eng.* beating). Manje amplitude odziva promatranog modela možemo objasniti utjecajem geometrijske nelinearnosti na promjenu krutosti tijekom odziva. Matrica krutosti korigira se u svakom koraku odziva, dok je u analitičkom rješenju geometrijska krutost vezana za početnu deformaciju.



Slika 3. Maksimalne amplitude odziva točke C za različite omjere frekvencija i različit broj konačnih elemenata

Bitno je naglasiti da su odzivi kabela značajno ovisi o mehaničkim i geometrijskim svojstvima. Zbog velike vitkosti i fleksibilnosti, malog prigušenja, te nelinearnih interakcija, odzivi kabela mogu rezultirati kompleksnim dinamičkim fenomenima. Za jasnije sagledavanje tih fenomena potrebno je proširiti analitičku i numeričku analizu na skup modela različitih parametara.

Literatura

- [1] Ahmadi-Kashani, K.: Development of cable elements and their applications in analysis of cable structures, disertacija, University of Manchester Institute of Science and Technology, 1983.
- [2] Irvine, M.: Cable structures, MIT Press, Dover Publications Inc. 1981.
- [3] Nikolić, M. & Raduka, V.: Numeričko modeliranje parametarskih oscilacija lančanice, Zbornik Petog susreta Hrvatskog društva za mehaniku, Donja Stubica, str. 131–136, 2013.
- [4] Sun, B.N., Wang, Z.G., Ko, J.M. & Ni, Y.Q.: Parametrically excited oscillation of stay cable and its control in cable-stayed bridges, Journal of Zhejiang University Science, Vol. 4, No.1, str. 13-20, 2003.
- [5] Tibert, G.: Numerical Analysis of Cable Roof Structures, disertacija, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1999.
- [6] K. Takahashi, Dynamic stability of cables subjected to an axial periodic load, Journal of Sound and Vibration, Vol. 144, No. 2, str. 323-330, 1991.
- [7] C.E. Douthe & C.J. Gantes, Investigation of coupling between external and parametric resonances in small sagged inclined cables. Proceedings of the 3rd ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Corfu, Greece, 2011.

119 - ODREĐIVANJE PODRUČJA I INTENZITETA PROCJEĐIVANJA U LIJEVOM ZAOTALJU BRANE HIDROELEKTRANE MOSTAR

Mirna Raić (mirna.raic@tel.net.ba)
Sveučilište u Mostaru; Građevinski fakultet

Sažetak

Hidroelektrana Mostar, kao posljednje nizvodno postrojenje projekta Srednja Neretva izgrađena je s namjenom da u pogonskoj sprezi s radom HE Salakovac vrši izravnjanje protoka u nizvodnom toku rijeke Neretve. Od podzemnih objekata na ovoj hidroelektrani, pored ostalih, izvedena je kombinirana protufiltracijska dijafragma. Oko čela dijafragme se formiraju značajni gradijenti razine podzemnih voda s povećanim brzinama tečenja. Na okolnom prostoru, oko nasipa i dijafragme, ima naznaka filtracijskih deformacija tla, te razvoja dominantnih pravaca strujanja podzemnih voda, što je potvrđeno ispitivanjima koja su provedena u različitim periodima. Ovaj rad je rezultirao s određivanjem dominantnih pravaca tečenja u lijevom zaobalju HE Mostar, u cilju određivanja količina voda koje se procjeđuju, kao i njihovog utjecaja na stabilnost tla. Analiza strujanja je urađena koristeći program DHI WASY FEFLOW 6.0, gdje su dobiveni rezultati verificirani rezultatima izmjerenim na terenu. Model je dao rezultate s neznatnim odstupanjima. Zaključeno je kako je prostorni model pogodan za daljnja istraživanja i analize i može naći primjenu kako kod monitoringa strujanja podzemnih voda na području, tako i kod analize rizika od pronosa zagađenja u podzemlju lijevog zaobalja HE Mostar.

Uvod

Osnovni zadatak kod rješavanja praktičnih problema iz oblasti hidrotehnike je prognoza režima podzemnih voda, posebno u uvjetima eksploatacije, odnosno primjene različitih tehničkih rješenja. U ovisnosti o postavljenom zadatku, znanju istraživača, uvjetima na terenu i tehničkim mogućnostima, različit je metodološki pristup i koncepcija rješavanja danog problema. Najčešće se izučavanje režima podzemnih voda u okviru izučavane strujne oblasti provodi preko modela tečenja, različitih karakteristika, namjena i mogućnosti. Njihova zajednička osobina je da na odgovarajući način mogu simulirati (oponašati) prirodnu sredinu i određene elemente režima podzemnih voda.



Slika 1. Hidroelektrana Mostar s lijevom zaobaljem



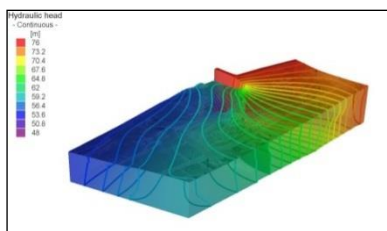
Slika 2. Mreža trokutnih konačnih elemenata na tlocrtnom modelu područja HEMO

Cilj rada je potvrditi primjenu prostornog stacionarnog modela tečenja podzemnih voda, zasnovanog na tehnici konačnih elemenata, na razmatranom području lijevog zaobalja hidroelektrane Mostar u svrhu određivanja dominantnih pravaca tečenja podzemnih voda i količine vode koja se procjeđuje. Modeliranje se radilo na osnovu baze postojećih podataka. Analiza filtracijskih strujanja uz utvrđivanje efekata tečenja u podzemlju lijevog zaobalja hidroelektrane Mostar obavljena je računalnim programom FEFLOW 6.0 (Finite Element Subsurface Flow and Transport Simulation System). To je programski paket za modeliranje tečenja fluida i transport čestica, kao i pronosa topline u podzemlju, koji je razvijen od strane njemačke tvrtke DHI-WASY GmbH.

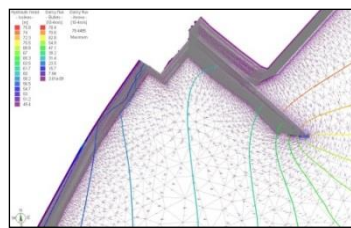
Konceptualni model

U svrhu definiranja raspodjele akumulacijskih i transportnih karakteristika sredine formiran je trodimenzionalni model lijevog zaobalja HE Mostar (HEMO). Za formiranje modela bila je na raspolaganju projektna dokumentacija i podloge koje su dobivene na posudbu za potrebe izrade magistarskog rada od JP Elektroprivrede HZ H-B Mostar.

Profil je određen spajanjem mjesta bušotina s poznatim RPV i/ili koeficijentom filtracije na osnovu podataka ranijih terenskih istraživanja. Izdvojeno područje je diskretizirano mrežom trokutnih konačnih elemenata. Interakcija između odbačenog i modeliranog područja nadomještena je početnim i rubnim uvjetima. Razmatrano je stacionarno tečenje u zasićenom vodonosniku sa slobodnom površinom. Rubni uvjeti su zadani kao apsolutna vrijednost kote gornje vode HE Mostar i nizvodno od HE, zadana je kota najvišeg aktivnog reda barbakana i dalje se nastavlja rubni uvjet – donja voda HE Mostar. Treća dimenzija modela je određena definiranjem 4 sloja materijala na 23 bušotine (čvora) raspoređenih po čitavom području. Na osnovu tih podataka, cijelo područje je interpolirano Kriging metodom regionalizacije. Vrijednosti koeficijentata filtracije su kvalitativno pridruženi određenim slojevima i/ili bušotinama na osnovu analize geoloških istražnih radova na području kroz dugi niz godina.



Slika 3. Površine jednakih potencijala – prostorni prikaz



Slika 4. Raspored brzina tečenja oko dijafragme

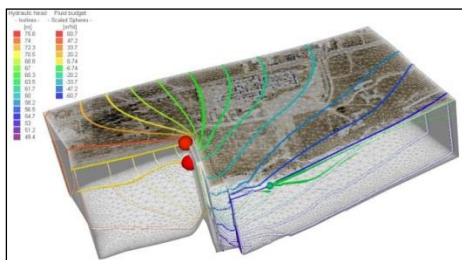
Rezultati modela

Promatrajući ukupno područje modela može se zaključiti kako se najveće brzine tečenja podzemnih voda pojavljuju u prvom sloju i to na području nizvodno od lijevog obalnog zida, na mjestu ispusta iz drenažnog kanala.

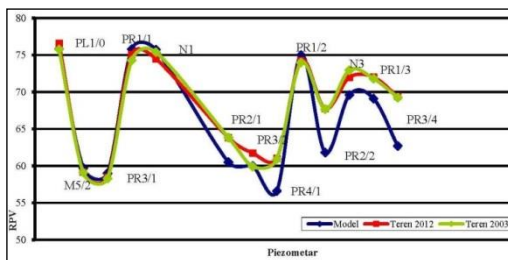
Prema rezultatima geofizičkih istraživanja koja su rađena tijekom 2003. godine na području lijevog zaobalja hidroelektrane Mostar, efektivna brzina tečenja podzemnih voda na mjestu proboja dijafragme je $v_{ef} = 6,6 \cdot 10^{-3}$ m/s. Model koji je predmet ovoga magistarskog rada je rezultirao s maksimalnom vrijednošću brzine na mjestu istjecanja iz drenažnog kanala od $7,84 \cdot 10^{-3}$ m/s. Prema hidrološkim volumnim mjerenjima izdašnosti na barbakanama (otvorima) na lijevom obalnom zidu nizvodno od hidroelektrane Mostar (HEMO) koja su rađena u sklopu istraživanja za potrebe obnove sustava monitoringa na HEMO i procjene količina vode koja se javljaju na vrelima nizvodno od lijevog obalnog zida HEMO, ukupna količina vode je iznosila približno 348,40 l/s. Modeliranje u FEFLOW-u je dalo vrijednost na rubu modela koji graniči s koritom rijeke Neretve količinu vode koja se procjeđuje od 326,01 l/s. Zbroj količina vode koja istječe u tim čvorovima je jednak gore navedenoj vrijednosti od 326,01 l/s.

Zaključak

Urađeno modeliranje na prostornom stacionarnom matematičkom modelu prostora lijevog zaobalja hidroelektrane Mostar, omogućilo je kvalitativno sagledavanje utjecaja postojećih objekata hidroelektrane na uvjete filtracije u razmatranom području. Imajući u vidu izrazitu nehomogenost razmatranog prostora, kao i složene rubne uvjete, odabrana metoda matematičkog modeliranja korištenjem programskog rješenja FEFLOW se pokazala kao veoma praktična za analizu tečenja podzemnih voda.



Slika 5. Prostorni prikaz mjesta utjecanja i istjecanja s naznačenim ekvipotencijalama



Slika 6. Usporedba rezultata RPV dobivenih numeričkim modelom i rezultata mjerenih na terenu u dva navrata

Rad je pokazao kako primjena ovakvog načina modeliranja može naći široku primjenu kod određivanja dominantnih pravaca tečenja podzemnih voda. Samim određivanjem pravaca i intenziteta dominantnih tokova podzemnih voda određeni su i pravci mogućeg pronosa zagađenja u podzemlju. Uz točno definiranu geometriju područja, kao i detaljno obrađene raspoložive geološke podatke s velikog broja bušotina na području, moguće je dobiti kvalitetnu predodžbu stanja podzemnih voda. Posebnu pozornost je potrebno obratiti na vjerodostojnost podataka koji nam služe za provjeru modela. Prije usvajanja ulaznih parametara potrebno je uraditi kalibraciju postojećih podataka koji će vjerojatno biti referentni podaci za kontrolu rezultata modela. Slučaj kada je moguće usporedno s istraživanjima na terenu, formirati model tečenja podzemnih voda je najprikladniji za hidrodinamičku analizu, ali je, rijetko izvodljiv. Dobiveni prostorni stacionarni model lijevog zaobalja hidroelektrane Mostar je osnova za daljnje razvijanje nestacionarnog modela za čije potrebe je neophodno neprekidno dopunjavati bazu podataka s novim podacima osmatranja. Model je također polazna točka za analizu rizika zagađenja, odnosno pronos zagađenja kroz podzemlje prema rijeci Neretvi koja nizvodno od razmatranog područja prolazi kroz grad Mostar. Obzirom na neposrednu blizinu magistralnog puta Mostar-Sarajevo, kao i blizinu gradske deponije otpada Uborak, koji su potencijalni izvori zagađenja područja, na odgovarajući način je moguće simulirati bilo kakvu incidentnu situaciju na ta dva lokaliteta koja bi mogla dovesti u opasnost područje od zagađenja. Preporuka za buduća istraživanja je kontinuirano nastaviti s dopunjavanjem baze podataka dobivenih s terena koji bi mogli poslužiti za što točnije definiranje stvarnog stanja u podzemlju lijevog zaobalja hidroelektrane Mostar. Podaci se tada mogu iskoristiti za dopunjavanje modela, a i za provjeru dobivenih rezultata u budućim modelskim istraživanjima.

Literatura

[1] Raič, M.: Određivanje područja i intenziteta procjeđivanja u lijevom zaobalju brane hidroelektrane Mostar, Magistarski rad (FGAG Sveučilišta u Splitu), 2012.

120 - IZRADA GIS BAZE PODATAKA ZA SLIV RIJEKE DUBRAČINE RADI UTVRĐIVANJA STANJA SLIVA TE UMANJENJA I SPREČAVANJA POJAVE BUJICA, POPLAVA, EROZIJE I LOKALNIH KLIZIŠTA

Ivana Sušanj (ivana.susanj@gradri.hr), Nevena Dragičević (nevena.dragicevic@gradri.hr), Barbara Karleuša (barbara.karleusa@gradri.hr), Nevenka Ožanić (nevenka.ozanic@gradri.hr)
Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet

Uvod

Unutar rada je opisana metodologija razvoja baze podataka unutar Geografskog Informacijskog Sustava (GIS), koja je poslužila kao temelj za utvrđivanje trenutnog stanja na slivu te kao uvod u analizu potencijalnih i prihvatljivih mjera usmjerenih ka ublažavanju i prevenciji pojave bujica, poplava, erozije i lokalnih klizišta. Baza podataka je napravljena za slivno područje rijeke Dubračine, smješteno u Vinodolskoj dolini (Primorsko – Goranska županija; Hrvatska), koje je svojom razgranatom hidrografskom mrežom, neposrednom površinom i vodnom bilancom najveći i najznačajniji sliv [1,2]. Ovo područje je na temelju u povijesti zabilježenih kratkotrajnih oborina velikog intenziteta, popraćenih bujičnim tokovima, erozijskim procesima i pojavom klizišta te opasnosti budućeg stvaranja istoga sa potencijalno većim hazardnim intenzitetima i posljedicama. Podaci o izvedenim hidrotehničkim objektima (regulirani vodotoci, cestovni propusti, bujične pregrade...), geologiji (vrsta tla, područja zahvaćena erozijom, klizišta), namjeni zemljišta (vrste vegetacije, poljoprivredna zemljišta...), antropologiji (urbane površine, cestovna infrastruktura, nelegalna odlagališta otpada...) te raznovrsni povijesni podaci (hazardna područja, izvedene mjere zaštite...) implementirani su kao organizirane i zavisne informacije koristeći programski paket ArcGIS 10.1.

U zadnjih stotinjak godina na slivnom području rijeke Dubračine izvršen je cijeli niz geoloških i hidro-geoloških istraživanja, kao i niz rekonstrukcija koji na žalost nisu doprinijeli cjelokupnom rješenju problema. Dodatni problem predstavljaju gubitak i teška dostupnost dijela izrađenih istražnih elaborata i sanacijskih projekata, dok dio dostupnih u mnogo slučajeva ne odgovara trenutnom stanju na slivu. Postojeća dokumentacija nikad nije objedinjena na jednom mjestu, što onemogućuje sagledavanje cjelokupnog problema na promatranom području, te vodi rješavanju lokanih već nastalih problema na slivu, a ne njihovoj prevenciji i ublažavanju [3,4].

Cilj rada i metodologija istraživanja

Glavni cilj ovoga rada je objediniti postojeće podatke i probleme na istražnom području pri čemu je korišten programski paket ArcGIS 10.1. za izradu baze podataka kao temelj za praćenje trenutnog stanja na slivu te ublažavanje i prevenciju pojave bujica, poplava, erozije i lokalnih klizišta.


Istraživanje za potrebe rada je podijeljeno u nekoliko glavnih grupa aktivnosti. Prva grupa aktivnosti bila je prikupljanje postojećih podataka i dokumentacije o istražnom području kao što su karte, fotografije, projekti sanacije, istražni elaborati i sl. Nakon toga, uslijedila je druga grupa aktivnosti koja je obuhvatila istraživanje provedeno na samom terenu („on-site“) analizom stanja pritoka rijeke Dubračine i popunjavanjem pripremljenog obrasca, izradom fotodokumentacije stanja sliva i korita svake pritoke zasebno te usporedba postojećih podataka s onima prikupljenima na terenu. Kao završna aktivnost u fazi istraživanja provedena je reorganizacija sada objedinjenih podataka prema unaprijed definiranoj klasifikaciji (grupe podataka prema klasifikaciji: hidrološki, geološki, pokrov zemljišta, namjena zemljišta,...).

Nakon klasifikacije prikupljenih podataka, istovrsni podaci formirani u skupine su s geografski pridruženim koordinatama prikazani kao slojevi („layer“) u programskom paketu ArcGIS 10.1 kako bi tvorili organiziranu i koreliranu bazu podataka. U svrhu bolje preglednosti baze podataka podaci su dodatno razdijeljeni u dvije glavne grupe: Postojeći podaci i Podaci dobiveni istraživanjem. Primjeri jednog skupa postojećih i jednog skupa podataka dobivenog istraživanjem prikazani su u *Tablici 1.* i *Tablici 2.*

Tablica 1. Primjer postojećih podataka

	PRIKAZ PODATAKA U Arc GIS-u	VRSTA PODATAKA	OPIS PODATAKA
POSTOJEĆI PODACI		Karta	Sloj („Layer“) se sastoji od hrvatske topografske karte s ucrtanim slivnim područjem rijeke Dubračine (označeno narančastom površinom – istražno područje) Mjerilo- 1:25000

Tablica 2. Primjer podataka dobivenih istraživanjem

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">PODACI ISTRAŽIVANJE</p>		<p>Hidrološki</p>	<p>Sloj („Layer“) se sastoji od izvora (plave točke), hidrografske mreže (plave linije), slivnog područja rijeke Dubračine i slivnog područja svake njene pritoke (narančasta površina omeđena crvenim linijama).</p>

Većina podataka implementiranih u bazu podataka sastoji se od jedne ili više komponenti s geografski pridruženim koordinatama slikovnog, opisnog ili kvantitativnog karaktera koji objedinjeni ovakvom bazom pružaju cjelovitu informaciju na jednom mjestu.

Zaključak

Izradom baze podataka pomoću programskog paketa ArcGIS 10.1., u kojoj je moguće sve značajne informacije i njihova svojstva, kao što su podaci o izvedenim hidrotehničkim objektima (regulirani vodotoci, cestovni propusti, bujične pregrade...), geologiji (vrsta tla, područja zahvaćena erozijom, klizišta), namjeni zemljišta (vrste vegetacije, poljoprivredna zemljišta...), antropologiji (urbane površine, cestovna infrastruktura, nelegalna odlagališta otpada...) i povijesnim podacima (hazardna područja, izvedene mjere zaštite...), naći na jednom mjestu, daje se ne samo uvid u trenutno stanje na slivu već i mogućnosti njene široke primjene i budućeg razvoja.

Ovakav istraživački pristup neophodan je za sagledavanje cjelokupne problematike nekog područja. Stoga, primjena ove metodologije na istražno područje sliva Dubračine, pruža mnogobrojne mogućnosti korištenja pri izradi hidroloških modela otjecanja, u domeni gospodarenja vodama, upravljanju hazardima, prostornom planiranju na području Vinodolske doline te i u mnogim drugim disciplinama koje nisu izravno povezane s građevinskom strukom.

Prednost raznolike primjene jedinstvene baze podataka, kao ishodišne podloge za rad, je razvoj i povezivanje analiza klasificiranih podataka, gdje završni rezultati jedne analize mogu biti ishodišni podaci za sljedeću. Primjer toga je sintetiziranje baze podataka s meteorološkim i hidrološkim mjerenjima te razvoj hidrološkog modela za prognoziranje vodnih količina na istražnom području, što je važan čimbenik pri analizi potencijalnih hazarda induciranih bujicama, erozijom ili klizištima. Potom korištenje rezultata iz modela i analize hazarda, u istoj bazi, za izradu prostornih planova gdje se na području potencijalnog hazarda usmjeravaju, ograničavaju ili pak zabranjuju određene namjene i aktivnosti na nekom prostoru, poput izgradnje, siječe drveća i raslinja, namjena zemljišta, ispaše stoke i slično.

Iz ovakvih modela i analiza proizlaze mjere ublažavanja i prevencije potencijalnih hazardnih događaja koje je sa strane lokalne uprave neophodno implementirati u svakodnevni život stanovništva kroz razne oblike edukacije, obavješćivanja i pripreme zakonske regulative i propisa u cilju zaštite stanovništva i materijalnih dobara.

Metodologija istraživanja opisana u ovom radu zahtjeva multidisciplinarni pristup i timski rad stručnjaka iz različitih područja čime se doprinosi sukcesivnom razvoju sustava, koji omogućava planiranje buduće namjene i aktivnosti na nekom prostoru, kako bi kroz ublažavanje i prevenciju pojave bujica, poplava, erozije i lokalnih klizišta prostor za život učinio sigurnijim i kvalitetnijim te na poslijetku pridonijelo njegovom gospodarskom i ekonomskom razvitku.

Zahvala

Istraživanje je provedeno u sklopu bilateralnog Hrvatsko-Japanskog projekta: "Identifikacija rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje nepogoda kod odrona zemlje i poplava u Hrvatskoj" te uz potporu znanstvenog projekta „Hidrologija osjetljivih vodnih resursa u kršu“. (114-0982709-2549) financiranog od Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH. Također, upućujemo veliku zahvalu studentu Lovelu Baričiću na pomoći pri terenskom istraživanju.

Literatura

- [1] Ružić I, Sušanjan I, Ožanić N: *Analyses of event runoff coefficients: Slani potok and Dubračina river*. 2010, Croatia–Japan Project on Risk Identification And Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia: 1st project workshop: „INTERNATIONAL EXPERIENCE“, Dubrovnik (Croatia).
- [2] Sušanjan, I, Ožanić, N, Yamashiki, Y: *Analysis of flash flood occurred at Slani potok*. 2012, Croatia–Japan Project on Risk Identification And Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia: 3rd Project Workshop, Zagreb (Croatia).
- [3] Aljanović D, Jurak V, Mileusnić M, Slovenec D, Presečki F: The origin and composition of flysch deposits as an attribute to the excessive erosion of the Slani Potok Valley („Salty Creek“). 2010, Croatia, Geologia Croatia Nr. 63, vol.3, pag 313-322.
- [4] Dragičević, N, Karleuša, B; Ožanić, N: *Uključivanje javnosti u zaštitu od erozije i bujica*, Proceedings book Graditeljstvo-poluga znanja, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Cavtat, Croatia 2012. pp. 775-784

121- MODELIRANJE RASPUCAVANJA SLOJEVITIM GREDNIM KONAČNIM ELEMENTIMA

*Paulo Šćulac (paulo.sculac@gradri.hr)
Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet*

Armirani beton kompozitni je materijal koji kombinira dva, po mehaničkim karakteristikama, različita materijala: beton i čelik. Beton, koji ima veliku tlačnu čvrstoću, u presjeku preuzima tlačna naprezanja; no zbog male vlačne čvrstoće u vlačnom dijelu presjeka moramo ugraditi armaturu, koja preuzima vlačna naprezanja. Potpuna kompatibilnost između armaturne šipke i okolnog betona može se pretpostaviti samo u početnoj fazi opterećenja elementa i za malene razine deformacija. S porastom opterećenja, javlja se proklizavanje koje uzrokuje relativne pomake između armature i okolnog betona.

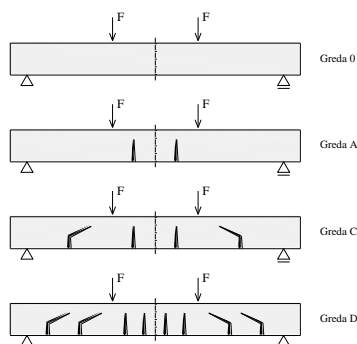
Osnovne komponente mehanizma nošenja armiranog betona (raspucavanje betona u vlaknu i proklizavanje armaturnih šipki u odnosu na okolni beton) u ovom su radu obrađene unutar metode konačnih elemenata, i to primjenom metode s diskretnim pukotinama na gredne konačne elemente. Modeliranje procesa nastajanja i razvoja pukotina korištenjem konačnih elemenata vrlo je složeno, vremenski dugotrajno te iziskuje složene nelinearne procedure. Gredni konačni elementi, temeljeni na relativno jednostavnoj grednoj teoriji, imaju znatno smanjen broj stupnjeva slobode u odnosu na ravninske ili prostorne konačne elemente, te time pružaju dobru osnovu za učinkovitije rješavanje procesa modeliranja raspucavanja.

U ovom radu prikazat će se novi slojeviti gredni konačni element s ugrađenom poprečnom pukotinom, kojim je moguće prikazati raspucavanje u armirano betonskim ravninskim elementima uslijed monotonog opterećenja. Mehanizam nastajanja i razvoj pukotine opisan je koristeći princip mehanike oštećenja [1] zajedno s energetskim pristupom iz mehanike loma [2]. Razvijeni se element temelji na geometrijski točnoj Reissnerovoj grednoj teoriji [3], odnosno Timošenkovoj teoriji, kao njezinoj geometrijski linearnoj formi. Element se sastoji od proizvoljnog broja slojeva, koji su međusobno povezani krutom vezom (bez mogućnosti proklizavanja ili međusobnog odvajanja), a svaki se sloj može zaokretati neovisno o drugim slojevima [4].

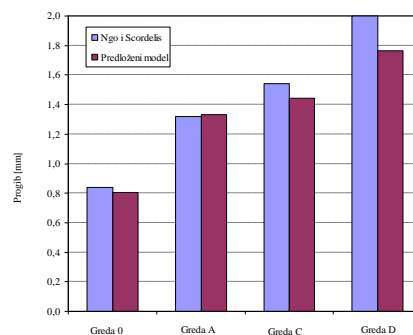
Podjela poprečnog presjeka elementa po visini na slojeve odabrana je iz nekoliko razloga: i) moguće je modelirati krivljenje poprečnog presjeka (koje je u standardnoj grednoj teoriji zanemareno); ii) moguće je pratiti razvoj pukotina po visini poprečnog presjeka, a da se pritom ne naruši Bernoullijeva hipoteza o ravnim presjecima unutar slojeva; iii) pri razvoju pukotine po visini poprečnog presjeka nema potrebe za ponovnim definiranjem topologije mreže [5].

Element ima ugrađenu poprečnu pukotinu, za koju pretpostavljamo kako može prenositi kohezivna naprezanja dok god je dovoljno uska [2]. Pretpostavljeno je da se pukotina u pojedinom sloju elementa otvara u trenutku kada naprezanje u betonu na središnjoj osi sloja dosegne vlačnu čvrstoću. Nakon otvaranja, pukotina se širi po cijeloj visini sloja. Na taj način moguće je modelirati propagaciju pukotine po visini grede. Svaki raspucali sloj uključuje diskontinuitet u polju pomaka i diskontinuitet u polju zaokretu poprečnog presjeka koji je jednak kutu nagiba pukotine. Armaturne šipke modelirane su kao dodatni sloj, konačne površine čija je debljina jednaka nuli, koji se nalazi unutar betonskog sloja povezan prikladnim konstitutivnim zakonom, npr. [6], koji definira naprezanje prionljivosti kao funkciju proklizavanja armature. Uslijed proklizavanja armaturnog sloja u odnosu na okolni betonski sloj u svakom se čvoru javlja dodatni stupanj slobode. Za rješavanje problema „shear locking“ upotrijebljena je vezana interpolacija [7], koja podrazumijeva veći stupanj interpolacije za poprečne pomake, nego li za rotacije.

Provedena je verifikacija razvijenog grednog konačnog elementa na nekoliko testnih primjera pri čemu su rezultati uspoređeni s rezultatima dobivenim analitičkim postupcima te eksperimentalnim testovima, s ciljem ocjene efikasnosti i točnosti razvijenih elemenata. Rezultati analize jednog primjera ukratko su prikazani u nastavku.



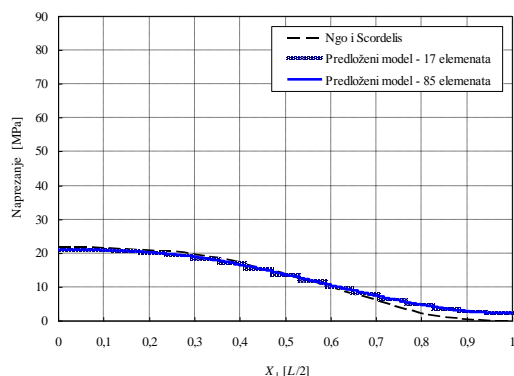
Slika 1. Obrasci raspucavanja



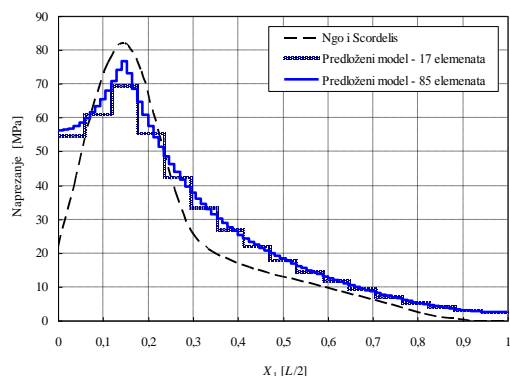
Slika 2. Progib u sredini raspona grede

Analiziramo slobodno oslonjenu gredu opterećenu dvjema silama u trećinama raspona, za koju su Ngo i Scordelis [8] proveli dvodimenzionalnu analizu koristeći trokutne konačne elemente za različite obrasce raspucavanja (Slika 1.),

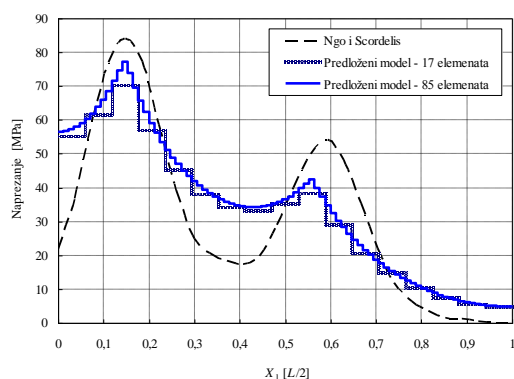
pri čemu su pukotine unaprijed modelirali odvajanjem konačnih elemenata pomoću dvostrukih čvorova na mjestu pukotine. Greda 0 ne sadrži pukotine, i koristi se kao osnova za usporedbu s modelima koji imaju unaprijed definirane pukotine. Dijagonalne pukotine u Gredi C i D su u predloženom modelu idealizirane kao poprečne pukotine iste dubine. Primijenjeni su dvočvorni elementi. Svi su konstitutivni zakoni ponašanja materijala linearni: čelik, beton te naprezanje prionljivosti-proklizavanje armature.



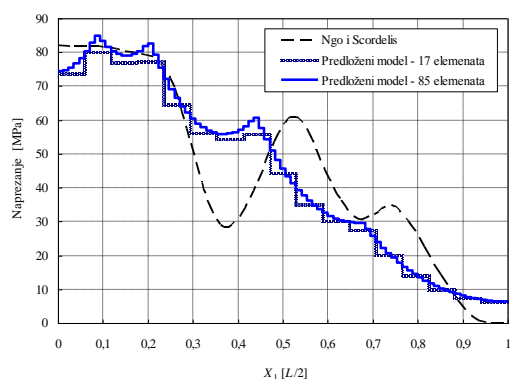
Slika 3. Naprezanje u armaturi-Greda 0



Slika 4. Naprezanje u armaturi-Greda A



Slika 5. Naprezanje u armaturi-Greda C



Slika 6. Naprezanje u armaturi-Greda D

Usporedba progiba u sredini raspona grede dana je na Slici 2., gdje se mogu uočiti vrlo dobra poklapanja za sve obrasce raspucavanja. Raspodjela napreznja u armaturi prikazana je na Slikama 3.-6. (zbog postojanja simetrije samo za desnu polovicu grede), na kojima se jasno može primijetiti lokalizirani utjecaj raspucavanja. Na mjestu pukotine naprezanja u armaturi znatno se povećavaju, što se vrlo dobro poklapa s referentnim rezultatima.

Zahvala

Rezultati prikazani u ovom radu dio su znanstvenog projekta br. 114-0000000-3025 „Unapređenje točnosti nelinearnih grednih elemenata s neograničenim 3D rotacijama“ financijski poduprtog od strane Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske.

Literatura

- [1] Bažant, Z.P. & Planas, J.: Fracture and size effect in concrete and other quasibrittle materials, CRC Press LLC, 1998.
- [2] Hillerborg, A., Modeer, M. & Petersson, P.-E.: Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements, Cement and Concrete Research, Vol. 6, str. 773–782, 1976.
- [3] Reissner, E.: On one-dimensional finite-strain beam theory; the plane problem, Journal of Applied Mathematics and Physics (ZAMP), Vol. 23, str. 795-804, 1972.
- [4] Škec, L. & Jelenić, G.: Analysis of a geometrically exact multi-layer composite beam with a rigid interlayer connection, Acta Mechanica, DOI: 10.1007/s00707-013-0972-5, 2013.
- [5] Ščulac, P., Jelenić, G. & Škec, L.: Kinematics of layered reinforced-concrete planar beam finite elements with embedded transversal cracking, poslano u International Journal of Solids and Structures.
- [6] Eligehausen, R., Popov E.P. & Bertero, V.V.: Local bond stress-slip relationship of deformed bars under generalized excitations, Report No. UCB/EERC 83-23, University of California, Berkeley, 1983.
- [7] Jelenić, G. & Papa, E.: Exact solution of 3D Timoshenko beam problem using linked interpolation of arbitrary order, Archive of Applied Mechanics, Vol. 81, str. 171–183, 2011.
- [8] Ngo, D. & Scordelis, A.C.: Finite element analysis of reinforced concrete beams, ACI Journal, Vol.64, str. 152-163, 1967.

122 - GEOMETRIJSKI NELINEARNI MODEL VIŠESLOJNE GREDE

Leo Škec (leo.skec@gradri.hr)
Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet

Posljednjih nekoliko desetljeća bilježi se značajni porast primjene i istraživanja slojevitih i kompozitnih nosača različitih tipova u brojnim granama inženjerstva; od strojarstva i građevinarstva sve do medicine. Kompozitni nosač nužno podrazumijeva primjenu dva ili više različitih materijala u jednom spregnutom poprečnom presjeku, dok slojeviti nosač može biti sastavljen i od samo jedne vrste materijala. Ako govorimo o primjeni u građevinarstvu, tada su najrašireniji primjeri kompozitnih nosača spregnute konstrukcije čelik-beton u mostogradnji ili drvo-beton za međukatne konstrukcije. Istraživanje slojevitih i kompozitnih nosača je također vrlo aktualno u svijetu tehničke mehanike i računalnog modeliranja, gdje se slojeviti nosači najčešće modeliraju kao prostorni, ravninski ili gredni nosači. Gredni modeli se pak mogu podijeliti na dvoslojne, troslojne i višeslojne, a analiza istih može biti linearna, što omogućava analitičko rješenje problema [1,4,6], ili geometrijski i/ili materijalno nelinearna, što podrazumijeva numeričko rješenje problema [2,5,8].

U ovom radu predstavljen je gredni model za višeslojnu gredu s proizvoljnim brojem slojeva (n) i krutom vezom među njima. To znači da je klizanje i razmicanje među slojevima spriječeno, ali svaki sloj može imati vlastiti kut zaokreta poprečnog presjeka. Uz to, svaki sloj može imati zasebne materijalne i geometrijske karakteristike. Model je geometrijski nelinearan, što znači da su kinematičke jednadžbe za svaki sloj posebno zapisane u geometrijski egzaktnom obliku prema Reissnerovoj grednoj teoriji [3]. Konstitutivne jednadžbe svakog sloja zapisane su, međutim, u linearno-elastičnom obliku, što označava materijalnu linearnost. Po svakom sloju imamo dvije komponente pomaka i zaokret poprečnog presjeka, što ukupno daje $3n$ nepoznatih funkcija, ali se zbog krute veze među slojevima na relativno jednostavan način ukupan broj nepoznatih funkcija može svesti na $2+n$. Naime, iz same kinematike takve grede moguće je pomak svakog sloja zapisati preko pomaka nekog proizvoljno odabranog referentnog sloja i kutova zaokreta odgovarajućih slojeva. Ti izrazi, nazvani vezne jednadžbe, omogućavaju da se ukupan broj nepoznatih funkcija reducira samo na pomake referentnog sloja te kutove zaokreta poprečnog presjeka svih slojeva ($u, v, \theta_i, i=1, \dots, n$).

Ravnotežne jednadžbe problema izvedene su iz principa virtualnog rada, gdje je ukupni virtualni rad dobiven kao zbroj virtualnih radova svih slojeva jednak nuli. Ukupni rad virtualnih deformacija i zakrivljenosti na unutrašnjim silama i momentima mora biti jednak ukupnom radu virtualnih pomaka i rotacija na vanjskim silama i momentima. Kada kinematičke, konstitutivne i vezne jednadžbe uvrstimo u izraz za princip virtualnog rada dobivamo nelinearni sustav jednadžbi po osnovnim nepoznatim funkcijama ($u, v, \theta_i, i=1, \dots, n$) čije rješenje nije moguće u analitičkom obliku. Slijedeći korak je interpolacija virtualnih nepoznatih funkcija, čime se greda diskretizira na N čvorova, što dalje omogućava zapis vektora neuravnoteženih sila (reziduala) za svaki čvor. Linearizacijom reziduala uz interpolaciju osnovnih nepoznatih funkcija dobivamo čvorne matrice krutosti sustava koje sačinjavaju globalnu tangentnu matricu krutosti. Rješenje sustava dobiva se iterativno koristeći Newton-Raphsonovu proceduru koja završava kada su popravci čvornih vrijednosti osnovnih nepoznatih funkcija zadovoljavajuće mali.

Predstavljeni model uspoređen je najprije sa srodnim modelom za višeslojne geometrijski nelinearne grede [8], a kasnije i s geometrijski linearnim i nelinearnim rješenjima za ravninsko stanje naprezanja. Za prvu usporedbu uzet je primjer gdje se konzola duljine $L = 1$ savija u puni krug koncentriranim momentom M na slobodnom kraju (čisto savijanje). Rezultati tog testa za 5 konačnih elemenata s linearnom interpolacijom nepoznatih funkcija dani su u Tablici 1. i pokazuju očekivano dobre rezultate. Treba napomenuti da je kod troslojne grede uzeta raspodjela momenata po slojevima $M_1 : M_2 : M_3 = 7:13:7$ koja daje jednake kutove zaokreta svih slojeva.

Tablica 1. Usporedba rezultata za primjer savijanja konzole u puni krug. Točna rješenja su $u(L) = 1, v(L) = 0$ i $\theta(L) = 2\pi = 6.28319$.

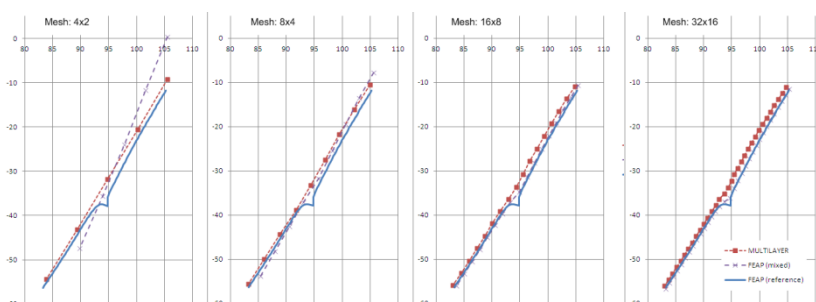
	Jednoslojna greda			Troslojna greda		
	$u(L)$	$v(L)$	$\theta(L)$	$u(L)$	$v(L)$	$\theta_i(L)$
Škec & Jelenić [5]	-0.99999	1.9415E-17	6.28319	-0.999999	3.29089E-17	6.28319
Vu-Quoc et al. [8]	-1.00003	2.92110E-09	6.28300	-0.999999	-2.15292E-09	6.28319

Budući da predstavljeni model omogućava nezavisno rotiranje svakog sloja slojevite grede, a klizanje i razmicanje među slojevima je spriječeno, njime se mogu modelirati visoke grede kod kojih prilikom savijanja dolazi do vitoperenja poprečnog presjeka. U linearnoj analizi (za male pomake) poznato je i analitičko rješenje [7] te postoje različiti konačni elementi za ravninsko stanje naprezanja. Ukoliko se broj slojeva i konačnih elemenata višeslojne grede uskladi s brojem redova i stupaca u mreži pravokutnih konačnih elemenata, kao rezultat dobivamo manji ukupni broj stupnjeva slobode višeslojne grede u odnosu na mrežu pravokutnih konačnih elemenata za ravninsko stanje naprezanja. Na primjeru visoke konzole opterećene parabolikim tangencijalnim naprezanjem (ekvivalent koncentriranoj sili u osi) na slobodnom kraju, uz rubne uvjete koji omogućuju samo upetost osi [7] dana je usporedba rezultata višeslojnog grednog

modela, analitičkog rješenja [7] te pravokutnih konačnih elemenata za ravninsko stanje naprezanja. U Tablici 2. dane su vrijednosti pomaka u osi na slobodnom kraju u linearnoj analizi, a na Slici 1. oblik poprečnog presjeka slobodnog kraja u nelinearnoj analizi (veliki pomaci) gdje je umjesto raspodijeljenog tangencijalnog opterećenja na slobodnom kraju zadana koncentrirana poprečna sila u osi.

Tablica 2. Usporedba rezultata za pomake osi konzolne grede na slobodnom kraju opterećenom raspodijeljenim paraboličkim tangencijalnim opterećenjem (analitička rješenja [7] za $\nu = 0$ i $\nu = 0.25$ su $\nu = 3.8$ i $\nu = 3.95$)

Mreža $n \times N$	Višeslojna greda			2D "displacement-based" elementi			2D "enhanced-strain" elementi		
	s.s.	$\nu = 0$	$\nu = 0.25$	s.s.	$\nu = 0$	$\nu = 0.25$	s.s.	$\nu = 0$	$\nu = 0.25$
4 x 2	18	-3.5500	-3.6875	30	-2.7471	-2.8961	30	-3.5506	-3.4673
8 x 4	50	-3.7375	-3.8844	90	-3.5035	-3.5244	90	-3.7368	-3.6842
16 x 8	162	-3.7844	-3.9336	306	-3.7310	-3.6984	306	-3.7840	-3.7342
32 x 16	578	-3.7961	-3.9459	1122	-3.7837	-3.7383	1122	-3.7960	-3.7461



Slika 1. Usporedba različitih modela na slobodnom kraju visoke konzole za nelinearnu analizu

Rezultati ovih usporedbi pokazali su da višeslojni gredni model uz manji broj globalnih stupnjeva slobode u linearnoj analizi obzirom na analitičko rješenje daje bolje rezultate u odnosu na modele koji koriste konačne elemente za ravninsko stanje naprezanja. U nelinearnoj analizi prognošivanjem mreže gredni model ne teži istom rješenju kao i model s konačnim elementima za ravninsko stanje naprezanja (različite teorije), ali su rješenja i dalje usporediva. U budućem radu planira se uvođenjem različitih korekcijskih faktora za posmik za svaki sloj (što slijedi iz tangencijalne raspodjele naprezanja po visini presjeka) dodatno poboljšati rezultate višeslojnog grednog modela.

Predstavljeni model planira se proširiti uvođenjem popustljivosti na kontaktu između slojeva. Neki kontakti modeli već su napravljeni, preliminarni rezultati postoje, ali ozbiljnije numeričke analize i usporedbe s postojećim modelima [2] još nisu napravljene. Uz to, model se planira obogatiti i uvođenjem materijalne nelinearnosti kako u slojeve tako i u kontakti sloj (mehanika oštećenja), čime bi se mogla modelirati delaminacija slojevite nosača.

Literatura

- [1] Girhammar, U.A. & Pan, D.H.: Exact static analysis of partially composite beams and beam-columns, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 49, str. 239–255, 2007.
- [2] Kroflić, A., Saje, M., Planinc, I.: Non-linear analysis of two-layer beams with interlayer slip and uplift, Computers and Structures, Vol. 89, No. 23–24, str. 2414–2424, 2011.
- [3] Reissner, E.: On one-dimensional finite-strain beam theory; the plane problem, Journal of Applied Mathematics and Physics (ZAMP), Vol. 23, No. 5, str. 795–804, 1972.
- [4] Schnabl, S., Saje, M., Turk, G., Planinc, I.: Analytical solution of two-layer beam taking into account interlayer slip and shear deformation, Journal of Structural Engineering (ASCE), Vol. 133, No. 6, str. 886–894, 2007.
- [5] Škec, L., Jelenić, G.: Analysis of a geometrically exact multi-layer beam with a rigid interlayer connection, Acta Mechanica (u tisku), 2013. DOI: 10.1007/s00707-013-0972-5
- [6] Škec, L., Schnabl, S., Planinc, I., Jelenić, G.: Analytical modeling of multilayer beams with compliant interfaces. Structural Engineering and Mechanics, Vol. 44, No. 4, str. 465–485, 2012.
- [7] Timoshenko, S.P., Goodier, J.N.: Theory of Elasticity. McGraw-Hill, New York (1951)
- [8] Vu-Quoc, L., Deng, H., Ebcioglu, I.K.: Multilayer beams: a geometrically exact formulation, Journal of Nonlinear Sciences, Vol. 6, str. 239–270, 1996.

123 - SLOŽENO IZBOČENJE REŠETKASTIH KUPOLA

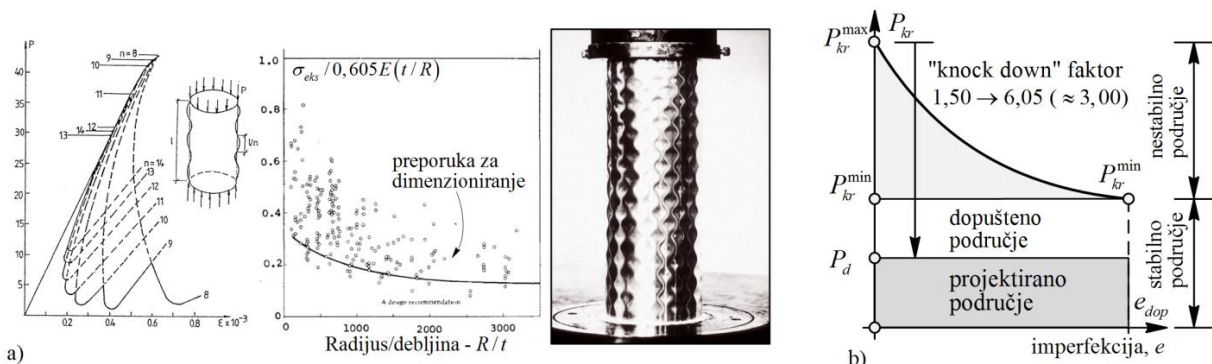
Mario Uroš (uros@grad.hr)
Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet

Konstruktivske cjeline mogu izgubiti stabilnost u velikom broju oblika. To prvenstveno ovisi o njihovim geometrijskim karakteristikama i načinu opterećenja. Gubitak stabilnosti je definiran s pojavom kritične točke nakon koje opterećenje sustava pada uz daljnji prirast pomaka. Svakom od mogućih oblika izvijanja pripada jedna vrijednost idealne kritične sile koja je potrebna da bi se sustav izvio u tom obliku. Pod određenim okolnostima, može se dogoditi da su vrijednosti dvije ili više kritičnih sila bliske. Time može doći do interakcije pripadnih oblika izvijanja što za posljedicu ima promjenu oblika ravnotežne krivulje u poslijekritičnom području. To često vodi prema smanjenju nosivosti konstrukcije ili nekog njezinog dijela. Čak i u slučajevima stabilnog poslijekritičnog ponašanja elemenata koji sačinjavaju konstrukciju može se dogoditi da njihova interakcija rezultira nestabilnim ponašanjem (Augustijev štap). Odrediti ponašanje i karakter te krivulje je osnovni problem pri analizi složenog izvijanja konstrukcija.

Oblici izbočenja su po svojoj definiciji međusobno ortogonalni. Samim time može se pogrešno zaključiti da ne mogu utjecati jedan na drugoga i da je dovoljno kontrolirati svaki zasebno. To vrijedi samo u slučaju linearizirane teorije kod pretpostavke malih pomaka. Kod realne pretpostavke velikih pomaka i pojave nelinearnosti interakcija u poslijekritičnom području može biti jako izražena [1].

U slučaju interakcije većeg broja oblika izvijanja moguća je pojava dvije vrste interakcije [2]. Prva se odnosi na višestruke lokalne oblike izvijanja, dok se druga odnosi na interakciju lokalnih i globalnih oblika izvijanja. Navedene interakcije mogu rezultirati velikom osjetljivošću sustava na imperfekciju. S praktične primjene, najčešći i najizraženiji pad nosivosti se u pravilu događa u slučaju podudaranja globalnog i lokalnog oblika izvijanja. U tom slučaju je i osjetljivost konstrukcije na utjecaj imperfekcije najveća. Međutim, to ne vodi nužno prema manjoj razini nosivosti optimalnog sustava.

Kod nekih sustava je interakcija oblika izvijanja prirodan proces koji nastaje deformiranjem statičkog sustava i posljedica je oblika. Primjer je izvijanje tankostijene ljske kod koje se broj poluvalova pri procesu izvijanju mijenja, što znači da su krivulje koje odgovaraju svakom od tih oblika međusobno u interakciji. Na Slici 1.a prikazani su rezultati ispitivanja uzdužno opterećenih tankostijenih, cilindričnih ljsaka kod kojih postoji visoki utjecaj interakcije oblika izvijanja na pad nosivosti i osjetljivost prema imperfekcijama. Uz karakterističnu ravnotežnu krivulju prikazani su i rezultati eksperimenata niza cilindričnih ljsaka različitih vitkosti i inicijalni poslijekritični oblik koji ljska ima u kritičnoj točki [3].



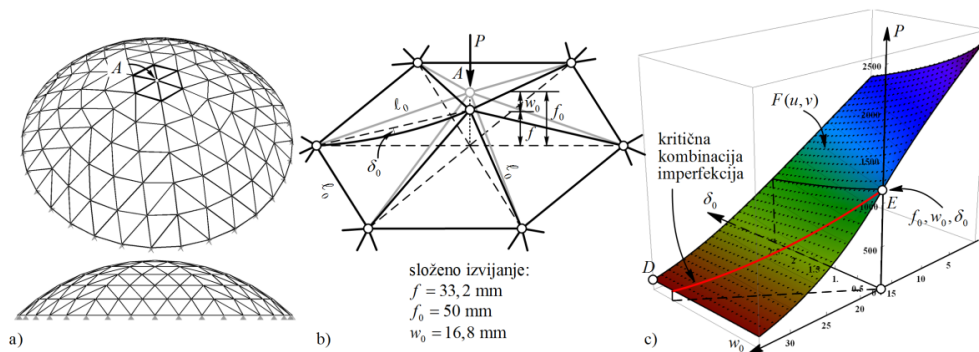
Slika 1. Primjer interakcije oblika izvijanja kod cilindrične ljske [3] i krivulja osjetljivosti rešetkaste kupole

Kod ostalih sustava se interakcija događa kao posljedica optimizacije. Jednoslojne rešetkaste kupole često se mogu svrstati u obje skupine što predstavlja poseban rizik s gledišta nosivosti. Problem njihovog složenog izvijanja je odavno uočen i prepoznat kao ograničavajući faktor pri projektiranju i optimizaciji. Međutim, ne postoji jednostavna i efikasna metoda kako bi se on sustavno mogao uzeti u obzir, bez složenih proračuna i parametarskih analiza. Točnije metode su temeljene na teoriji složenog izvijanja, a dijele se ovisno radi li se o analitičkim ili numeričkim metodama. Sve se baziraju na sustavima nelinearnih jednadžbi. Kod analitičkih metoda je ograničeno područje primjene na manje modele kojima se kvalitativno pokušava opisati fenomen. Numeričke metode su puno efikasnije, ali se u velikoj mjeri gubi kvalitativni opis te ih prate problemi prelaska kritičnih točaka.

U nacionalnim propisima problem složenog izbočenja nije adekvatno riješen, te se nastoji izbjeći njegova pojava. To se postiže prvenstveno ograničenjem dimenzija i osiguravanjem značajne razlike u vrijednostima kritičnih sila izvijanja za lokalne i globalne oblike. Također se utjecaj geometrijske nelinearnosti pokušava svesti na minimum. Time se u proračunu lokalno i globalno izvijanje promatra neovisno, preko krivulja izvijanja lokalno za štapne elemente ili na principu proračuna tankostijenih ljsaka preko teorije zamjenskog kontinuuma. Međutim, unutar globalnih oblika izvijanja postoje mnogi čija se interakcija ne može spriječiti jer su rezultat statičkog sustava [2]. U ovim slučajevima se

koriste visoki koeficijenti redukcije nosivosti (engl. *knock down factor*). Shematski prikaz područja nosivosti jednoslojne rešetkaste kupole prikazan je na krivulji osjetljivosti prema imperfekcijama (Slika 1.b).

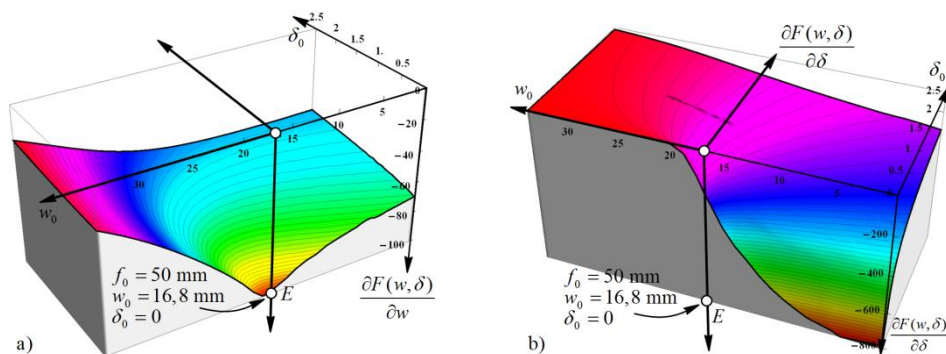
Osnovni model koji će se ovdje promatrati sastoji se od šest zglobno spojenih štapova koji tvore oblik plitke piramide. Čvorovi koji se nalaze u bazi piramide su međusobno povezani sa zglobnim štapovima koji predstavljaju elastični horizontalni oslonac čija uzdužna krutost nadomješta horizontalnu krutost ostatka kupole. Čvorovi su oslonjeni na podlogu preko zglobov ležaja pomičnih u horizontalnoj ravnini, a nepomičnih u vertikalnom smjeru. Geometrija globalnog modela kupole je prikazana na Slici 2.a. Zbog prilagodbe svrsi istraživanja i eksperimentalnim mjerenjima koja su provedena, model (Slika 2.b) je analiziran u mjerilu 1:11 uz prilagodbu dimenzija presjeka.



Slika 2. Ploha osjetljivosti i statička shema sustava

Promatra se geometrijska imperfekcija elemenata koja je zadana u obliku prvog oblika izvijanja za tlačno opterećeni štap (sinusna funkcija) i imperfekciju čvora koja predstavlja vertikalni pomak vrha piramide u odnosu na idealnu geometriju. Opterećenje je zadano u središnjem čvoru A u vertikalnom smjeru.

Interakcija oblika izvijanja je postignuta tako da granična točka (engl. *limit point*) ravnotežne krivulje Von Misesovog luka nastupa u istom trenutku kada je sila u štapu jednaka idealnoj kritičnoj sili izvijanja. Na temelju parametarske analize razvijene su ravnotežne krivulje i krivulje osjetljivosti za oba tipa imperfekcije te je konstruirana ploha osjetljivosti prema imperfekcijama (Slika 2.c). Na horizontalne osi su smještene vrijednosti početne imperfekcije štapa i čvora dok vertikalna os predstavlja razinu nosivosti. Označene su karakteristične točke. Točka E (engl. *bifurcation point*) predstavlja sustav sa idealnom geometrijom i odgovara razini nosivosti sustava bez imperfekcije. Suprotno tome, točka D odgovara sustavu sa postojanjem oba dva tipa imperfekcije sa maksimalnim vrijednostima amplituda i za nju je karakteristična najniža razina nosivosti. Amplituda imperfekcije štapa se mijenja do $\ell_0/100$. Budući da je ploha osjetljivosti skalarno polje, moguće je odrediti gradijent toga polja u svakoj točki. Intenzitet gradijenta nam tada označava mjeru osjetljivosti konstrukcije u promatranom položaju. Uz intenzitet gradijenta važno je promatrati i iznose njegovih komponenti po smjerovima varijabli imperfekcije (Slika 3.). Naime, čest je slučaj da nije moguće direktno kombinirati amplitude dviju različitih imperfekcija, budući da njihove granične vrijednosti ne moraju biti čak niti istog reda veličine. Jedno od rješenja je normirati promatrane imperfekcije na maksimalne dopuštene vrijednosti. Komponente gradijenta direktno nam prikazuju iznos nagiba na plohu imperfekcije u smjeru promatrane imperfekcije.



Slika 3. Gradijenti plohe osjetljivosti u smjeru imperfekcija

Njihovom analizom mogu se potvrditi ekstremne vrijednosti osjetljivosti na imperfekciju čvora u području složenog izvijanja (točka E). Osjetljivost prema imperfekciji štapa kod podudaranja kritičnih sila je također velika, ali ekstremne vrijednosti poprima tek za veće visine čvora. Na temelju prikazanoga postupka je moguće odrediti osjetljivost znatno složenijih sustava i procijeniti njihovu nosivost.

Literatura

- [1] Gioncu, V.: Buckling of reticulated shells: state-of-art, *International Journal of Space Structures*, 10 (1995)1,1–46.
- [2] Gioncu, V.: General theory of coupled instabilities, *Thin-Walled Structures* 19 (1994) 2-4, 81-127.
- [3] Bushnell, D.: *Computerized buckling analysis of shells*, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, 1985.

124 - OPERATIVNE BRZINE U HORIZONTALNIM KRIVINAMA

Biljana Vukoje (Biljana.Vukoje@gradst.hr)
Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Dosadašnja istraživanja sigurnosti vožnje na cesti istaknula su horizontalne krivine kao “crne točke” prometnog sustava. Statistički podaci pokazuju da se više od 50% prometnih nesreća sa smrtno stradalima dogodi na vangradskim dvotračnim cestama, a od čega se više od polovice odnosi na horizontalne krivine [1]. Ta činjenica ukazuje na to da se osim pogrešaka vozača, uzroci nastajanja prometnih nesreća mogu pronaći i u karakteristikama same ceste [2]. Najčešći uzrok nastajanja prometnih nesreća je nekonzistentnost elemenata trase u pogledu održanja željene brzine, odnosno slaba usklađenost karakteristika elemenata ceste s očekivanjima vozača. Vozači odabiru brzine s obzirom na vlastitu percepciju ceste, a te vrijednosti ne odgovaraju brzinama na temelju kojih se elementi ceste projektiraju. Najčešće upotrebljavani kriteriji za provjeru konzistencije zasnivaju se na izradi profila operativne brzine. Operativna brzina definira se kao 85% vrijednost raspodjele brzina slobodnog toka na određenom elementu ceste koju je moguće odrediti iz podataka o stvarnim brzinama reprezentativnog uzorka vozača. Brzina slobodnog toka je brzina kojom vozač vozi kada nema utjecaja drugih vozila.

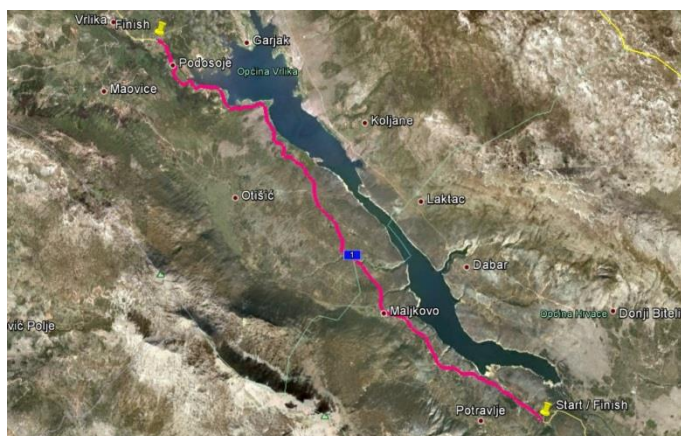
Prema hrvatskim smjernicama za projektiranje cesta [3] za operativnu brzinu uzima se tzv. računaska brzina koja predstavlja teoretsku vrijednost, a određuje se iz osnovne jednadžbe poprečne stabilnosti vozila u krivini (1) za primijenjene radijuse horizontalnih krivina:

$$V_r = \sqrt{127 \cdot R \cdot (q + f_R)} \quad (1)$$

gdje je R radijus krivine, q poprečni nagib kolnika te f_R koeficijent bočnog trenja.

U ovom radu analizirane su brzine slobodne vožnje zabilježene na dionici državne ceste D1 na području Splitsko Dalmatinske županije u Republici Hrvatskoj, u okolici Vrljike (Slika 1.). Radi se o dvotračnoj izvangradskoj cesti s relativno malim prometnim opterećenjem (prema [4] je prosječni godišnji dnevni promet 2011. godine iznosio 1377 voz/dan) te bez priključaka važnijih cesta. Snimljene su vožnje 15 vozača na dionici duljine 27 km, osobnim automobilima različitih marki i starosti, pod optimalnim vremenskim uvjetima (dnevna vožnja i suh kolnik). Pri tome je korištena metodologija kontinuiranog snimanja podataka zasnovana na GPS uređaju (*Performance Box*) kojom se dobije precizna slika o ponašanju vozača. Uređaj radi na principu da u svakoj desetinki sekunde detektira položaj vozila iz čega se određuju veličine koje su od velikog značaja pri analizi odnosa karakteristika ceste i ponašanja vozača, npr. brzina vožnje, radijus putanje te tangencijalno i radijalno ubrzanje.

Na temelju zabilježenih podataka određene su operativne brzine u horizontalnim krivinama, napravljena je usporedba operativnih brzina i brzina koje se upotrebljavaju prilikom projektiranja te su uspoređene vrijednosti koeficijentata bočnog trenja s maksimalnim i dopuštenim vrijednostima koje daju propisi.

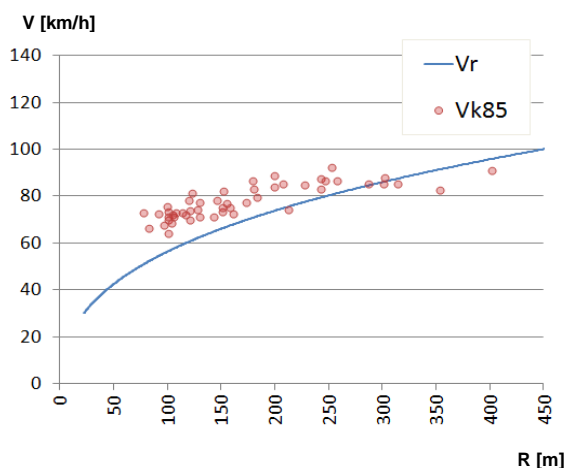


Slika 1. Prikaz analizirane dionice

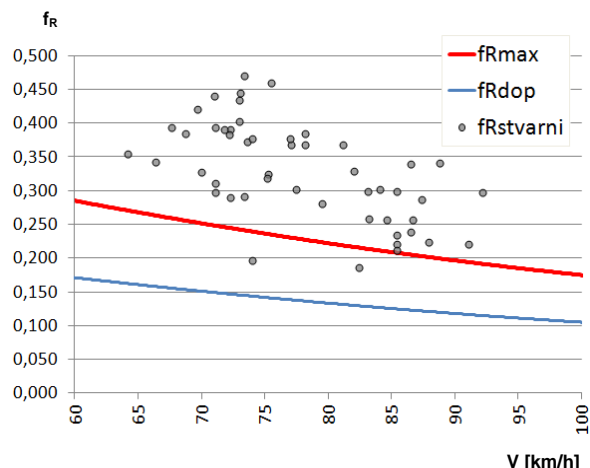
Iz zabilježenih vožnji očitane su brzine i radijusi u krivinama [5] na temelju kojih su određene vrijednosti mjerodavne za analizu, odnosno $V_{k,85}$ (brzina ispod koje vozi 85% vozača) te R_{15} (15% vozača radi manji radijus od ove vrijednosti).

Analizirana dionica državne ceste D1 projektirana je prije donošenje Pravilnika [3], pa je s obzirom na društveno-gospodarsko značenje i zadaću povezivanja pretpostavljeno da je projektirana kao državna cesta 2. kategorije projektne brzine $V_p=60$ km/h. Veličine radijusa te poprečnih i uzdužnih nagiba horizontalnih krivina određene su iz geodetske

snimke izvedenog stanja koju su 2006. godine izradile Hrvatske ceste d.o.o.. Za projektnu brzinu od 60 km/h i izvedene radijuse, prema [3], određene su vrijednosti računskih brzina V_r u horizontalnim krivinama. Na Slici 2. prikazana je usporedba operativnih i računskih brzina. Može se uočiti da je u krivinama radijusa manjih od oko 300 m operativna brzina veća od računске što dovodi u pitanje sigurnost odvijanja prometa. Naime, prema hrvatskom pravilniku za projektiranje cesta na temelju računске brzine određuju se veličine poprečnog nagiba kolnika u krivinama te duljine zaustavne preglednosti koje, sa stajališta sigurnosti, predstavljaju najvažnije elemente ceste. Na temelju računске brzine definirani su i kriteriji konzistencije u smislu ograničenja odstupanja računске od projektne brzine te razlike vrijednosti računskih brzina unutar jedne dionice.



Slika 2: Odnos računskih (V_r) i operativnih brzina ($V_{k,85}$) u horizontalnim krivinama



Slika 3: Odnos stvarnih koeficijenata bočnog trenja ($f_{Rstvarni}$) te maksimalnih (f_{Rmax}) i dopuštenih (f_{Rdop}) za operativne brzine

Razlike između operativnih i računskih brzina rezultiraju prekoračenjem dopuštenih vrijednosti bočnog trenja. Za izvedene poprečne nagibe kolnika u krivinama te mjerodavne brzine i radijuse ($V_{k,85}$ i R_{15}), izračunati su stvarni koeficijenti bočnog trenja koji su uspoređeni s maksimalnim i dopuštenim vrijednostima određenima za operativne brzine prema izrazima iz [3]:

$$f_{max} = 0,214 \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2 - 0,640 \cdot \left(\frac{V}{100}\right) + 0,615 \quad (2)$$

$$f_{Rmax} = 0,925 \cdot f_{max} \quad (3)$$

$$f_{Rdop} = 0,6 \cdot f_{Rmax} \quad (4)$$

Grafički prikaz dan je na Slici 3. Vrijednosti stvarnih koeficijenata bočnog trenja u svim krivinama premašuju dopuštene vrijednosti, dok su u usporedbi s maksimalnim vrijednostima veće gotovo u svim krivinama. To ukazuje na opasnost od proklizavanja vozila, naročito u lošijim uvjetima vožnje kao što su mokar i onečišćen kolnik te istrošene gume kotača.

Može se zaključiti da se upotrebom računске brzine projektiraju ceste čiji elementi nisu usklađeni s očekivanjima vozača. Vrijednosti računске brzine podcjenjuju stvarne brzine vožnje što može dovesti do prekoračenja otpora trenja ugodne vožnje te može biti uzrokom nesreća. Sve to ukazuje na potrebu za izmjenama u načinu projektiranja horizontalnog toka trase, odnosno za usklađivanjem mjerodavnih brzina kod projektiranja cesta sa stvarnim brzinama većine vozača.

Literatura

- [1] Lamm, R., Choueiri, E. M., and Mailaender, T. (1992.): "Traffic safety on two continents—a ten year analysis of human and vehicular involvements". Proc., Strategic Highway Research Program (SHRP) and Traffic Safety on Two Continents, 18–20.
- [2] Krebs, H. G., and J. H. Kloeckner (1977.): *Investigations of the Effect of Highway and Traffic Conditions Outside Built-Up Areas on Accident Rates*. In Research Road Construction and Road Traffic Technique (Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik), Vol. 223, Minister of Transportation, Bonn, Germany, pp. 1–63
- [3] *Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa* (NN 110/01)
- [4] *Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2011. – sažetak*, Hrvatske Ceste d.o.o.
- [5] Vrsalović, M. (2013.): *Utjecaj radijusa kretanja i operativne brzine vozila na radijalni otpor klizanja u krivinama*, diplomski rad

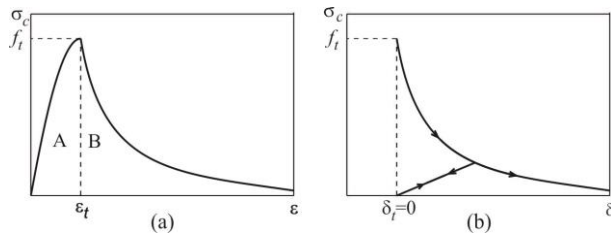
125 - FEM/DEM MODEL ZA NELINEARNU ANALIZU AB KONSTRUKCIJA

Nikolina Živaljić (nikolina.zivaljic@gradst.hr)
Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

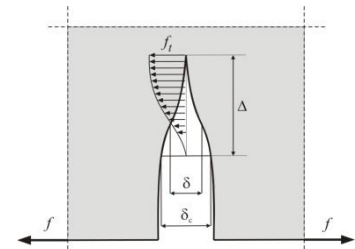
Nelinearno ponašanje AB konstrukcija izloženih seizmičkom i drugim dinamičkim opterećenjima bazira se na pojavi i progresivnom širenju pukotina. Posljedica toga je lokalni lom betona i na kraju pucanje armature. Predviđanje načina potpunog sloma sustava izloženog seizmičkom opterećenju zahtjeva razvoj numeričkog modela kojim se mogu opisati pojave vezane za ponašanje AB konstrukcija izloženih dinamičkom djelovanju u linearno-elastičnoj fazi, pojavu i razvoj pukotina, gubitak energije uslijed pojave nelinearnih efekata, inercijalne efekte uslijed gibanja, međudjelovanja koja su posljedica dinamičkog kontakta i postizanja stanja mirovanja koje je posljedica gubitka energije u sustavu. Sve ove efekte moguće je obuhvatiti primjenom metode konačno-diskretnih elemenata (FEM/DEM).

U ovom radu je u okviru FEM/DEM metode razvijen novi dinamički model za simulaciju ponašanja AB konstrukcija izloženih statičkom, dinamičkom i seizmičkom opterećenju. U postojeći model implementiran je novi model betona koji obuhvaća vlačno omekšanje betona nakon otvaranja pukotina te cikličko ponašanje tijekom djelovanja dinamičkog opterećenja. Razvijen je model armature na način da se do trenutka pojave pukotine beton i armatura ponašaju kao jedno tijelo. Deformacije betona utječu na deformacije armature. Nakon toga otvaraju se pukotine unutar kontaktnog elementa betona pri čemu dolazi do znatnog deformiranja armature koje se odvija unutar kontaktnog elementa armature.

Da bi se što realnije opisalo ponašanje AB konstrukcija, a posebno veza betona i armature pri otvaranju i širenju pukotina, razvijen je niz algoritama i ugrađen u postojeći program zasnovan na FEM/DEM metodi. Model betona je opisan eksperimentalnom krivuljom i u njega je implementiran ciklički model ponašanja materijala.

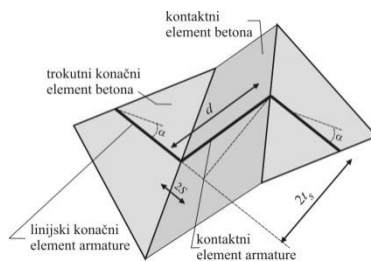


Slika 1. Vlačno omekšanje prikazano u relaciji:
a) naprezanje – deformacija; b) naprezanje – pomak

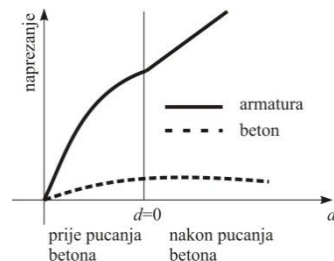


Slika 2. Model diskretne pukotine

Razvijen je model armature na način da je šipka armature modelirana pomoću 1D linijskih konačnih elemenata ugrađenih u 2D konačni element betona.

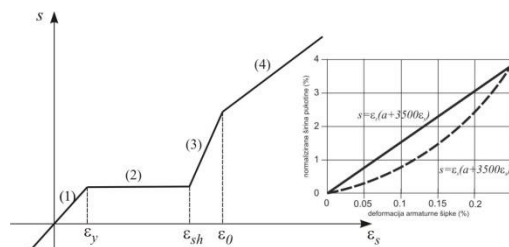


Slika 3. Kontaktni element armature



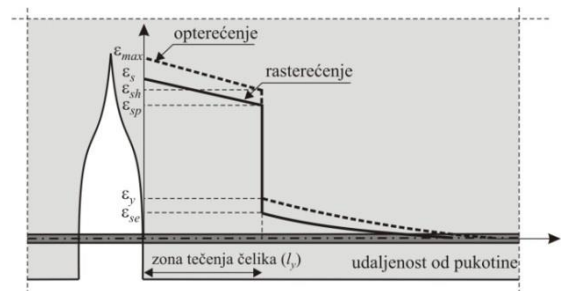
Slika 4. Naprezanja u armaturi i betonu

Nelinearno ponašanje armature modelirano je unutar kontaktnog elementa armature. Model ponašanja armature u kontaktnom elementu temelji se na eksperimentalnim krivuljama koje opisuju stanje deformacije armaturene šipke u pukotini uzimajući u obzir i plastične deformacije nastale uslijed cikličkog opterećenja.



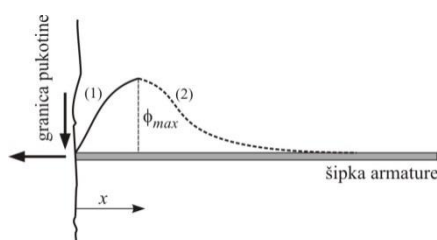
- (1) $s = \epsilon_s (2 + 3500\epsilon_s)$ za $\epsilon_s \leq \epsilon_y$
- (2) $s = s_y = \epsilon_y (2 + 3500\epsilon_y)$ za $\epsilon_y < \epsilon_s \leq \epsilon_{sh}$
- (3) $s = 0.047(f_u - f_y)(\epsilon_s - \epsilon_{sh}) + s_y$ za $\epsilon_{sh} < \epsilon_s \leq \epsilon_0$
- (4) $s = 0.007(\sigma_u - \sigma_y)(\epsilon_s - \epsilon_{sh}) + 0.5s_y + 0.06$ za $\epsilon_s > \epsilon_0$

Slika 5. Veza bezdimenzionalnog izvlačenja i deformacije

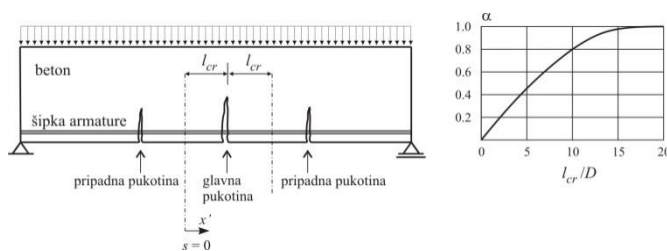


Slika 6. Raspored deformacija duž šipke armature

U kontaktnom elementu armature modeliran je utjecaj zakrivljenosti duž armaturne šipke u zoni savijanja i utjecaj udaljenosti pukotina.



Slika 7. Profil zakrivljenosti armaturne šipke

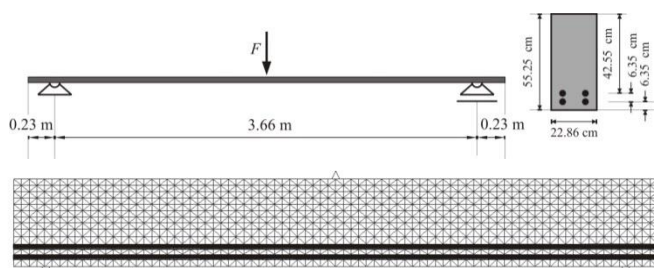


Slika 8. Veza redukcijskog faktora α i intervala pukotine l_{cr}

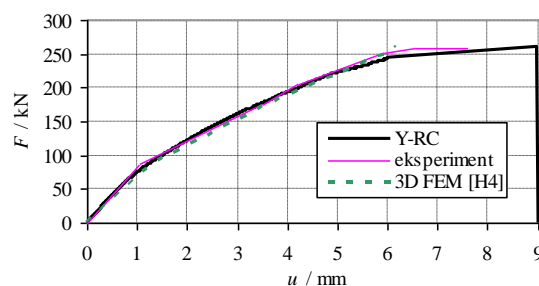
Ugrađen je poboljšani Kato-ov materijalni model za simulaciju cikličkog ponašanja čelika. Uveden je model potresnog opterećenja zadanog akcelogramom. Razvijeni algoritmi implementirani su u program Y na osnovu kojega je razvijen računalni program Y-RC za analizu armirano-betonskih konstrukcija zasnovan na metodi konačno-diskretnih elemenata kojim je moguće pratiti pojavu, razvoj pukotina i konačni potpuni slom sustava izloženog seizmičkom i drugim dinamičkim opterećenjima.

Usporedbom numeričkih rezultata programa Y-RC s fizikalnim pokusima pokazalo se da razvijeni numerički model vrlo dobro opisuje ponašanje armirano-betonskih konstrukcija izloženih statičkom i dinamičkom opterećenju.

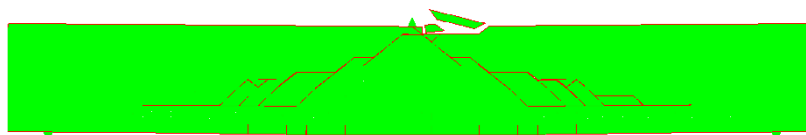
Numerički rezultati za slomno opterećenje dobiveni ovim modelom, u usporedbi s numeričkim rezultatima programa za nelinearnu analizu zasnovanih na metodi konačnih elemenata, pokazuju veću točnost u odnosu na fizikalne pokuse. Pored toga, ovaj model daje realnu sliku razvoja pukotina u armirano-betonskim konstrukcijama izloženih dinamičkom opterećenju prije potpunog sloma, ali i ponašanje takvih konstrukcija nakon potpunog sloma.



Slika 9. Bresler-Scordelis armirano-betonska greda



Slika 10. Dijagram pomaka u sredini raspona



Slika 11. Pukotine na gredi nakon potpunog sloma

Važnost razvijenog modela je u tome što daje rezultate visoke točnosti. Stoga bi numerički pokusi mogli poslužiti u ocjeni nosivosti, kako novo projektiranih tako i postojećih sustava čime bi se mogli izbjeći mnogo skuplji fizikalni pokusi.

Literatura

- [1] Majewski, S. & Krzywon, R. (1998), :Numerical and experimental verification of FEM for elastoplastic analysis of RC structures and soil structure interaction problems, in Kompiš, V., Žmindak, M. and Hučko, B. (Eds), Proc. of the 7th Int. Conf. on Numerical Methods in Continuum Mechanics, High Tatras, October 1998, University of Žilina, Žilina, pp. 519-524, 1998.
- [2] Maekawa, K., Pimanmas, A. and Okamura, H.: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, Spon Press, London, U.K., 2003.
- [3] Munjiza, A.: The combined finite-discrete element method, John Wiley & Sons, Ltd, London, U.K., 2004.
- [4] Munjiza, A., Andrews, K.R.F. & White, J.K.: Penalty function method for combined finite-discrete element system comprising large number of separate bodies, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 49, pp. 1377-1396, 2000.
- [5] Munjiza, A., Andrews, K.R.F. & White, J.K.: Combined single and smeared crack model in combined finite-discrete element method, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 44, pp. 41-57, 1999.
- [6] Nikolić Ž. & Mihanović A.: Non-linear finite element analysis of post-tensioned concrete structures, Engineering Computations, Vol. 14, No. 5, pp. 509-528, 1997.
- [7] Soltani, M. & Maekawa, K.: Path-dependent mechanical model for deformed reinforcing bars at RC interface under coupled cyclic shear and pullout tension, Engineering structures, Vol. 30, pp. 1079-1091, 2008.
- [8] Živaljić, N.: Metoda konačno-diskretnih elemenata za seizmičku 2D analizu AB konstrukcija, Disertacija, Sveučilište u Splitu, Hrvatska, 2012.

SEKCIJA 2 - Arhitektura

201 - UMJETNIČKA INTERDISCIPLINARNOST U SUVREMENOJ HRVATSKOJ ARHITEKTURI

Tihana Hrastar (*thrastar@arhitekt.hr*)
Sveučilište u Zagrebu; Arhitektonski fakultet

Suradnja arhitekata s dizajnerima i likovnim umjetnicima fenomen je duge povijesti. Najpoznatiji su primjeri oslikane i skulpturom ukrašavane vjerske i svjetovne građevine raznih povijesnih razdoblja (grčki hramovi, kršćanske crkve, rimske terme itd.). U određenim razdobljima takva je suradnja bila izraženija, primjerice u doba secesije ili u školi Bauhaus. Suradnja arhitekata i umjetnika mijenjala se tijekom povijesti, pa svako razdoblje ima svoje karakteristike i specifičnosti koje ga odlikuju te različite odnose između arhitekture i ostalih disciplina.

U Hrvatskoj je takva suradnja posebice bila izražena između 50-ih i 70-ih godina 20. stoljeća, čemu svjedoče brojni primjeri: *paviljon Jugoslavije* u Bruxellesu (1958., V. Richter, I. Picelj, A. Srnc i ostali), *Pučko otvoreno učilište* u Zagrebu (1961., N. Kučan, R. Nikšić i B. Bernardi), *hotel Ambasador* u Opatiji (1966., I. Picelj, A. Srnc, E. Murtić, D. Džamonja i ostali), *zgrada CK SKH (Kockica)* u Zagrebu (1968., I. Vitić, R. Goldoni, J. Buić, D. Džamonja, E. Murtić, Z. Prica i ostali) i *hotel Libertas* u Dubrovniku (1974., A. Čičin Šain, Ž. Vincek, R. Goldoni i ostali). Za spomenuto razdoblje značajna je pojava grupe *Exat 51* (1951.-1956.) koja je okupljala mnoge od navedenih arhitekata i umjetnika s ciljem postizanja sinteze svih umjetnosti.

U suvremenoj hrvatskoj arhitekturi ponovno se aktualizira takva vrsta suradnje. To je vidljivo u sve brojnijim interdisciplinarnim arhitektonskim projektima: *hotel Lone* u Rovinju (2011., Studio 3LHD, Numen/ForUse, I. Franke, S. Vujičić, Studio I-gle i Bruketa&Žinić), *Design Hostel Goli i Bosi* u Splitu (2010., Studio UP i D. Gamulin), *Riva Split* (2007., Studio 3LHD i Numen/ForUse), *poslovna zgrada Spectator grupe* u Zagrebu (2010., Studio UP, I. Franke i S. Vujičić), obnova *fasade aerodroma Pleso* (2005., de Arhitekten CIE i D. Gamulin), *zgrada P10-Sukoišan sjever* u Splitu (2009., Studio UP i D. Gamulin), *Centar Zamet* u Rijeci (2009., Studio 3LHD, L. Cavar, D. Bralić, N. Vukojević i N. Đurek) i dr. Navedeni su radovi, uz brojne nominacije i nagrade, privukli veliku pozornost struke i javnosti u zemlji i inozemstvu. Na relevantnost ove teme ukazuje i činjenica da su države zapadne Europe prepoznale prednosti i važnost interdisciplinarnih projekata te su u zakonskim aktima odredile udio budžeta za umjetničke radove u javnim prostorima.



Slika 1. Usporedni prikaz hotela Lone, poslovne zgrade sjedišta Spectator grupe i Design Hostela Goli i Bosi

Cilj ovog rada jest dati uvid u suvremene načine na koje hrvatski arhitekti surađuju s dizajnerima i likovnim umjetnicima, utvrditi razloge ulaska u takve suradnje te kako one doprinose projektu i široj kulturno društvenoj sceni. Prema kriteriju brojnosti i raznovrsnosti interdisciplinarnih projekata ističu se Studio UP i Studio 3LHD, što ih čini reprezentativnima za ovo istraživanje. Kroz najkarakterističnije izvedene projekte spomenutih arhitektonskih studija istražuje se suvremena suradnja arhitekata s dizajnerima i likovnim umjetnicima. Informacije za istraživanje prikupljene su kroz postojeću literaturu i intervju sa sudionicima navedenih suradnji. To su: S. Begović (Studio 3LHD), T. Pleić (Studio UP), D. Bruketa (Bruketa&Žinić), N. Radeljković (Numen/ForUse), N. Mihaljčićin (Studio I-gle), I. Franke, S. Vujičić, L. Cavar, D. Gamulin i D. Bralić. Rad analizira suradnju kroz tri aspekta. Prvi aspekt bavi se motivima za suradnju, drugi njenim vrstama i načinima, a treći tehnikama, tehnologijama i medijima u kojima je ona ostvarena.

U istraživanju su zajednički obuhvaćeni motivi investitora, arhitekata, dizajnera i likovnih umjetnika te su podijeljeni u sljedeće skupine: 1) motivi kvalitete projekta, 2) profesionalni motivi, 3) marketinški motivi, 4) ideološki motivi i 5) motivi poticanja domaćeg dizajna i proizvodnje.

Kao glavni motiv za suradnju arhitekti navode postizanje zanimljivijeg, neklasičnog i kvalitetnijeg rezultata, posebice kod nespecifičnih projektnih zadataka. Takav je primjer *poslovna zgrada Spectator grupe* gdje su arhitekti pozvani da „redizajniraju” već započeti projekt. Arhitekti Studija UP suradnjom s umjetnicima dobivaju novi i drugačiji pogled na projektni zadatak. Zajedno predlažu intervenciju putem „čelija” umetnutih u gotov betonski skelet čime prvotno komercijalan i suhoparan projekt podižu na višu razinu.

Profesionalni motivi odnose se ponajprije na likovne umjetnike i dizajnere kojima definiranje prostora i rad u sklopu arhitektonskog projekta predstavlja poseban izazov. Kroz suradnju dobivaju priliku za veliku produkciju radova, zahtjevnije projekte, rad u „supermjerilu” i rad u mediju koji je dugovječniji od medija u kojima se inače izražavaju. Isto tako, njihovi radovi imaju priliku za komunikaciju s negalerijskom publikom i većim brojem ljudi.

Istraživanje je pokazalo kako u suvremeno doba do suradnje često dovode marketinški motivi ponajprije investitora, ali i ostalih sudionika. Ovi motivi odnose se na brendiranje, atraktivnost arhitekture i bolju prodaju sadržaja koje arhitektura udomljuje (proizvodi, usluge, tvrtke). U primjeru *hotela Lone* strateška marketinška i umjetničko-projektantska odluka investitora i arhitekata jest uvrštavanje u lanac Design hotela AG. Time je investitorima osigurano bolje pozicioniranje na tržištu, a arhitektima omogućeno uključivanje dizajna i umjetnosti u projekt. Rad je pokazao kako interdisciplinarni projekti na kojima je ostvarena suradnja arhitekata s dizajnerima i likovnim umjetnicima imaju potencijal za uspješan PR, odnosno promidžbu same zgrade, arhitekata, likovnih umjetnika, dizajnera i investitora.

Za razliku od pojedinih pokreta i pojava u povijesti arhitekture (*Exat 51*), današnja suradnja arhitekata i umjetnika nema istaknute ideološke motive te se oni pojavljuju kao dodatni motivi za pojedine projekte. U suvremenim suradnjama autorima je bitan međuodnos arhitekture, umjetnosti i dizajna te njihov položaj u društvu. Autori iskazuju kritiku postojećih odnosa te nastoje pružiti primjer kako pristupati arhitektonskim problemima i njihovim društvenim implikacijama.

U pojedinim suradnjama pojavljuje se dodatni motiv promoviranja i poticanja dizajna hrvatskih autora, te poticanja domaće proizvodnje. Na primjerima *Rive Split* i *hotela Lone* za opremanje su korištene usluge brojnih domaćih tvrtki poput Rio Rijeka, Dekor Zabok, DI Novoselec, Vojtek i dr.

Analizirajući načine na koje su ostvarene suradnje, uspostavljena je podjela na: 1) grafičke aplikacije u prostoru, 2) uređenje i opremanje interijera/eksterijera, 3) umjetnički radovi u prostoru, 4) određivanje arhitektonske koncepcije prostora i 5) ostale vrste suradnje.

Iz istraživanja proizlazi kako su najbrojniji primjeri interdisciplinarnе suradnje u arhitekturi grafičke aplikacije u prostoru, posebice dizajn signalizacijskog sustava. Razlog tome je današnje vrijeme u kojem je vizualna komunikacija dominantna. S obzirom na to da svaka arhitektura komunicira s okolinom šaljući neku poruku, često se traži da, poput brendiranog proizvoda, komunicira svoju specifičnost, zanimljivost, atraktivnost i poželjnost. Takav efekt najjednostavnije se postiže grafičkim dizajnom, pri čemu se kod manjih projekata rezultati mogu dobiti jeftino i brzo. U primjeru *Design Hostela Goli i Bosi* naglašenom grafikom, koja uvelike određuje karakter prostora, ostvaruje se kvalitetan i zanimljiv rezultat, bez korištenja isključivo arhitektonskih elemenata.

Uređenje i opremanje prostora, a posebice umjetnički radovi u prostoru, manje su zastupljene vrste suradnje, za razliku od perioda između 50-ih i 70-ih godina 20. stoljeća kada su ovo bile prevladavajuće vrste suradnje u Hrvatskoj.

Najmanje je onih suradnji u kojima umjetnici sudjeluju kao ravnopravni autori u arhitektonskom definiranju koncepcije prostora. Takva suradnja uglavnom se ostvaruje kod specifičnih projektnih zadataka poput izložbenih paviljona (*Frameworks/Okviri*, 9. Bijenale arhitekture u Veneciji 2004., Studio UP, P. Mišković i I. Franke) ili netipičnih arhitektonskih intervencija (*poslovna zgrada Spectator grupe*). Na ovoj vrsti projekata teško je odvojiti doprinos arhitekta od doprinosa umjetnika.

Ostale vrste suradnje odnose se na razne aspekte vizualnog identiteta (promotivni i informativni materijali, rekviziti, oprema, uniforme i sl.). Taj aspekt fenomena ponajviše pokazuje značaj brendiranja za današnje doba.

Razvoj novih tehnologija i medija (računala, internet, softverske aplikacije) dovodi do suradnji u kojima pojedini autori ne moraju dijeliti prostor i vrijeme, a komunikacija je brža i jednostavnija. Internetsko oglašavanje omogućuje promociju projekata na globalnoj razini, pri čemu se investitori lakše odlučuju na ulaganje u kreativnu industriju. Razvoj tehnologija omogućuje izvedbu zahtjevnijih umjetničkih i dizajnerskih koncepata poput složenih multimedijalnih projekata, „zelenih zidova“, medijskih fasada i sl.

Ovaj je rad pokazao da interdisciplinarna suradnja predstavlja produktivan dijalog u kojem postoji mnogo načina na koje se arhitekti, likovni umjetnici i dizajneri nadopunjavaju te zajednički postižu kompleksniji i kvalitetniji projekt. Za suvremenu interdisciplinarnu suradnju specifično je brendiranje arhitekture, koje karakteriziraju marketinški motivi (česti pokretači suradnje) i grafičke aplikacije (najčešći načini realizacije suradnje). Pokazalo se kako u praksi suradnja arhitekata s dizajnerima i likovnim umjetnicima predstavlja platformu za uspješnu promociju projekta u stručnoj i široj javnosti. Kroz promociju projekta brendiranje nadilazi svoju osnovnu marketinšku funkciju te posredno dovodi do popularizacije i afirmacije arhitekture, umjetnosti i dizajna.

Literatura

- [1] Borovnjak, I. & Golub, M.: Lone je raskošan, ali nije nedostižan, specijalno izdanje Orisa „Lone“ str. 66-89, 2012.
- [2] Franceschi, B.: Multidisciplinarnost, u: K 15-Pojmovnik nove hrvatske umjetnosti [ur. Purgar, K.], Art magazin Kontura, 72-84, Zagreb, 2007.
- [3] Kalčić, S.: Odnos suvremene likovne umjetnosti i arhitekture u radu Ivane Franke, *Prostor*, 2(42), str. 480-488, 2011.
- [4] Mijatović, M. & Mrduljaš, M.: Utjelovljenje kapitala – dresura grada, *Oris*, 43, str. 62-70, 2007.
- [5] Mrduljaš, M.: Turistička arhitektura kao prostorni potencijal, *Oris*, 72, str. 126-139, 2011.
- [6] Mrduljaš, M. & Mimica, V. & Rusan A.: Suvremena hrvatska arhitektura – testiranje stvarnosti, *Arhitekt*, Zagreb, 2007.
- [7] Nicolini, P. & Celant, G.: Dell'Arte e dell'Architettura/On Art and Architecture, *Domus*, 873, str. 88-95, 2004.
- [8] Purgar, K.: Uvod: Pojmovi vizualne umjetnosti, u: K 15-Pojmovnik nove hrvatske umjetnosti [ur. Purgar, K.], Art magazin Kontura, str. 6-9, Zagreb, 2007.
- [9] Rupnik, I.: Eksperimentalne metode – Oblikovanje novih praksi, *Život umjetnosti*, 82, str. 82-101, 2008.
- [10] Rupnik, I.: A Peripheral Moment: Experiments in Architectural Agency, Croatia 1999-2010, Actar/Birkhäuser, Barcelona, 2011.

202 - GRADSKA ULICA – POUKE MEDITERANA U OBLIKOVANJU SUVREMENOG JAVNOG PROSTORA

Tamara Marić (*tamara.maric@arhitekt.hr*)
Sveučilište u Zagrebu; Arhitektonski fakultet

Rad i istraživanja inspirirani su novim, sve češće korištenim pojmovima koji postupno utječu na urbanističko projektiranje javnog prostora. Pojmovi su *walkability* (razina pješačke dostupnosti i pristupačnosti), *walkspace* (prostori definirani kretanjem), *walkscape* (prostori doživljaja koje percipiramo iz prostora kretanja) i njihove izvedenice. Prostori kretanja ili *walkspace* su prostori okupljanja, hodanja, šetnje, boravka na otvorenome, odnosno raznoliki javni prostori grada gdje je kretanje osnovni način doživljavanja prostora.

Širi tematski kontekst rada čine gradski prostori kretanja (*urban walkspace*), unutar čega možemo izdvojiti tri gradska modela odnosa urbane strukture i javnog prostora: **ulica** (od promenade do gradskih avenija i bulevara), **perivoj** i prostorna **čjelina grada** (npr. *waterfront* - panoramski prostori obale, sustavi perivoja ili slijed perivojnih trgova) kao što je *Lenucijeva potkova* u Zagrebu (Marić, Bojanić, 2012: 120). Iz osnove ovih modela proizašlo je istraživanje gradskih ulica.

Rad se provodi u sklopu znanstveno istraživačkog projekta "Urbanističko i pejzažno naslijeđe Hrvatske kao dio europske kulture" na Arhitektonskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu te je kao dio doktorske disertacije na *TU Wien* u svojim začetima. Cilj rada je dati uvid u stvaranje humanog mjerila i održivosti u projektiranju gradova 21. stoljeća uz usporedbu Mediterana i kontinentalne Europe, uključujući i Hrvatsku.

Glavni javni prostori kretanja u gradu su trg i ulica, s time da razliku nalazimo ne samo u prostornim omjerima duljine i širine, nego i u karakteru kretanja i zaustavljanja u tim prostorima. Pri tome je ulica prostor dinamičnog kretanja i povezivanja prostora, za razliku od pretežito statičnog karaktera trga kao mjesta zadržavanja. S obzirom na sve rečeno termini koji su bliski pojmu ulice su raznoliki: od puta i staze, preko aleje, rute, promenade, rive, ceste, sve do avenije, bulevara i autoceste. Unutar gradske ulice moguće je promatrati **promenade i šetališta, rive i obale, stambene ulice, perivojne ulice (npr. tip rambla) te njihove poveznice** s javnim prostorima trgova i džepnih perivoja.

Gledajući s prometnog stajališta pojam gradskog prometa podrazumijeva organiziranje prijevoza ljudi unutar grada i između grada i okolice te je kao takav, uz zračni, dio novije vrste prometa. U pravom smislu te riječi započinje s gradovima industrijske revolucije i javnim gradskim prometima 19. stoljeća, iako su još antički gradovi imali razvijen individualni gradski promet (Malić, 1998: 145). Gledajući s arhitektonsko-urbanističkog stajališta definicija gradskog prometa nije dovoljna da bi se pojasnila kompleksnost gradskih javnih prostora, stoga se u radu koristi pojam kretanja, od kojih je (javni) gradski promet samo jedan od vidova mogućih kretanja u prostoru. Unatoč razlikama i nijansama u poimanju odnosa prometa i grada, u urbanizmu i drugim disciplinama se očituje ista razlika između prometnice/ceste i gradske ulice, jasna još od teorijskih rasprava Albertija i Palladija gdje se spominju dvije vrste ulice: one u gradu i one koje se prostiru između gradova. Gradske ulice su specifične s izrazitom polifunkcionalnošću i višeznačnošću. Prostori su to povezivanja, ali i raznih načina korištenja i mogućnostima održavanja različitih društvenih događanja te je to prostor u kojem se pojavljuje kretanje pješaka, biciklista i drugih prometala gotovo ravnopravno ili nadređeno motornim vozilima (Malić, 1998: 74).

Povijesno možemo pratiti kako se tema gradskih javnih prostora razvijala. Svako doba imalo je stav i nadogradnju po pitanju trgova i ulica, s time da su prometne izmjene minimalne i nemaju značajnog utjecaja na grad sve do industrijske revolucije. I dalje su promjene i prilagodbe pri početku bile ujednačene i spore, da bi uvođenjem automobila u gradski promet došlo do ubrzanog razvoja kako prometa, tako i grada. Ovakav ubrzani, često i nekontrolirani razvoj, doveo je do problema u funkcioniranju prometa te zanemarivanja tema ulice i trga u 20. stoljeću. Unatoč Sitteovom djelu i promišljanjima koji zagovaraju umjetničke aspekte u projektiranju grada, jača struja promišljanja razvila se pod okriljem CIAM-a. Ovo funkcionalističko stajalište bila je i logična reakcija na život i tehnološka dostignuća tadašnjeg vremena. Zaokret u suvremenom promišljanju urbanog prostora i ponovni interes prema ulici, trgu i javnom prostoru općenito, nalazimo upravo u problemima koji su uslijedili, prije svega u zatranosti gradskog centra te nehumanom mjerilu koji su stvoreni u naseljima moderne. Kako u svijetu, tako i u Hrvatskoj sve je veće pitanje kako oblikovati i/ili preoblikovati gradski javni prostor, što potvrđuje i sve veći broj javnih urbanističko-arhitektonskih natječaja vezanih uz gradske centre i trgove (Trg Beli Manastir, 2007.; Trg Krapina, 2007.; Trg Marija Bistrica, 2007.; Trg Pravde Zagreb, 2008.; Trg Kutina, 2009.; Trg Petra Zoranića Zadar, 2009.; Trg i revitalizacija centra Karlovac, 2009.; Trg Selska-Baštijanovna Zagreb, 2009.; Trg Cilnica, Pavlinski trg i Ulica Potok u Senju, 2010.; Trg u Starom gradu u Rijeci 2011.; Crikvenica-Centar, 2011.; Trg Poljana Šibenik, 2011.; Trg Velika Gorica, 2012.; Trg kralja Tomislava u Puli, 2013.). Kao što je vidljivo iz natječaja, tema trgova zastupljena je i aktualna, kako u praksi tako i u literaturi, dok je tema ulice i dalje marginalizirana. Dvadeset prvo stoljeće ima priliku nadoknaditi zanemarenu tematiku ulice, teoretski ju usmjeravati, a kroz praksu stvarajući poveznice gradskih prostora.

Gradska ulica mediteranskog prostora

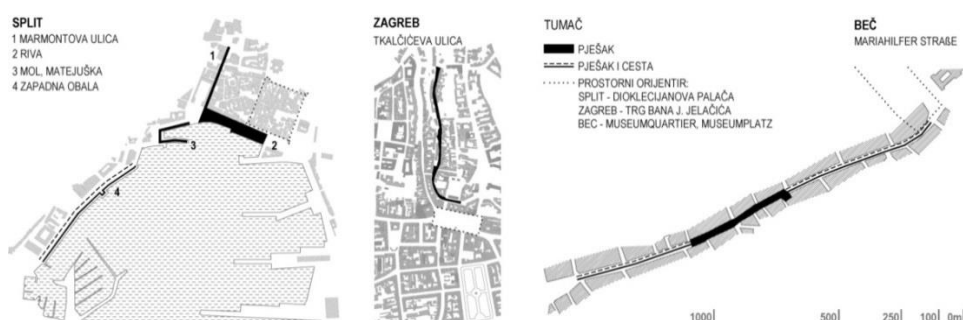
Javni prostor i „život vani“ puno su jasniji unutar konteksta Mediterana, stoga je na primjeru grada Splita dan uvid u vrste gradskih ulica kao javnih prostora i njihove karakteristike. Kroz različite prostore naglasak je stavljen na: **odnos**

prema gradskome tkivu, načinima kretanja te odnos s vodom kao elementom oblikovanja, koji sam po sebi sadrži temu kretanja i pokreta.

Analizirani javni prostori protežu se uzduž južne morske obale poluotoka grada, pri čemu je Marmontova pješačka ulica poprečna iznimka. Riva je pješački prostor koji je nekada bio izrazito prometnog karaktera, a zapadna obala je novoizveden prostor, gdje cesta i pješački dio obale međusobno stvaraju cjelinu i sklad.

U mediteranskom prostoru kod Marmontove ulice i Rive pravocrtna usmjerenost dodaje reprezentativnost tom prostoru. Ovi prostori imaju opravdanost u svojem pružanju s obzirom na duljinu, ali i važnost povezivanja prostornih cjelina (od Trga Gaje Bulata, preko Prokurativa do Rive i Pazara 1 te putničke luke). S druge strane prostori poput zapadne obale i ostatka *lungomare* poteza (od Bačvica do Duilova) prate krivudavost obale.

Osim što je izražena vizualna poveznica s morem, ovi prostori sadrže skulpturalne elemente s vodom. U svakome prostoru su drugačije postavljeni i oblikovani, a pješačko okupljalište na Matejušci čini mol, mjesto okruženo vodom, s pročeljem grada kojeg čini pogled na Dioklecijanovu palaču i Rivu. Ovime je dopunjena slojevitost i višeznačnost gradske ulice kao javnog prostora. Značaj projektiranja ovih prostora je u **vitalnosti i održivosti grada** s jakim identitetom i prepoznatljivošću mjesta.



Slika 1. Skica usporedbe mjerila, vrste kretanja i pozicije pješačkih ulica u Splitu, Zagrebu i Beču (T. Marić, 2013.)

Praktična primjena suvremenog projektiranja gradskih ulica

Na primjeru Zagreba i Beča možemo pokazati problematiku grada kontinentalnog klimatskog područja u kojem život vani i javni prostor zasigurno nisu potaknuti smještajem uz jaki i privlačni prirodni element kao što je to slučaj na Mediteranu. Iako nemaju obalu mora, pristupačnim projektiranjem i planiranjem mogu postati atraktivni i vitalni gradovi humanog mjerila. Na primjeru Zagreba, izuzev pješačke zone grada, aktualna su šetališta poput Dubravkinog puta te pješački dio Tkalčićeve ulice, inače nastala zatvaranjem potoka Medveščaka, čime je duh mjesta povezan s vodom, time i javnim prostorom. Zagreb zasigurno treba i može proizvesti značajne javne prostore u gradu, no bez strategijskog sagledavanja cjeline mogućnosti nisu vidljive. Da bi prostor bio uspješan, osim strategije važno je i oblikovanje, što je jasno vidljivo na novonastalom pješačkom dijelu Tesline ulice, koji to postaje postavljanjem prometne regulacije. Međutim, kako bi se prostor počeo koristiti u skladu s namjerom i percipirati kao javni prostor kretanja nužan je i redizajn.

Beč je grad projektiran u većem mjerilu, za razliku od Zagreba, stoga ne čudi činjenica velikog broja javnog prostora u većim udaljenostima i dimenzijama. Svejedno i u ovako planerski uređenom gradu jasno se uočavaju problemi 21. stoljeća. Okretanje ka javnome prometu i projektiranju pješačkog kretanja je aktualna tema, a jasan rezultat toga je projekt izmjene prometne slike jedne od glavnih gradskih ulica, Mariahilfer Straße, u kojoj bi se primijenio koncept djelomične pješačke zone s dijeljenim prostorom (*shared space*) za određeni, pretežito javni promet na prostoru primarno određenom za pješake i bicikliste.

Valja istaknuti da se 21. stoljeće u urbanističko-arhitektonskom projektiranju okreće prema projektiranju neizgrađenih prostora grada, nakon što je 20. stoljeće bilo usmjereno na izgradnju. U takvom razmišljanju infrastrukturni prostori igraju značajnu ulogu, a ulica kao jedan od izraza infrastrukture i mreže grada može postati suvremeni vid javnog prostora na koji se vežu i nadopunjuju ostale tipologije poput trgova ili perivoja. Da bi svi ovi prostori bili integrirani u gradsko tkivo važno je projektiranje podrediti planiranju, odnosno strategijskom konceptu prostora grada koji bi bio usmjeren na povezivanje njegovih dijelova.

Literatura

- [1] Alymonino, A., Mosco, V. P., Contemporary Public Space / Un-volumetric Architecture, Milano, 2008.
- [2] Careri, F., Walkscape-walking as an aesthetic practice, „GG“ Land&Scape Series V, 1.ed. 5.izd., Barcelona, 2007.
- [3] Duško Kečkemet: Bulatova, Marmontova, Riva, Gradski park. Četiri splitske urbanističke nedoumice, Kulturna baština, 21/30, str. 315-329, Split, 1999.
- [4] Malić, A., Geoprometna obilježja svijeta, Biblioteka Geographica Croatica, Zagreb, 1998.
- [4] Marić, T., Bojanić Obad Šćitaroci, B.: Walkspace – linearno povezivanje prostora na primjeru Splita, "Prostor", 20 (1): 118-130, Zagreb, 2012.
- [5] Mostafavi, M. & Doherty, G., Design, H.U.G.S.O.: Ecological Urbanism, Lars Müller Publishers, London, 2010.
- [6] Moughtin, C., Mertens, M., Urban Design, Street and Square, Elsevier, Oxford, 2003.

203 - ARHITEKT FRANO GOTOVAC

Vesna Perković Jović (vesna.perkovic@gradst.hr)
Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Splitska moderna arhitektura dio je hrvatske i ogranak europske moderne arhitekture. Kakav je doprinos Splita i splitskih arhitekata tom internacionalnom pokretu, koji kontinuirano traje od dvadesetih godina prošlog stoljeća, može se utvrditi na način da se temeljito istraže autori koji su obilježili taj period. Arhitekt Frano Gotovac (Split, 1928. - Split, 1990.) svakako je jedan od ključnih autora koji je svojim radom obilježio splitsku arhitektonsku scenu od sredine 50-ih do kraja 80-ih godina. Gotovac je bio arhitekt koji je gotovo čitav svoj radni vijek proveo u rodnom gradu baveći se uglavnom projektiranjem stambenih zgrada i stambenih naselja na splitskom području. Pored toga pisao je eseje o arhitekturi, urbanizmu i različitim temama s područja kulture prvenstveno vezanim uz Split. Eseje je najčešće objavljivao u lokalnom dnevnom i tjednom tisku *Slobodnoj Dalmaciji* i *Nedjeljnoj Dalmaciji*. Ove dvije djelatnosti, arhitektonsko projektiranje i pisanje eseja i kritičkih osvrtâ, pratile su Gotovca cijeli život i uvijek im je pristupao s jednakim žarom.

Gotovac je bio zagrebački student. Diplomirao je u klasi profesora Nevena Šegvića 1953. godine na Arhitektonskom odsjeku Tehničkog fakulteta u Zagrebu. Po završetku studija, 1955. godine, vraća se u Split gdje je za vrijeme svog profesionalnog djelovanja stekao status uglednog arhitekta, javnog djelatnika i zaljubljenika u Split kojeg je volio na svoj poseban način. U početku svog profesionalnog djelovanja kratko se zadržava u poduzećima, primjerice *Urbanističkom zavodu kotara, I. L. Lavčeviću* i *Projektantu*, sve dok se 1970. nije zaposlio u *Konstruktoru*, gdje je uz podršku tehničkog direktora Semijana Borovčića osnovao *OOOR Arhitektonsko-inženjerski projektni biro* i vodio ga dugi niz godina kao direktor i glavni projektant. Rad u Arhitektonskom birou *Konstruktor*, gdje je proveo punih sedamnaest godina od 1970. do 1987. godine, smatra se najznačajnijom fazom i najplodnijim razdobljem njegovog djelovanja. Nakon *Konstruktorâ*, u periodu od 1987. pa do 1990. godine bio je zaposlen u *Slobodnoj Dalmaciji* kao kolumnist.

Profesionalnu karijeru Gotovac je započeo u Splitu u kulturološkom okruženju gdje je već potpuno bila afirmirana ideja racionalističkog i funkcionalističkog principa moderne arhitekture, kojem smjeru je bio i sam naklonjen kao student *zagrebačke arhitektonске škole*. Njegov stručni angažman započinje nakon završenog procesa obnove zemlje, u vrijeme intenzivne izgradnje gradova. Taj period u Splitu je obilježen velikom produkcijom socijalne stambene izgradnje tzv. *koncentričnih naselja* i manje zastupljene izgradnje društvenih, športskih i drugih objekata. Arhitektura velikih brojeva rezultirala je shematiziranim postupcima masovne produkcije urbanizma i arhitekture. Ovi procesi oslanjali su se na doktrinu moderne i kasnijeg internacionalnog stila bez njihovog suštinskog shvaćanja. Ipak, uz masovnu socijalnu izgradnju, kojom se prvenstveno zadovoljavao egzistencijalni minimum, a koju karakterizira standardizacija i ekonomičnost izgradnje, bilo je i kvalitetnih primjera urbanizma i arhitekture koji su na pravi način predstavljali svoje vrijeme.

Svoje prve zgrade, jednostavne forme, prostudirane i čiste funkcije, *Školsku polikliniku* i *Ekonomsku školu*, Gotovac projektira primjenom strogih racionalističkih principa pod utjecajem *zagrebačke škole arhitekture* i njegovih profesora, zagovornika racionalizma. Ne zadržava se dugo isključivo na racionalističkoj liniji; Gotovac kontinuirano istražuje moderni jezik arhitekture i pronalazi vlastiti likovni izričaj blizak njegovom biću pridruživši se europskim arhitektima u istraživanju novih puteva kojima se arhitektura kreće nakon odbacivanja racionalističkih dogmi 1920.-1930. godina.

Samo par godina kasnije, sredinom šezdesetih, Gotovac projektira robnu kuću *Dalma* u Omišu i niz stambenih zgrada u Splitu i Omišu, a početkom sedamdesetih projektira velike stambene volumene *Kineski zid* na Spinutu i *Krstariću* na Splitu 3 čije oblikovanje volumena i ostvarena bogata plastičnost u suprotnosti je sa strogim arhitektonskim pristupom prvih Gotovčevih zgrada. Oblikovanje ovih zgrada sa znatnim odmakom od strogog racionalizma otkriva nam Gotovčevo priklanjanje suvremenim strujama u arhitekturi njegovog vremena i utjecaj poslijeratnih tendencija modernog pokreta na samom početku njegovog stručnog djelovanja.

Značajno mjesto u njegovom bogatom opusu zauzima problematika vezana za lociranje novog stadiona u Splitu. U periodu od desetak godina, od sredine 60-ih do sredine 70-ih godina, ponudio je tri projekta stadiona; jedan na *Starom placu* na mjestu starog *Hajdukovog* igrališta i dva na poljudskoj lokaciji.

Gotovac je projektirao nekoliko sakralnih objekata u Splitu i na omiškom području. Najznačajniji je sklop župne crkve sv. Josipa i samostana sv. Josipa na predjelu Sukoišan iz 1969. godine, prve crkvene građevine sagrađene u Splitu nakon Drugog svjetskog rata.

Tijekom čitavog profesionalnog rada projektirao je kuće za odmor za svoje prijatelje. Primjerice kuća Pederin u Grljevcu, kuća Kokeza u Seget-Vranjici i kuća Banović u Zaostrogu ističu se specifičnim oblikovanjem volumena i izdvajaju se iz okolnog ambijenta zgrada *tipično dalmatinskih* obilježja diktiranih urbanističkim planovima za naselja u području priobalja.

Arhitekt Gotovac bavio se urbanističkim planiranjem. Zajedno s arhitektom Žarkom Turketom daje svoj prijedlog urbanističkog rješenja na natječaju za stambenu jedinicu sv. Mande-Škrape 1961.-1962. godine i za predloženo rješenje dobivaju prvu nagradu. Grupa autora, među kojima je Gotovac, dobiva prvu nagradu 1963. godine za natječajni rad za urbanističko rješenje stambene jedinice Spinut-Poljud. Krajem šezdesetih godina Gotovac je angažiran na izradi urbanističkog plana grada Omiša i nekoliko omiških predjela: Mlija, Punta, Priko-*Između dva mosta* i Priko-Vrilo.

Franjo Gotovac i Stanislav Mladinić autori su prvonagrađenog natječajnog rada 1981. godine za kompleks poslovnih zgrada na Trgu Hrvatske bratske zajednice.

Analizom Gotovčevih zgrada primjećuju se prevladavajući oblici u njegovoj arhitekturi. Gotovčeve zgrade ističu se jasno definiranim geometrijskim karakteristikama od osnovnog volumena zgrade do arhitektonskog detalja. Pravilne prizme uočavamo prilikom raščlanjenja zgrade na osnovna geometrijska tijela u samom početku projektantskog procesa. U daljnjoj artikulaciji volumena zgrade, kojom se definiraju pojedine plohe, autor ponovo koristi pravilne geometrijske forme. Njima Gotovac formira lođe i balkone, vertikalne trake prozora, trake punog zida, parapete balkona i lođa, elemente nadozida, greda i pilona prizemlja zgrada. Elemente prepoznatljivog kasno modernističkog rukopisa Gotovac je dosljedno koristio na svim svojim zgradama. Za gradnju svojih zgrada Gotovac koristi beton, njime definira osnovni geometrijski volumen uvjeren da je

"... arhitektonski objekt zapravo onoliko vrijedan koliko su njegove (prave) vrijednosti u betonu. Tada se tek osjeća prava plastična misao u dubokim sjenama poput prave iskonske prostorne skulpture."¹

Kako *razgraditi* kutijasti volumen? – pitanje koje je stalno zaokupljalo Gotovčeve misli prilikom projektiranja zgrada. Rješenju pribjegava na dva različita načina, koristeći iskustva majstora racionalističkog pokreta: metodom razbijanja kompaktnog volumena koju koristi Le Corbusier u vili Savoye ili primjenom Gropiusove metode fragmentiranja cjeline sklopa kod Bauhauusa u Dessauu. Gotovca intrigira raščlamba i strukturiranje pročelja zgrade što predano istražuje i usavršava tijekom cijelog profesionalnog rada. Njegova djela, od ranog projekta zgrade *Školske poliklinike*, stambene zgrade na Pojišanu, značajnog djela *Kineskog zida* i nekoliko stambenih zgrada u Omišu otkrivaju izniman Gotovčev talent u rješavanju problematike usitnjavanja plohe pročelja, u splitskim prilikama jedinstven i zato *gotovčevski* originalan i prepoznatljiv.

Bujan, svestran, gorljiv i osobit karakter stvorio je arhitekturu velike snage i zaslužio istaknuto mjesto u splitskoj i hrvatskoj arhitekturi Moderne. Jasnoćom i postojanošću jezika, bogatstvom formi oblikovanih korištenjem modernih izražajnih sredstava Gotovac je svoja djela ostvario autentičnom originalnošću koja zaslužuju pažnju umjetničkog spomenika kao svjedočanstvo prošlog vremena i povijesno-umjetničkog razdoblja.

U diskusiji o vrednovanju arhitektonskog djela arhitekt Zdeslav Perković, u svom stilu, slikovito i originalno kaže: "Potvrdu za svoj rad glumac dobiva pljeskom nakon predstave. U arhitekturi, međutim, djela traju mnogo duže od autora i pljesak treba 'omirisati' i stoljećima nakon gradnje..."². Navedene riječi nalaze potvrdu upravo u Gotovčevim djelima koja će još dugo mamiti poglede prolaznika i izazivati pozornost nekih budućih istraživača.



Slika 1. Stambena zgrada 'Kineski zid' na predjelu Spinut u Splitu
foto: Feda Klarić, 2013. godina

Literatura

- [1] Gotovac, F., *Urbanističko-arhitektonski darmar*, "Slobodna Dalmacija", XLIV, 13486, 12. 6. 1988., Split, 1988.
- [2] Perković Jović, V., *Stambena arhitektura arhitekta Frane Gotovca*, doktorska disertacija, Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2010.
- [3] Perković, Z., *Humanost arhitekture*, "Slobodna Dalmacija", 16. 2. 1983., 6, Split, 1983.

¹ Gotovac, 1988.

² Perković, 1983.

SEKCIJA 3 - Geodezija

301 - SEMANTIČKI WEB ZA GEOSTATIČKE PODATKE

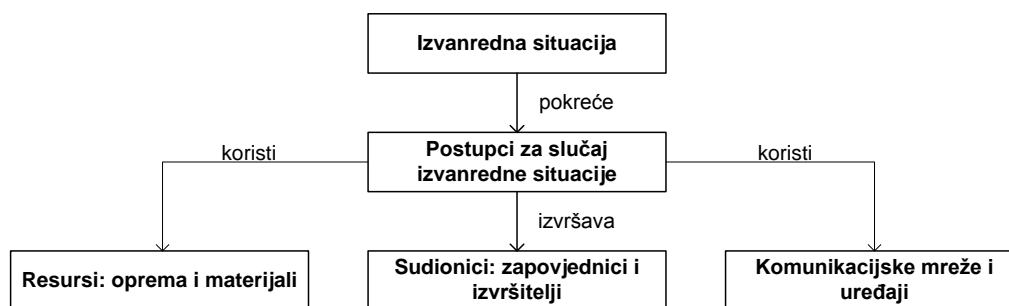
Martina Baučić (*martina.baucic@gradst.hr*)
Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Uvaženo je mišljenje da 80% svih informacija ima svoju lokaciju u prostoru (na direktan ili indirektan način) tj. geoprостornu komponentu. To može biti adresa, GPS (Global Positioning System) lokacija, toponim i dr. Geoprостorni podaci se mogu iskoristiti da povežu različite podatke putem iste ili bliske lokacije. Današnji web sadrži mnogobrojne geopodatke i velika je vjerojatnost da je geopodatak kojeg trebamo negdje na webu. Problem više nije u tome da li geopodatak postoji već kako ga naći. Zato je potrebno razviti metode za efikasnije pretraživanje geopodataka na webu. Da bi se ostvarilo efikasno pretraživanje geopodataka na webu potrebno je razriješiti više problema (pregled u [1]). Ovaj rad obuhvaća problem semantičke heterogenosti geopodataka tj. problem da isti pojam ima različito značenje ovisno o kontekstu odnosno o domeni iz koje dolazi. Npr. *sigurna zona* unutar domene požarne zaštite znači zonu sigurnu od požara, a unutar domene sigurnosti na zračnim lukama znači zonu u kojoj su svi putnici i predmeti prošli kontrolu. Ako bi se pretraživali podaci iz ove dvije domene po ključnoj riječi *sigurna zona*, rezultat pretraživanja bi tražio daljnje ručno filtriranje. Rješenje semantičke heterogenosti geopodataka traži se u istraživanjima i razvoju semantičkog weba za geoprостorne podatke (engl. geospatial semantic web).

Semantički web je danas u razvoju i zasniva se na ontologiji (znanost što svijet jest) i/ili epistemologiji (znanosti o znanju i prezentaciji znanja o tom svijetu) [2], a da bi imali metodu predstavljanja znanja na način da se definiraju koncepti i relacije među njima unutar određene domene. W3C (World Wide Web Consortium) grupa predvodi razvoj semantičkog weba koji uključuje koncepte deskriptivne logike, RDF (Resource Description Framework) model podataka s RDF shemama (RDFS) i URI identifikatorima (Uniform Resource Identifier), OWL jezik (Web Ontology Language), SPARQL jezik za upite nad RDF-om i dr. Dosadašnja istraživanja i razvoj pokazali su i mnoge probleme semantičkog weba. Od sporosti, višestrukih URI-ja, postupka izgradnje domena koji nije definiran, provođenja izmjena u ontologiji, verifikacija i validacija ontologija do pretvorbe ogromnih količina podataka na webu u ontologije i prezentiranju rezultata (pregled u [3]).

Nije jednostavno doći do semantičkog weba za geoprостorne podatke odnosno doći do dobre geoprостorne ontološke sheme i semantičkog geoprостornog pretraživanja (pregled u [4]). Sama lokacija može biti dana adresom, koordinatama, opisom (dvije ulice južno od trga), apsolutno, relativno. Da bi se ta lokacija mogla koristiti i uspoređivati s drugim lokacijama potrebno je imati dodatne podatke o koordinatnom sustavu, o koordinatama referentne točke i dr. Objekti osim lokacije imaju svoj oblik kojeg opisujemo osnovnim tipovima, geometrijskim elementima (točkom, linijom, površinom), ali imamo i prostorne i topološke veze između objekata i operacije (npr. sadrži, presjeca, dira). Sve to traži dogovor oko precizne definicije geoprостornih lokacija, oblika objekata, veza i operacija. Standardizacija koja bi riješila sadašnju semantičku heterogenost geopodataka i omogućila razvoj semantičkog weba za geoprостorne podatke je tek započela. Standard ISO 19146:2010 daje metodologiju za spajanje tehničkih rječnika koji se primjenjuju kod različitih korisnika geopodataka, a nedavno je objavljen GeoSPARQL standard [5] za geoprостornu ontološku shemu i geoprостorne upite nad RDF podacima.

Za ispitivanje primjene semantičkog weba za geoprостorne podatke odabrano je područje upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama. U izvanrednim situacijama potrebni su svi podaci koji mogu pomoći. Efikasno pretraživanje znači da uključuje semantiku da bi se pronašle sve relevantne informacije.

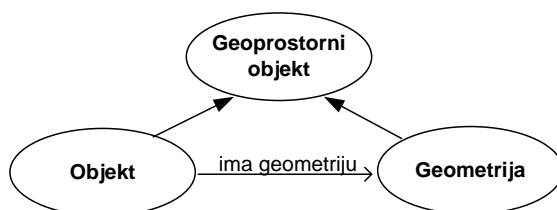


Slika 1. Dijagram osnovnih klasa: Upravljanje izvanrednim situacijama

U ovom radu je prezentirana izrada geoprостorne ontološke sheme za upravljanja izvanrednim situacijama u zračnim lukama. Temeljem analize korisničkih zahtjeva i modeliranja pomoću UML dijagrama izrađen je konceptijski model geoprостorne baze. UML dijagram osnovnih klasa prikazan je na Slici 1. Ukupno, model sadrži tri koncepta, 19 grupa korisnika (osoblje zračne luke, vatrogasci, policija i dr.), 25 slučaja korištenja (engl. use case) (npr. preusmjeravanje prometa, evakuacija ranjenih, obavještanje javnosti i dr.) i pet osnovnih klasa. Za aktivnost pružanja liječničke pomoći identificirano je 27 klasa. Identificirani geoprостorni podaci čine zajedničku operativnu sliku (engl. operational common picture) koju koriste svi sudionici. Geoprостorni podaci se mogu podijeliti u dvije klase: statički podaci (npr. topografija terena) i dinamički podaci koji se stvaraju tijekom odgovora na kriznu situaciju (npr. rute prilaza i evakuacije, zona nezgode, lokacije vozila, osoblja i dr.).

Na osnovi konceptijskog modela geoprostorne baze konstruirana je geoprostorna ontološka shema u OWL jeziku korištenjem Protege softvera. Svaka ontološka shema opisuje pojedince, klase (koje grupiraju pojedince), svojstva (atribute koje mogu imati klase i pojedinci), relacije i hijerarhije (između klasa, pojedinaca i svojstava). Geoprostorna ontologija ove domene sadrži tematske, prostorne i vremenske opise pojedinaca. Zato je stavljena u relaciju sa slijedećim višim (engl. top) ontologijama: općom ontologijom DOLCE; ontologijom za izvanredne situacije W3C Emergency Information; ontologijom za vrijeme W3C Time i ontologijom za geoprostorne podatke OGC GeoSPARQL. Više ontologije definiraju opće koncepte i time osiguravaju zajedničku osnovu za spajanje ontologija.

GeoSPARQL ontološka shema za geoprostorne podatke odvaja pojedinca od njegovog geoprostornog prikaza. Tri su osnovne klase GeoSPARQL ontološke sheme: Objekt (engl. Feature), npr. spomenik koji može imati svoj geoprostorni položaj, oblik i veličinu; Geometrija (engl. Geometry), npr. par koordinata i Geoprostorni objekt (engl. Spatial Object) a koji predstavlja super-klasu. Relacija Ima geometriju (engl. has geometry) povezuje klase Objekt i Geometrija (Slika 2.). Time jedan Objekt može imati više Geometrija. Geometrija objekata se zapisuje kao tekstualna vrijednost prema WKT ili GML standardu. Osim osnovnih klasa i zapisa geometrije, GeoSPARQL standard definira topološke relacije i funkcije (npr. unutar, presijeca i dr.), te ne-topološke funkcije (npr. udaljenost, razlika i dr). Detaljan opis GeoSPARQL standarda nalazi se u [5].



Slika 2. Osnovne klase GeoSPARQL ontološke sheme

Nad ontologijom je moguće pokrenuti rasuđivanje (engl. reasoning), a koje se temelji na deskriptivnoj logici i algoritmima rasuđivanja (npr. Tableau algoritam). Rasuđivanjem se provjerava konzistentnost ontološke sheme, kod povezivanja ontologija se računa integrirana hijerarhija klasa i izvode se novi podaci. U RDF modelu podataka, koji je osnova za semantički web, podaci su pohranjeni kao uređene trojke: (subjekt, predikat, objekt). Uređene trojke se mogu prikazati kao usmjereni graf (engl. directed graph). Na slijedećem primjeru opisano je jedno jednostavno rasuđivanje.

Neka su u RDF bazi upisane dvije uređene trojke:

(osoba A, nalazi se, zona medicinske trijaže),
(zona medicinske trijaže, nalazi se, kvadrant A5).

Definirano je pravilo da je predikat *nalazi se* tranzitivno svojstvo i ono je zapisano isto kao uređena trojka:

(nalazi se, tip, tranzitivno svojstvo).

Algoritam rasuđivanja će izvesti novu trojku:

(osoba A, nalazi se, kvadrant A5).

Prostorno rasuđivanje i upiti nad RDF geoprostornim podacima su u ranoj fazi razvoja. GeoSPARQL standard zasad definira samo terminologiju za osnovni set topoloških i geometrijskih upita, a tek nekoliko softvera koji su u razvoju podržavaju geoprostorne podatke u RDF modelu, prostorne upite i rasuđivanje (npr. Parliament, Strabon).

U ovom sažetku je opisana metodologija i teoretska osnova korištena za izradu geoprostorne ontološke sheme za upravljanje izvanrednim situacijama u zračnim lukama. Daljnje istraživanje će koristiti ovu ontološku shemu kao prototip za testiranje i analiziranje pretraživanja geopodataka u semantičkom webu. Preostaje odabrati upite, a koji će uključivati i prostorni i vremenski aspekt podataka, a rezultat testiranja će pokazati koliko mehanizam rasuđivanja kod semantičkog weba poboljšava pretraživanje geoprostornih podataka.

Literatura

- [1] Scharl, A., Tochtermann, K. (Eds.): The Geospatial Web - How Geobrowsers, Social Software and the Web 2.0 are Shaping the Network Society, Springer, 2007.
- [2] Medak, D.: Lifesyles – A Paradigm for the Description of Spatiotemporal Databases, GeoInfo Series Vienna, 1999.
- [3] Prcela, M.: Predstavljanje ontologija na Web-u, Kvalifikacijski doktorski ispit, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, <http://www.fer.hr/poslijediplomski/obrane/radovi>, 1999.
- [4] Scarponcini, P., Camateros, S., Custers, O., Zlatanova, S., Oosterom, P. (Eds.): Introduction, Creating Spatial Information Infrastructures, Towards the Spatial Semantic Web, CRC Press, xiii-xxiii, 2008.
- [5] Perry, M. i Herring, J.: OGC GeoSPARQL – A Geographic Query Language for RDF data, OGC Implementation Standard, ref: OGC 11-052r4, 06, 2012.

302 - KARTA STJEPANA GLAVAČA IZ 1673. GODINE

*Marina Rajaković (mrajakovic@geof.hr)
Sveučilište u Zagrebu; Geodetski fakultet*

Karte su važan dio kulturnog nasljeđa. One su ogledalo geografskog znanja, ideologije i geopolitičkih interesa određenog povijesnog perioda [2]. Ako se želi dobiti točna predodžba o kvaliteti prikaza na karti nezaobilazna je kartografska i kartometrijska analiza koja će kao rezultat dati kvantitativne pokazatelje procjene točnosti karte. Da bi došli do rezultata treba provesti detaljniju analizu karte, definirati matematičke elemente kao što su Zemljin elipsoid ili sfera, kartografska projekcija, mjerilo, mreža meridijana i paralela te mnoge druge elemente.

U doktorskoj disertaciji predmet istraživanja je doprinos kartografskoj i kartometrijskoj analizi karte Stjepana Glavača iz 1673. godine. Jedini poznati primjerak karte Stjepana Glavača iz 1673. godine prvi je kartografski prikaz Hrvatske u krupnijem mjerilu i neprocjenjivo blago hrvatske baštine koje zaslužuje da mu se posveti detaljnija analiza.

Karta Hrvatske Stjepana Glavača iz 1673. prvi je kartografski prikaz Hrvatske načinjen i izdan od hrvatskog autora [10]. Smatra se da je izradom i sadržajem zasjenila mnoga djela s prikazom istoga prostora poznatih europskih kartografa toga vremena. Glavačeva karta posvjedočuje znatan napredak hrvatske kartografije tijekom 17. stoljeća [1]. Važnost karte je i u tome što se na geografskoj karti po prvi puta pojavljuje hrvatska milja [4, 6, 7, 9, 10, 11]. Usprkos svojoj važnosti ona je danas s kartografskog i kartometrijskog stajališta nedovoljno istražena.

Poznato je da je Glavačeva karta od nastanka do danas bila čuvana u raznim institucijama te da je poznat samo jedan primjerak koji se čuva u Valvasorovoj zbirci. Zbirka je u vlasništvu Metropolitanske knjižnice Zagrebačke nadbiskupije smještene u Državnom arhivu u Zagrebu. Obilježena je signaturom VZ VII/12. Postoje uvjerljivi elementi koji potvrđuju da se radi o unikat. Pred Drugi svjetski rat tragalo se za tom kartom u zemlji i u inozemstvu. Pronađen je samo jedan crtež kojeg je prema Glavačevoj karti izradio Antun Belavić 1739. godine [5, 6, 11].

Karta obuhvaća prostor današnje Središnje i Gorske Hrvatske. To je dio koji je nakon turskih osvajanja u 16. stoljeću ostao u sastavu Habsburške Monarhije, a u saborskim je zaključcima nazvan „ostaci ostataka nekada slavnog hrvatskog kraljevstva“ [3].

Lapaine i Frančula [3] pretpostavljaju da je karta izmjerena jednostavnim metodama: određivanje smjera kompasom s grubom podjelom kutova i jednostavnim postupkom viziranja, određivanje udaljenosti brojenjem koraka ili mjerenjem vremena putovanja. Lapaine i Frančula [3] zaključuju da je Glavač za model Zemlje uzeo kuglu jer je u 16. i početkom 17. stoljeća bilo izvedeno niz mjerenja za određivanje veličine Zemlje, a saznanja o spljoštenosti Zemlje pojavljuju se tek kasnije.

Uvidom u original uočeno je da je karta dobivena spajanjem nekoliko segmenata što potvrđuju i drugi autori [6, 7]. Približne dimenzije karte bile bi 88×83,5 cm. Marković [4] navodi da je mjerilo karte 1:300 000. Novosel [6] je računala mjerilo na 3 načina i dobila 3 različite vrijednosti: 1:296 000, 1:272 300 i 1:266 666. Škalamera [8] je izračunao približno mjerilo 1:220 000, Pandžić [7] 1:700 000 te Lapaine i Frančula [3] 1:295 000.

U doktorskoj disertaciji istraživanje će se provesti kroz sedam faza.

U prvoj fazi istraživanja potrebno je pronaći Glavačevu kartu iz 1673. godine i dobiti njezinu digitalnu kopiju. Važno je saznati gdje je i kada izrađena digitalna kopija, te kojih je dimenzija u odnosu na original. Kako bi se utvrdilo je li digitalna karta u stvarnoj veličini treba izmjeriti dimenzije originalne karte i usporediti ih s digitalnom kopijom te je stoga u ovoj fazi zastupljena metoda mjerenja.

Drugu fazu čini pronalazak dosadašnjih radova o Glavačevoj karti. U ovoj fazi utvrdit će se do kojih su saznanja došli autori u svojim istraživanjima i koji je put prošla Valvasorova grafička zbirka od Johanna Weikharda Freiherra von Valvasora do današnje Metropolitanske knjižnice. Za utvrđivanja dosadašnjih saznanja pojedinih autora poslužit će komparativna metoda, a povijesna metoda bit će zastupljena pri istraživanju puta Valvasorove grafičke zbirke.

Primjenom metode deskripcije u trećoj fazi upoznat će se s naslovom karte, područjem koje karta obuhvaća i njezinim likovnim elementima (kartuša, posveta, mjerilo, tumač znakova, smjer sjevera, grbovi, pismo, reljef i rijeke). Potrebno je istražiti je li karta sastavljena od jednog ili više listova i ako je sastavljena od više njih proučiti koliko je uspješan spoj između tih listova. Za to će poslužiti metoda promatranja i bit će prvi korak pri uspješnom utvrđivanju matematičkih elemenata karte.

Četvrta faza bit će posvećena kvantitativnoj procjeni kvalitete karte i statističkoj metodi. Za ovaj rad potrebno je pribaviti suvremenu kartu u približnom mjerilu i odrediti identične točke na analiziranoj i suvremenoj karti. Rezultati će biti uspoređeni s rezultatima dobivenim pomoću programa MapAnalyst.

U petoj fazi odredit će se polumjer Zemljine sfere koji je Glavač koristio i ispitati je li karta napravljena u uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji kako su naveli Lapaine i Frančula [6]. Također će se izračunati mjerilo karte i provjeriti odgovara li mjerilu izračunatom od dosadašnjih autora. Kako bih potvrdila ili opovrgnula postavljenu hipotezu o kartografskoj projekciji karte potrebno je prethodno primijeniti metodu mjerenja i matematičku metodu.

Šestu fazu čini istraživanje hrvatske milje i u kojem je ona odnosu prema drugim miljama.

U zadnjoj, sedmoj fazi, istražiti će se utjecaj Glavačeve karte na kasnije autore. Prvo će se istražiti na koje autore je Glavač imao utjecaj. Do sada mi je poznato da su se Giacomo Cantelli da Vignola i Antun Belavić služili Glavačevom kartom. Za svakog autora treba pronaći gdje se čuva njegova karta, pribaviti kartu u digitalnom obliku i istražiti Glavačev utjecaj na njegovo djelo.

Očekujem da ću svojim istraživanjem potvrditi sljedeće hipoteze:

- geografske koordinate definirane su na Zemljinoj sferi,
- karta je izrađena u uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji,
- Glavačeva karta posvjedočuje znatan napredak hrvatske kartografije tijekom 17. stoljeća.

Literatura

- [1] Hirc, D. (1905): Prirodni zemljopis Hrvatske, Antun Scholz, Zagreb, 98.
- [2] Jenny, B., Humi, L. (2011): Studying cartographic heritage: Analysis and visualization of geometric distortions, *Computer & Graphics*, Vol. 35, br. 2, 402-411.
- [3] Lapaine, M., Frančula N. (1998): Glavačev rad na kartografiranju Hrvatske, U: M. Begović (ur.), *Radovi Zavoda za znanstveni rad HAZU Varaždin*, radovi posvećeni 85. obljetnici Andre Mohorovičića, br. 10-11, TIVA – Tiskara Varaždin, Varaždin, 341-369.
- [4] Marković, M. (1993): Hrvatska na karti Varaždinca Stjepana Glavača iz 1673. godine, *Descriptio Croatiae*, Naprijed, Zagreb, 184-199.
- [5] Marković, M. (1998): Značenje Glavačeva zemljovida Hrvatske kao povijesno-zemljopisnog dokumenta, U: M. Begović (ur.), *Radovi Zavoda za znanstveni rad HAZU Varaždin*, radovi posvećeni 85. obljetnici Andre Mohorovičića, br. 10-11, TIVA – Tiskara Varaždin, Varaždin, 371-379.
- [6] Novosel, P. (1973): O Stjepanu Glavaču i njegovoj karti Hrvatske iz 1673. godine, *Geografski glasnik*, Vol. 35, br. 1, 195-203.
- [7] Pandžić, A. (1988): Pet stoljeća zemljopisnih karata Hrvatske, katalog istoimene izložbe održane u Zagrebu, Muzej za umjetnost i obrt, Zagreb, str. 75-77.
- [8] Škalamera, Ž. (1996): Marijan Gajšak – portret Stjepana Gavača (Stephanum Glavach). U: G. Pifat-Mrzljak, urednica: *Znanost u Hrvata: Prirodoslovlje i njegova primjena*, katalog istoimene izložbe, lipanj-listopad, MGC, Zagreb, str. 185-186.
- [9] Vanino, M. (ur. 1936a): Kartograf Stjepan Glavač D. I. (1627-1680). Biografski podaci, *Zbornik za povijest isusovačkoga reda u hrvatskim krajevima*, „Vrela i prinosi“ 6, „Nova tiskara“ Vrčec i dr., Sarajevo, 139-143.
- [10] Vanino, M. (1936b): Stjepan Glavač auktor prve domaće geografske karte Hrvatske (1673.), U: A. Martinović (ur.), „Napredak“ hrvatski narodni kalendar, „Nova tiskara“ Vrčec i dr., Sarajevo, 75-78.
- [11] Vanino, M. (1939): O postanku zemljovida Hrvatske od Stjepana Glavača (1673). Bilješke uz dedikciju, *Hrvatski geografski glasnik*, br. 8-9-10, 247-252.

303 - KARTE CRKVENE DRŽAVE IZ 1755. I 1770. GODINE

Martina Triplat Horvat (*mthorvat@geof.hr*)

Sveučilište u Zagrebu; Geodetski fakultet

Dvije srodne karte Crkvene Države bit će ovim znanstvenim istraživanjem sustavno analizirane. Karte su izdane u 18. stoljeću u razmaku od 15 godina, a prikazuju područje središnje Italije. Prvo je izdanje karta *Nuova carta geografica dello Stato Ecclesiastico* objavljena krajem 1755. na tri lista uz djelo *De litteraria ...*, a drugo karta *Carte de l'État de l'Église* objavljena 1770. na jednom listu u djelu *Voyage astronomique ...* Osnovna razlika između karte *Nuova carta geografica dello Stato Ecclesiastico* koja je objavljena 1755. i *Carte de l'État de l'Église* koja je objavljena 1770. je u tome što se prva sastoji iz tri lista i nije bila uvezana u knjigu *De litteraria ...* uz koju je tiskana, dok je druga na jednom listu, smanjena približno tri puta i uvezana je u knjigu *Voyage astronomique...* Karte Crkvene Države odabrane su stoga jer ih je izradio jedan od najistaknutijih hrvatskih znanstvenika, J. R. Bošković, zajedno s C. Maireom, a do danas nisu s geodetskog i kartografskog stajališta dovoljno istražene.

Josip Ruđer Bošković (Dubrovnik, 18. svibnja 1711. – Milano, 13. veljače 1787.) jedan je od najistaknutijih hrvatskih znanstvenika 18. stoljeća. Tijekom svog znanstvenog rada bavio se mnogim matematičkim problemima, astronomijom, fizikom, filozofijom, a svoj veliki doprinos dao je i u geografiji te geodeziji i kartografiji.

Kao i mnogi znanstvenici toga doba, Bošković je proučavao problematiku određivanja Zemljinog oblika. Boškovićeve prve rasprave *De veterum argumentis pro telluris sphaericitate* (O dokazima starih za sferni oblik Zemlje) [3] i *Dissertatio de telluris figura* (Rasprava o obliku Zemlje) [1] bave se upravo tom problematikom. U svojim kasnijim opsežnijim radovima [5], [6], [7] obrazlaže svoju teoriju nepravilnog Zemljinog oblika uslijed utjecaja različitih rasporeda masa ispod Zemljine kore te utjecaja sile teže. Također je Bošković osmislio i principe izjednačenja pomoću kojih se prekobrojna mjerenja koja se međusobno malo razlikuju mogu uskladiti.

Analiza će se provesti na digitalnim kopijama karata u visokoj rezoluciji i originalnoj veličini, primjenom različitih kartometrijskih tehnika te primjenom metode teorije kartografskih projekcija.

Karta *Nuova carta geografica dello Stato Ecclesiastico* objavljena 1755. čuva se u Nacionalnoj knjižnici Francuske (Bibliothèque nationale de France) u Parizu, dok je karta *Carte de l'État de l'Église* objavljena 1770. dostupna u Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu. Iz navedenih ustanova naručene su digitalne kopije karata u visokoj rezoluciji i originalnoj veličini. Digitalne kopije karata visoke rezolucije omogućit će provedbu izravnih mjerenja na karti primjenom računalnih tehnika.

Najveći dio mojih dosadašnjih istraživanja odnosio se na upoznavanje s principom izjednačenja mjerenja duljina luka jednog stupnja meridijana koje je Bošković osmislio i definirao baveći se problemom određivanja oblika i veličine Zemlje. S obzirom na to da nije mogao usporedbom dvije po dvije mjerene duljine luka dobiti jedinstvenu vrijednost za Zemljinu spljoštenost, vlastitu metodu prvi puta primjenjuje na izjednačenje pet mjerenih veličina dok drugi puta, postupak primjenjuje na njih devet. Istraživanja tog područja rezultirali su objavljenim radovima [8], [9] te radom prihvaćenim za objavu [10]. U navedenim radovima objašnjena je Boškovićeva geometrijska metoda, te analitički oblik metode koju je kasnije razradio i objavio francuski matematičar P. S. de Laplace 1832 [4]. Postupak izjednačenja mjerenih veličina imao je za cilj odrediti spljoštenost elipsoida koji bi najbolje aproksimirao Zemlju po obliku. Bošković je u svojim djelima definirao samo Zemljinu spljoštenost, a do sada, barem koliko je meni poznato, nitko nije definirao parametre koji bi u potpunosti opisali taj elipsoid.

Postavljene hipoteze koje će se istraživanjem ispitati su:

1. Autori karata *Nuova carta geografica dello Stato Ecclesiastico* i *Carte de l'État de l'Église* su J. R. Bošković i C. Maire
2. Karte *Nuova carta geografica dello Stato Ecclesiastico* i *Carte de l'État de l'Église* nisu izrađene u poliedarskoj projekciji
3. Dimenzije Zemljinog elipsoida na kojem se temelje Boškovićeve i Maireove karte određene su iz mjerenja duljina luka meridijana
4. Geografske koordinate na kartama Crkvene Države određene su u odnosu na početni meridijan Ferro
5. Karte Crkvene Države točnije su od ostalih srodnih karata toga vremena

Istraživanje će se provesti kroz pet osnovnih faza kroz koje će se ispitati pet postavljenih hipoteza.

U prvoj fazi istraživanja provest će se pregled dosadašnjih istraživanja navedenih karata.

U drugoj fazi istraživanja potrebno je upoznati se s osnovnim elementima karte koji su: naslov, vrsta, područje prikaza i orijentacija karte, svrha i namjena karte. Također je potrebno proučiti sadržaj karte kroz njezine osnovne topografske elemente.

Treća faza istraživanja obuhvaća definiranje dimenzija elipsoida. Elipsoid će se definirati na osnovi devet mjerenih duljina luka meridijana koja je Bošković koristio u svojim istraživanjima i primjenom Bošković-Laplaceove metode izjednačenja.

Da bi se mogla provesti sustavna analiza i ocjena točnosti topografskih elemenata na karti potrebno je definirati u kojoj kartografskoj projekciji je karta izrađena. Određivanje kartografske projekcije provest će se primjenom metoda teorije kartografskih projekcija. Određivanje kartografske projekcije definira četvrtu fazu istraživanja.

U petoj fazi istraživanja predložena metodologija sastojat će se od niza kartometrijskih tehnika. Kartometrija je dio kartografije koji se bavi proučavanjem načina izmjere na kartama različitih geografskih objekata i izračunavanjem njihovih kvantitativnih karakteristika iz izmjerenih podataka [2]. Kartometrijske tehnike koje će se koristiti u ovom istraživanju uključuju georeferenciranje, procjena numeričkog mjerila karata na osnovi grafičkih linearnih mjerila koji su prikazani na kartama, definiranje mreže meridijana i paralela, identifikaciju kontrolnih točaka odnosno prikazanih gradova i mjesta uz određivanje njihovih koordinata (geografske širine i dužine). Koordinate kontrolnih točaka potom će biti uspoređene sa stvarnim, danas poznatim koordinatama njihovih položaja s ciljem utvrđivanja i tumačenja geometrijskih svojstava te točnosti karata.

Očekujem da ću ispraviti pogreške uočene pri dosadašnjim istraživanjima i dokazati sljedeće teze:

- da su J. R. Bošković i C. Maire autori karata *Nuova carta geografica dello Stato Ecclesiastico* i *Carte de l'État de l'Église*,
- da su dimenzije Zemljinog elipsoida određene iz mjerenja duljina luka meridijana, te
- da su geografske koordinate određene u odnosu na početni meridijan Ferro.

Nadalje, očekujem kako ću opovrgnuti dosadašnje mišljenje:

- da su obje karte izrađene u poliedarskoj projekciji te
- da su karte Crkvene Države izrađene s istom točnošću kao i srodne karte toga vremena.

Literatura

- [1] Bošković, J. R. (1739): *Dissertatio de telluris figura: habita in seminario romano Soc. Jesu : [cum tabula]*. Typis Antonii de Rubeis, Rim.
- [2] Frančula N., Lapaine M. (ur., 2008): *Geodetsko- geoinformatički rječnik*. Državna Geodetska uprava, Zagreb.
- [3] Gambara, V., Casati, A., Boscovich, J. R. (1739): *De veterum argumentis pro telluris sphaericitate Dissertatio habita in Seminario Romano Soc. Jesu a comite Vincentio de Gambara Academico redivivo, comite Alphonso Casati redivivorum Candidato, Seminarii Romani Convictoribus*, Typis Antonii de Rubeis in Via Seminarii Romani, 1739.
- [4] Laplace, P. S. (1832): *Mécanique Céleste*, Vol II. English translation, with notes and commentary, by Nathaniel Bowditch. Hilliard, Gray, Little, and Wilkins, Boston, 990 p.
- [5] Maire, C., Boscovich, R. J. (1755): *De litteraria expeditione per Pontificiam ditionem ad dimetiendos duos meridiani gradus et corrigendam mappam geographicam jussu, et auspiciis Benedicti XIV. Pont. Max. suscepta a Patribus Societ. Jesu Christophoro Maire et Rogerio Josepho Boscovich*, In Typographio Palladis excudebant Nicolaus et Marcus Palarini, Romae.
- [6] Maire, Ch., Boscovich, R. J. (1770): *Voyage astronomique et géographique, dans l'État de l'Église, entrepris par l'ordre et sous les auspices du pape Benoit XIV, pour mesurer deux degrés du méridien, & corriger la Carte de l'État ecclésiastique*. N.M. Tilliard, Paris, 526 p.
- [7] Stay, B. (1760): *Philosophiae recentioris a Benedicto Stay versibus traditae libri X Cum adnotationibus, et supplementis P. Rogerii Josephi Boscovich S. J, Tomus II*. Typis, et sumptibus Nicolai et Marci Palarini, Romae, 504 p.
- [8] Triplat Horvat, M., Lapaine, M., Tutić, D. (2011): *Application of Bošković's Geometric Adjustment Method on Five Meridian Degrees*. KoG, 15, 67–74.
- [9] Triplat Horvat, M., Lapaine, M. (2012a): *Bošković-Laplace's and Related Methods of Adjustment*, Conference book „Geomathematics as geoscience“, 4th Croatian-Hungarian and 15th Hungarian geomathematical conference, 23-25 May, 2012, Opatija, str. 165-175.
- [10] Triplat Horvat, M., Lapaine, M. (2012b): *Comparison of Bošković-Laplace's Method with other Methods of Adjustment*, Geolitera (u tisku).

SEKCIJA 4 - Elektrotehnika

401 - ROBUSNA ESTIMACIJA STANJA U ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU

*Jakov Krstulović Opara (jkrstulo@fesb.hr)
Sveučilište u Splitu; Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje*

Elektroenergetski sustavi današnjice prolaze kroz razdoblje temeljitog restrukturiranja, od vertikalnog, centraliziranog ustrojstva prema horizontalnom i decentraliziranom, koje podrazumijeva deregulirano, otvoreno tržište električnom energijom. Proizvodne jedinice sve više zastupaju alternativne, obnovljive izvore energije, koji bivaju distribuirani prijenosnom, pa čak, i distribucijskom elektroenergetskom mrežom. S druge strane, ovakva organizacija podiže zahtjeve i za regulacijom spram kvalitete električne energije koju opskrbljivači nude krajnjim potrošačima. Istovremeno, jača inicijativa za iskorištavanjem ekološki prihvatljivijih izvora energije, dok porast potražnje za električnom energijom na svjetskoj razini ne jenjava. Alternativni, obnovljivi izvori energije, poput npr. vjetra i sunca, uglavnom su vrlo nepredvidivog i varijabilnog karaktera, što dodatno otežava mogućnost prihvata većih snaga takve prirode u elektroenergetski sustav. Nove ideje, još u začetku, najavljuju još iscrpnije promjene u konceptu funkcioniranja energetskih sustava, a teže organiziranju u tzv. pametne mreže (smart grids) i mikro mreže (micro grids). Ovi koncepti imaju za cilj potpunu decentralizaciju sustava formiranjem gotovo nezavisnih cjelina, u kojima proizvodne i potrošačke jedinice na pametan način sudjeluju u tržišnom natjecanju.

U ovakvim novim uvjetima elektroenergetski sustav postaje sve kompleksniji, a sve češće biva vođen na samoj granici stabilnosti, s povećanom vjerojatnosti za tzv. raspadima. Jedan od ključnih proračuna u centrima vođenja i upravljanja takvim sustavima čini estimacija stanja elektroenergetskog sustava. Na temelju mjerenja snage i napona (tj. rjeđe i struje), koju prikuplja SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), estimator stanja estimira (procjenjuje) najvjerojatnije trenutno stanje sustava, koje je u potpunosti određeno iznosima i kutovima napona u svim čvorovima, tj. vektorom stanja. Pri tome je ključno da broj mjerenja m premašuje broj nepoznatih varijabli stanja n , a uz to mjerni uređaji moraju biti tako raspoređeni da omoguće potpunu sagledivost sustava uz što veću redundanciju. U tom slučaju se problem estimacije stanja može postaviti kao nad-određen sustav nelinearnih jednadžbi, definiran kao:

$$z_i = h_i(x) + e_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (1)$$

gdje je z_i i -to mjerjenje, $h_i(x)$ nelinearni izraz koji povezuje vektor stanja x s i -tim mjerjenjem, a e_i pogreška mjerjenja uslijed nesavršenosti mjernih uređaja. Sukladno tome, ovakav sustav nelinearnih jednadžbi nema jedinstvenog rješenja zbog čega se vektor stanja estimira, umjesto da se jednostavno deterministički izračuna.

Nakon što je najvjerojatnije stanje sustava određeno, na temelju dostupnih izmjerenih vrijednosti, moguć je izračun proizvodnje, potrošnje i toka snage u svim čvorovima i vodovima u sustavu. Upravo je rezultat estimacije ključan ulazni podatak za sve ostale funkcije vođenja i upravljanja sustavom. Osim samog proračuna estimacije, put do konačnog stanja sustava uključuje i slijedeće, ne manje važne, funkcije, kao što su: analiza sagledivosti, određivanje topologije mreže, procesiranje grubih pogrešaka i procesiranje parametarskih/strukturnih pogrešaka. Kao što je ranije spomenuto, analiza sagledivosti propituje dovoljnost dostupnih mjerenja, da bi se estimiralo stanje cjelokupnog sustava. Nužan preduvjet same estimacije u užem smislu je poznavanje topologije mreže. Naime stanje svih prekidača u trafostanicama procesira se u jedinstveni jednodimenzionalni dijagram razmatrane mreže čime je topologija u potpunosti određena. Nakon toga, potrebno je još poznavati električne parametre svih elemenata u sustavu (vodovi, transformatori, generatori, kond. baterije, prigušnice,...), da bi imali sve što je potrebno za sami proces estimacije.

Nakon što estimator predloži stanje sustava, ono se još uvijek ne smatra konačnim, obzirom da postoji mogućnost da se u nekom od ulaznih podataka nalazi tzv. gruba pogreška. Naime, tradicionalna metoda koja se najčešće koristi za estimaciju stanja, ustanovljena je još prije više od 40 godina [1], na principu kriterija najmanjih kvadrata (Weighted Least Squares - WLS) kao:

$$WLS \Rightarrow \min_x = \sum_{i=1}^m \left(\frac{z_i - h_i(x)}{\sigma_i} \right)^2 \quad (2)$$

gdje je σ_i standardna devijacija i -te pogreške. Dakle, cilj je minimizirati sumu pogrešaka između izmjerenog i estimiranog mjerjenja, a metoda koja je dovoljno brza i efikasna za rješavanje ovog problema u realnom mjerjenju je Newton-Raphsonova metoda optimizacije. Ovakav estimator stanja smatra se statistički najboljim, uz pretpostavku da su pogreške svih mjerenja unutar očekivane Gaussove razdiobe. Nažalost, događa se da mjerjenja dostavljena iz SCADA-e sadrže i tzv. grube pogreške, tj. pogreške koje su daleko veće od očekivane vrijednosti, a uzrokovane su najčešće: neispravnosti mjernih uređaja, neispravnim spajanje, problemima u telekomunikacijskoj vezi, interferencijom u telekomunikacijskim uređajima, itd.. Osim u samim mjerjenjima, grube pogreške mogu biti prisutne i u topološkim varijablama ili u parametrima same mreže. Takva pogreška imaju vrlo nepovoljan utjecaj na estimator stanja koji minimizira sumu kvadratnih pogrešaka, čime ona biva rasprostranjena i na ostala točna mjerjenja, što može imati vrlo ozbiljne posljedice pogrešnih, pa i opasnih operacija u sustavu. Da bi se ovakve pogreške detektirale, identificirale i eliminirale ili korigirale, razvijen je čitav niz različitih metoda objedinjenih pod terminom *robustna estimacija stanja*, a čiji je osnovni cilj procesiranje grubih pogrešaka. Unatoč gotovo 40 godina istraživanja na ovom području, još uvijek ne

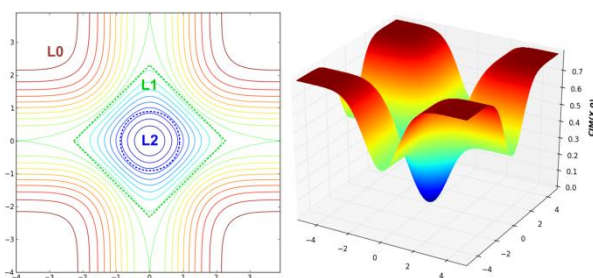
postoji jedinstvena, industrijski-prihvaćena metoda koja je u realnom vremenu u stanju pružiti maksimalnu moguću robusnost.

U novim uvjetima rada elektroenergetskog sustava, uz napetost pogona na rubu stabilnosti, postavljaju se sve veći uvjeti za vođenjem i nadzorom sustava, što se direktno reflektira i na estimator stanja, kao jedan od ključnih funkcija. Estimacija stanja do nedavno se odnosila isključivo na prijenosnu mrežu, dok će sada biti nužna i na najnižim razinama distribucijske mreže. U takvim uvjetima enormnih količina ulaznih podataka iz razgranate distribucijske mreže, za očekivati je česte nekonzistentnosti u ulaznim podacima, u smislu grubih pogrešaka i ulaznih podataka koji nedostaju. Također, za očekivati je sve veću dostupnost novog tipa mjerenja tzv. sinkroniziranih mjerenja fazora (*Phasor Measurements Units* – PMU).

S ciljem što robusnije i fleksibilnije estimacije stanja, koja je u stanje odgovoriti na nove izazove, a izvediva je u realnom vremenu, u ovom radu je predstavljena nova paradigma koja proces estimacije stanja percipira sa stajališta teorije informacija. Glavna ideja je ekstrahirati maksimalnu količinu informacije o stanju u mreži koja se nalazi skrivena u dostupnim mjerenjima. Novi estimator stanja baziran je na mehanizmima koji su usvojeni iz koncepta zvanog Information Theoretic Learning – ITL [2]. Ukratko, glavna ideja ove teorije, ustanovljene u kasnim 90-tim, je zamijeniti klasične deskriptore poput varijance i kovarijance s deskriptorima ustanovljenim u teoriji informacija poput entropije i divergencije, a sa ciljem korištenja u adaptaciji linearnih i nelinearnih filtara te primjeni u strojnom učenju. U ovom radu, nova metrika, koja je predstavljena u sklopu ITL-a, zvana Correntropy Induced Metric korištena je kao zamjena za euklidsku metriku s ciljem mjerenja veličine pogreške. Drugim riječima, novi estimator stanja maksimizira korentropiju (correntropy), kao mjeru sličnosti između mjerenog i estimiranog vektora mjerenja. Novi estimator nazvan je Maximum Correntropy Criterion (MCC) estimator stanja, koji optimira slijedeću objektu funkciju:

$$MCC \Rightarrow \max_x = \frac{1}{N\sqrt{2\pi}} \sum_{i=1}^m \frac{1}{\sigma_i} e^{-\frac{(z_i - h_i(x))^2}{2\sigma_i^2}} \quad (2)$$

S obzirom na karakteristična svojstva koju korentropija posjeduje, novi estimator stanja nasljeđuje visoku robusnost na velike pogreške. Za razliku od estimatora najmanjim kvadratima, MCC estimator je u stanju na vrlo efikasan način detektirati, identificirati i eliminirati velike pogreške u sklopu samog optimizacijskog postupka, bez potrebe za dodatnim funkcijama. Time je ustanovljen novi estimator stanja na bazi teorije informacija, koji nudi visoku fleksibilnost, robusnost, a obzirom na efikasnost i brzinu provediv je i u realnom vremenu.



Slika 1. 2D projekcija i 3D prikaz CIM metrike, kao udaljenost točke x od središta (CIM(x,0))

Drugi dio istraživanja odnosi se na pre-filtraciju ulaznih podataka, s naglaskom na topologiju mreže. Naime, cilj je ustanoviti konzistentnost topoloških varijabli (binarna stanja prekidača) s mjerenjima snage i napona. Također, u slučaju da neki od stanja prekidača nije poznat, zadatak je estimirati ga temeljem dostupnih analognih mjerenja. U tu svrhu korištene su takozvane auto-asocijativne neuronske mreže ili autoenkoderi, koji su trenirani s povijesnom bazom podataka off-line s ciljem učenja funkcijskih ovisnosti među podacima. U realnom vremenu istrenirani autoenkoderi su u stanju rekonstruirati nepoznati podatak ili korigirati pogrešan temeljem dostupnih mjerenja. S obzirom da je efekt topološke promjene u mreži uglavnom lokalne prirode, ova je metoda koncipirana kao mozaik lokalnih autoenkodera koji su u nadležnost nad određenim lokalnim područjem sustava. Znanstveni radovi u kojima su predstavljeni ovi novi nekonvencionalni koncepti estimacije topologije mreže publicirani su u [3,4].

Predstavljeni novi koncepti percipiranja estimacije stanja doprinose stvaranju uvjeta za izgradnjom jednog fleksibilnog, decentraliziranog i automatiziranog estimatora koji je u stanju odgovoriti sve većim zahtjevima nadzora, vođenja i upravljanja modernim elektroenergetskim sustavima.

Literatura

- [1] Schweppe, F.C., Wildes, J.: "Power system static state estimation. Part I: exact model, " IEEE Trans. Power Appar. Syst., 1970, 89, (1), pp. 120–125
- [2] J. C. Principe, "Information theoretic learning: Renyi's Entropy and Kernel Perspectives," 1st ed., vol. 1. Springer, 2010.
- [3] V. Miranda, J. Krstulovic, H. Keko, C. Moreira and J. Pereira, "Reconstructing Missing Data in State Estimation With Autoencoders", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 27, No. 2, May 2012
- [4] J. Krstulovic, A.J.A. Simões Costa, and J. Pereira, "Towards an auto-associative topology state estimator", IEEE Transactions on Power Systems, IEEE Early Access Articles DOI: 10.1109/TPWRS.2012.2236656, 2013

402 - ARHITEKTURE OBJEKATA ZA SMJEŠTAJ OPREME MAKRO BAZNIH POSTAJA

Josip Lorincz (josip.lorinc@fesb.hr)

Sveučilište u Splitu; Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje (FESB)

Sažetak

Posljednjih deset godina možemo svjedočiti naglom porastu primjene mobilnih telefona u svakodnevnom životu. Takva masovna primjena pokretne komunikacijske usluge koja omogućuje prijenos govora, podataka i poruka ostvarena je na području gotovo cijele Hrvatske zahvaljujući velikom broju lokaliteta makro baznih postaja. Oprema postavljena na lokalitetima baznih postaja je u vlasništvu telekomunikacijskih operatora koji su zaduženi za njihovu izgradnju i održavanje, u cilju osiguranja besprekidne dostupnosti mobilnih usluga krajnjim korisnicima. U ovom radu su opisane različite vrste arhitektura objekata koji se nalaze na lokalitetima makro baznih postaja operatora mobilne telefonije u Hrvatskoj. Također je istaknuto da će se zbog primjene metoda uštede energije lokaliteta makro baznih postaja u budućnosti pojaviti u urbanim sredinama nadogradnja postojećih arhitektura objekata baznih postaja sustavima koja će energiju proizvoditi iz obnovljivih izvora.

Cljučne riječi: makro, bazna postaja, arhitektura, lokalitet, objekt, mobilni operator, obnovljivi izvori, energija

Uvod

U Republici Hrvatskoj djeluju tri različita operatora mobilne telefonije pri čemu ukupan broj lokaliteta baznih postaja (engl. base station) svih operatora rasprostranjenih diljem Hrvatske iznosi oko 3000. U tehnološkom smislu, lokalitet svake bazne postaje sadrži: telekomunikacijsku opremu, stupove na kojima se nalaze odašiljačke antene, kabelsku infrastrukturu (vodove) za prijenos signala između telekomunikacijske opreme i antena, akumulatorske baterije za napajanje bazne postaje, te elektroenergetsku opremu za regulaciju napajanja (punjenja/praznjenja baterija). Pored navedenoga, značajan broj lokaliteta baznih postaja može sadržavati i klimatizacijski uređaj koji ima zadatak održavanja temperature unutar lokaliteta u kojem se nalazi telekomunikacijska oprema i baterije.

Za sam smještaj telekomunikacijske opreme i baterija potreban je zatvoreni prostor koji opremu štiti od atmosferskih utjecaja i fizičkog pristupa neovlaštenih osoba. Potrebna ukupna zatvorena površina lokaliteta bazne postaje ovisi o količini instalirane opreme. Od telekomunikacijske opreme najviše prostora zauzimaju kućišta baznih postaja kao i kućišta baterija koje služe kao pomoćni izvor energije u slučaju ispada glavnog izvora napajanja. Operatori često radi smanjenja troškova vrše kolokaciju, odnosno koriste postojeće lokalitete za dodavanje novih tehnologija baznih postaja onim već instaliranim na lokalitetu. Naime, uslijed brzog razvoja bežičnih širokopodručnih tehnologija, tijekom proteklog desetljeća operatori u Hrvatskoj su pored starijih baznih postaja druge generacije (GSM-Global System for Mobile Communications) instalirali i bazne postaje treće generacije (UMTS-Universal Mobile Telecommunications System), a u tijeku je uvođenje baznih postaja četvrte generacije (LTE-Long Term Evolution). Što je veći broj kućišta različitih vrsta tehnologija baznih postaja na istom lokalitetu, to je potrebna i veća zatvorena površina za njihov smještaj. Pritom je važno istaknuti da volumen koji kućište baznih postaja zauzima ovisi o konfiguraciji bazne postaje, pri čemu je trend da bazne postaje novijih tehnologija volumno zauzimaju manje nego one starijih tehnologija za slučaj slične konfiguracije. Stoga se općenito zatvorene površine za smještaj telekomunikacijske opreme na pojedinačnim lokalitetima baznih postaja kreću do 15 m² površine, sa visinom potrebnom da omogući smještaj opreme i nesmetano kretanje čovjeka za slučaj pojedinačnih prostora većih od 1 m² površine.

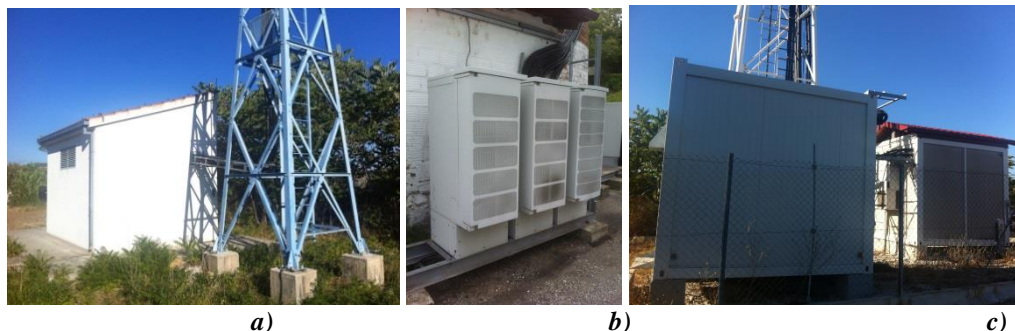
Arhitekture objekata za smještaj opreme

S obzirom na smještaj telekomunikacijske opreme, arhitekture objekata makro baznih postaja mogu se podijeliti u tri kategorije: unutarnje (engl. indoor), vanjske (engl. outdoor) i kontejnerske (eng. containers). Unutarnje objekte karakteriziraju prostorije sa čvrstim zidanim zidovima, podovima i stropovima izrađenim od betona i armiranog željeza koji mogu biti pokriveni ravnim ili kosim krovom sa kupama (Slika 1.a). Pritom može biti riječ o prostorijama u već postojećim objektima ili objektima izrađenim ciljano za smještaj opreme bazne postaje. Najčešće se takav tip arhitekture lokaliteta bazne postaje susreće na krovovima višekatnica u urbanim sredinama kao i na lokacijama u izvangradskim sredinama kod kojih je sam objekt bazne postaje smješten na tlo.

Vanjski objekti podrazumijevaju smještaj telekomunikacijske opreme u posebne metalne ormare koji se nalaze izvan zidanih zatvorenih prostora (Slika 1.b). Ovakav tip arhitekture lokaliteta bazne postaje se može susresti na privatnim kućama, krovovima višekatnica ili u urbanim sredinama pri čemu se ormari smještaju na razini tla (Slika 1.b).

Kontejnerski objekti su slični unutarnjim, s tim da se umjesto zidane konstrukcije koristi metalni kontejner s ravnim i/ili kosim krovom u koji se smještaju telekomunikacijska oprema (Slika 1.c). Dominantno se ovakav tip arhitekture lokaliteta bazne postaje može susresti u izvangradskim sredinama, te udaljenim i teže pristupačnim sredinama. Karakteristično je da se za reguliranje topline u slučaju unutarnjih i kontejnerskih objekata koriste zasebni klimatizacijski uređaji čije se vanjske jedinice smještaju na zidove tih objekata (Slika 1.c). Kod vanjskih objekata u

pravilu se za reguliranje temperature koristi prirodna cirkulacija zraka (Slika 1.b). U slučaju otvorenih odnosno kontejnerskih objekata smještenih na razini tla, metalni ormari odnosno kontejneri se ne smještaju izravno na tlo već se radi sprječavanja prodora vlage smještaju na armirano-betonske blokove (Slikai 1.b i 1.c).



Slika 1. Arhitekture lokaliteta makro baznih postaja: a) unutarnja, b) vanjska, c) kontejnerska

Metode za poboljšanje energetske učinkovitosti

Istraživanja su pokazala da su mobilne komunikacijske mreže veliki potrošači električne energije [1], [2]. Zbog toga telekom operatori u razvijenim zemljama svijeta spadaju među prvih pet potrošača energije u zemlji. Preko 80% od ukupne potrošene energije operatora mobilne telefonije otpada na radio mrežu odnosno na bazne postaje kao najveće pojedinačne potrošače energije. Pridoda li se tome veliki broj lokacija baznih postaja, ukupna cijena koju operatori plaćaju za potrošenu energiju predstavlja značajan dio njihovih operativnih troškova (engl. operational expenditures - OPEX) [3]. Također je pokazano da mobilne komunikacijske mreže doprinose emisiji stakleničkih plinova. Primjerice diesel generator za napajanje bazne postaje emitira značajne količine ugljičnog dioksida (CO₂) [1]. Uzme li se u obzir ukupan broj takvih lokaliteta na globalnoj razini, pokazuje se da mobilni operatori imaju i ekološku obvezu da broj takvih lokaliteta svedu na minimum.

Stoga je trenutni trend i u Hrvatskoj ali i u svijetu da se takvi lokaliteti umjesto diesel generatorima opskrbljuju energijom iz obnovljivih izvora. Time se doprinosi poboljšanju energetske učinkovitosti mobilnih mreža te se smanjuju operativni troškovi mobilnog operatore i emisija štetnih plinova. Međutim, operatorima mobilne telefonije se još uvijek ne isplati na lokalitete koji imaju priključak na elektro-energetsku mrežu dovoditi sustave koji energiju proizvode iz obnovljivih izvora. Riječ je o lokalitetima u urbanim sredinama koji u pravilu troše više energije zbog veće količine instaliranih baznih postaja različitih tehnologija i njihovih snažnijih konfiguracija. Veća potrošnja energije zahtjeva i veće instalirane snage obnovljivih izvora energije, tj. veći broj fotonaponskih panela, vjetroturbina, odnosno veće kapacitete spremnika vodika. Zbog ograničenosti prostora lokaliteta baznih postaja u urbanim sredinama (npr. na krovovima višekatnica), sustavi temeljeni na obnovljivim izvorima energije u pravilu ne mogu osigurati kontinuiranu opskrbu energijom takvih lokaliteta. Stoga se provode intenzivna istraživanja u području telekomunikacija kako bi se optimizirala potrošnja energije telekomunikacijske opreme postavljene na lokalitetu bazne postaje. Jedna od metoda optimizacije potrošnje energije se temelji na paljenju i gašenju dijelova ili cijelih baznih postaja u ovisnosti o telekomunikacijskom prometu, koji zbog životnih navika ljudi varira na dnevnoj, tjednoj i prostornoj osnovi [4]. Ispitivanja su pokazala da se takvim inteligentnim upravljanjem resursima baznih postaja mogu postići značajna smanjenja potrošnje energije takvih lokaliteta [5], [6]. Uslijed smanjenja potrošnje energije, u doglednoj budućnosti se može očekivati da će se i na lokalitetima baznih postaja u urbanim sredinama početi koristiti sustavi opskrbe energijom iz obnovljivih izvora. To će rezultirati novim arhitekturama lokaliteta baznih postaja u urbanim sredinama, koje će za realizaciju biti izazovnije jer će se u ograničenom prostoru morati instalirati elementi sustava za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora.

Literatura

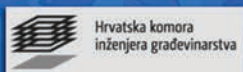
- [1] J. Lorincz, I. Bule, „Renewable energy sources for power supply of base station sites“, International Journal of Business Data Communications and Networking (IJBDN), Vol.: 9, No.: 3, 2013, stranice: 1-19
- [2] J. Lorincz, A. Capone, D. Begusic, „Optimized Network Management for Energy Savings of Wireless Access Networks“, Computer Networks Journal (ISSN: 1389-1286), Vol.: 55, No.: 3, 2011, str.: 626-648
- [3] J. Lorincz, A. Capone, D. Begušić, „Heuristic Algorithms for Optimization of Energy Consumption in Wireless Access Networks“, KSII Transactions on Internet and Information Systems (ISSN: 1976-7277), Vol.: 5, No.: 5, 2011., str.: 514-540
- [4] J. Lorincz, T. Garma, G. Petrovic, "Measurements and Modelling of Base Station Power Consumption under Real Traffic Loads", Sensors Journal (ISSN: 1424-8220), Vol.: 12, No.: 4, 2012, stranice: 4281-4310
- [5] J. Lorincz, „Energy-efficient wireless cellular communications through network resource dynamic adaptation“, International Journal of Business Data Communications and Networking (IJBDN), Vol.: 9, No.: 2, 2013, stranice: 1-14
- [6] J. Lorincz, A. Capone, D. Begusic, "Impact of service rates and base station switching granularity on energy consumption of cellular networks", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking (ISSN: 1687-1499), Vol.: 342, 2012, stranice: 1-44

Popis autora

Andrić Ivo, 9
Atalić Josip, 11
Baučić Martina, 69
Bulić Mladen, 33
Car-Pušić Diana, 27
Čaušević Mehmed, 33
Dragičević Nevena, 47
Duvnjak Ivan, 13
Đurin Bojan, 15
Gaćeša Maja, 17
Galić Mario, 19
Gazić Goran, 21
Gidak Petra, 23
Grgić Nikola, 25
Gudac Ivona, 27
Hak Sanja, 29
Halkijević Ivan, 31
Hrastar Tihana, 61
Karleuša Barbara, 47
Krolo Paulina, 33
Krstulović Opara Jakov, 77

Krvavica Nino, 35
Lorincz Josip, 79
Lustig Nikola, 37
Marić Tamara, 63
Marović Ivan, 27, 39
Melnjak Ivana, 41
Nikolić Marija, 43
Ožanić Nevenka, 35, 47
Perković Jović Vesna, 65
Raić Mirna, 45
Rajaković Marina, 71
Ružić Igor, 35
Sigmund Vladimir, 21
Sušanjanj Ivana, 47
Šćulac Paulo, 49
Škec Leo, 51
Triplat Horvat Martina, 73
Uroš Mario, 53
Vukoje Biljana, 55
Živaljić Nikolina, 57

Zahvaljujemo sponzorima:



Galerija Meštrović, Split