



UDRUGA HRVATSKIH GRAĐEVINSKIH FAKULTETA  
SVEUČILIŠTE U RIJECI / GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA

DRUGI SKUP MLADIH ISTRAŽIVAČA IZ PODRUČJA  
GRAĐEVINARSTVA I SRODNIH TEHNIČKIH ZNANOSTI

# ZAJEDNIČKI TEMELJI

# ZBORNİK SAŽETAKA

Građevinski fakultet Rijeka  
Radmile Matejčić 3  
51000 Rijeka

24. - 26. rujna 2014.

[www.gradri.uniri.hr](http://www.gradri.uniri.hr)  
[info@gradri.uniri.hr](mailto:info@gradri.uniri.hr)

Drugi skup mladih istraživača iz područja  
građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti  
“ZAJEDNIČKI TEMELJI”

# ZBORNİK SAŽETAKA

Rijeka, 24. - 26. rujna 2014.

**Copyright:**

© 2014 Udruga hrvatskih građevinskih fakulteta i Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

Sva prava pridržana. Nijedan dio ovoga izdanja ne smije se, ni u cijelosti ni djelomično, reproducirati, pohraniti ili prenositi ni u kojem elektroničkom obliku, mehaničkim fotokopiranjem, snimanjem ili drugačije bez prethodnog dopuštenja autora.

**Organizatori Konferencije:**

Udruga hrvatskih građevinskih fakulteta  
Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

**Nakladnik:**

Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

**Urednici:**

Ivan Marović  
Ivana Sušanj

**Grafička priprema:**

Nataša Marović

**Grafička pozadina naslovnice:**

© Dujmo Žižić

**ISBN:**

978-953-6953-38-7 [usb izdanje]

978-953-6953-39-4 [internet izdanje]

Tekstovi u zborniku sažetaka nisu lektorirani.

Izrada ovog zbornika omogućena je uz financijsku potporu Udruge hrvatskih građevinskih fakulteta, Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci te Zaklade Sveučilišta u Rijeci. Mišljenja izražena u ovom zborniku su mišljenja autora i ne izražavaju nužno stajalište organizatora konferencije.

CIP zapis dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 885626.

**Zajednički temelji**

# SADRŽAJ

---

|   |    |
|---|----|
| PREDGOVOR.....  | ii |
| SAŽECI RADOVA.....  | 1  |
| 1 ANALIZA KVALITETE INJEKTIRANJA ŠTAPNIH SIDARA U KRŠU.....<br><i>Mario Bačić</i>   | 2  |
| 2 RECIKLIRANA ČELIČNA VLAKNA KAO DJELOMIČNA ZAMJENA KLASIČNE ARMATURE U<br>PREDGOTOVLJENIM BETONSKIM ELEMENTIMA.....<br><i>Marko Bartolac</i>   | 4  |
| 3 DOPRINOS REMA KOOLHAASA ARHITEKTONSKOJ TEORIJI I PRAKSI 20. STOLJEĆA.....<br><i>Ivana Brkanić</i>   | 6  |
| 4 ANALIZA TEMPERATURA KOLNIČKIH POVRŠINA.....<br><i>Marijana Cuculić</i>  | 8  |
| 5 PROPUSNOST ZAGREBAČKE GLINE.....<br><i>Mladen Cvetković</i>   | 10 |
| 6 BESKONTAKTNO MJERENJE POMAKA I DEFORMACIJA PRI STATIČKIM I DINAMIČKIM<br>LABORATORIJSKIM ISPITIVANJIMA.....<br><i>Nina Čeh, Nikola Lustig</i> | 12 |
| 7 DODATNI TRAK NA DVOTRAČNIM DVOSMJERNIM CESTAMA.....<br><i>Boris Čutura</i>  | 14 |
| 8 KARAKTERISTIKE POROZNOG BETONA SA ZGUROM ZA PRIMJENU U KOLNIČKIM<br>KONSTRUKCIJAMA.....<br><i>Krunoslav Čosić</i>                             | 16 |
| 9 UTJECAJ ODRŽAVANJA MELIORACIJSKIH KANALA NA PLITKE PODZEMNE VODE.....<br><i>Tamara Dadić</i>  | 18 |
| 10 NUMERIČKI MODEL MEMBRANE FEM/DEM METODOM.....<br><i>Vladimir Divić</i>   | 20 |
| 11 EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA DOSTUPNIH ALUMINIJSKIH<br>LEGURA.....<br><i>Tihomir Dokšanović</i>                         | 22 |
| 12 PROCJENA HAZARDA I RIZIKA KLIZANJA NA FLIŠNIM KOSINAMA U SREDIŠNJOJ I SJEVERNOJ<br>ISTRI.....<br><i>Sanja Dugonjić Jovančević</i>            | 24 |
| 13 OCJENA OŠTEĆENJA PLOŠNIH KONSTRUKCIJA PRIMJENOM DINAMIČKIH PARAMETARA.....<br><i>Ivan Duvnjak</i>  | 26 |
| 14 MODELIRANJE PRONOSA ZAGAĐENJA U UŠĆU.....<br><i>Morena Galešić</i>   | 28 |
| 15 MORFODINAMIČKA ANALIZA POLJA DINA.....<br><i>Gordon Gilja</i>  | 30 |
| 16 MJEŠOVITA FORMULACIJA U ANALIZI GREDE NA ELASTIČNOJ PODLOZI.....<br><i>Vedran Jagodnik, Gordan Jelenić</i>                                   | 32 |
| 17 NUMERIČKI MODEL USLOJENOG TEČENJA U STRATIFICIRANOM ESTUARIJU: PROBLEMI I<br>MOGUĆNOSTI.....<br><i>Nino Krvavica</i>                         | 34 |
| 18 ANALITIČKO I EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE STAROGA MOSTA U MOSTARU.....<br><i>Mladen Kustura</i>   | 36 |
| 19 UPRAVLJANJE RIZICIMA KOD STIJENSKIH ODRONA.....<br><i>Lovorka Librić</i>   | 38 |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 20 | PRIMJENA VIŠESKALNE METODE U ANALIZI DINAMIČKIH SUSTAVA .....  | 40 |
|    | <i>Marija Nikolić</i>  |    |
| 21 | INTERPOLACIJA OVISNA O KONFIGURACIJI U RAVNINSKIM GREDNIM KONAČNIM<br>ELEMENTIMA.....                                | 42 |
|    | <i>Edita Papa Dukić, Gordan Jelenić</i>  |    |
| 22 | KLIZIŠTE GROHOVO I INSTALIRANI SUSTAV MONITORINGA.....   | 44 |
|    | <i>Josip Peranić, Vedran Jagodnik, Martina Vivoda, Sanja Dugonjić Jovančević, Kristijan Ljutić, Željko Arbanas</i>   |    |
| 23 | PREDATOR-PREY MODEL I UTJECAJ POMAKA U VREMENU .....   | 46 |
|    | <i>Tea Rukavina</i>  |    |
| 24 | ORGANIZACIJSKI MODEL UMANJENJA POTRESNE POVREDLJIVOSTI JAVNIH ZGRADA .....   | 48 |
|    | <i>Zvonko Sigmund</i>  |    |
| 25 | UPOTREBA ANALITIČKIH MODELA DISTRIBUCIJE POLJA KONCENTRACIJE ZA POTREBE<br>PROCJENE RIZIKA .....                     | 50 |
|    | <i>Veljko Srzić</i>  |    |
| 26 | PREDVIĐANJE RAZINA PODZEMNE VODE UPOTREBOM UMJETNE NEURONSKE MREŽE (UNM)<br>NA PRIMJERU SLIVA SLANOG POTOKA.....     | 52 |
|    | <i>Ivana Sušanj, Nevenka Ožanić</i>  |    |
| 27 | NUMERIČKI MODEL VIŠESLOJNE GREDE S POPUSTLJIVOM VEZOM MEĐU SLOJEVIMA.....  | 54 |
|    | <i>Leo Škec</i>  |    |
| 28 | SPREZANJE STAKLOPLASTIKE .....   | 56 |
|    | <i>Tihomir Štefčić</i>   |    |
| 29 | INFRASTRUKTURA PROSTORNIH PODATAKA O MORU U HRVATSKOJ.....   | 58 |
|    | <i>Marina Tavra</i>  |    |
| 30 | MERITVE PREVOZNE HITROSTI V ENOPASOVNIH KROŽNIH KRIŽIŠĆIMA .....   | 60 |
|    | <i>Tomaž Tollazzi, Marko Renčelj, Sašo Turnšek</i>   |    |
| 31 | NEDRENIRANO ISPITIVANJE UZORKA SA KLIZIŠTA GROHOVO U APARATU ZA PRSTENASTO<br>SMICANJE ICL-1 .....                   | 62 |
|    | <i>Martina Vivoda</i>  |    |
| 32 | ANALIZA PROMETNE SIGURNOSTI, RAZINA USLUŽNOSTI I EMISIJE ISPUŠNIH PLINOVA NA<br>MEĐUSOBNO POVEZANIM RASKRIŽJIMA..... | 64 |
|    | <i>Tedi Zgrablić</i>   |    |
| 33 | PROCJENA KOLIČINE PODZEMNE VODE U KRŠU POMOĆU JEDNOSTAVNOG KONCEPTUALNOG<br>MODELA OTJECANJA .....                   | 66 |
|    | <i>Ivana Željковиć</i>   |    |
|    | POPIS AUTORA.....  | 68 |
|    | METODOLOGIJA OCJENJIVANJA.....   | 70 |

# PREDGOVOR

„Na mladima svijet ostaje!“, stara je hrvatska poslovice koja u isto vrijeme mladima daje poticaj i ogromnu odgovornost prema tome što ih čeka. Gledajući taj svijet kroz prizmu znanosti, od mladih se očekuje da se u njihovim rukama znanost razvija i raste na temeljima koje su znanstvenici prije njih postavili. Čini se kao jednostavan zadatak jer su mladi, pametni i puni radnog elana, no ubrzo svatko od njih shvati da je taj zadatak vrlo zahtjevan za svakog znanstvenika bez obzira na dob. Bitno je shvatiti da svi mladi grade i razvijaju znanost na istim postavljenim temeljima, te da svi teže razvoju znanosti kroz vlastiti znanstveni doprinos. Ne bi li bilo lakše kada bi više surađivali sa znanstvenicima iz istih znanstvenih polja te zajedničkim naporima dolazili do novih saznanja?

U današnje vrijeme ubrzanog razvoja tehnologije i nebrojeno mnogo načina komunikacije i razmjene znanja još uvijek se događa da ta mogućnost u znanstvenim krugovima nije dovoljno zastupljena, te zbog toga u nekim slučajevima razvoj znanosti stagnira. Vođeni idejom da intezivna komunikacija između mladih znanstvenika može dovesti do suradnje istih, te tako pridonjeti bržem i kvalitetnijem razvoju znanosti i povećanju konkurentnosti na svijetском tržištu znanja, 2013. godine se razvila ideja o organizaciji Skupa mladih znanstvenika, te je iste godine (26. – 27. rujna 2013.) u organizaciji Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu i Udruge hrvatskih građevinskih fakulteta održan *Prvi skup mladih istraživača iz područja građevinarstva, arhitekture, geodezije i elektrotehnike* pod nazivom **ZAJEDNIČKI TEMELJI**.

Sa zadovoljstvom možemo zaključiti da je ideja o Skupu mladih znanstvenika zaživjela, te je u Rijeci od 24. do 26. rujna 2014. godine u prostorijama Građevinskog fakulteta održan *Drugi skup mladih istraživača iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti – ZAJEDNIČKI TEMELJI* u organizaciji Udruge hrvatskih građevinskih fakulteta i Građevinskog fakulteta Sveučilišta Rijeci. Na Skupu su sudjelovali mladi znanstvenici iz cijele Hrvatske, susjedne Slovenije, te Bosne i Hercegovine na kojem su, tijekom tri dana, imali priliku prezentirati svoje istraživačke radove čije sažetke ćete naći na slijedećim stranicama ovog Zbornika. Dodijeljene su nagrade za tri najbolje napisana i prezentirana rada prema recenzijama organizatora i ocjenama sudionika. Zbornik se sastoji od 33 sažetka organizirana prema abecednom redu autora predstavljajući raznolikost istraživanja unutar istog područja znanosti.

Zahvaljujemo se na doprinosu pozvanih predavača, kao i na odazivu i doprinosu svih sudionika koji su učinili da se ova ideja nastavi. Svakako ovom prilikom zahvaljujemo i profesoru dr.sc. Mehmedu Čauševiću kao i profesorici dr.sc. Nevenki Ožanić što su pridonjeli ovom skupu darovanjem svojim vrijednih knjiga.

Ivana Sušanj

**PREDSJEDNIŠTVO ORGANIZACIJSKOG ODBORA**

Ivana Sušanj  
dr.sc. Ivan Marović

**ORGANIZACIJSKI ODBOR**

Ivana Sušanj  
dr.sc. Edita Papa Dukić  
dr.sc. Vedran Jagodnik  
dr.sc. Ivan Marović  
dr.sc. Paulo Šćulac  
dr.sc. Goran Volf

**MODERATORI SEKCIJA**

Ivana Sušanj  
dr.sc. Edita Papa-Dukić  
dr.sc. Vedran Jagodnik  
dr.sc. Paulo Šćulac  
dr.sc. Goran Volf

# SAŽECI RADOVA



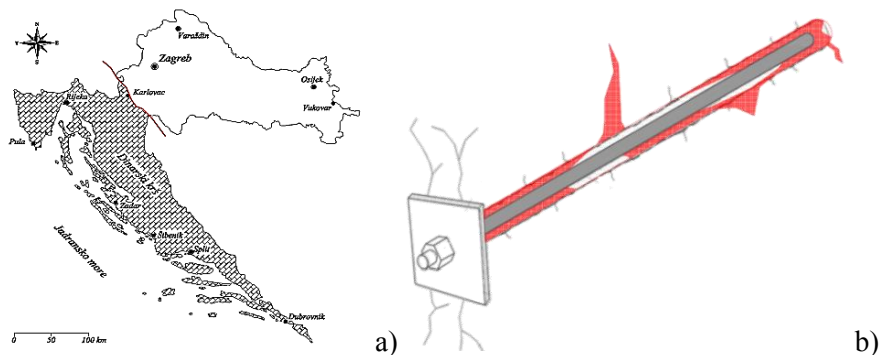
# 1.

## ANALIZA KVALITETE INJEKTIRANJA ŠTAPNIH SIDARA U KRŠU

**Mario Bačić (mbacic@grad.hr)**

Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet; Zavod za geotehniku

Štapna sidra predstavljaju najvažniji element osiguranja stabilnosti stijenskih iskopa širom svijeta uz ugradnju stotina milijuna štapnih sidara godišnje. S obzirom na moguće mehanizme sloma štapnog sidra, nosivost štapnog sidra ovisi o nizu parametara, pri čemu su postupci injektiranja i ostvarene značajke veze šipka-injekcijska smjesa–stijenska masa u praksi najmanje kontrolirani [1]. U Hrvatskoj je glavni uzrok nekvalitetnom injektiranju ugradnja sidara u krškim stijenama, gdje dolazi do curenja injekcijske smjese u stijenske diskontinuitete što za posljedicu ima nekvalitetno injektiranje, čime se reducira nosivost sidra u odnosu na pretpostavljenu projektom. Ovo je značajno ako se uzme u obzir činjenica da krš zauzima 20% svjetske kopnene površine i čak 54% kopnene površine Hrvatske [2].



Slika 1. a) Krš u Hrvatskoj; b) nekvalitetno injektirano štapno sidro

Metode ispitivanja sidara se mogu podijeliti na razorne i nerazorne. Razorna metoda ispitivanja, još uvijek globalno najraširenija metoda je tzv. test čupanja sidara (engl. *pull-out test*) [3]. Međutim, metoda je spora i skupa, a nakon ispitivanja sidra više nemaju nikakvu funkciju jer se iščupaju iz stijenske mase. Ovim ispitivanjem se kontrolira nosivost sidra, a nekvalitetno injektiranje može predstavljati samo jedan od uzroka nedovoljne nosivosti. Da bi se prevladali nedostaci razorne metode, tijekom vremena su razvijane, s većim ili manjim uspjehom, brojne metode za nerazorno ispitivanje sidara. Prvi takav pokušaj, koji se i danas primjenjuje je tzv. Boltometar, ultrazvučna metoda koja koristi senzor s piezoelektričnim kristalima za detektiranje generiranih valova u sidru. Pri tome mora postojati razlika u impedanciji između injekcijske smjese i stijenske mase, jer će u protivnom valna energija u potpunosti disipirati u stijenu, prije nego li je uopće val stigao do greške u injektiranju. Navedeno je često problem u krškim terenima radi niske krutosti stijenske mase. Dodatno, pri upotrebi Boltometra je potrebna precizne obrade glave sidrene šipke, a nedostatak ispitivanja leži i u činjenici da je potrebno, za ispitivanje na nekoj lokaciji, u strogo kontroliranim uvjetima prethodno napraviti referentno sidro. Uzimajući u obzir nedostatke Boltometra, Beard i dr. [4] su istraživali postupak nerazornog ispitivanja sidara koji se temelji na ultrazvučnim vođenim valovima, pri čemu se val generira koristeći pobuđivač kontroliran s generatorom frekvencija. Drugi pristup, odmičući od primjene ultrazvučnih valova, primjenili su Kovačević i dr. [5] koji su generiranjem mehaničkog impulsa na glavi sidra, određivali dominantu frekvenciju te je stavljali u vezu s postotkom injektiranosti štapnog sidra. U novije vrijeme je razvijen GRANIT sustav [6] koji se temelji na generiranju kontroliranog impulsa na glavi sidra, a vibracijski odgovor sidra i njegove okoline se mjeri akcelerometrom koji se nalazi na glavi sidra. Signal ubrzanja se interpretira koristeći neuronske mreže da bi se pokušala odrediti sila u sidru. Sustav je primarno namijenjen za sidra koja imaju slobodnu i sidrišnu dionicu. Za određivanje kvalitete injektiranosti su međutim potrebna dodatna istraživanja i veliki broj podataka.

Na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu su pokrenuta istraživanja koja za cilj imaju uspostavljanje jasne veze između frekventnog odgovora sidra na dinamičku pobudu, te postotka injektiranosti sidra i položaja

injekcijske smjese. Ispitivanja kao polaznu točku koriste spomenuta istraživanja Kovačevića i dr. [5], ali s obzirom da je jasna povezanost između dinamičkog odgovora i kvalitete injektiranja kod predmetnog istraživanja ostala nerazjašnjena, u ovim ispitivanjima će se koristiti analiza više vlastitih frekvencija sidra na umjetno generiranu pobudu. Pod pretpostavkom da se karakteristike dinamičkog odgovora nekvalitetno injektiranog i kvalitetno injektiranog sidra bitno razlikuju te da odgovor sidra na impuls ovisi o dužini i karakteristikama šipke, karakteristikama injekcijske smjese, te postotku injektiranosti i položaju injekcijske smjese, ispitivanja se provode u više faza:

**1. faza** – Teorijsko istraživanje stanja područja

**2. faza** – Izrada mehaničkog dijela uređaja i odgovarajućeg računalnog programa

Izrada funkcionalnog uređaja za nerazorno ispitivanje sidara koji se temelji na frekventnom odgovoru sidra. Uređaj se sastoji od mehaničkog dijela i računalnog programa za prikupljanje i obradu signala, Slika 2a.

**3. faza** – Modelska ispitivanjima u laboratorijskim uvjetima

Laboratorijska ispitivanja na izrađenim modelima koji predstavljaju štapna sidra s namjerno izvedenim greškama u injektiranju, Slika 2b. Dodatno će se, u ovoj fazi, laboratorijski ispitati karakteristike različitih tipova injekcijskih smjesa.

**4. faza** – Terenska ispitivanja – namjerno izvedene greške u injektiranju

Provođenje većeg broja terenskih ispitivanja na štapnim sidrima s namjerno izvedenim greškama u injektiranju. Također će biti izvršeno detaljno inženjerskogeološko kartiranje stijenske mase u zoni utjecaj sidra.

**5. faza** – Primjena numeričkog modeliranja

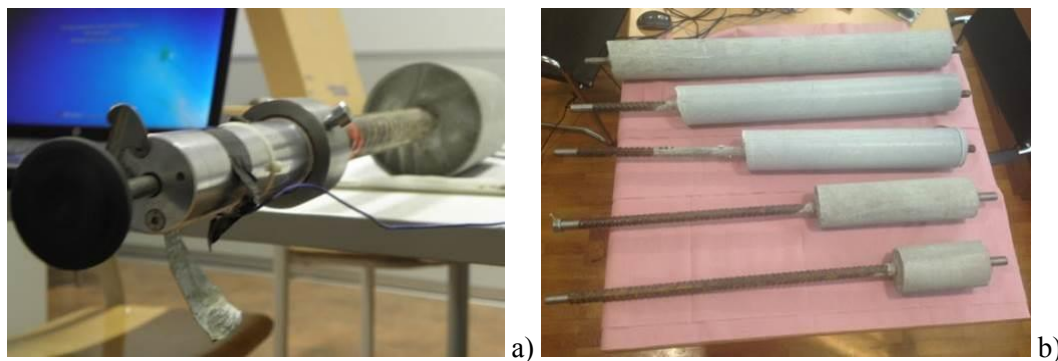
Modelirati će se dinamički odgovor štapnog sidra koje sadrži unaprijed definirane greške u injektiranju. Kao ulaz, za kalibraciju modela će se koristiti rezultati 3. i 4. faze.

**6. faza** – Primjena neuronskih mreža

Neuronska mreža će biti trenirana i testirana na temelju baze podataka dobivene laboratorijskim i terenskim ispitivanjima, kao i iz rezultata numeričkog modeliranja.

**7. faza** – Razvoj novog nerazornog postupka kontrole kvalitete injektiranja sidara

**8. faza** – Verifikacija novog nerazornog postupka kontrole kvalitete injektiranja sidara



**Slika 2.** a) Uređaj za nerazorno ispitivanje; b) laboratorijski modeli sidara

Konačni znanstveni doprinos istraživanja je razvoj novog postupka ispitivanja kvalitete injektiranja sidara, koji se temelji na povezivanju dinamičkog odgovora sidra s postotkom injektiranosti i položajem injekcijske smjese, čime se eliminiraju ključni problemi koji opterećuju raspoložive tehnike ispitivanja. Usporedno se očekuju i nove spoznaje o utjecaju sastava injekcijske smjese i načina injektiranja na stupanj zainjektiranosti sidra.

#### Literatura

- [1] Arbanas, Ž., Grošić, M., Jurić-Kačunić, D.: Utjecaj injektiranja i injekcijske smjese na ponašanje ojačane stijenske mase, Priopćenja 4. Savjetovanja Hrvatskog geotehničkog društva, Urednici: Szavits-Nossan, V., Kovačević, M-S., Hrvatsko geotehničko društvo, Zagreb, 2006., pp. 55-64.
- [2] Garašić, M., Kovačević, M-S., Jurić-Kačunić, D.: Investigation and remediation of the cavern in the vrata tunnel on the Zagreb – Rijeka highway (Croatia), *Acta Carsologica*, Vol. 39, 2010., pp. 61-77.
- [3] ISRM, Commission on standardization of laboratory and field test: Suggested Methods for Rockbolt Testing, 1974., pp. 163-168.
- [4] Beard, M.D., Lowe, M.J.S.: Non-destructive testing of rock bolts using guided ultrasonic waves, *Int J Rock Mech Mining Sci*, Vol. 40, 2003., pp. 527–536.
- [5] Kovačević, M-S., Vrkljan, I., Szavits-Nossan, A.: Nondestructive procedure for testing grouting quality of rockbolt anchors, Proceedings of the Ninth International Congress on Rock Mechanics, Urednici: Vouille, G., Berest, P., A.A. Balkema, Rotterdam, 1999., pp. 1475-1478.
- [6] Starkey, A., Ivanović, A., Rodger, A.A., Neilson, R.D.: Condition Monitoring of Ground Anchorages by Dynamic Impulses: GRANIT System, *Meccanica*, Vol. 38, 2003., pp. 265-282.

## 2.

# RECIKLIRANA ČELIČNA VLAKNA KAO DJELOMIČNA ZAMJENA KLASIČNE ARMATURE U PREDGOTOVljenIM BETONSKIM ELEMENTIMA

**Marko Bartolac** ([mbartolac@grad.hr](mailto:mbartolac@grad.hr))

Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet; Zavod za tehničku mehaniku

Odlukom europske komisije iz 2006. godine, zabranjeno je odlaganje otpadnih auto guma u okoliš i obvezna je njihova daljnja upotreba u nekom drugom obliku. Jedan od načina kako doći do nove primjene otpadnih guma je i recikliranje. Recikliranjem se dobiva nekoliko produkata koji imaju potencijala za primjenu u građevinarstvu: guma, čelična vlakna i polimerna vlakna. Reciklirana guma već ima podosta raširenu upotrebu u praksi, prije svega kao obloga raznih površina, dok su istraživanja vezana uz praktičnu primjenu čeličnih, a posebice polimernih vlakana, još uvijek u ranim fazama. Planirano istraživanje vezano je upravo uz spomenuta čelična vlakna.



Slika 1. Shematski prikaz produkata reciklaže otpadnih auto guma

Odavno je poznato da se upotrebom vlakana kao armature u krhkim građevinskim materijalima poboljšavaju mnoga svojstva tih materijala. Još su u starim civilizacijama zapadne Azije, Afrike i Južne Amerike korištena različita vlakna biljnog i životinjskog porijekla za armiranje nepečenih građiva. Kroz 20. stoljeće je upotreba vlakana kao armature imala stalan rast tako da danas postoji nekoliko vrsta vlakana koja se dodaju betonu kao što su prirodna, sintetička, staklena i čelična vlakna [1]. U današnje vrijeme, beton armiran čeličnim vlaknima (industrijskim) je najčešći predmet istraživanja od svih spomenutih. Uz pomoć ponajviše eksperimentalnih istraživanja, šezdesetih godina prošlog stoljeća čelična vlakna ulaze u upotrebu kao efikasan način armiranja betona. Iako je više puta dokazano da se vlaknima ne može zamijeniti glavna armatura, uočene su brojne prednosti tako armiranog betona kao što su smanjenje krhkosti betona te povećanje njegove otpornosti na zamor i udarna opterećenja [2]. Beton armiran čeličnim vlaknima se danas prvenstveno koristi na mjestima gdje je ugradnja armaturnih šipki otežana kao npr. kod hidrotehničkih građevina (brane, preljevi), velikih industrijskih ploča, obloga tunela. Ostala mjesta primjene (npr. spoj stupa i grede u seizmički aktivnim područjima, razni konstruktivni elementi, stabilizacija pokosa itd.) kao i metode proračuna se još uvijek istražuju i iščekuju implementaciju u praksu od strane građevinske struke [3]. U planiranom istraživanju će se utvrditi mogu li se i reciklirana čelična vlakna, sama ili u kombinaciji s industrijskim čeličnim vlaknima upotrijebiti u svrhu dobivanja višestrukih koristi. Iz ranije spomenutog razloga, istražiti će se ponašanje predgotovljenih armiranobetonskih konstruktivnih elemenata u kojima je samo dio klasične armature zamijenjen spomenutim vlaknima.

Istraživanja o upotrebi recikliranih čeličnih vlakana u građevinarstvu započela su prije desetak godina kako bi

se pomoglo riješiti problem ogromne količine vlakana koja nastaje reciklažom otpadnih auto guma. Istraživanja na temu armiranja betona recikliranim čeličnim vlaknima iz otpadnih auto guma još uvijek nema mnogo. Ovdje svakako treba naglasiti da unatrag nekoliko godina tim istraživača s Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu uspješno provodi čitav niz istraživanja o upotrebi produkata reciklaže otpadnih auto guma u građevinarstvu. Posljednje u nizu njihovih istraživanja provodi se u sklopu europskog FP7 projekta Anagennisi, naslova "Innovative Reuse of All Tyre Components in Concrete". U nizu radova spomenutih istraživača, primjerice [4], [5], i [6] opisan je velik broj provedenih ispitivanja (tlačna čvrstoća, savojna čvrstoća, modul elastičnosti, otpornost na udarno opterećenje, žilavost, kapilarna apsorpcija, vodopropusnost, difuzija klorida, plinopropusnost, otpornost na smrzavanje i dr.) te je istaknut potencijal korištenja recikliranih čeličnih vlakana kao armature u betonu. Isti tim istraživača je osmislio i nekoliko betonskih proizvoda specijalne namjene izrađenih od reciklata otpadnih guma [7]. U dostupnim radovima većine istraživača opisana su uglavnom samo istraživanja mehaničkih karakteristika materijala, bez konkretne primjene istih. U radu [8] su opisana istraživanja o mogućnosti primjene recikliranih čeličnih vlakana kao armature u betonskim kolnicima. Proučavan je utjecaj zamora na takav materijal i dobiveni su obećavajući rezultati zbog pozitivnog utjecaja vlakana kod ovakvog opterećenja. U nekoliko od spomenutih radova autori kao otegotnu okolnost spominju činjenicu da reciklirana čelična vlakna izlaze iz procesa reciklaže različitih dimenzija koje u velikom broju slučajeva nisu dovoljne za ispunjavanje osnovne zadaće vlakana - kontroliranje raspucavanja betona. Naime, nedovoljan broj vlakana ima dimenzije dostatne za premoštavanje pukotina i time osiguravanje njihova stabilnog rasta. Stoga je provedeno nekoliko istraživanja mehaničkih karakteristika betona armiranog kombinacijom recikliranih i industrijskih vlakana kao i elemenata od istog materijala. Ta kombinacija se pokazala učinkovitom jer vlakna manjih dimenzija (reciklirana) sprječavaju nastanak mikropukotina, dok vlakna većih dimenzija (industrijska) kontroliraju makropukotine. Istraživanja koja uključuju ispitivanje konstruktivnih elemenata izrađenih od betona armiranog recikliranim čeličnim vlaknima ima vrlo malo, no dostupni rezultati [9] ukazuju na potencijal i potrebu za daljnja istraživanja.

Kao temelj za istraživanje, koristiti će se postojeći rezultati istraživanja o upotrebi industrijskih čeličnih vlakana kao armature (jedine i kao djelomične zamjene klasične armature) u betonskim konstruktivnim elementima. U velikom broju istraživanja koja se bave betonom armiranim industrijskim čeličnim vlaknima, pažnja je posvećena njihovom pozitivnom utjecaju na ponašanje elemenata opterećenih poprečnom silom. Poznato je da su armiranobetonski elementi opterećeni na takav način skloni naglom otkazivanju nosivosti te su mnogi istraživači pretpostavili da vlakna mogu ublažiti tu pojavu ili ju čak i potpuno spriječiti. Ako se vlakna koriste kao dodatak klasičnoj poprečnoj armaturi, posmična čvrstoća se značajno povećava, a posmične pukotine smanjuju što pogoduje trajnosti elementa [10]. Također, zamjenom dijela (određenog postotka) klasične armature vlaknima, moguće je dobiti jednake ili bolje karakteristike ponašanja elementa, nego upotrebom samo klasične armature [11]. Pozitivnim ishodom ovog istraživanja omogućile bi se uštede u ekonomskom i pozitivni učinci u ekološkom smislu. Također, doprinijelo bi se i općoj težnji građevinarstva ka održivom razvoju.

#### Literatura

- [1] ACI Committee 544.1R-96, State of the art report of fiber reinforced concrete. American Concrete Institute; 1996. pp. 1-65. [Re-approved in 2009].
- [2] Zollo, R.F., 1997, Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development, *Cem. Concr. Compos.*, Vol. 19, No. 2, 1997., pp. 107-122.
- [3] Slater, E., Moni, M., Alam, M.S., Predicting the shear strength of steel fiber reinforced concrete beams, *Constr. Build. Mater.*, Vol. 26, No. 1, 2012., pp. 423-436.
- [4] Bjegović, D., Baričević, A., Lakušić, S., Damjanović, D., Duvnjak, I., Positive interaction of industrial and recycled steel fibres in fibre reinforced concrete, *J. Civ. Eng. Manag.*, Vol. 19, 2013., pp. S50-S60.
- [5] Bjegović, D., Baričević, A., Lakušić, S., 2012, Innovative low cost fibre-reinforced concrete. Part I: Mechanical and durability properties, Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting III, Eds.: Alexander, M.G., Beushausen, H.D., Dehn, F., and Moyo, P., CRC Press/Balkema, 2012., pp. 199-203.
- [6] Krolo, J., Damjanović, D., Duvnjak, I., Bjegović, D., Lakušić, S., Baričević, A., Innovative low cost fibre-reinforced concrete. Part II: Fracture toughness and impact strength, Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting III, Eds.: Alexander, M.G., Beushausen, H.D., Dehn, F., and Moyo, P., CRC Press/Balkema, 2012., pp. 204-209.
- [7] Serdar, M., Baričević, A., Lakušić, S., Bjegović, D., Betonski proizvodi specijalne namjene od reciklata otpadnih guma, *Građevinar*, Vol. 65, No. 9, 2013., pp. 793-801.
- [8] Graeff, A.G., Pilakoutas, K., Neocleous, K., Peres, M.V.N.N., Fatigue resistance and cracking mechanism of concrete pavements reinforced with recycled steel fibres recovered from post-consumer tyres, *Eng. Struct.*, Vol. 45, 2012., pp. 385-395.
- [9] Grolj, G., Caldentey, A.P., Crack Width Control for Elements Reinforced with Rebars and Recycled Steel Fibres: An Experimental and Theoretical Study," 8th RILEM International Symposium on Fiber Reinforced Concrete: challenges and opportunities (BEFIB 2012), 2012., pp. 1148-1160.
- [10] Meda, A., Minelli, F., Plizzari, G.A., Riva, P., Shear behaviour of steel fibre reinforced concrete beams, *Mater. Struct.*, Vol. 38, No. 3, 2005., pp. 343-351.
- [11] Lim, D.H., Oh, B.H., Experimental and theoretical investigation on the shear of steel fibre reinforced concrete beams, *Eng. Struct.*, Vol. 21, No. 10, 1999., pp. 937-944.



### 3.

## DOPRINOS REMA KOOLHAASA ARHITEKTONSKOJ TEORIJI I PRAKSI 20. STOLJEĆA

*Ivana Brkanić (ibrkanic@gfos.hr)*

*Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku; Građevinski fakultet Osijek; Katedra za arhitekturu i urbanizam*

Rad je nastao kao dio istraživanja koje je za cilj imalo obuhvatiti djelovanje arhitekta Rema Koolhaasa (r. 1944., Rotterdam) te prikazati njegov doprinos arhitektonskoj teoriji i praksi 20. stoljeća. U radu se daje pregled događanja na polju arhitekture, umjetnosti i filozofije koja su prethodila i koja se odvijaju paralelno s Koolhaasovim djelovanjem. Ukazuje se na ličnosti koje su utjecale na njegov rad te zaključuje pregledom Koolhaasovih teorija i ideja značajnih za arhitekturu 20. stoljeća.

Koolhaas svoj rad na polju arhitekture započinje 1968. godine, u vrijeme velikih društvenih previranja koja su dovela do novih društvenih odnosa, novog shvaćanja svijeta, ali i pozicije arhitekture kao instrumenta za djelovanje u takvom okruženju. Okosnica njegovog rada je grad, metropolitanski uvjeti nastali kao posljedica velike gustoće ljudi, funkcija i događaja, a može se promatrati paralelno s određenim teorijama iz filozofije. Primjer toga je i teorija dekonstrukcije na koju se mogu vezati njegovi radovi s kraja 1970-ih i početka 80-ih godina. Njegova razmišljanja o oblikovanju prostora imaju sličnosti s razmišljanjima Bernarda Cacha (r. 1958.) prema kome je arhitektura samo okvir unutar kojeg se događa život. Na tragu ove ideje Koolhaas u svojim projektima definira ovojnicu i uvodi različite programe u njezinu unutrašnjost te tako dopušta interakciju koja će dovesti do različitih događaja.

Stvaralaštvo Rema Koolhaasa je definirano utjecajem: Ivana Leonidova (1902.-1959.), Oswalda Mathiasa Ungersa (1926.-2007.), Michaela Foucaulta (1926.-1984.), Romana Barthesa (1915.-1980.), ali prije svega, njegovim posjetom Berlinu 1968. godine. Za njega Berlinski zid demonstrira kako praznina – ništavilo funkcionira s više učinkovitosti, suptilnosti i fleksibilnosti nego bilo koji drugi objekt koji bi se mogao zamisliti na tom mjestu. Zid shvaća kao upozorenje da u arhitekturi odsutnost uvijek pobjeđuje prisutnost. [1] Studiranje Berlinskog zida Koolhaasu je otvorilo temu značenja forme u arhitekturi, ali i razvijanje dva koncepta: koncepta trake (engl. *strip*) i praznine (engl. *void*). Kasnije su iz ovih tema proizašli mnogi projekti (npr. projekt za park La Villette (1982.) - koncepta traka i Biblioteka u Parizu (1989.) - arhitektura praznine).

Utjecaj Ivana Leonidova vidljiv je na Koolhaasovom shvaćanju programa i socijalnog kondenzatora. U intervjuu za časopis Praxis iz 2010. godine Koolhaas na pitanje o važnosti programa u njegovim projektima odgovara kako je njegovo zanimanje za program započelo kao želja za provođenjem različitih načina izražavanja koji su slični pisanju scenarija i kako se u jednom zanimljivom trenutku njegova opsjednutost pisanjem scenarija ispreplela sa svijetom konstruktivizma, kroz što je otkrio zanimljiv hibrid, u kojem se bilo koji dio svakodnevnog života može zamisliti i realizirati kroz maštu arhitekta. [2]

Dolaskom u Sjedinjene Američke Države 1972., Koolhaas godinu dana provodi na Cornellu slušajući Ungersova predavanja te biva izložen njegovom načinu razmišljanja, posebno njegovim konceptualnim sposobnostima promišljanja gradova. Iako Koolhaas kao uvjete unutar kojih nastaje arhitektura vidi program, scenarij i događaj, a Ungers: zadržava vjerovanje u arhitekturu kao posljedicu sukoba koncepta i izgrađene stvarnosti [3], obojici je zajednička tema kontradiktornosti kao odgovora na heterogenost gradskih uvjeta koji okružuju arhitekturu. Uvođenjem kontradiktornosti u projektiranje dopušta se nova vizija arhitekture oslobođene od ideje homogenosti.

Prema Koolhaasu djela Rolanda Barthesa imala su značajan utjecaj na njegova razmišljanja i shvaćanja arhitekture [2], a on je najviše vidljiv u tekstu naslova *Junkspace* iz 2002. godine, koji se može promatrati paralelno s Barthesovom teorijom o smrti autora. I dok Barthes kao posljedicu smrti autora vidi rođenje čitatelja u kojemu su ujedinjeni, skupljeni svi tekstovi, Koolhaas *Junkspace* zaključuje s pitanjima: „Hoće li *junkspace* zauzeti ljudsko tijelo kroz vibracije mobilnih telefona? Ili već je? ... Najavljuje li genetska manipulacija ukupan preustroj prema *junkspaceu*? Je li svatko od nas malo gradilište? A čovječanstvo skup od tri do pet milijardi pojedinačnih nadogradnji?“ [4].

Michael Foucault i Rem Koolhaas su autori koji razlučuju svoje teorijske zaključke iz početnih zapažanja

konkretnih arhitektonskih objekata i iz organizacije prostora. Iako se ni jedan autor ne poziva na onog drugoga, u njihovim radovima se može uočiti nekoliko sličnosti. Dodirne točke, objašnjene Foucaultovim rječnikom su *heterotopija* i *panoptikum*. [5] I Koolhaasa i Foucaulta brine ideja današnjeg društva, koju Schreiber naziva „idea of seeing all“ [5] i aparata koji omogućuje takvo ponašanje. Riječ je o potrebi današnjeg društva koja uključuje moć i kontrolu. Dok Foucault ideju promatranja objašnjava preko Benthamova (Jeremy, 1748.-1832.) koncepta Panoptikuma, Koolhaas ju u *Delirious New Yorku* prikazuje kroz niz projekata koji su doveli do razvoja njujorškog nebodera kao sredstva kontrole urbane nestabilnosti.

Koolhaas upravo objavljivanjem knjige *Delirious New York – A Retroactive Manifesto of Manhattan*, 1978. postaje poznat u užim arhitektonskim krugovima, puno prije nego što ga šira javnost prepoznaje po njegovom projektu parka La Villette (1982.) i izložbi dekonstruktivističke arhitekture u Muzeju moderne umjetnosti (MoMA – *Museum of Modern Art*) u New Yorku (1988.), ili kasnijih izvedenih projekata. *Delirious New York* je prikaz Koolhaasovog promišljanja New Yorka. U knjizi iznosi svoj, retroaktivni manifest nastanka Manhattana, svoje viđenje događaja koji su prethodili njegovom naglom razvitku i stvaranju, kako ju sam Koolhaas naziva, *Culture of Congestion* - kulture zagušenja, pojmom kojim opisuje fenomen gustoće u gradu [6]. Knjiga se može promatrati i kao konflikt između metropolitanskih uvjeta koji stvaraju nestabilnost i strategija tj. alata koji ga kontroliraju, odnosno između urbane mreže Manhattana i nebodera.[7]

Nakon daljnjeg proučavanja nebodera piše esej *Bigness*, koji se odnosi na probleme arhitekture velikog mjerila koja sve više zauzima gradove. Na *bigness* se može gledati kao na stanje arhitekture, ali i kao njezino svojstvo. *Bigness* je karakteristika generičkog grada kroz čiji opis u eseju *Generic City* Koolhaas prognozira kraj grada kakvoga poznajemo zbog sve većeg razvoja tehnologije koja omogućuje zaboravljanje svih kvaliteta tradicionalnog grada i obavljanje svih potreba unutar jednog prostora. Gomilanjem takvih gradova nastaje *Junkspace* – nova vrsta prostora koja se širi planetom, a koja ujedinjuje šoping centar, aerodrom, kongresni centar, hotel, umjetničku galeriju u besprijekornu, privremenu i površnu močvaru bez prošlosti ili budućnosti. [8]

Arhitektonski rad Rema Koolhaasa daje korak dalje od (samo) estetike koja je mnogim arhitektima fokus oko kojeg grade svoju arhitekturu, bez obzira kakav bio njezin utjecaj na korisnike. Koolhaas projektiranju pristupa kroz scenarij, kroz orkestriranje različitih događaja koji će oblikovati život unutar arhitekture. Stvara ovojnici koja će biti sposobna prihvatiti sve funkcije koje proizlaze iz korisnikovih potreba. Ovakav način djelovanja može se pratiti od njegovih prvih projekata koji u sebi imaju ideju trake, preko radova koje karakterizira dekonstruktivističko razmišljanje pa sve do danas.

Dugogodišnji Koolhaasov rad na području arhitekture, čija su posljedica mnoge napisane knjige, eseji i članci, osmišljeni projekti i realizirane građevine, predstavlja veliko i složeno područje istraživanja, što je dovelo do određenih poteškoća oko njegovog sažimanja u oblik kraćeg rada. Provedeno istraživanje je početak u shvaćanju Koolhaasovog promišljanja arhitekture i obuhvaća samo jedan dio njegovog stvaralačkog opusa, razdoblje do početka 21. stoljeća, a ovaj rad je njegov prikaz u kratkim crtama. Rad je napisan kao dio početnih istraživanja koja se provode za potrebe doktorske disertacije na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

#### Literatura

- 
- [1] Koolhaas, R., Mau, B.: *S, M, L, XL*, The Monacelli Press, New York, 1998.
  - [2] Miljacki, A., Reeser Lawrence, A., Schafer, A.: *2 Architects 10 Questions on Program: Rem Koolhaas + Bernard Tschumi*, Praxis, 8:6-15, Boston, 2010.
  - [3] Maymind, A.: Archipelagos: Ungers vs. Rowe, 2012., URL: <http://archinect.com/features/article/58887387/archipelagos-ungers-vs-rowe>, (5.4.2014.).
  - [4] Koolhaas, R.: *Junkspace*, *Obsolescence*, 100, 2002., pp. 175-190.
  - [5] Schreiber, A.: *Spectacle and Space: A Foucaultian Readings of Delirious New York*, 2003., URL: <http://wso.williams.edu/~aschreib/DNY.htm>, (1.4.2014.).
  - [6] Koolhaas, R.: *Delirious New York: A Retroactive Manifesto for Manhattan*, The Monacelli Press, New York, 1994.
  - [7] Ozkan, O.: *Strategic Way of Design in Rem Koolhaas' Parc de La Villette Project*, disertacija, Middle East Technical University, Turska, 2008., prema: Cooke, C.: *Russian Avant-Garde: Theories of Art, Architecture and The City*, Academy Edition, London, 1995.
  - [8] Wilies, W.: *Icon of the month*, URL: <http://www.iconeye.com/news/architecture-latest-stories/icon-of-the-month-junkspace>, (6.4.2014.).

# 4.

## ANALIZA TEMPERATURA KOLNIČKIH POVRŠINA

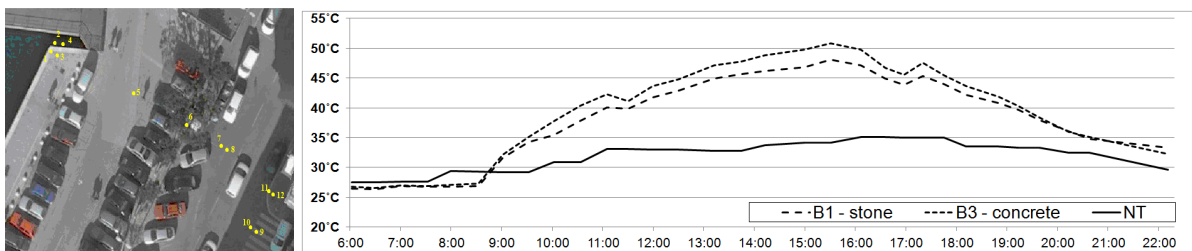
**Marijana Cuculić** ([marijana.cuculic@uniri.hr](mailto:marijana.cuculic@uniri.hr))

Sveučilište u Rijeci; Građevinski Fakultet; Katedra za prometnice

U gradskim i prigradskim područjima odavno su primjećena područja gdje su temperature zraka i temperature površina veće nego u ruralnim područjima. Takva područja, tzv. urbani toplinski otoci, nastaju dominantno na izgrađenim površinama gradova kao posljedica urbanizacije kojom se onemogućavaju prirodni procesi upijanja vode u tlo i evaporacija [1]. Na značaj ovog problema upućuju rezultati studija provedenih posljednjih desetljeća u Europi [2], Sjedinjenim američkim državama [3], Australiji [4] i razvijenim azijskim zemljama [5]. Studija provedena za američke gradove (Chicago, Sacramento, Houston i Salt Lake City) je pokazala da kolničke površine u analiziranim gradovima zauzimaju od 30 do 45% njihove površine i da značajno utječu na povećanje temperature zraka u tim gradovima [3]. Istraživanje koje su proveli autori Doulos, Santamouris i Livada unutar kojega je u istim uvjetima osunčanja analizirano ponašanje 93 vrste uobičajeno korištenih materijala kolničkih konstrukcija ukazuje na one od ispitivanih materijala koji u navedenim mikroklimatskim uvjetima (Atena, Grčka) mogu doprinijeti smanjenju efekta toplinskog otoka, smanjiti utrošak električne energije i unaprijediti toplinske uvjete na otvorenim prostorima [6]. U daljnjim istraživanjima grupa autora Santamouris i dr. analizira posebne materijale koji mogu doprinijeti smanjenju zagrijavanja podloge pa samim time i okolnog zraka [7].

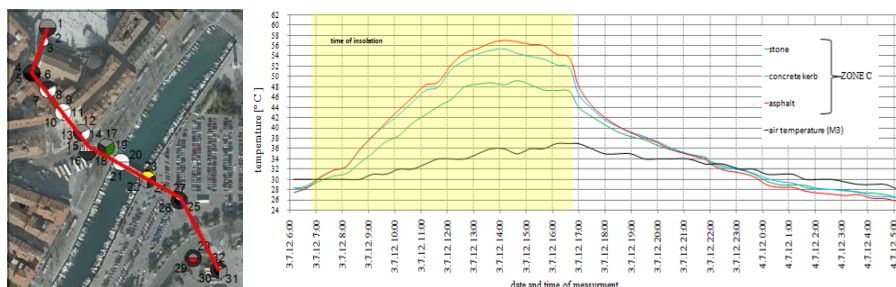
U cilju utvrđivanja potencijalno povoljnih materijala za korištenje na kolničkim površinama za motorni i nemotorni promet u urbanim sredinama, tijekom ljeta 2011. i 2012. godine provedeno je na prostoru užeg centra grada u Rijeci opsežno ispitivanje temperatura ugrađenih materijala. 2013. godine ispitivanje temperatura ugrađenih materijala izvršeno je na ispitnom polju „Kampus“ izvan centra grada. Preliminarna ispitivanja pokazala su da je asfalt u smislu zagrijavanja najnepovoljniji materijal [8].

Mjerenje temperature površina kolnika 2011. godine provedeno je na tri mikrolokacije - dvije gradske prometnice u blizini morske obale, unutar prostora pješačke zone i izvan neposrednog kontakta s morem. Tijekom ljeta 2012. godine mjerenja su vršena na prejeku Klobučarićev trg – Delta. Mjerni profil postavljen je kao presjek pješačke zone, vozne i parkirališne površine i kanala.



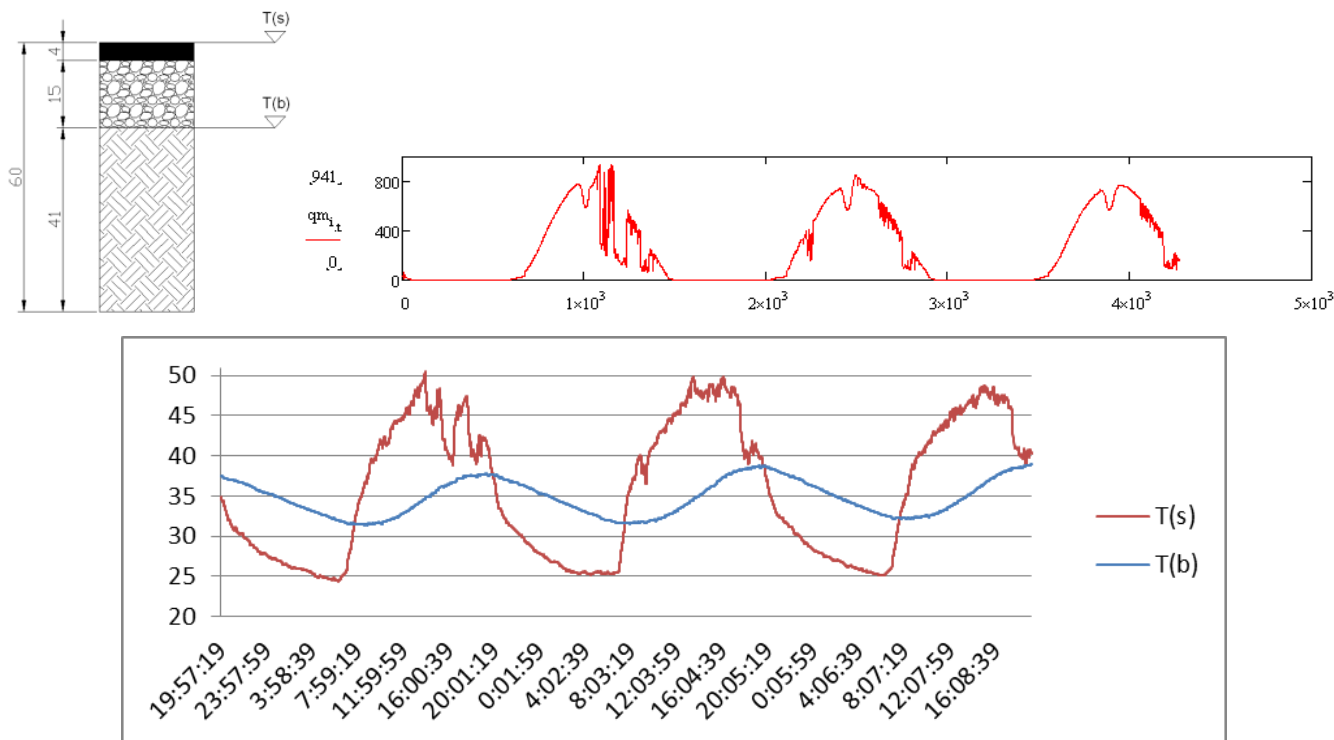
Slika 1. Dnevna promjena temperature betona – kamen 12.07.2011. [9]

Slika 1 prikazuje dnevnu promjenu temperature površine i temperature zraka 12.07.2011. godine na mjernim točkama od betona i kamena. Maksimalna izmjerena temperatura na mjernoj točki od kamena (B1) iznosi 48.1°C dok na mjernoj točki od betona (B3) iznosi 50.8°C. Maksimalna temperaturna razlika između mjernih točaka je čak 3°C, dok u isto vrijeme temperaturna razlika točke B1 i zraka iznosi 13.9°C, a točke B3 i zraka 15.6°C [9].



Slika 2. Dnevna promjena temperature različitih površina 03.07.2012. [10]

Slika 2 prikazuje dnevnu promjenu temperature površina i temperature zraka 03.07.2012. godine na mjernim točkama od betona, asfalta i kamena. Uočljivo je da u vršnom periodu mjerna točka na asfaltu ima najvišu temperaturu. Nakon završetka perioda osunčanja ista točka brže se hladi i u noćnom periodu ima najnižu temperaturu [10, 11].



**Slika 3.** Promjena temperature i zračenja polja AB8 u periodu 25.07.-28.07.2013.

Slika 3 prikazuje promjenu temperature površina i podloge ispitnog polja AB8 i zračenja u periodu 25.07.-28.07.2013. godine. Iz ispitivanja je uočljivo da temperatura površine svoj maksimum doseže u periodu od 14-16 sati kada je zabilježeno i maksimalno sunčevo zračenje. Temperatura podloge maksimum doseže oko 19:30. Tijekom noći započinje hlađenje podloge (minimum oko 8:30) i prijenos topline na gornje slojeve što doprinosi zagrijavanju zraka iznad površina kolničke konstrukcije.

Cilj rada je razviti numerički model koji će omogućiti predviđanje ponašanja asfaltnih kolničkih konstrukcija u uvjetima zagrijavanja te definirati postupak određivanja parametara modela inverznim postupkom iz mjerenih podataka.

#### Literatura

- [1] Golden, J.: The built environment induced urban heat island effect in rapidly urbanizing arid regions – a sustainable urban engineering complexity, *Environmentan Sciences*, Vol. 1, No. 4, 2004., pp. 321-349.
- [2] Santamouris, M.: Heat island research in Europe: State of the art, *Advances in Building Energy Research*, Vol. 1, No. 1, 2007., pp. 123-150.
- [3] Memon, R.A., Leung, D.Y.C., Chunho, L.: A review on the generation, determination and mitigation of the urban heat island, *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 20, No. 1, 2008., pp. 120-128.
- [4] United States Environmental Protection Agency, EPA's Report on the Environment, EPA, Washington DC, 2008.
- [5] Torok, S.J., Morris, C.J.G., Skinner, C., Plummer, N.: Urban heat island features of southeast Australian towns, *Australian Meteorological Magazine*, Vol. 50, No. 1, 2001., pp. 1-13.
- [6] Doulos, L., Santamouris, M., Livada, I.: Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials, *Solar Energy*, Vol. 77, No. 2, 2004., pp. 231-249.
- [7] Santamouris, M., Synnefa, A., Karlessi, T.: Using advances cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions, *Solar Energy*, Vol. 85, No. 12, 2011., pp. 3085-3102.
- [8] Babić, S., Deluka-Tibljaš, A., Cuculić, M., Šurdonja, S.: Analiza zagrijavanja kolničkih površina urbanih područja, *Građevinar*, Vol. 64, No. 2, 2012., pp 125-132.
- [9] Cuculić, M., Babić, S., Deluka-Tibljaš, A., Šurdonja, S.: Pavement surfaces in urban areas, Proceedings of the 2nd International Conference on Road and Rail Infrastructures – CETRA 2012, Urednici: Lakušić, S., Građevinski fakultet Sveučilište u Zagrebu, Dubrovnik, 2012., pp. 273-279.
- [10] Deluka-Tibljaš, A., Šurdonja, S., Babić, S., Cuculić, M.: Analyses of urban pavement surface temperatures, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 2013. (in press)
- [11] Cuculić, M., Deluka-Tibljaš, A., Babić, S.: Urban pavement surfaces heating – influencing parameters, Proceedings of the 3rd International Conference on Road and Rail Infrastructures – CETRA 2014, Urednici: Lakušić, S., Građevinski fakultet Sveučilište u Zagrebu, Split, 2014., pp. 853-858.



## 5.

# PROPUSNOST ZAGREBAČKE GLINE

**Mladen Cvetković (mcvetkovic@grad.hr)**

*Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet; Zavod za geotehniku*

Koeficijent propusnosti tla je parametar pomoću kojeg se definira brzina prolaska vode kroz porozni materijal. Ovisi o karakteristikama poroznog medija i o karakteristikama samog fluida. Propusnost tla može varirati više od deset redova veličine i jako ga je teško precizno izmjeriti. Određivanje vrijednosti koeficijenta propusnosti i granica u kojima se te vrijednosti kreću vrlo je važan faktor za provođenje pouzdanijih geotehničkih numeričkih analiza koje uključuju procjeđivanje vode kroz tlo [1].

Područje središnjeg dijela Zagreba leži na uslojenom vodom zasićenom tlu u kojem se pri površini nalaze šljunci do dubine od oko desetak metara, pokriveni tanjim slojem gline i nasipa, a ispod njih se nalaze prekonsolidirane krute gline do većih dubina. Zbog nagomilanih prometnih problema u gradu Zagrebu, a u cilju kvalitetnijeg korištenja prostora, integracije transportnog sustava, smanjenja prometnih zagušenja, smanjenja emisije štetnih tvari i povećanja kvalitete života u tijeku su izrade studija i stručne rasprave na temu izgradnje podzemne željeznice i spuštanja postojeće željezničke mreže u podzemlje u središtu grada. Izvedba podzemnih građevina u Zagrebu uzrokovala bi promjenu režima tečenja vode u tlu i dovela do naknadnih slijeganja građevina koje se nalaze na površini zbog čega se nameće potreba boljeg poznavanja koeficijenta propusnosti zagrebačke gline [2], [3].

Koeficijent propusnosti može se odrediti terenskim i laboratorijskim ispitivanjima, izravnim i neizravnim metodama [4]-[6]. Terenska ispitivanja koeficijenta propusnosti zahvaćaju znatno veći volumen ispitivanog područja i trajanje ispitivanja je relativno kratko. Dobivanje ispravnih rezultata ograničeno je nedovoljnim poznavanjem geometrije i hidrauličkih granica medija te cijena radova može biti visoka. S druge strane, laboratorijska ispitivanja zahvaćaju mali volumen promatranog područja tako da postoji problem dobivanja reprezentativnih uzoraka. Od iznimne je važnosti način vađenja i čuvanja uzoraka i period trajanja pokusa je vrlo često dug. Prednost je niska cijena pokusa i dobiveni rezultati mogu dobro opisati svojstva medija.

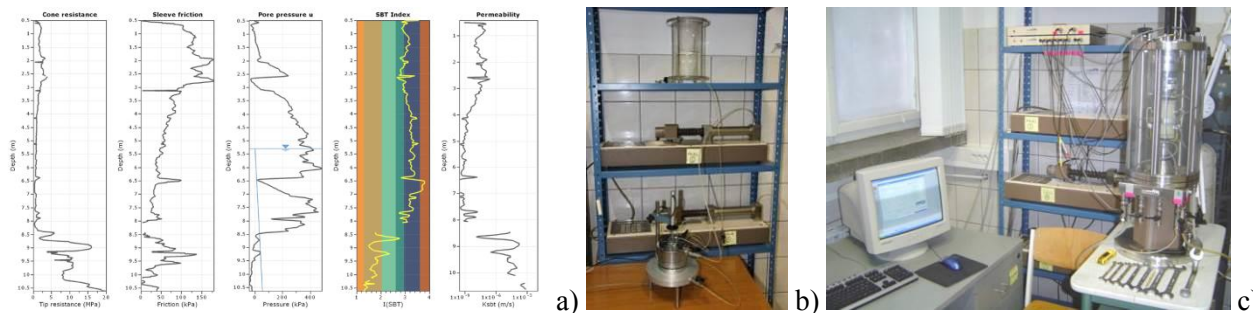
Od terenskih metoda ispitivanja za urbana područja najpogodniji je statički penetracijski pokus (CPT). Koeficijent propusnosti određuje se iz rezultata CPT-a pomoću parametara kojima se određuje identifikacija tipa tla [7]-[9]. Prednost određivanja koeficijenta propusnosti CPT-om je mogućnost dobivanja kontinuiranih vrijednosti po dubini, te brzina izvođenja pokusa. Namještanje stroja i samo ispitivanje mogu se obaviti unutar jednog sata. Nedostatak je činjenica da se radi o neizravnom određivanju pomoću već uspostavljenih korelacija koje još nisu stručno i znanstveno verificirane za zagrebačku glinu.

Koeficijent propusnosti može se neizravno odrediti pokusom disipacije pornog tlaka tijekom izvođenja CPTU pokusa [10], [11]. Prednost ovog ispitivanja je u određivanju koeficijenta propusnosti u stanju naprezanja u kojem se tlo nalazi na ispitivanoj dubini. Nedostatak je da se radi o neizravnom ispitivanju gdje je još potrebno poznavati i krutost tla koja se opet neizravno određuje. Nadalje, pokus može biti jako spor jer disipacija pornog tlaka u koherentnim materijalima može trajati od nekoliko sati do nekoliko dana. To je za terenske prilike jako otežavajuća činjenica.

U standardnom edometru koeficijent propusnosti određuje se neizravno. Izravno se određuje koeficijent konsolidacije, a pomoću njega se onda izračunava odgovarajući koeficijent propusnosti [12]. Prednost određivanja koeficijenta propusnosti standardnim edometrom je u njegovoj raširenosti i standardima definiranim uvjetima izvođenja pokusa. Nedostatak je da se radi o neizravnom ispitivanju gdje se koeficijent propusnosti izračunava na temelju izmjerenih vrijednosti koeficijenta konsolidacije i modula stišljivosti. Nedostatak je i trajanje pokusa i do 10 dana za jedan uzorak.

Za izravno određivanje koeficijenta propusnosti u hidrauličkom edometru i troosnom uređaju primjenjuje se tzv. "flow pump test" [13], [14]. Umjesto nametanja razlike tlakova na krajevima uzorka i mjerenja protoka, provodi se postupak nametanja protoka i mjerenja konstantne razlike tlakova na krajevima uzorka. Postupak se provodi na način da se tekućina pomoću hidrauličkih pumpi utiskuje u uzorak konstantnom brzinom, odnosno zadanim protokom, tijekom čega se prati promjena razlike tlaka na krajevima uzorka. Prednost ovog ispitivanja je izravno mjerenje koeficijenta propusnosti u potpuno kontroliranim laboratorijskim uvjetima. Pokus je iznimno brz i

može se ispitati više uzoraka u jednom danu. Nedostatak ovog ispitivanja je, kao i kod ostalih laboratorijskih ispitivanja, vađenje neporemećenih uzoraka tla i njihov transport u laboratorij (Slika 1).



**Slika 1.** Određivanje koeficijenta propusnosti pomoću: a) CPT-a; b) hidrauličkog edometra; c) troosnog uređaja

Više od 130 godina pokušava se povezati koeficijent propusnosti sa granulometrijskim sastavom tla. Ti pokušaji se zasnivaju, s jedne strane na teoretskim razmaranjima, a sa druge strane na razvoju empirijskih izraza nastalih provođenjem niza pokusa i uspostavljanjem korelacijskih odnosa. Provedena ispitivanja širom svijeta rezultirala su velikim brojem publiciranih izraza, a njihova primjena ovisi o vrsti tla za koju se želi odrediti koeficijent propusnosti. Budući da se temelje na empirijskim istraživanjima rezultati nisu nužno prenosivi s lokacije na lokaciju [15]. Za koherentne i mješovite materijale povoljnije je uzeti postotni udio nekoherentnih i koherentnih čestica. Novija istraživanja uključuju primjenu neuronskih mreža za određivanje koeficijenta propusnosti na temelju osnovnih i lako mjerljivih parametara tla. Prednost ovakvog određivanja koeficijenta propusnosti je u njegovoj jednostavnosti. Nedostatak je da su uspostavljene i publicirane korelacije ovisne o vrsti tla i da nema uspostavljenih pouzdanih korelacija za zagrebačku glinu.

#### Literatura

- [1] Marčić, D., Kovačević, M.S., Cvetković, M., Ispitivanja koeficijenta propusnosti tla na kanalu za navodnjavanje Bid-Bosutskog polja, Dani gospodarenja vodama 2013, Napredak kroz znanost, Zagreb, 171-200, 2013.
- [2] Pološki, D., Fabijanić, N., Stepan, Ž., Urban Development and Technical Aspects of Relocating the Railway in the Zagreb Centre to the Underground, 1st International Congress on Tunnels and Underground Structures in South-East Europe „USING UNDERGROUND SPACE“, April 7-9, 2011, Dubrovnik, Croatia.
- [3] Milaković, D., Trenutna i konsolidacijska slijeganja tla izazvana bušenjem tunela u krutim glinama, disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2012.
- [4] DeGroot, D.J., Ostendorf, D.W., Judge, A.I., In situ Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Soils, *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, Vol. 43, No. 4, 2012., pp. 63-72.
- [5] Head, K.H., *Manual of soil laboratory testing, vol. 3, Effective stress tests*, John Wiley and Sons, Chichester, 2004.
- [6] Marčić, D., Kordić, A., Kovačević, M.S., Direct and indirect laboratory determination of the hydraulic conductivity of fine grained soils, Proc. of the 13th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Bratislava, 2013., pp. 711-722.
- [7] Robertson, P.K., CPT interpretation—a unified approach, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 46, 2009., pp. 1-19.
- [8] Robertson, P.K., Estimating in-situ soil permeability from CPT and CPTu, 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Huntington Beach, CA, Vol.2., 2010., pp. 535-542.
- [9] Robertson, P.K., Cabal, K.L., *Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering*, Gregg Drilling & Testing Inc., 5th Edition, 2012.
- [10] Robertson, P.K., Sully, J.P., Woeller, D.J., Lunne, T., Powell, J.J.M., Gillespie, D., Estimating coefficient of consolidation from piezocone tests, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 29, No. 4, 1992., pp. 539-550.
- [11] Lunne, T., Robertson, P.K., Powell, J.J.M., *Cone penetration testing in geotechnical practice*, Blackie Academic, EF Spon/Routledge Publ., New York, 1997.
- [12] Bardet, J.P.: *Experimental soil mechanics*, New Jersey: Prentice hall, 1997.
- [13] Aiban, S.A., Znidarčić, D., Evaluation of the flow pump measurements, *Geotechnique*, Vol. 39, No. 4, 1989., pp. 655-666.
- [14] Veinović, Z., Kovačević-Zelić, B., Kvasnička, P., Laboratorijsko mjerenje koeficijenta propusnosti tla – usporedba konvencionalnih i novih metoda, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, Vol. 5, 2003., pp. 95-102.
- [15] Marčić, D., Krstanović, D., Cvetković, M., Usporedba laboratorijskih i terenskih ispitivanja koeficijent propusnosti tla na području silosa za šećer u Županji, Sabor hrvatskih graditelja, 2012.

# 6.

## BESKONTAKTNO MJERENJE POMAKA I DEFORMACIJA PRI STATIČKIM I DINAMIČKIM LABORATORIJSKIM ISPITIVANJIMA

**Nina Čeh (nina.ceh@uniri.hr), Nikola Lustig (nikola.lustig@uniri.hr)**

*Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet; Zavod za nosive konstrukcije i tehničku mehaniku*

Laboratorijska ispitivanja uključuju mjerenje parametara nužnih za opis analiziranog problema. U području eksperimentalne mehanike i nosivih konstrukcija najčešće treba odrediti vrijednosti pomaka i/ili deformacija sustava kako bi se provjerila granična stanja ili validirali analitički odnosno numerički modeli. Tradicionalan pristup takvim mjerenjima se sastoji od korištenja mikroura, LVDT uređaja, tenzometarskih traka ili akcelerometara koji pretvaraju razlike u električnim signalima na sondi u pomake, deformacije odnosno akceleracije. Svi navedeni uređaji zasnivaju svoj rad na kontaktu s površinom mjenog objekta i ukoliko on ne može biti uspostavljen ili je tijekom ispitivanja izgubljen, ove metode postaju neučinkovite.

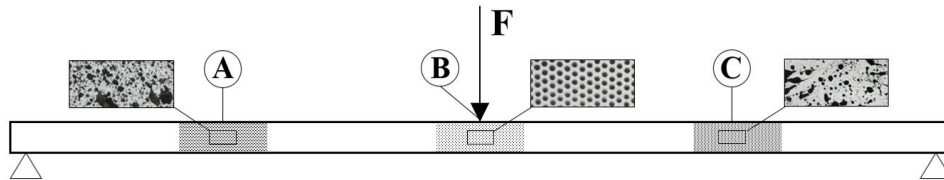
Razvojem digitalne fotografije postale su popularne metode beskontaktnog mjerenja koje koriste različite pristupe, a među kojima se ističe metoda korelacije digitalnih fotografija (DIC) [1]. Metoda se bazira na prepoznavanju istih točaka na nizu fotografija te mjerenju njihovih pomaka fotogrametrijskim metodama [2]. Najmanje ćelije koje softver prepoznaje na objektu jesu fasete - pravilne grupe piksela dimenzija npr. 18x18 (s međusobnim preklapanjem). Kako bi se povećala diferencijacija točaka analizirani objekt je prethodno potrebno prekriti nepravilnim uzorkom. Iz DIC analize se dobivaju pomaci točaka unutar fasete i njihove deformacije, odnosno podaci o ponašanju na površini promatranog objekta. Prednosti mjerenja beskontaktnim metodama su veliki broj mjernih mjesta na objektu (svaka faseta predstavlja jedno mjesto), mogućnost mjerenja u otežanim i ekstremnim uvjetima (visoke temperature, eksplozije) [3], mogućnost mjerenja u situacijama kada kontakt s klasičnom mjernom opremom ne može biti uspostavljen duž cijelog ispitivanja te mogućnost naknadnog mjerenja vrijednosti koje nisu početno predviđene iz spremljenog seta fotografija.

U Laboratoriju za konstrukcije Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci nabavljen je softverski paket za optičko mjerenje pomaka i deformacija Aramis v6.3.1-0 proizvođača GOM [1]. Kako bi se validirao softver i savladala metodologija korištenja napravljen je niz kontrolnih statičkih (Slika 1) i dinamičkih (Slika 2) laboratorijskih ispitivanja. Površine ispitivanih modela su obrađene na nekoliko načina: na površini prirodne boje materijala je iscrtan nepravilan raster točaka u bojama (Slika 2b), na površini obojanoj bijelom mat bojom za drvo je nanesen nepravilni crni uzorak raspršivačem (Slika 1, lijevo i Slika 2c) ili čeličnom četkom (Slika 1, desno) te kvazi-pravilan crni uzorak upotrebom perforiranog lima i raspršivača (Slika 1, sredina i Slika 2d). Ispitivanja su praćena kamerama Canon PowerShot S110 IS i Nikon 1 V2 (Tablica 1).

**Tablica 1.** Najvažnije tehničke specifikacije korištenih kamera

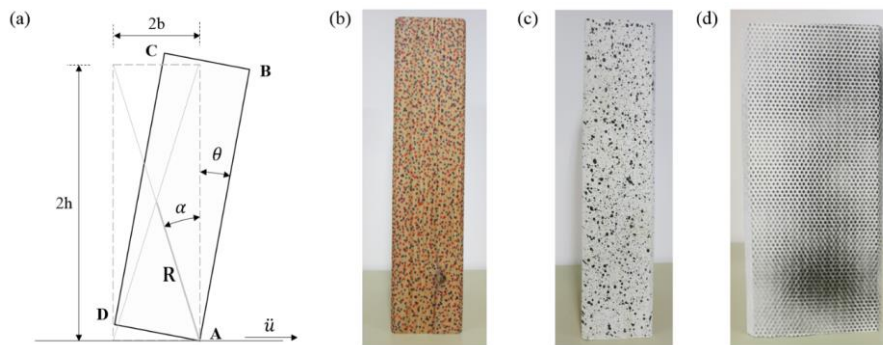
| Video kamera            | Fotografije                | Video snimke       |              |
|-------------------------|----------------------------|--------------------|--------------|
|                         | Najveća rezolucija (pixel) | Rezolucija (pixel) | Brzina (fps) |
| Canon PowerShot S110 IS | 4000x3000                  | 1920x1080          | 24           |
|                         |                            | 320x240            | 240          |
| Nikon 1 V2              | 4608x3072                  | 1920x1080          | 60           |
|                         |                            | 320x120            | 1200         |

Za statičku validaciju korištena je drvena greda dužine 3 m opterećena umjerenim utezima od 20 kg na kojoj se pomaci prate pomoću mikroura Mitutoyo i LVDT uređaja tvrtke Solartron. Greda je u sredini i četvrtinama raspona pripremljena za optičko mjerenje (Slika 1). Uspoređeni su rezultati dobiveni klasičnim mjernim instrumentima i Aramis sustavom i, ovisno o korištenoj kameri, razlike iznose između 2 i 6%.



**Slika 1.** Skica ispitivane grede s označenim obrađenim površinama i mjernim mjestima

Također su provedena početna dinamička ispitivanja ljuljanja bloka bez proklizavanja (Slika 2a). Budući da su tijekom ljuljanja pomaci bloka veliki i postoji mogućnost prevrtanja bloka, upotreba uobičajenih metoda za dinamička ispitivanja konstrukcija nije prikladna ni opravdana. Stoga je ispitivanje provedeno korištenjem sustava Aramis za dvije vrste dinamičkog ponašanja: slobodno ljuljanje bloka ispuštenog iz pomaknutog stanja i prisilno ljuljanje početno vertikalnog bloka pri harmonijskoj funkciji ubrzanja podloge na potresnoj platformi. Ispitivana su tri bloka različitih dimenzija: blok A dimenzija 11.5/25 cm, blok B dimenzija 11.5/50 cm i blok C dimenzija 11.5/96 cm.



**Slika 2.** Skica (a) i fotografije tri različito obrađene površine ispitivanih blokova (b,c,d)

Sljedovi fotografija izvučeni iz video snimaka dinamičkih ispitivanja su uvezeni u programski paket Aramis. Budući da su korištene nezavisne alternativne kamere, vrijeme između dvije fotografije (odnosno, frekvencija snimanja video snimki) je dodatno definirano kao ulazni podatak. Na taj način su, osim pomaka, dobivene kutna brzina i kutno ubrzanje blokova te brzina i ubrzanje podloge (potresne platforme). Tako dobiveni rezultati su uspoređeni s rezultatima jednostavnog numeričkog modela ljuljanja bloka uz pretpostavke da se blokovi ponašaju kao kruta tijela, da rotiraju u jednom smjeru i da je koeficijent trenja dovoljno velik da nema proklizavanja između bloka i podloge.

Usporedbom rezultata dobivenih pomoću različitih kamera ustanovljeno je kako kamera s promjenjivim objektivima daje znatno preciznije rezultate uz manje šuma tokom mjerenja, stoga u budućnosti prednost treba davati korištenju takve fotografske opreme. Također, kod obrade površine potrebno je nanositi sitniji uzorak svjetlijih i tamnijih točaka pomoću različitih sustava raspršivanja kako bi Aramis mogao preciznije prepoznati jedinstvena područja.

### Zahvala

Programski paket Aramis i uzorci blokova za dinamička ispitivanja su kupljeni u sklopu projekta 3/13 *Evidence Based Characterisation of Dynamic Sensitivity of Multiblock Structures* koji je većim dijelom financiran od strane fonda *Unity Through Knowledge*.

Dinamička ispitivanja prisilnog ljuljanja bloka su provedena pomoću potresne platforme, generatora pobude i popratnih uređaja posuđenih s Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Uzorci greda korišteni u statičkim ispitivanjima su kupljeni u sklopu projekta potpore Sveučilišta u Rijeci br. 13.05.1.1.01 „Procjena oštećenja i ojačanje građevinskih konstrukcija“.

### Literatura

- [1] GOM, mbH: ARAMIS v6.3. and higher – User manual – Software, Braunschweig, Germany.
- [2] Schmidt, T, Tyson, J., Galanulis, K., Revilock, D., Melis, M.: Full-field dynamic deformation and strain measurements using high-speed digital cameras, Proc. SPIE 5580, 26th International Congress on High-Speed Photography and Photonics, 2005.
- [3] Pickerd, V.: Optimisation and Validation of the ARAMIS Digital Image Correlation System for use in Large-scale High Strain-rate Events, Technical note, Australian Government, Department of Defence, Defence, Science and Technology Organization, 2013.



# 7.

## DODATNI TRAK NA DVOTRAČNIM DVOSMJERNIM CESTAMA

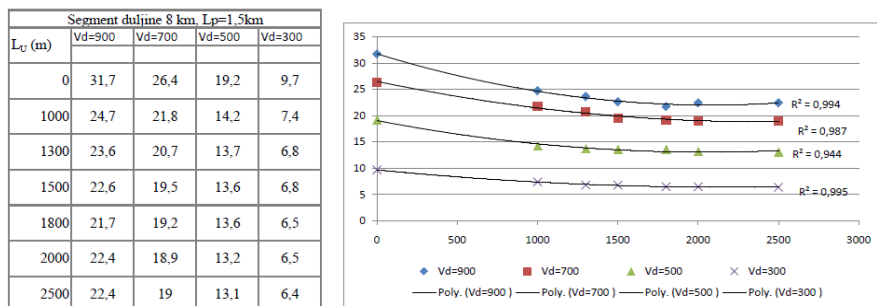
**Boris Čutura (boriscutura@gmail.com)**

*Sveučilište u Mostaru; Građevinski fakultet; Prometnice*

Izvangradske prometnice BiH čine uglavnom magistralne, regionalne i lokalne ceste koje spadaju u grupu dvotračnih dvosmjernih cesta. Veličina dnevnog prometnog opterećenja kreće se od nekoliko desetaka vozila na dan do preko 15000 voz/dan. Prometnice koje su danas u funkciji većinom su izgrađene prije 30-40 godina i skromne su geometrije, zbog većinom zahtjevnog terena i skupoće radova. Tijekom godina su urađene samo manje rekonstrukcije u smislu ispravljanja horizontalne ili vertikalne geometrije koje su bile uzrok brojnih prometnih nesreća. Također, zbog nepostojanja potrebne prometne infrastrukture (autoceste, brze ceste, razvijeni željeznica), kompletan teretni promet se odvija ovom mrežom. Zbog svega navedenog, brzine vozila su dosta male s obzirom na preporučene za pojedine rangove cesta, a i mogućnosti za pretjecanje su dosta ograničene. Osobito za veće prometno opterećenje stvaraju se kolone vozila, brzine se smanjuju, a gustoća raste. To uzrokuje i nedopuštene prometne radnje kao što su pretjecanje i obilaženje vozila na nedopuštenim mjestima i uzrokuje brojne prometne nesreće. Takve prometne radnje, koje podrazumijevaju prelazak u suprotni trak prometnice, često su uzrok prometnih nesreća s težim posljedicama (prema nekim istraživanjima oko 20%). Da bi se povećala brzina, propusnost i uslužnost samih prometnica, time i sama sigurnost prometa, gradi se dodatni trak za spora vozila. Njegova praktična primjena je uglavnom na dionicama koje su u usponu, međutim, dodatni trak možemo primijeniti i u drugim situacijama, pri padu (teška teretna vozila također voze manjom brzinom), kao i na ravnim dijelovima gdje nema mogućnosti pretjecanja. U novije vrijeme se osim standardnih proračuna kao alati koriste i simulacijski softver koji imaju i mogućnost animacije. U ovom radu je analiziran dodatni trak kroz domaći pravilnik [1], HCM metodologiju [2] i simulacijski software Vissim [3].

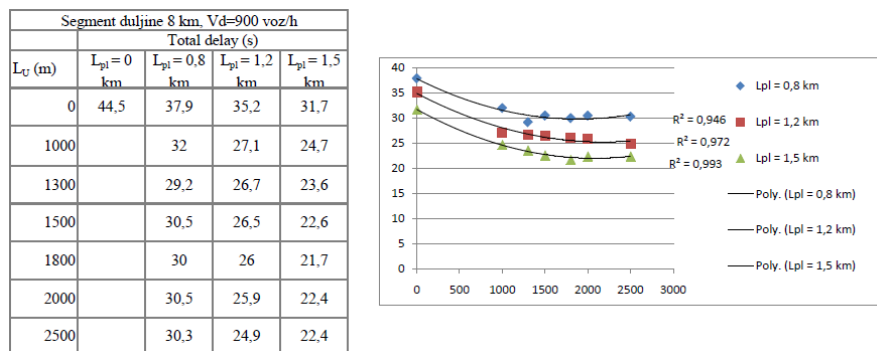
**Dodatni trak prema BiH pravilniku:** Prema vrijedećim propisima postoje dva uvjeta koja je potrebno provjeriti i ako jedan ne zadovoljava obvezna je izgradnja dodatnog traka. Ti uvjeti su prometno-tehnički kriterij (provjera propusne moći) i vozno-dinamički kriterij (provjera brzine). U prvom kriteriju se provjerava propusna moć prometnice pri traženoj razini usluge. Ukoliko je tako utvrđena propusna moć manja od prometnog opterećenja u mjerodavnom vršnom satu na kraju projektnog razdoblja, treba predvidjeti dodatni trak za spora vozila. Provjera propusne moći proračunava se prema HCM2000. Vozno-dinamički kriterij se odnosi na provjeru brzine. Dodatni trak se radi ako brzina teretnog vozila padne ispod najmanje brzine. Prema grafikonu se određuje duljina dodatnog traka, koji počinje na mjestu gdje brzina vozila pada ispod kritične brzine vozila  $V_{kr}$ , a završava gdje ponovno dosegne kritičnu brzinu. Prema propisima postoje ograničenja za uzdužni nagib nivelete za različite tehničke grupe cesta na otvorenim dionicama, a upotrebom dodatnog traka za spora vozila, te vrijednosti se smiju povećati za 1 %, što nije zanemarivo. Nedostatak naših propisa je nepostojanje ekonomskog kriterija kojim bi se također mogla regulirati opravdanost izgradnje dodatnog traka, a njegovo nepostojanje u ovom trenutku može se opravdati jedino samo "strošim" vozno-dinamičkim kriterijem. **Dodatni trak prema HCM 2000 metodologiji:** Istraživanja pokazuju da dodatni trak omogućuje dodatni pozitivan utjecaj na određenoj udaljenosti od završetka dodatnog traka, što ova metodologija uzima u obzir. Efektivna duljina dodatnog traka je puno veća od fizičke duljine i ovisi o veličini toka u analiziranom smjeru. Segment koji se analizira podijeli se na četiri područja: područje prije dodatnog traka; dodatni trak; područje nakon dodatnog traka na kojem još postoji njegov utjecaj; područje nakon dodatnog traka na kojem više ne postoji njegov utjecaj. **Simulacije dodatnog traka simulacijskim softverom:** Ono što je nedostatak i pravilnika i HCM-a je to što ne uzima u obzir duljinu nakupljanja što direktno definira položaj i duljinu dodatnog traka na predmetnoj dionici. Još bitnija stvar je utjecaj dodatnog traka nakon njegovog završetka. Kako bi se analizirao taj utjecaj korišten je simulacijski program Vissim. On omogućava vizualno praćenje svih radnji koje se odvijaju u prometnom toku na analiziranom segmentu tijekom simulacije, a nakon simulacije daje rezultate za unaprijed zadane procjene koje se želi analizirati. Samim time on kao software koristi znatno kompleksniji način proračuna i procjene prometnog toka od HCM metodologije, uzima u obzir više raznih parametara i daje nam vizualni prikaz cijelog stanja tijekom simulacije. Analizirane su dionice ceste različitih

duljina i prometnih opterećenja. Za svaku dionicu i svako prometno opterećenje analizirani su slučajevi bez dodatnog traka i s dodatnim trakom različite duljine. Total delay ili ukupno zakašnjenje je parametar koji je korišten za procjenu optimalne duljine nakupljanja i optimalne duljine dodatnog traka. Parametar ukupnog zakašnjenja kao izlazni rezultat simulacije prometnog toka u Vissim-u unesen je u tablice za odgovarajuće ulazne parametre koji su razmatrani. Ovisnost ukupnog zakašnjenja o duljini nakupljanja je prikazana grafički (primjer na Slici 1).



Slika 1. Utjecaj duljine nakupljanja na ukupno zakašnjenje vozila za dodatni trak duljine 1.5 km na segmentu duljine 8 km

Prema dobivenim rezultatima može se zaključiti da postavljanje dodatnog traka na početak analiziranog segmenta nije optimalno. Kod planiranja dodatnog traka potrebno je osigurati dovoljno veliku duljinu nakupljanja jer prema dobivenim rezultatima ona znatno utječe na poboljšanje uvjeta prometnog toka. Na osnovu rezultata može se zaključiti da optimalna duljina nakupljanja iznosi 1800 do 2000 m, ovisno o veličini prometnog opterećenja u jednom smjeru, a njeno produženje iznad tih vrijednosti nebi uopće utjecalo na poboljšanje uvjeta na cesti. Duljina nakupljanja ima utjecaj na ukupno zakašnjenje bez obzira koju duljinu dodatnog traka usvojili, te planiranjem i izgradnjom dodatnog traka moramo osigurati njeno postojanje. Povećanjem prometnog opterećenja optimalne vrijednosti duljine nakupljanja rastu, ali samo do negdje oko 2000 m, dok daljnjim povećanjem gubi se značaj na poboljšanje uvjeta prometnog toka (primjer na Slici 2).



Slika 2. Utjecaj duljine nakupljanja i duljine dodatnog traka na ukupno zakašnjenje na segmentu duljine 8 km za prometno opterećenje od 900 OV/h u jednom smjeru

Rezultati analize mogu poslužiti za određivanje optimalnog položaja i duljine dodatnog traka unutar analizirane dionice. Duljina nakupljanja vozila u analiziranom segmentu s dodatnim trakom svakako ne smije biti zanemariv parametar. Pokazalo se i na koji način prometno opterećenje ima utjecaj na duljinu dodatnog traka. Za manja prometna opterećenja povećanje duljine dodatnog traka iznad nekih određenih vrijednosti neće značajno poboljšati stanje, ali će povećati ekonomske troškove, dok kod većih prometnih opterećenja povećanjem duljine dodatnog traka ima znatniji utjecaj. HCM 2000 za ovaj problem daje jasne naputke, i za određene veličine prometnog opterećenja preporučuje optimalne raspone duljina dodatnog traka koje bi svakako trebalo poštovati kod planiranja i izvedbe dodatnog traka. Dodatni trak na dvosmjernim dvotračnim cestama se pokazao kao jednostavno, funkcionalno i ekonomski prihvatljivo prometno rješenje, koji bi uz upotrebu određenih naputaka kao što je osiguranje dovoljne duljine nakupljanja, kao i optimalne duljine samog dodatnog traka imao još bolje rezultate u primjeni. Također, određivanjem njegovog stvarnog pozitivnog utjecaja (nakon završetka dodatnog traka) dobila bi se mogućnost optimalnog pozicioniranja, što bi bio veliki doprinos s prometnog, sigurnosnog, pa i ekonomskog aspekta.

#### Literatura

- [1] Ministarstvo komunikacija i prometa BiH: Pravilnik o osnovnim uvjetima koje javne ceste, njihovi elementi i objekti na njima moraju ispunjavati s aspekta sigurnosti. "Službeni glasnik BiH", broj 6/06, 2007.
- [2] Transportation Research Board: Highway Capacity Manual. National Research Council. Washington, D.C. 2000.
- [3] Planung Transport Verkehr AG: VISSIM 5.40-03 User Manual. 2011.

# 8.

## KARAKTERISTIKE POROZNOG BETONA SA ZGUROM ZA PRIMJENU U KOLNIČKIM KONSTRUKCIJAMA

**Krunoslav Čosić (kcosic@gfos.hr)**

*Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek, Zavod za materijale i konstrukcije*

Cestogradnja kao najveći potrošač prirodnih materijala iscrpljuje prirodne resurse i ugrožava okoliš te je od iznimne važnosti učiniti cestogradnju ekonomičnom i ekološki prihvatljivom kako bi se uklopili u koncept održivog razvoja. Zbrinjavanjem otpada i primjenom otpadnih materijala pridonijelo bi se unaprijeđenju održive gradnje i popularizaciji betonskih kolnika u Hrvatskoj čija je izgradnja do sada bila neopravdano zanemarena. Obzirom da u Hrvatskoj postoje odlagališta zgure, bilo bi interesantno upotrijebiti taj otpadni materijal kao agregat u poroznom betonu namijenjenom za kolničke konstrukcije. Stoga je svrha ovoga istraživanja pronaći optimalnu mješavinu za izradu poroznog betona sa zgurom koji ima dovoljnu čvrstoću za primjenu u kolničkim konstrukcijama sa teškim opterećenjem, smanjiti buku, omogućiti nesmetane hidrološke funkcije te utjecati na duži životni vijek kolničke konstrukcije.

Primjena betona kao konstrukcijskog materijala je vrlo raširena, dok je njegova primjena u kolničkim konstrukcijama zanemarena, posebno u Hrvatskoj, gdje je asfalt dominantan materijal [1]. Prva upotreba poroznog betona u kolničkim konstrukcijama je vezana za kraj drugog svjetskog rata, kada su razaranja potaknula upotrebu novih materijala [2]. Porozni beton je materijal koji sadrži iste komponente kao standardni beton, međutim projektiran je da ima veliku poroznost i propusnost. Prednosti poroznog betona u odnosu na standardni beton se očituju u povećanom propuštanju vode čime se smanjuje potreba za izgradnjom sustava za odvodnju, umanjuje buka i zagrijavanje [3], olakšava se pročišćavanje vode te se obnavlja dinamička zaliha vode u gradovima. Stoga je porozni beton posebno pogodan za izgradnju parkirališta, nogostupa i biciklističkih staza, kao i za izgradnju propusnih baza i rubnih slivnika te bankina za smanjenje crpljenja ispod betonskog kolnika [4]. Velika poroznost ovog betona doprinosi dobroj apsorpciji zvuka [5]. Svoj naziv porozni beton duguje velikom udjelu pora koji je posljedica potpunog izostanka ili tek male prisutnosti sitnih čestica agregata u njegovom sastavu, odnosno zbog male volumne koncentracije agregata u betonu ostaje puno šupljina. Prema Putmanu i Neptuneu [3], poroznost ovakvog betona kreće se između 11 i 35%. Veliki udio pora odgovoran je za najveći nedostatak poroznog betona, smanjenu čvrstoću.

Zgura je dokazano dobra zamjena za prirodni agregat u standardnom betonu [6]-[8], te je eksperimentalni dio istraživanja obuhvatio ispitivanja svježeg i očvrstelog betona. Od materijala su korišteni drobljeni dolomit, zgura sa odlagališta u Splitu i Sisku te portland cement razreda 42.5 (CEM II/A-M(S-V)42.5N). Ispitane su 3 mješavine poroznog betona i 1 mješavina standardnog betona (Tablica 1).

**Tablica 1.** Projekt sastava betona

| Mješavina          | M1 – standardni beton                 |                               |                            | M2 – porozni beton sa dolomitom        |                               |                            |
|--------------------|---------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--|-------------------------------|----------------------------|
|                    | Masa (kg)                             | Gustoća (kg/dm <sup>3</sup> ) | Volumen (dm <sup>3</sup> ) | Masa (kg)                              | Gustoća (kg/dm <sup>3</sup> ) | Volumen (dm <sup>3</sup> ) |
| Cement             | 350.0                                 | 3.0                           | 116.7                      | 300.0                                  | 3.0                           | 100.0                      |
| Voda               | 115.5                                 | 1.0                           | 115.5                      | 99.0                                   | 1.0                           | 99.0                       |
| v/c                | 0.33                                  |                               |                            | 0.33                                   |                               |                            |
| Superplastifikator | 3.5                                   | 1.1                           | 3.2                        | -                                      | -                             | -                          |
| Zrak               | 2.5%                                  | -                             | 25.0                       | 15%                                    | -                             | 150.0                      |
| Agregat            | 2034.0                                | 2.75                          | 739.7                      | 1783.7                                 | 2.7                           | 651.0                      |
| Σ                  | 2503.0                                | 2.50                          | 1000                       | 2182.7                                 | 2.18                          | 1000.0                     |
| Mješavina          | M3 – porozni beton za zgurom iz Siska |                               |                            | M4 – porozni beton za zgurom iz Splita |                               |                            |
| Svojstvo           | Masa (kg)                             | Gustoća (kg/dm <sup>3</sup> ) | Volumen (dm <sup>3</sup> ) | Masa (kg)                              | Gustoća (kg/dm <sup>3</sup> ) | Volumen (dm <sup>3</sup> ) |
| Cement             | 300                                   | 3.0                           | 100                        | 280.0                                  | 3.0                           | 93.3                       |

|                    |        |      |        |        |      |        |
|--------------------|--------|------|--------|--------|------|--------|
| Voda               | 99.0   | 1.0  | 99.0   | 92.4   | 1.0  | 92.4   |
| v/c                | 0.33   |      | 0.33   |        |      |        |
| Superplastifikator | -      | -    | -      | 2.80   | 1.1  | 2.5    |
| Zrak               | 15%    | -    | 150.0  | 15%    | -    | 150.0  |
| Agregat            | 2053.3 | 2.93 | 651    | 2003.7 | 2.86 | 661.7  |
| Σ                  | 2452.3 | 2.45 | 1000.0 | 2378.9 | 2.38 | 1000.0 |

Mehanička svojstva očvrstlog betona su testirana na 3 uzorka kocke (15/15/15 cm) i prizme (10/10/40 cm). Sva ispitivanja su izvršena sukladno europskim normama, te su rezultati ispitivanja prikazani u Tablici 2. Sukladno rezultatima, poroznost se kreće u rasponu od 14 do 21%. Poroznost betona sa dolomitnim agregatom je veća u odnosu na porozni beton sa zgurom. Porozni beton sa zgurom iz Siska ima veću čvrstoću nego porozni beton sa dolomitnim agregatom, dok rezultati vlačne čvrstoće pokazuju drugačiji trend. Dinamički modul elastičnosti pokazuje sličan trend kao vlačna čvrstoća. Porozni beton za zgurom iz Splita nije pokazao zadovoljavajuća svojstva. Uspoređujući porozni beton sa standardnim betonom, dolazi do smanjenja tlačne čvrstoće za 65.3% i vlačne čvrstoće za 49.5%, što je uzrokovano povećanjem poroznosti.

**Tablica 2.** Rezultati očvrstlog betona

| Mješavina | Gustoća (kg/m <sup>3</sup> ) | Poroznost (%) | Tlačna čvrstoća (MPa) | Vlačna čvrstoća (MPa) | Dinamički modul elastičnosti (GPa) |
|-----------|------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|
| M1        | 2442                         | 6.3           | 69.5                  | 9.7                   | 70.85                              |
| M2        | 2095                         | 21.3          | 24.1                  | 4.9                   | 51.27                              |
| M3        | 2435                         | 14.2          | 26.5                  | 3.6                   | 37.61                              |
| M4        | 2252                         | 19.9          | 11.6                  | 0.9                   | 29.89                              |

Sukladno Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama [9], beton je klasificiran prema 28 dnevnoj tlačnoj i vlačnoj čvrstoći. Porozni beton za dolomitnim agregatom ne zadovoljava uvjete tlačne čvrstoće, ali zadovoljava uvjete za vlačnu čvrstoću. Porozni beton za zgurom iz Siska zadovoljava uvjete tlačne čvrstoće za srednje, lagano i vrlo lagano prometno opterećenje, međutim ne zadovoljava uvjete vlačne čvrstoće. Vlačna čvrstoća bi se mogla povećati dodavanjem vlakana u svježu betonsku mješavinu [10]. Cilj istraživanja je bio istražiti moguću primjenu zgure kao agregata u poroznim betonskim kolničkim konstrukcijama. Usporedbom rezultata došlo se do zaključka kako kvaliteta poroznog betona uvelike ovisi o tipu agregata. Povećanjem poroznosti za 15% rezultiralo je smanjenjem čvrstoća za otprilike 60%. Porozni beton za zgurom iz Siska ima veliki potencijal za upotrebu u poroznim betonskim kolničkim konstrukcijama, dok porozni beton sa zgurom iz Splita ima nedostatna svojstva.

#### Literatura

- [1] Bjegović, D., Beslač, J. and Banjad Pečur, I.: Betonski kolnici u svijetu i u nas, Zbornik radova Četvrtog hrvatskog kongresa o cestama, Cavtat, 2007. (Hrvatsko društvo za ceste-Via Vita).
- [2] Huang, B., et al.: Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete, *Construction and Building Materials*, Vol. 24, 2010., pp. 818-823.
- [3] Putman, B.J., Neptune, A.I.: Comparison of test specimen preparation techniques for pervious concrete pavements, *Construction and Building Materials*, Vol. 25, 2011., pp. 3480-3485.
- [4] Blažok, D.: Propusni beton za kolnike, *Tehnički glasnik*, No. 4, 2010., pp. 15-18.
- [5] American Concrete Pavement Association, Green Highways: Environmentally and Economically Sustainable Concrete Pavements - concrete pavement research and technology special report, 2007. URL: <http://www.pavements4life.com/QDs/SR385P.pdf> . (05.05.2014.).
- [6] Netinger, I., et al.: Use of slag from steel industry as concrete aggregate, *Građevinar*, Vol. 63, No. 2, 2001., pp. 169-175.
- [7] Netinger, I., Jelčić Rukavina, M., Bjegović, D.: Possibilities of using domestic slag as concrete aggregate, *Građevinar*, Vol. 62, No. 1, 2010., pp. 35-43.
- [8] Netinger, I., Kesegić, I., Guljaš, I.: The effect of high temperatures on the mechanical properties of concrete made with different types of aggregates, *Fire Safety Journal*, Vol. 46, 2011., pp. 425-430.
- [9] IV Concrete works in General technical conditions for roadworks, Zagreb (Croatian roads – Croatian motorways), 2001., pp. 132-147.
- [10] Rehder, B., Banh, K., Neithalath, N.: Fracture behavior of pervious concretes: The effects of pore structure and fibers, *Eng Fract Mech*, Vol. 118, 2014., pp. 1-16.



# 9.

## UTJECAJ ODRŽAVANJA MELIORACIJSKIH KANALA NA PLITKE PODZEMNE VODE

**Tamara Dadić** ([tamaradadic@gfos.hr](mailto:tamaradadic@gfos.hr))

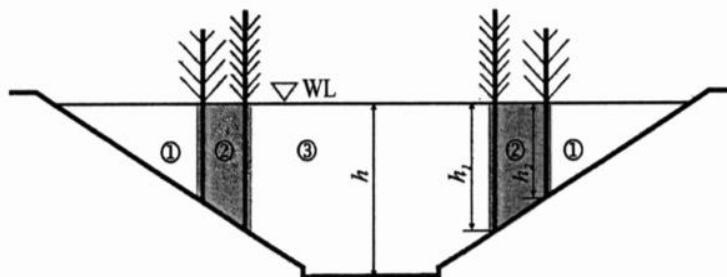
Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku; Građevinski fakultet Osijek; Zavod za hidrotehniku i zaštitu okoliša

Iako vegetacija ima vrlo važnu ulogu u formiranju vertikalnog profila tla, tek se u posljednjih dvadesetak godina počelo istraživati njeno značenje. Razlog leži u tome što su se zasebno promatrale podzemne vode, površinske vode i vegetacija [1]. Interakcija vegetacije i podzemne vode je izražena u oba smjera. Ovo međudjelovanje vegetacije i podzemne vode moguće je samo u podpovršinskim slojevima tla, odnosno, najviše do dubine od 3 metra. Razlog tome je što se do te dubine širi korijenska zona biljaka, a da bi do međudjelovanja došlo, kontakt vode u tlu i korijenja biljaka mora biti ostvaren [2]. Podzemna voda utječe na pojavnost vegetacije, odnosno izražen je utjecaj strujanja podzemne vode na karakteristike tla i različite biljne zajednice [3]. Utjecaj podzemne vode na vegetaciju može se očitovati na tri načina [4]: ona može imati nepovoljan utjecaj ako je nema u količinama kojoj su biljci potrebne; ako je količina i kakvoća podzemne vode zadovoljavajuća, predstavlja važan izvor vode i nutrijenata, a ako obiluje solima, izaziva stres kod biljaka.

Utjecaj vegetacije na plitku podzemnu vodu je dvojak. Vegetacija utječe na poboljšanje njene kakvoće i na količinu vode koja se procijedi u tlo.

Iako utjecaj na kakvoću nije toliko očit kao kod površinskih voda, ne smije se zanemariti ni pri strujanju vode kroz tlo. Što je razina podzemne vode bliže površini, to je i utjecaj vegetacije veći jer je veća interakcija korijenja i vode. Vegetacija koristi određene nutrijente iz vode za svoj rast i razvoj i pri tome smanjuje njihovu koncentraciju u vodi. To je posebno izraženo kod voda koje dolaze s poljoprivrednih površina jer one obiluju nitratima, nitritima i dušikom koji nastaju razgradnjom gnojiva. Najvažniji proces koji se pri tome odvija je denitrifikacija [5]. Nakon što dođe do uvenuća biljaka, one razgradnjom dospijevaju u tlo i podzemnu vodu gdje ih koriste bakterije [5]. Ta organska tvar ima značajan utjecaj na kemijske parametre podzemne vode [2]. Isti izvor navodi faktore koji pospješuju uklanjanje nitrata ili drugih kemikalija: tlo treba biti umjereno propusno s jednolikim strujanjem, razina podzemne vode na dubini od 1 do 3 metra i izražene koncentracije sumpora u vodi. Znatno veći utjecaj na kvalitetu vode i uklanjanje nitrata ima drvenasta vegetacija od travnate.

Kako je već navedeno, vegetacija značajno utječe na kvalitetu vode, površinske pogotovo, ali i podzemne. Stoga postojanje vegetacije u melioracijskim kanalima, u koje dospijeva voda s poljoprivrednih površina obogaćena fosforom i dušikom, doprinosi poboljšanju kvalitete vode. Ipak, ta vegetacija utječe i na hidrauličke karakteristike kanala čija osnovna funkcija ne smije biti ugrožena, a to je odvodnja viška vode do recipijenta. Naime, vegetacija u kanalima povećava otpor strujanju i utječe na smanjenje brzine i protočnu sposobnost kanala. Utjecaj travnate vegetacije se može kvantificirati određivanjem hidraulički ekvivalentnog sloja trave [6]. Isti je autor istražio i utjecaj drvenaste vegetacije na strujanje u kanalima [7]. Proračun strujanja u takvim obraslim kanalima (Slika 1.) je znatno složeniji jer se svaki dio kanala proračunava posebno.



Slika 1. Shematski prikaz različito obraslih područja u poprečnom presjeku melioracijskog kanala

Utjecaj na eroziju je dvojak. Iako je uvriježeno da korijenski sustav smanjuje efekt erozije pokosa kanala, postoje i istraživanja koja dokazuju suprotno. Naime, ako su u pitanju dinamička vegetacijska područja, koja se

mogu širiti ili skupljati, ona blokiraju protjecanje što dovodi do koncentracije toka i erozije kanala između lateralnih, proširenih vegetacijskih područja [8].

Kako bi se kvantificirao utjecaj vegetacije u kanalima na kvalitetu i razinu plitke podzemne vode, provode se terenska istraživanja na kanalu Pumpa Orlovnjak koji je smješten u okolici Osijeka. Postavljeni su piezometri na bankine kanala uz koji se nalazi poljoprivredna parcela. Iz piezometara se uzimaju uzorci vode koji se analiziraju na nitrate, nitrite, dušik i fosfor. Pri svakom uzimanju uzoraka prati se stupanj vegetacije. Na razvoj vegetacije u melioracijskim kanalima utječu klimatske prilike, količina vode koja dotječe s okolne površine i održavanje koje obavljaju nadležne osobe (Slika 2). Košnja kanala, prema Pravilniku o tehničkim, gospodarskim i drugim uvjetima za održavanje sustava melioracijske odvodnje, predviđena je jednom do dva puta godišnje od svibnja do listopada.

Dinamika mjerenja i uzimanje uzoraka podzemne vode iz piezometara ovisi o oborinama, stupnju razvoja vegetacije u kanalima i apliciranim gnojivima na poljoprivrednoj parceli čiji će se pronos pratiti s obzirom na navedene parametre.

Terenska mjerenja i laboratorijske analize uzoraka podzemne vode koja su provedna do sada pokazuju pozitivan utjecaj vegetacije na kemijske parametre kakvoće vode, posebno na nitrate čija je koncentracija znatno manja uz prisustvo vegetacije u kanalu.

Cilj ovakva istraživanja je dati preporuke za što učinkovitije održavanje kanala s obzirom na utjecaj vegetacije na plitke podzemne vode.



**Slika 2.** Kanal prije košnje (lijevo) i poslije košnje (desno)

### Literatura

- [1] Lambs, L., Berthelot, M.: Monitoring of water from the underground to the tree: first results with a new sap extractor on a riparian woodland, *Plant and Soil*, Vol. 241, No. 2, 2002., pp. 197-207.
- [2] Dosskey, M.G., Vidon, P., Gurwick, N.P., Allan, C.J., Duval, T.P., Lowrance R.: The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams. *Journal of the American Water Resources Association*, 2010., pp. 1-18. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2010.00419.x
- [3] Bailey K. M.: Effect of groundwater flow on soil chemistry, nutrient availability and plant species distributions in four New York state fens, PhD Thesis, Cornell University, 2006.
- [4] Nosetto, M.D., Jobbagy, E.G., Jackson R.B., Sznaider G.A.: Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas, *Field Crops Research*, No. 113, 2009., pp. 138-148.
- [5] Minnesota Pollution Control Agency: Vegetative buffers for protecting and improving ground water quality. 2002. URL: <http://www.pca.state.mn.us/index.php/view-document.html?gid=6365> (7. 5. 2013.).
- [6] Rimkus, A.: Conveyance calculation for channels overgrown with grass by applying hydraulic equivalent thickness of grass layer, *Journal of Water and Land Development*, No. 4, 2000., pp. 123-135.
- [7] Rimkus, A., Lamsodis, R., Vaikasas S.: Naturalization of Drainage Channels in Lithuania and Possibilities of Their Maintenance as Water Recipients, *Nordic Hydrology*, Vol. 34, No. 5, 2003., pp. 493-506.
- [8] Temmerman, S., Bouma T.J., Van de Koppel, J., Van der Wal D., De Vries, M.B., Herman P.M.J.: Vegetation causes channel erosion in a tidal landscape, *Geology*, Vol. 35, No. 7, 2007., pp. 631-634.

# 10.

## NUMERIČKI MODEL MEMBRANE FEM/DEM METODOM

**Vladimir Divić** (*vladimir.divic@gradst.hr*)

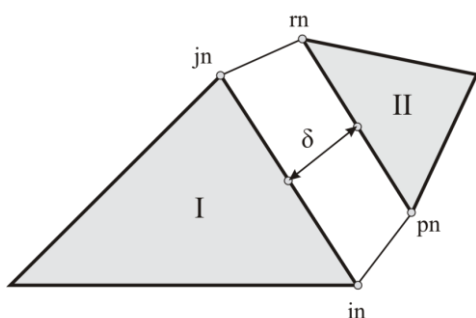
*Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije*

Membrane u mehaničkom pogledu prenose opterećenja isključivo uzdužnim vlačnim silama. U takvoj konfiguraciji omogućuje se da materijal bude visoko iskorišten, a da se pri tome ne kompromitira sigurnost konstrukcije. U arhitektonskoj praksi, membrane omogućuju jedinstvene zakrivljene forme velikog raspona [1] (Slika 1). Nedostaci membranskih konstrukcija su poteškoće prilikom oblikovanja i dimenzioniranja budući da oblik membrana i rezne sile koje se javljaju u presjecima su pod izrazitim utjecajem kombiniranog djelovanja geometrije, svojstva materijala, rubnih uvjeta i opterećenja. Nadalje, visoka iskorištenost materijala i osjetljivost konstrukcije na vanjska djelovanja dovodi do opasnosti od prekoračenja dozvoljenih napreznja, što rezultira plastičnim deformacijama i lokalnim kidanjem materijala. U oba slučaja dolazi do promjene geometrije konstrukcije iz čega slijedi preraspodjela napreznja koja je nerijetko progresivno rastuća i dovodi do potpunog kolaps konstrukcije [2].

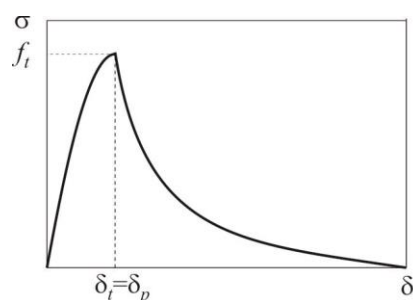


Slika 1. Membranska konstrukcija

Metoda konačno – diskretnih elemenata (FEM/DEM) je vremenski eksplicitna numerička metoda s integracijom čvor po čvor [3]. Pored klasičnih konačnih elemenata koji opisuju deformabilnost konstrukcije u numeričkom postupku koriste se i kontaktni elementi kojima se modelira otvaranje diskretnih pukotina (Slika 2). Kontaktni elementi su raspoređeni po rubovima elemenata. U neopterećenom stanju, četverokutni kontaktni elementi su kolapsirani u liniju. Zbog ovakve formulacije, deformabilnost kontaktnih elemenata opisana je relacijama pomak-sila. Uslijed velike krutosti kontaktnih elemenata, veza napreznje-deformacija sustava dvaju konačnih elemenata nema značajno odstupanje od linearnosti sve dokle napreznja ne dosegnu čvrstoću materijala. Iz tog razloga krutost kontaktnih elemenata je značajno veća od konačnih elemenata. Prekoračenjem čvrstoće materijala, dolazi do otkazivanja veze prema vlačnom popuštanju opisanom u Slici 3. Metoda obuhvaća i model interakcije dvaju i više elemenata pomoću formulacije raspodijeljene potencijalne sile [4].

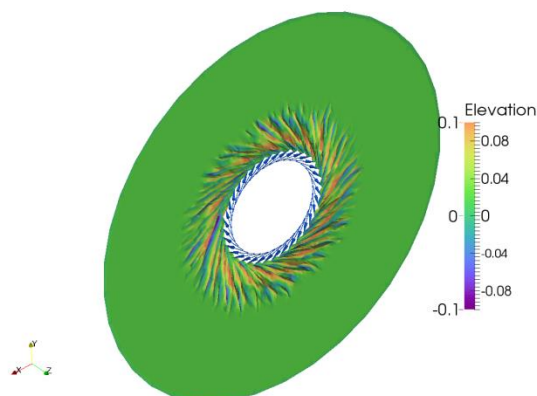


Slika 2. Konfiguracija konačnih i kontaktnih elemenata



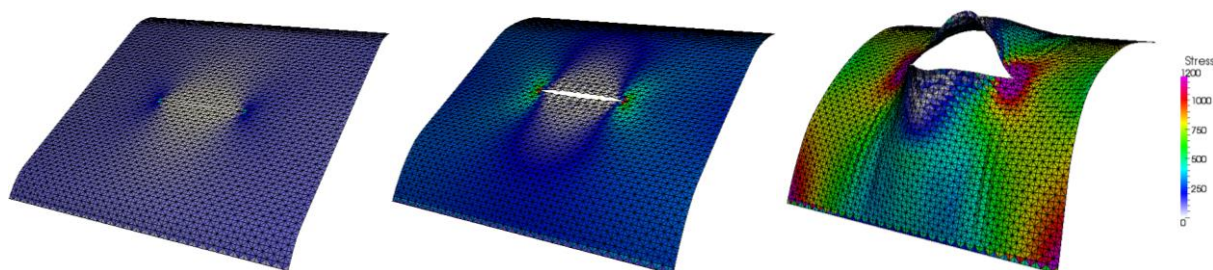
Slika 3. Veza pomak – sila za kontaktne elemente

Za simulaciju membrana pomoću FEM/DEM metode razvijeni su novi tročvorni konačni i pripadajući kontaktni elementi. Materijalni model inkorporiran u konačne elemente je linearno elastičan, a nelinearnosti su uvedene kroz kontaktne elemente. Pored samih elemenata, u modelu su razvijene procedure za simulacije djelovanja tlaka po elementima, djelovanje temperature i prednaprezanje. Zbog svoje formulacije, model je pogodan za opisivanje instabiliteta membranske konstrukcije uslijed tlačnih naprežanja (Slika 4).



**Slika 4.** Nabori na prstenastoj membrani uslijed rotacije unutarnjeg prstena

Model je verificiran s analitičkim izrazima za statičko i dinamičko djelovanje te prema eksperimentima iz dostupne literature [7]. Vizualizacija i analiza rezultata numeričkog modela provedena je u softveru Paraview [8] (Slika 5).



**Slika 5.** Simulacija pucanje membrane

Prikazani numerički model predstavlja robusno rješenje za dinamičku i statičku analizu membranskih konstrukcija. Glavne prednosti modela su preciznost i svestranost, a glavni nedostatak je visoki zahtjev za računalnim vremenom zbog eksplisitne integracijske sheme. Paralelizacijom koda numeričkog modela očekuje se značajno ubrzanje pri izvođenju čime se otvara prostor za istraživanje stohastičkih fenomena i procjene pouzdanosti membranskih konstrukcija.

#### Literatura

- [1] Supartono, F. X., Zhongli, L., Xiujiang, W.: Membrane structure: a modern and aesthetic structural system, Seminar dan Pameran HAKI 2011 – “Konstruksi Indonesia Melangkah ke Masa Depan”, 2011.
- [2] Divić, V., Uzelac, I., Peroš, B.: Multiplicative decomposition based FDEM model for membrane structures, *Transactions of FAMENA*, 2014.
- [3] Munjiza, A.: *The combined finite-discrete element method*, Wiley, 2004.
- [4] Munjiza A., Knight E. E., Rouiger E.: *Computational mechanics of discontinua*, John Wiley & Sons, 2012.
- [5] Xiang, J., Munjiza, A., Latham, J.-P., Guises, R.: On the validation of DEM and FEM/DEM models in 2D and 3D, *Engineering Computations*, Vol. 26, No. 6, 2009., pp. 673-687.
- [6] Young, L. G.: Numerical and experimental dynamic characteristics of thin-film membranes, *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 42, 2005., pp. 3001-3025.
- [7] Divić, V.: Simulacije krajnjih graničnih stanja pod djelovanjem vjetra metodom konačno-diskretnih elemenata, disertacija, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split, 2014.
- [8] Sandia National Labs, Kitware Inc. And Los Alamos National Labs, Paraview, Parallel visualisation application, 2013.



# 11.

## EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA DOSTUPNIH ALUMINIJSKIH LEGURA

**Tihomir Dokšanović (tdoksanovic@gfos.hr)**

*Sveučilište u Osijeku; Građevinski fakultet Osijek; Katedra za zidane, drvene i metalne konstrukcije*

Moguće aluminijske legure, ispitivanje svojstava tih legura, utjecaj temperature i načina obrade na njihova svojstva predmet su istraživanja [1] još od početka 20. stoljeća i još uvijek predstavljaju istraživački izazov. Između nekoliko stotina dostupnih legura postoje razlike u duktilnosti, trajnosti (podložnosti koroziji), zavarljivosti, mogućnosti obrade i čvrstoći. Stalni razvoj legura [2] i postupaka obrade uvijek postavlja naglasak na problem određivanja prikladnih matematičkih funkcija za opis njihovog ponašanja, posebno zbog toga što aluminij karakterizira elastoplastično ponašanje bez naglašene granice popuštanja i nelinearno područje čak i prije relativne deformacije od 0.2%. Matematički opis najčešće se radi pomoću Ramberg-Osgood zakonitosti, ali zbog različitih stupnjeva očvršćivanja velikog broja legura i potrebe za točnijim opisom za istraživačke svrhe, postoji i velik broj modificiranih zakonitosti. Zbog spomenutih posebnosti aluminijskog gubitka stabilnosti se događa većinom u nelinearnom području i time ga je teže proračunski opisati [3] pa točno određivanje ponašanja ima značajan utjecaj na procjene gubitka nosivosti elemenata. Prema [4] i zavarivanje ima značajan utjecaj na razinu nosivosti zbog promjene svojstava materijala u okolini zavara. Naime, pod utjecajem topline, ovisno o stanju, dolazi do pada čvrstoće do 50%.

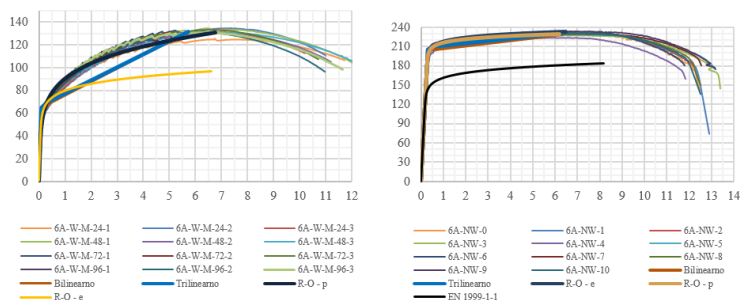
Svojstva legura aluminijske ponudena u normama za dimenzioniranje (EN 1999-1-1 i Aluminum Design Manual) ne sadrže dovoljno podataka za dostatno točno modeliranje i analizu elemenata od aluminijske, posebno za istraživačke svrhe. Područje Hrvatske aluminijske je opskrbljeno ponajviše aluminijskim legurama koje nisu namijenjene za konstrukcijske elemente, ali o dostupnim konstrukcijskim legurama ne postoje radovi u kojima bi se mogli vidjeti rezultati ispitivanja mehaničkih svojstava, a shodno niti radovi u kojima je ispitana podudarnost matematičkog opisa njihovog ponašanja. Isto tako ne postoje radovi u kojima bi se mogao vidjeti utjecaj zavarivanja na promjenu svojstava. U skladu s time, svrha rada je da se za više legura iz konstrukcijskih skupina odredi tok radnog dijagrama za ocjenu primjenjivosti Ramberg-Osgood i modificiranih modela ponašanja materijala. Osim toga, cilj je utvrđivanje svojstava materijala u zavarivanjem omekšanom području kako bi se omogućilo točnije modeliranje zone utjecaja topline (ZUT-a). Uz navedeno, pomoću prikupljenih parametara moguće je osigurati temelj za daljnja numerička i eksperimentalna istraživanja, ali i stvaranje podloge za usporedbu svojstava s onima u EN 1999-1-1.

Za potrebe ispitivanja nabavljene su šipke od aluminijskih legura dostupnih u Hrvatskoj, EN-AW 6060-T66 i EN-AW 6082-T6. Iz šipki su izrađene 72 epruvete u skladu s pravilima opisanim u ISO 6892-1. Od dobivenih epruveta, 24 ih se iskoristilo za vlačno ispitivanje, a na preostalim 48 epruveta ispitan je utjecaj zavarivanja na mehanička svojstva, i to tako da su 24 epruvete zavarene MIG postupkom, a 24 TIG postupkom. Prije ispitivanja sve epruvete izmjerene su kako bi se utvrdila odstupanja u geometriji pri proizvodnji i tokarskoj obradi, ali i odredila mjerodavna površina za vlačno ispitivanje. Osim toga, na epruvetama su pomoću digitalnog tvrdomjera određene tvrdoće prema Brinellu i Leebeu, u skladu s DIN 50156-1. Tvrdoća je ispitana na 10 mjesta na svakoj epruveti pa je ukupno dobiveno 720 rezultata. Vlačno ispitivanje je provedeno u skladu s ISO 6892-1:2009 A122, uz preinake ispitivanja prema prijedlozima iz [5] i [6]. Ispitivanje je praćeno pomoću optičkog sustava za mjerenje deformacija u prostoru, ARAMIS, uz istovremeno mjerenje deformacija ekstenzometrom - postav mjernih uređaja vidljiv je na Slici 1.



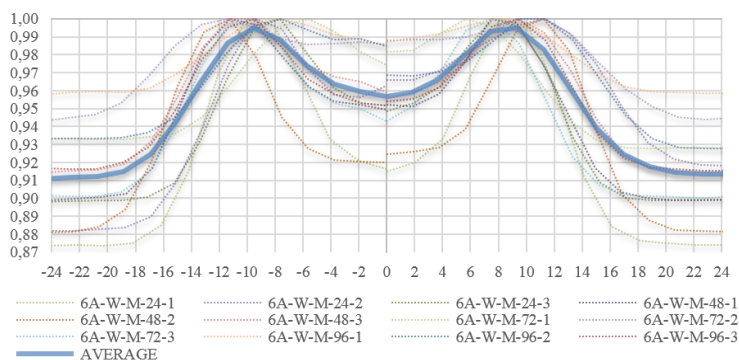
**Slika 1.** Postav mjernih uređaja prilikom vlačnog ispitivanja

Za svaku od epruveta utvrđeni su modul elastičnosti, naprezanje pri 0.01%, 0.1% i 0.2% relativne deformacije, vlačna čvrstoća, lomna čvrstoća i pripadne deformacije. Osim toga, određen je Poissonov omjer, koeficijent anizotropije te Ramberg-Osgood eksponenti  $n$  prema elastičnom i plastičnom području. Za sve skupine rezultata izvršene su idealizacije radnih dijagrama prema mogućim metodama - Slika 2.



**Slika 2.** Radni dijagrami epruveta omekšanih zavarivanjem MIG postupkom (lijevo) i neomekšanih zavarivanjem (desno), zajedno s mogućim idealizacijama – legura EN-AW 6060-T66

Za sve zavarene epruvete utvrđen je utjecaj širine ZUT-a, ovisno o postupku zavarivanja, tako da su pomoću ARAMISA očitane vrijednosti stvarnih napreznosti u području oko zavara, a zatim dovedene u korelaciju s područjem ZUT-a prema padu napreznosti u toj zoni - Slika 3.



**Slika 3.** Normalizirana napreznost u odnosu na širinu područja lijevo i desno od zavara – legura EN-AW 6060-T66

Prema dobivenim rezultatima moguće je zaključiti kako postoje značajna odstupanja u utvrđenim i ponuđenim mehaničkim svojstvima prema važećoj normi. Isto vrijedi i za u normi predloženi  $n$  Ramberg-Osgood eksponent. Zavarivanjem dolazi do pada čvrstoće i granice popuštanja u većem iznosu nego li se to normom sugerira, a osim promjene svojstava, zavarivanjem se znatno mijenja oblik radnog dijagrama. Za neomekšano stanje materijala dostatan je čak i bilinearan opis ponašanja materijala, ali i svi ostali modeli ponašanja su dostatno povoljni. Kada je u pitanju zavarivanjem omekšan materijal, samo Ramberg-Osgood zakonitost sa  $n$  eksponentom prema plastičnom području dostatno dobro opisuje ponašanje.

#### Literatura

- [1] Grard, C.: *Aluminium and its alloys*, Constable & Company Ltd., London, England, UK, 1920.
- [2] Vojtech, D.: Challenges for research and development of new aluminum alloys, *Metalurgija/Metallurgy*, Vol. 49, 2010., pp. 181-185.
- [3] Gonçalves, R. & Camotim, D.: GBT local and global buckling analysis of aluminium and stainless steel columns, *Computers & Structures*, Vol. 82, 2004., pp. 1473-1484.
- [4] Zhu, J.-H. & Young, B.: Aluminum alloy tubular columns—Part II: Parametric study and design using direct strength method, *Thin-Walled Structures*, Vol. 44, No. 9, 2006., pp. 969-985.
- [5] Zhu, J.-H. & Young, B.: Effects of transverse welds on aluminum alloy columns, *Thin-Walled Structures*, Vol. 45, 2007., pp. 321-329.
- [6] Mennink, J.: Cross-sectional stability of aluminium extrusions (Doctoral thesis), University of Technology, Eindhoven, The Netherlands, 2002.

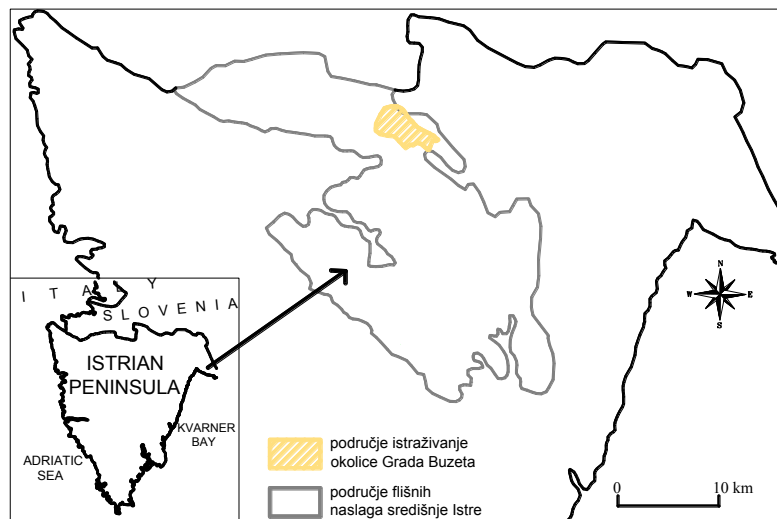
# 12.

## PROCJENA HAZARDA I RIZIKA KLIZANJA NA FLIŠNIM KOSINAMA U SREDIŠNJOJ I SJEVERNOJ ISTRI

**Sanja Dugonjić Jovančević** ([sanja.dugonjic@gradri.uniri.hr](mailto:sanja.dugonjic@gradri.uniri.hr))

Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet; Katedra za geotehniku

Područje istraživanja nalazi se unutar najvećeg jadranskog poluotoka, Istre, smještenog u sjeveroistočnom dijelu Jadranskog mora (Slika 1). Ustanovljeno je da je na području središnje i sjeverne Istre u prošlosti evidentiran relativno veliki broj klizišta na kosinama oblikovanim u flišu paleogenske (eocenske) starosti. Na terenima izgrađenim od flišnih naslaga prisutni su intenzivni geomorfološki procesi, osobito erozija i pokreti masa na kosinama. Klizišta su brojna, a tipovi, mehanizmi i uvjeti nastanka slični. Prikupljanje podataka na području istraživanja koje obuhvaća oko 550 km<sup>2</sup> (Slika 1), započelo je 2008. godine na Zavodu za hidrotehniku i geotehniku Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci [1]. Ova regija je dobila naziv Siva Istra po izrazito sivim ogolinama u laporima. Bazne naslage u geološkom stupu flišnih naslaga središnje Istre su foraminiferski vapnenci paleogenske starosti i tanke prijelazne naslage laporovitih vapnenaca. Globigerinski lapori približne su debljine 40 m. Flišni stijenski kompleks ima ukupnu debljinu od 90 do 100 m. To je debeli slijed pretežito siliciklastičnih marinskih dubokovodnih sedimenata, s karakterističnim izmjenama slojeva različitog granulometrijskog sastava, a razlikuju se donji i gornji dio flišnih naslaga [2].



**Slika 1.** Područje središnje i sjeverne Istre i područje okolice Grada Buzeta

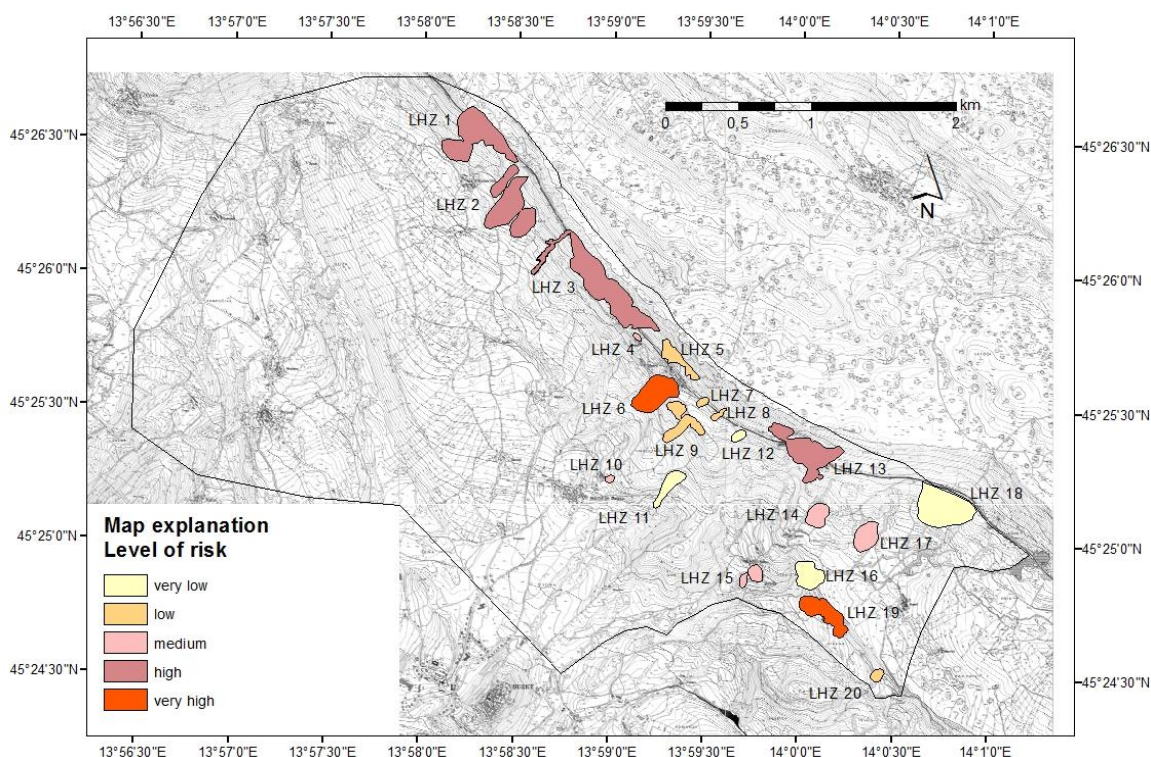
U toku istraživanja provedena je procjena hazarda klizanja, koja je korištena dalje u izradi procjene rizika klizanja na istom području. Hazard pojave klizanja može se definirati kao vjerojatnost pojave klizišta, kao potencijalno štetnog prirodnog procesa, koji može nanijeti štetu, gubitak i prouzrokovati druge nepovoljne efekte. Izražen je kao vjerojatnost pojave klizišta određenog intenziteta na određenom području, u određenom vremenskom razdoblju. Metodologija procjene hazarda na području središnje Istre može se podijeliti u šest faza [3]. Procjena rizika sastojala se od određivanja elemenata rizika i njihove ranjivosti jer je ukupan rizik dobiven kao djelovanja hazarda  $H$  na ranjivost  $V$  elementa rizika  $E$ , uzimajući u obzir vremensku izloženost elemenata hazardu  $t_E$ , vjerojatnost hazarda klizanja  $P(H)$  te stupanj ranjivosti  $V(E)$ , pa je izraz za ukupan rizik:

$$R_t = fcn\{t_E, P(H), V(E)\} \quad (1)$$

Elementi rizika u području istraživanja određeni su iz topografskih i ortofoto podloga (u mjerilu 1: 5000) i obuhvaćaju slijedeće komponente: asfaltirane i neasfaltirane ceste, manje cestovne vijadukte, obiteljske i gospodarske kuće, obradive površine, zaštićena šumska područja i neizgrađena građevinska područja, te ljudske



živote i socio-ekonomske aktivnosti. Klizišta na području istraživanja su uglavnom istog tipa: translacijska ili rotacijska plitka klizanja pokrivača po flišnoj stijenskoj podlozi, ali je vjerojatnost njihove pojave različita pa su s obzirom na nju određene 4 razine vjerojatnosti hazarda (niska do vrlo visoka): P(H) 1 koja obuhvaća nestabilne zone iz determinističke analize hazarda, P(H) 2 koja obuhvaća zone klizanja u prošlosti koja su trenutno umirena, P(H) 3 koja obuhvaća nestabilna područja iz determinističke analize a sadrži i umirena klizišta unutar njih i P(H) 4 koja obuhvaća nestabilna područja iz determinističke analize hazarda i aktivna klizišta unutar njih. Nakon procjene hazarda, na temelju lokalnih topografskih, geomorfoloških i geoloških indikatora postojećih klizišta, određene su zone hazarda (LHZ) kao područja iste vjerojatnosti pojave klizišta istog tipa [4]. Za procjenu ukupnog rizika klizanja, na cijelom području istraživanja identificirano je ukupno 20 LHZ koje obuhvaćaju zonu usijedanja, putanju klizanja i zonu akumulacije dobivene iz 3D simulacije pokretanja klizišta i propagiranja klizne mase u LS-RAPIDU [5]. U obzir su uzeti slijedeći elementi analize rizika: vjerojatnost hazarda, vremenska izloženost hazardu, površina klizišta, broj elemenata ranjivosti unutar LHZ i očekivana ranjivost za te elemente. Vremenska izloženost elemenata hazardu je promatrana u odnosu na broj klizišta unutar LHZ. Intenzitet klizanja uzet je u obzir preko površine klizišta. S obzirom na broj prisutnih elemenata rizika unutar LHZ određene su 4 razine utjecaja na ukupan rizik. U analizi ranjivosti za područje istraživanja korišten je pristup određivanja štete za svaki element pojedinačno (engl. *Single asset method*) [6], a posebna pažnja dana je elementima koji se nalaze u ili blizu LHZ i klizišta. Ranjivost je procijenjena unutar slijedećih razina: N-bez štete, M-manja šteta (funkcionalnost nije ugrožena, šteta se može brzo popraviti), F-funkcionalna šteta (funkcionalnost je ugrožena, da bi se šteta popravila potrebni su vrijeme i novac), S- strukturalna šteta (ozbiljna šteta koja zahtjeva ozbiljnije zahvate). Prisutnost elemenata ljudski životi i socijalni efekti uzeta je u obzir da se za svaku LHZ ranjivost povećala za jednu razinu utjecaja (+1) ukoliko su prisutni ti elementi. Ukupan rizik dobiven je kao produkt svih faktora uzetih u analizu i kategoriziran u 5 razina: vrlo nizak, nizak, srednji, visok i vrlo visok (Slika 2).



Slika 2. Karta procijenjenog rizika za pojedine LHZ na području istraživanja u sjevernoj Istri

### Literatura

- [1] Dugonjić Jovančević, S., Arbanas, Ž.: Recent landslides on the Istrian Peninsula, Croatia, *Natural hazards*, Vol. 62, No.3., 2012., pp.1323-1338.
- [2] Bergant, S., Tišljar, J., Šparica, M.: Eocen carbonates and flysch deposits of the Pazin basin, 22nd IAS meeting of sedimentology, Opatija, 2003., Field trip guidebook.
- [3] Dugonjić Jovančević S.: Procjena hazarda pojave klizanja u flišu, disertacija, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka, 2013.
- [4] Reichenbach, P., Galli, M., Cardinali, M., Guzzetti, F., Ardizzone, F.: Geomorphological Mapping to Assess Landslide Risk: Concepts, Methods and Applications in the Umbria Region of Central Italy. In: *Landslide hazard and risk* (Eds. T. Glade, M. Anderson, M.J. Crozier), John Wiley and Sons, Ltd, 2005., pp. 429-468.
- [5] Sassa, K., Nagai, O., Solidum, R., Yamazaki, Y., Ohta, H.: An integrated model simulating the initiation and motion of earthquake and rain induced rapid landslides and its application to the 2006 Leyte landslide, *Landslides*, Vol. 7, No. 3., 2010., pp. 219-236.
- [6] Alexander, D.: Vulnerability to landslides. In: *Landslide hazard and risk* (Eds. T. Glade, M. Anderson, M.J. Crozier), John Wiley and Sons, Ltd, 2005., pp.175-198.



# 13.

## OCJENA OŠTEĆENJA PLOŠNIH KONSTRUKCIJA PRIMJENOM DINAMIČKIH PARAMETARA

**Ivan Duvnjak (iduvnjak@grad.hr)**

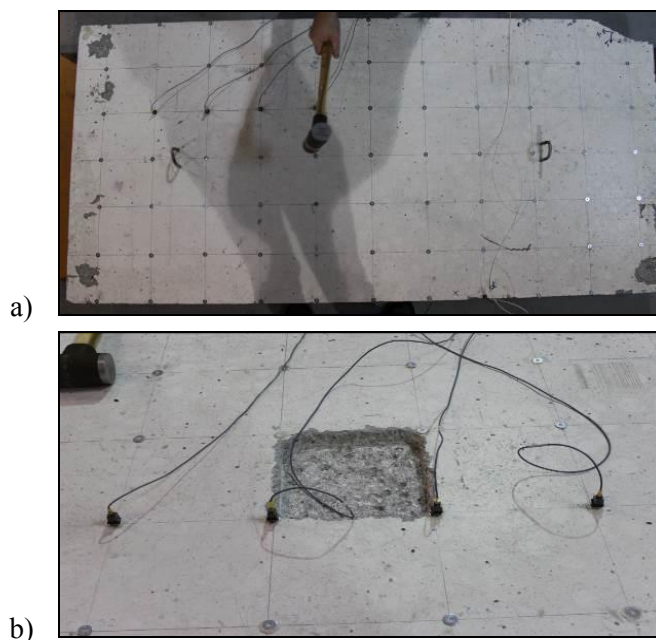
*Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Zavod za tehničku mehaniku*

Mjerenjem vibracija na građevinskim konstrukcijama može se pratiti globalno ponašanje konstrukcije koristeći dinamičke parametre [1]. Oštećenje se definira kao promjena u strukturi konstrukcije koja utječe na njeno daljnje ponašanje. Osnovna je pretpostavka da oštećenje na konstrukciji mijenja fizičke karakteristike kao što je krutost i/ili masu što uzrokuje promjenu dinamičkih parametara vlastite frekvencije, modalnih oblika i koeficijenta prigušenja. Teorijski koncept je vrlo dobro poznat, dok primjena dinamičkog monitoringa kod ocjene oštećenja konstrukcija predstavlja veliki izazov počevši od samog određivanja dinamičkih parametara. Kod primjene ocjene oštećenja konstrukcije treba biti vrlo oprezan jer utjecaj okoliša kao što je temperatura može promijeniti dinamičke parametre više nego samo oštećenje konstrukcije [2], [3].

Povećani interes za istraživanjem područja određivanja oštećenja na konstrukcijama pojavio se nakon niza kolapsa na raznim konstrukcijama počevši od avionskih nesreća, te raznih građevinskih konstrukcija. Do sada su poznata mnoga istraživanja iz područja određivanja oštećenja na linijskim modelima. Provedena su razna eksperimentalna i analitička istraživanja. Sistem određivanja oštećenja utvrdio je Rytter [4] te ga je klasificirao u nekoliko razina: 1. utvrđivanje postojanja oštećenja, 2. određivanje lokacije oštećenja, 3. određivanje veličine oštećenja, 4. predviđanje preostalog vijeka oštećenja.

Ukoliko određivanje oštećenja na konstrukcijama ne obuhvaća numerički model uglavnom se koristi razina oštećenja jedan i dva. Ukoliko se koristi numerički model veličina oštećenja može se odrediti u nekim slučajevima. Razina oštećenja četiri obuhvaća područje mehanike loma te analize životnog vijeka konstrukcije [5].

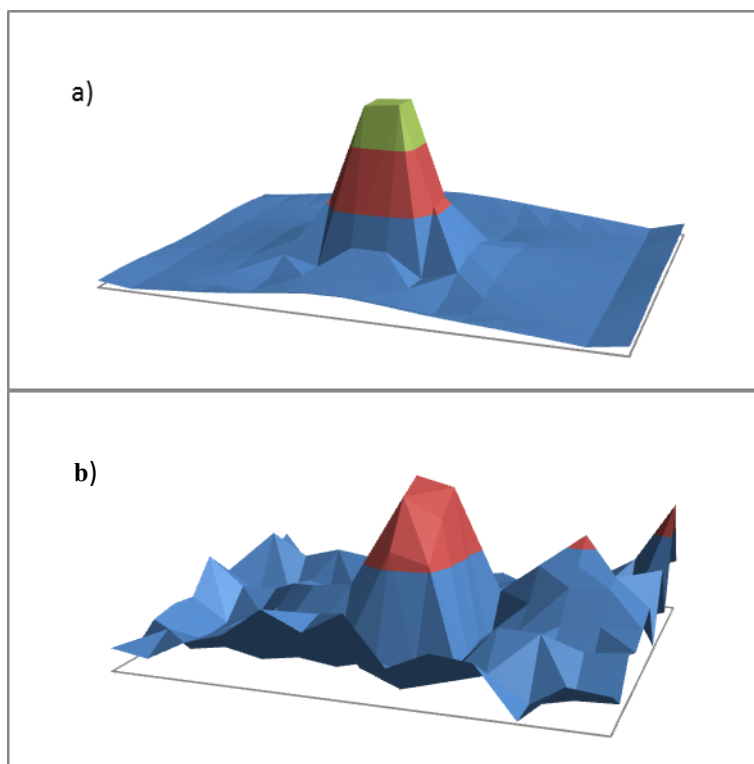
U ovom radu prikazati će se problem određivanja oštećenja na modelu armiranobetonske ploče. Koristeći osnovne dinamičke parametre oštećenje na konstrukciji može se odrediti uspoređujući dva stanja oštećeno i neoštećeno. Cilj istraživanja je određivanje oštećenja na armirano betonskoj ploči (Slika 1a) koja je slobodno oslonjena. Oštećenja na ploči nanositi će se kao diskretna ili kontinuirana. Simulacija oštećenja na eksperimentalnom modelu izvoditi će se izrezivanjem dijela betona u tlačnoj zoni ploče (Slika 1b).



**Slika 1.** Slobodno oslonjena ploča: a) pobuda; b) diskretno oštećenje

Za određivanje dinamičkih parametara broj senzora, njihov razmak i udaljenost od oštećenja mijenjat će se tijekom ispitivanja. Kao pobuda konstrukcije koristi će se inducirana pobuda udarnim čekićem. Za određivanje dinamičkih parametara koristi će se metoda operacionalne modalne analize. Uz eksperimentalno istraživanje provoditi će se numerička analiza oštećenja, gdje će se oštećenje na modelu simulirati kao redukcija poprečnog presjeka (konačnog elementa). Kod analiza oštećenja u radu će se prikazati prve dvije razine analize oštećenja: detekcija oštećenja i njeni položaj.

Postoje razne metode koje se mogu koristiti, a uspješno su istražene na linijskim modelima. Neke od postojećih metoda analizirat će u ovom radu te će biti primijenjene na modelu ploče. Kao primjerice promjena vlastite frekvencije, kriterij modalne ortogonalnosti, koordinatni kriterij modalne ortogonalnosti, promjena zakrivljenosti modalnih oblika i fleksibilnost. Primjer detekcije i položaja oštećenja na sredini ploče na numeričkom i eksperimentalnom modelu prikazan je na Slici 2.



**Slika 2.** Određivanje oštećenja: a) numerički; b) eksperimentalno

Prikazani rezultati ukazuju da određivanje oštećenja na numeričkom modelu imaju odličan potencijal pri detekciji oštećenja. Dok kod eksperimentalnog modela vrlo se teško može odrediti oštećenje s velikom sigurnošću. Posebno je teško odrediti oštećenja eksperimentalnim modelima zbog utjecaja raznih šumova u kanalima te problemima rubnih uvjeta. Stoga je cilj pri eksperimentalnom određivanju oštećenja smanjiti razne utjecaje koji mogu dovesti do krivog zaključka pri ocijeni oštećenja na plošnim konstrukcijama.

#### Literatura

- [1] Wang, Liang, Chan and H. T. Tommy, "Review of Vibration-Based Damage Detection and Condition Assessment of Bridge Structures using Structural Health Monitoring," The Second Infrastructure Theme Postgraduate Conference: Rethinking Sustainable Development: Planning, Engineering, Design and Managing Urban Infrastructure, Queensland University, p. 16, 2009.
- [2] D. Damjanović, "Utjecaj temperature na dinamičke parametre građevinskih konstrukcija," Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Doktorska disertacija, 2010.
- [3] C. R. Farrar, S. W. Doebling, P. J. Cornwell and E. G. Straser, "Variability of modal parameters measured on the Alamosa Canyon Bridge," in IMAC XV - 15th International Modal Analysis Conference, 1997, p. 8.
- [4] Rytter A.: Vibration Based inspection of Civil Engineering Structures, Department of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University, Doktorska disertacija, Danska, 1993.
- [5] S. W. Doebling, C. R. Farrar and M. B. Prime, "A Summaray Review of Vibration-based Damage Identification Methods," Identification Methods, The Shock and Vibration Digest, vol. 30, pp. 91–105, 1998.

# 14.

## MODELIRANJE PRONOSA ZAGAĐENJA U UŠĆU

**Morena Galešić (mgalesic@gradst.hr)**

Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije; Katedra za privrednu hidrotehniku

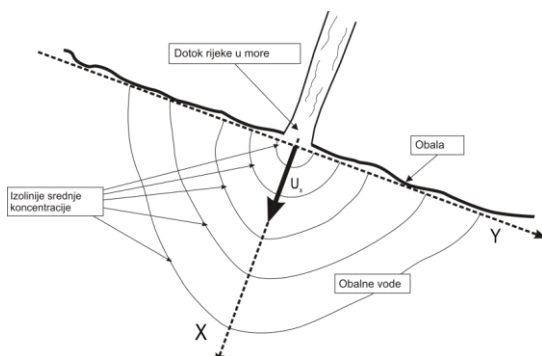
Eutrofikacija se definira kao povećana stopa proizvodnje i akumulacije organske tvari što rezultira smanjenjem kisika u vodi i nepoželjnim promjenama u ekosustavu [1]. Mnoge obalne vode su u opasnosti od eutrofikacije uzrokovane unosom različitih nutrijenata s kopna bilo da su oni nastali kao rezultat poljoprivrede, industrije ili otpadnih voda iz urbanih sredina. Rijeke i priobalni ispusti se smatraju jednim od najznačajnijih putova vodenog pronosa različite vrste zagađenja i kao takvi čine pripadajuća ušća kritičnim područjima s navedenog aspekta. Standardi ekološke kakvoće su definirani na osnovu učestalosti pojavljivanja najkritičnije tvari s obzirom na korištenje pripadne vode od strane Europske Komisije i najčešće su opisani graničnim koncentracijama određene tvari [2].

Ovo istraživanje bavi se problemom *bliske zone* miješanja neposredno uz ušće te opisom prostorne varijabilnosti koncentracije bilo koje konzervativne tvari koja se kontinuirano ispušta u obalno more. Miješanje u ušćima je rezultat kombinacije turbulentne difuzije na maloj skali te varijabilnosti advektivnog srednjeg polja brzina na većoj skali [3].

Koncept rada zasniva se na izvodu statističkih momenata iz osnovne advektivno-difuzne jednadžbe (1) za nestlačiv i stacionaran pronos konzervativne tvari u svrhu određivanja funkcije gustoće vjerojatnosti. U turbulentnim tokovima skalarna koncentracija je slučajna varijabla i zato je korišten statistički pristup prateći analognu metodologiju primijenjenu kod pronosa u atmosferi [4] i podzemlju [5].

$$\frac{\partial c(\mathbf{x}, t)}{\partial t} + \nabla \cdot [\mathbf{v}(\mathbf{x}, t) c(\mathbf{x}, t)] = e_m \nabla^2 c(\mathbf{x}, t) \quad (1)$$

Izrazi za momente u odsustvu molekularne difuzije su poznate funkcije srednje koncentracije, no ako se molekularna difuzija uključi izrazi su složeniji. Izvodi su izračunati uvođenjem niza pretpostavki. Zbog kontinuiranog izvora zagađenja (rijeke) proces je neovisan o vremenu, brzina je Reynoldsovom dekompozicijom rastavljena na srednju vrijednost i fluktuaciju, a bliska zona je omogućila aproksimacije da je molekularna difuzija jednaka nuli, te da se polje brzina može aproksimirati samo komponentom u smjeru tečenja  $\bar{\mathbf{v}}(\mathbf{x}, t) = U[U_x, 0, 0]$ . Predloženi 2D koncept je prikazan na Slici 1.



Slika 1. Shematski prikaz problema



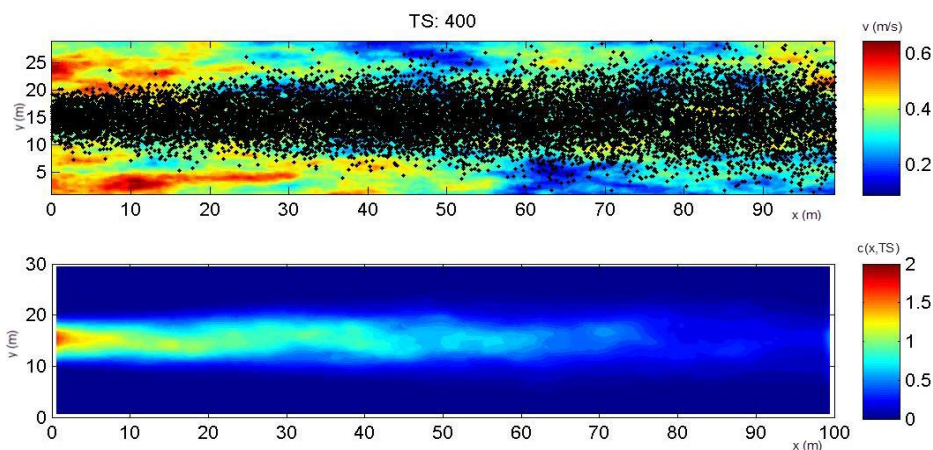
Slika 2. Točke mjerenih brzina (ušće Žrnovnice, Stobreč)

Posebno su izvedeni izrazi za momente s konstantnom brzinom kao i momenti za pojednostavljeni slučaj opadajuće brzine uslijed djelovanja valova, morskih struja i mijena koje može, iako u bliskoj zoni, ipak imati utjecaja.

Za potrebe testiranja i verifikacije opisanog postupka, izvršena su mjerenja na lokalnoj rječici Žrnovnica u Stobreču (Slika 2) te je izrađen numerički "random walk particle tracking" model (RANDYc) u Matlabu [6] za vršenje potrebnih simulacija pronosa. Mjerenje koncentracija i to višestrukih realizacija istih u uvjetima na terenu je otežano jer zahtjeva skupocjenu opremu. Uslijed navedenog, na terenu su točkasto mjerene brzine unutar i ispred

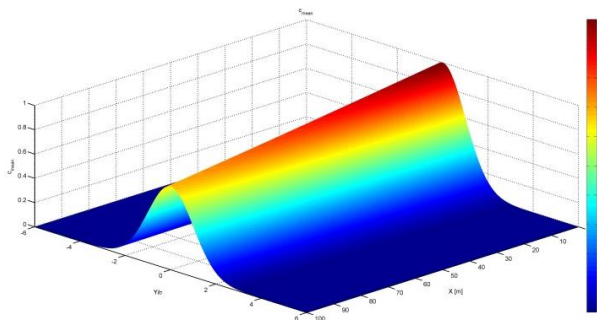
ušća korištenjem laboratorijskog krila (SEBA-Mini Current Meter M1) zbog značajne osjetljivosti istog i bilježenjem točne lokacije uz pomoć GPS uređaja. Ušće Žrnovnice je relativno plitko maksimalne dubine 1.2 m te kao i većina jadranskih ušća spada u ušća malih mijena, i izraženog klina soli koji dominira do površinskih 20% dubine. Vršena su dva mjerenja; jedno u zimskom (21/12/2013) i drugo u ljetnom razdoblju (01/07/2014), s tim da je u drugom mjerenju korištena i CTD sonda (SEBA Hydrometrie GmbH) upravo u svrhu određivanja prisutnog klina soli. Navedeno je pokazalo da se sav pronos zapravo i odvija veoma plitkim površinskim slojem (10-20 cm) gdje je slanost 1-3 ppm, a brzine u dubljim slojevima je bilo nemoguće i detektirati iako je početna brzina koju krilo može detektirati 0.025m/s.

Zanimljivo je za primijetiti da je bilo gotovo pa nemoguće detektirati brzinu okomitu na smjer toka jer su bile nezamjetno male (<2% od uzdužne brzine).

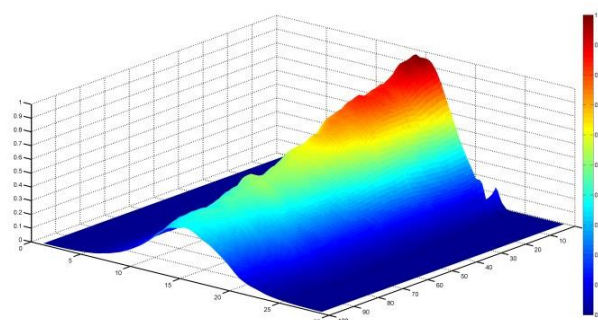


Slika 3. Primjer realizacije pronosa čestica u RANDYc modelu

Mjerenja su dala prostorno korelirano polje brzina iz čijeg variograma je određena korelaciona duljina polja i pripadajuća standardna devijacija. Koristeći navedene parametre i upotrebom softvera Hydro\_gen [7] za generiranje slučajnih koreliranih polja izvedeno je 1000 random walk simulacija od kojih je primjer jedne realizacije dan na Slici 3.



Slika 4. Analitički dobivena srednja koncentracija za slučaj smanjenja brzine



Slika 5. Numerički dobivena srednja koncentracija

Opisano istraživanje je trenutno u postupku verifikacije i kalibracije parametara između analitičkog i numeričkog modela baziranog na mjerenim brzinama, ali kao što se može vidjeti sa Slike 4 i Slike 5, srednja koncentracija ili prvi moment pokazuje vrlo dobru kvalitativnu sličnost. Može se zaključiti da će adekvatno kalibriran analitički model zajedno s višim momentima predstavljati korisnu brzu procjenu varijabilnosti koncentracija u ušću, a zatim posredno i procjenu osjetljivosti promatranog akvatorija na eutrofikaciju.

#### Literatura

- [1] Rabalais, N.N.: Global change and eutrophication of coastal waters, *ICES Journal of Marine Science*, 2009., pp. 1-10.
- [2] Ganoulis, J.: *Risk Analysis of Water Pollution*, Wiley-VCH, Weinheim, 2009.
- [3] Fischer, H.B. et al.: *Mixing in Inland and Coastal Waters*, Academic Press, San Diego, 1979.
- [4] Sullivan, P.J.: The influence of molecular diffusion on the distributed moments of scalar PDF, *Environmetrics*, Vol. 15, 2004., pp. 173-191.
- [5] Andricevic R.: Exposure concentration statistics in the subsurface transport, *Advances in Water Resources*, Vol. 31, 2008., pp. 714-725.
- [6] Mathworks. Matlab. Natick, 2013.
- [7] Bellin, A., Rubin, Y.: Hydro\_gen: A New Random Field Generator for Correlated Properties. Geotechnical Engineering Report, No. UCB/GT/94-04, 1997.



# 15.

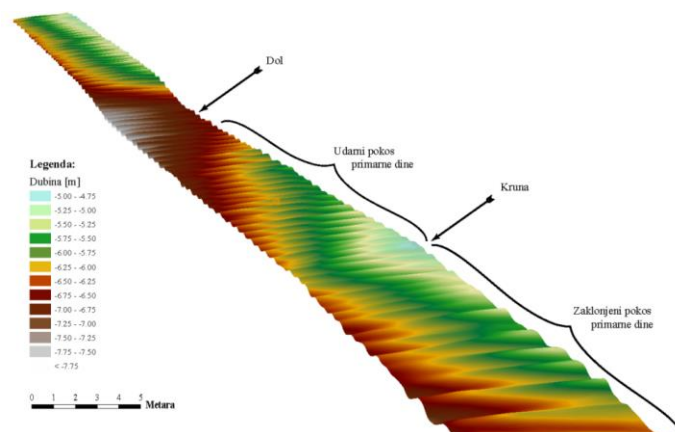
## MORFODINAMIČKA ANALIZA POLJA DINA

**Gordon Gilja (ggilja@grad.hr)**

*Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet; zavod za hidrotehniku*

Kretanje dina se svojom kompleksnošću ističe među mnogobrojnim morfodinamičkim procesima koji se odvijaju u riječnom koritu zbog utjecaja na pronos nanosa, karakteristike tečenja, podlokavanje obale te zaštitu zemljišta i infrastrukturnih objekata. Praćenje i mjerenje karakteristika polja ili pojedinačnih dina nije dio standardnog hidrološkog monitoringa. Njihova prisutnost može biti opažena tijekom mjerenja profila brzine, no za kompletno mapiranje riječnog korita potrebno je korištenje specijalizirane akustičke opreme i opsežne obrade podataka. Iz navedenih razloga istraživanja morfodinamike dina su većinom provedena u laboratorijskim uvjetima te su izvedeni zaključci rijetko potvrđeni terenskim istraživanjima [1]-[4].

Procese erozije i zasipanja u riječnim koritima uvjetuje interakcija turbulentnog toka, pronosa nanosa i dina između kojih postoji sustav povratnih veza [5]. Brojna istraživanja, laboratorijska i terenska, pokazala su da kada se vučeni nanos kreće preko dna prekrivenog dinama njihova brzina migracije uvjetuje pronos vučenog nanosa. Iako je prepoznata važnost migrirajućih dina za morfodinamiku riječnog okoliša kroz geomorfologiju, hidrauliku i sedimentologiju do sada nisu definirani opći teoretski pristupi kojima bi se mogle predvidjeti njihove karakteristike [6]. Ova disertacija istražuje primjenjivost brzine pokretnog dna kao argumenta u empirijskim obrascima za brzinu migracije i geometrijskih karakteristika superponiranih dina. Opravdanost upotrebe brzine pokretnog dna u empirijskim zavisnostima je njena neposredna veza s dinamikom vučenog nanosa koji je generator nastanka i migracije dina. Definiranje zavisnosti karakteristika superponiranih dina s brzinom pokretnog dna predstavlja novost u pristupu gospodarenju prirodnim vodotocima i omogućava produbljivanje razumijevanja fizikalnih procesa koji se odvijaju u koritu.

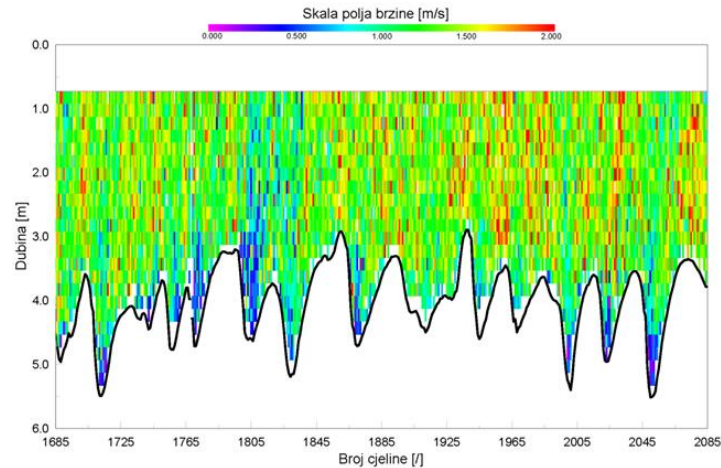


**Slika 1.** Snimljeni digitalni model terena riječnog korita

Predmet ovog istraživanja je polje dina u donjem toku rijeke Drave kod Nemetina na kojem su istraživane karakteristike polja dina i pripadajućeg toka preko njih te sekundarnih tokova induciranih pojavom turbulencije. Obradom istovremeno prikupljenih podataka o trodimenzionalnom polju tečenja i batimetriji polja dina na predmetnoj dionici dan je uvid u morfodinamičke procese u prirodnom okruženju na temelju čega su identificirani nedostaci i ograničenja konvencionalno korištenih empirijskih metoda za opis karakteristika dina. Karakteristike polja tečenja opisane su prostornim i vremenskim serijama snimanim u 24 navrata na 24 kontrolna profila pomoću akustičkog strujomjera (ADCP), dok je batimetrija polja dina prikupljena višesnopnim dubinomjerom (MBES) na uzdužnom profilu predmetne dionice u 10 navrata. Za analizu su korištene pojedinačne karakteristike dina, što podrazumijeva identifikaciju pojedinačne dine u kontinuiranom zapisu uzdužnog profila i matematičku obradu njene geometrije u svrhu izračuna geometrije i brzine migracije [7]-[9]. Određivanje brzine pokretnog dna također nije moguće direktnim postupkom, već se ona računa iz razlike vektora kretanja brodice u dvjema zasebnim koordinatnim sustavima. Za obradu prikupljenih podataka u ovom radu razvijene su metode za izračun brzine

pokretnog dna i prepoznavanja uzorka karakteristika dina iz baze prikupljenih podataka [10]. Ove metode pretočene su u algoritme i sjedinjene u softver koji služi kao alat pri analizi rezultata.

Zavisnosti između karakteristika dina (visine, duljine, strmosti i brzine migracije) i karakteristika toka (dubine toka, srednje brzine u smjeru toka, pridnene brzine u smjeru toka, Froudeovog broja, normaliziranog jediničnog protoka, jedinične snage toka, viška Shieldsovog napreznja, Reynoldsovog kinematičkog napreznja, transportnog parametra, intenziteta turbulencije i turbulentne kinetičke energije) istraživane su statističkim metodama regresije i korelacije. U empirijske zavisnosti uvedena je varijabla brzine pokretnog dna kao argument i uspoređena njena kvaliteta u odnosu na konvencionalno korištene parametre. Analize su provedene pojedinačno na svakom karakterističnom profilu i na grupiranim podacima za cijelu dionicu [11].



**Slika 2.** Isječak iz uzdužnog snimka polja brzine

Izvedeni zaključci temeljeni na rezultatima analiza opovrgavaju pojedine teorije izvedene u laboratorijskim uvjetima i otkrivaju manjkavosti istraživanja dinamike dina u uvjetima čiste vode i nepokretnih korita. Ispunjavanjem postavljenih ciljeva pokazano da se brzina pokretnog dna znatno bolje opisuje karakteristike polja dina od parametara toka, a raspon njene veličine je znatno veći od raspona u kojem se javljaju ostali parametri toka što omogućuje istraživanje definiranih zavisnosti u kojima ona figurira sa suptilnijim promjenama i većom diskretizacijom. U radu je razvijena sveobuhvatna metoda opisa karakteristika polja dina te predstavljeni obrasci na temelju kojih je moguće odrediti karakteristike polja dina na temelju snimaka polja brzine. Iznalaženje poveznice između parametara toka i karakteristika dina popunjava prazninu u poznavanju njihove interakcije, unaprjeđuje prepoznavanje vladajućih parametara pri migraciji dina i omogućuje jednostavnu procjenu količine pronosa vučenog nanosa.

#### Literatura

- [1] Mazumder, R.: Sediment transport, aqueous bedform stability and morphodynamics under unidirectional current: a brief overview, *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 36, 2003., pp. 1-14.
- [2] Parker, G.: 1D Sediment Transport Morphodynamics with applications to Rivers and Turbidity Currents, University of Illinois, Illinois, 2006.
- [3] van Rijn, L.C.: Sediment Transport, Part III: Bed Forms and Alluvial Roughness, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 110, No. 12, 1984., pp. 1733-1754.
- [4] Warmink, J.J., Schielen, R.M.J., Dohmen-Janssen, C.M.: Bed form evolution under unsteady discharge, flume versus field - NCR-days, Editor: Schielen, R., Arnhem, Nederlands Centrum voor Rivierkunde, 2012., pp. 79-82.
- [5] Balachandar, R., Reddy, H.P.: Bed Forms and Flow Mechanisms Associated with Dunes - Sediment Transport - Flow Processes and Morphology, Editor: Bhuiyan, F., In Tech, 2011., pp. 35-68.
- [6] Venditti, J.G., Church, M.A., Bennett, S.J.: Morphodynamics of small-scale superimposed sand waves over migrating dune bed forms, *Water Resources Research*, Vol. 41, 2005.
- [7] Dinehart, R.L.: Bedform movement recorded by sequential single-beam surveys in tidal rivers, *Journal of Hydrology*, Vol. 258, 2002., pp. 25-39.
- [8] van der Mark, C.F., Blom, A., Hulscher, S.J.M.H.: Quantification of variability in bedform geometry, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 113, 2008.
- [9] Wren, D.G., Kuhnle, R.A.: Measurements of coupled fluid and sediment motion over mobile sand dunes in a laboratory flume, *International Journal of Sediment Research*, Vol. 23, 2008., pp. 329-337.
- [10] Gilja, G., Kuspilić, N., Brckan, B.: Computer algorithm for analysis of bedform geometry - Proceedings of the Thirteenth International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Editors: Šoltész, A., Stanko, Š., Škultétyová, I., Slovak University of Technology in Bratislava, 2013., pp. 129-138.
- [11] Giri, S., Shimizu, Y.: Numerical computation of sand dune migration with free surface flow, *Water Resources Research*, Vol. 42, No. 10., 2006.

# 16.

## MJEŠOVITA FORMULACIJA U ANALIZI GREDE NA ELASTIČNOJ PODLOZI

Vedran Jagodnik<sup>1</sup>, Gordan Jelenić<sup>2</sup>

Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet; <sup>1</sup>Katedra za geotehniku; <sup>2</sup>Katedra za tehničku mehaniku

Teorija grede na elastičnoj podlozi i dalje se široko primjenjuje unatoč dostupnosti velikog broja sofisticiranih računalnih programa na tržištu koji omogućuju realnije modeliranje interakcije tla i konstrukcije. Tlo se u ovom slučaju modelira kao niz opruga određene krutosti. Jednostavnost ovakvog modeliranja čini pristup manje računalno zahtjevan, a rezultati koji proizlaze iz analize daju relativno bliske vrijednosti ponašanja u stvarnosti. Vrlo često se gredni konačni element i konačni element opruge promatraju kao zasebni elementi prilikom formiranja globalne matrice krutosti sustava.

U radu će se razmotriti ravna greda duljine  $L$  i konstantnog poprečnog presjeka te krutosti  $EI$  opterećena proizvoljnim opterećenjem koja je slobodno položena na tlo čija reakcija  $f(x) = k w(x)$  djeluje na promatranu gredu. Funkcija  $f(x)$  proporcionalna je modulu reakcije tla,  $k$ , i pomaku grednog nosača  $w(x)$  (pretpostavka Winklerovog modela tla). Slika 1 prikazuje jedan takav analizirani gredni element, dok je jednadžbom (1) definirana diferencijalna jednadžba nosača.

$$EI w^{iv}(x) + k w(x) = q(x) \quad (1)$$

Već poznatu matricu krutosti Bernoullijevog konačnog elementa moguće je dobiti i korištenjem Timoškove gredne teorije primjenom Hellinger-Reissnerovoga [1] varijacijskog pristupa, pritom uzimajući u obzir beskonačnu krutost na smicanje. Za interpolaciju pomaka i rotacija u čvorovima koristi se kvadratna interpolacijska funkcija dok se za funkciju oblika za poprečne sile koristi linearna interpolacija, a pretpostavlja se da je poprečna sila konstantna. Na taj način se izbjegava fenomen "shear-locking". Ukoliko statički kondenziramo stupnjeve slobode srednjeg čvora matrica krutosti definiranog Timoshenkovog elementa postaje jednaka matrici krutosti Bernoullijevog konačnog elementa. Tablicom 1 prikazani su izrazi energije deformacije, jednadžbe formuliranja matrice krutosti od tla te sama matrica krutosti tla primjenom Hellinger-Reissnerovoga [1] varijacijskog pristupa.

Ponašanje pojedinih formulacija analizirano je na modelu horizontalno opterećenog pilota, prikazanog na Slici 2. Pilot je modeliran kao ravna greda duljine  $L = 3$  m, širine i visine  $0.3$  m te krutosti  $EI = 21262.5$  kNm<sup>2</sup>, te opterećen silom u glavi pilota  $P = 1$  kN. Dobiveni rezultati normalizirani su sa sa vrijednostima pomaka dobivenim iz analitičkog izraza prema Hetenyiju [3]:

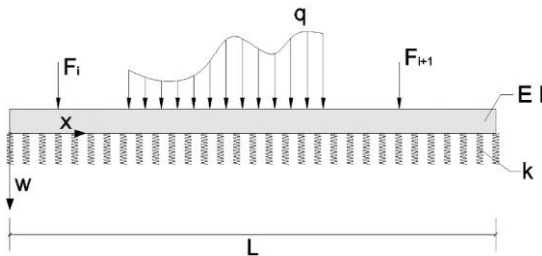
$$\bar{w} = \frac{P \cdot L^3}{2 \cdot \beta^{3/4} \cdot EI} \cdot \frac{\sinh(2\sqrt[4]{\beta}) - \sin(2\sqrt[4]{\beta})}{\cos(2\sqrt[4]{\beta}) + \cosh(2\sqrt[4]{\beta}) - 2} \quad (2)$$

gdje je  $\beta = (kL^4)/(4EI)$ , a označava parametar tla. Rezultati četiri navedene formulacije uspoređeni su na Slici 3, gdje je prikazana ovisnost normaliziranog pomaka o parametru  $\beta$ . Za ilustraciju  $\beta = 1$  predstavlja slabo zbijeni pijesak,  $\beta = 5$  krutu glinu,  $\beta = 10$  srednje zbijeni pijesak,  $\beta = 50$  vrlo zbijeni šljunak,  $\beta = 100$  slabu stijensku masu, a  $\beta = 500$  predstavlja krutu stijensku masu.

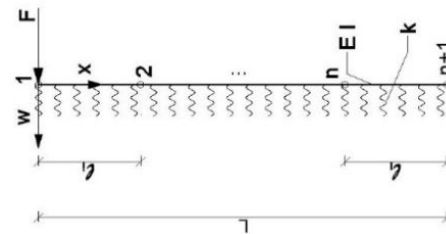
Na primjeru horizontalno opterećenog pilota jasno se može uočiti da je interpolacija s tri polja točnija od interpolacije s jednim poljem, a ako promatramo deformaciju opruge i funkciju reakcije tla kao zasebne funkcije, možemo zaključiti da je interpolacija sa četiri polja bolja od interpolacije sa dva polja.

**Tablica 1.** Veza između načina interpolacije i matrica krutosti

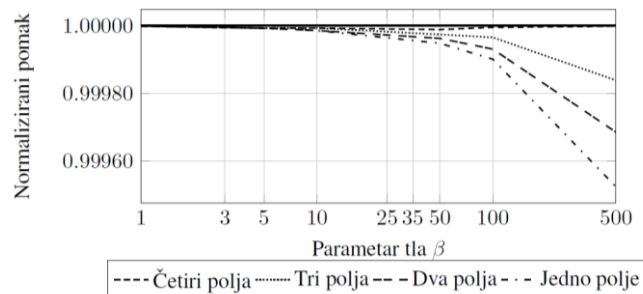
| Način interpolacije  | Energija deformacije  | Formulacija matrice krutosti   | Matrica krutosti od tla   |
|--|---|--|---|
| Interpolacija polja pomaka   | $V_{def} = \frac{1}{2} \int_0^L (EIw''^2 + kw^2) dx$  | $K_{S,i} = \int_{-1}^1 \frac{kl_i}{2} N_i^t N_i d\xi$  | $K_{S,i} = kl_i \begin{bmatrix} \frac{13}{35} & -\frac{11}{210}l_i & \frac{9}{70} & \frac{13}{420}l_i \\ -\frac{11}{210}l_i & \frac{1}{105}l_i^2 & -\frac{13}{420}l_i & -\frac{1}{140}l_i^2 \\ \frac{9}{70} & -\frac{13}{420}l_i & \frac{13}{35} & \frac{11}{210}l_i \\ \frac{13}{420}l_i & -\frac{1}{140}l_i^2 & \frac{11}{210}l_i & \frac{1}{105}l_i^2 \end{bmatrix}$ |
| Interpolacija polja pomaka i reakcija  | $V_{def}^* = \frac{1}{2} \int_0^L EIw''^2 dx + \int_0^L fwdx - \frac{1}{2k} \int_0^L f^2 dx$  | $K_{S,i} = -K_{bf,i} K_{f,i}^{-1} K_{bf,i}^t$<br>$K_{bf,i} = \frac{l_i}{2} \int_{-1}^1 N_i^t N_{f,i} d\xi$<br>$K_{f,i} = -\frac{l_i}{2k} \int_{-1}^1 N_{f,i}^t N_{f,i} d\xi$ | $K_{S,i} = \frac{kl_i}{1800} \begin{bmatrix} 666 & -93l_i & 234 & 57l_i \\ -93l_i & 14l_i^2 & -57l_i & -11l_i^2 \\ 234 & -57l_i & 666 & 93l_i \\ 57l_i & -11l_i^2 & 93l_i & 14l_i^2 \end{bmatrix}$  |
| Interpolacija polja pomaka, rotacije presjeka i poprečnih sila               | $V^* = \frac{1}{2} \int_0^L EI\theta'^2 dx + \int_0^L (w' + \theta) T dx - \frac{1}{2} \int_0^L \frac{T^2}{GA} dx + \frac{1}{2} \int_0^L kw^2 dx - U$                           | $K_{S,i} = \frac{kl_i}{2} \int_{-1}^1 N^t \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} N d\xi$   | $K_{S,i} = \frac{kl_i}{6} \begin{bmatrix} 2 & -\frac{l_i}{4} & 1 & \frac{l_i}{4} \\ -\frac{l_i}{4} & \frac{l_i^2}{20} & -\frac{l_i}{4} & -\frac{l_i^2}{20} \\ 1 & -\frac{l_i}{4} & 2 & \frac{l_i}{4} \\ \frac{l_i}{4} & -\frac{l_i}{20} & \frac{l_i}{4} & \frac{l_i^2}{20} \end{bmatrix}$   |
| Interpolacija polja pomaka, rotacije presjeka, poprečnih sila i reakcija tla | $V^* = \frac{1}{2} \int_0^L EI\theta'^2 dx + V_{def} - \int_0^L (w' + \theta) T dx - \frac{1}{2} \int_0^L \frac{T^2}{GA} dx + \int_0^L fwdx - \frac{1}{2k} \int_0^L f^2 dx - U$ | $K_{S,i} = -K_{bf,i} K_{f,i}^{-1} K_{bf,i}^t$<br>$K_{bf,i} = \frac{l_i}{2} \int_{-1}^1 N_i^t N_{f,i} d\xi$<br>$K_{f,i} = -\frac{l_i}{2k} \int_{-1}^1 N_{f,i}^t N_{f,i} d\xi$ | $K_{S,i} = \frac{kl_i}{144} \begin{bmatrix} 48 & -6l_i & 24 & 6l_i \\ -6l_i & l_i^2 & -6l_i & -l_i^2 \\ 24 & -6l_i & 48 & 6l_i \\ 6l_i & -l_i^2 & 6l_i & l_i^2 \end{bmatrix}$   |



**Slika 1.** Model grede na elastičnom tlu [2]



**Slika 2.** Shematski prikaz model horizontalno opterećenog pilota [2]



**Slika 3.** Normalizirani pomaci u glavi pilota

### Literatura

- [1] Timoshenko, S.: *Strength of Material, Part 1: Elementary Theory and Problems*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1958.
- [2] Jagodnik, V., Jelenić, G., Arbanas, Ž.: On application of mixed finite-element approach to beam--soil interaction, *Acta Geotechnica Slovenica*, Vol. 10, No. 2, 2013., str. 15-27.
- [3] Hetenyi, M.: *Beams on Elastic Foundation*, University of Michigan Press: Ann Arbor, Michigan, 1964.



# 17.

## NUMERIČKI MODEL USLOJENOG TEČENJA U STRATIFICIRANOM ESTUARIJU: PROBLEMI I MOGUĆNOSTI

*Nino Krvavica (nino.krvavica@gradri.uniri.hr)*

*Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet; Katedra za hidrotehniku*

Estuarij je u hidrauličkom smislu prijelazno područje na kojem rijeka utječe u more, a slatka se voda miješa sa slanom. Uslijed razlike u gustoći, slatka voda teče nizvodno prema ušću iznad sloja morske vode koja prodire po dnu vodotoka uzvodno. Ovisno o intenzitetu miješanja slane i slatke vode, estuarij može biti potpuno izmiješan, djelomično izmiješan ili se može formirati „slani klin“. Strukturu saliniteta u obliku klina karakterizira vrlo slabo turbulentno miješanje među slojevima te izrazita vertikalna stratifikacija s prisutnim haloklinom (diskontinuitet saliniteta), odnosno piknoklinom (diskontinuitet gustoće). Ovakav tip estuarija se formira na područjima s relativno velikim protocima slatke vode te s vrlo malim amplitudama plimnih oscilacija, tzv. mikrotajdalnim morima.

Interakcija slane i slatke vode je u svojoj naravi vrlo kompleksan hidrodinamički problem s mnogim još uvijek nedovoljno razjašnjenim procesima [1]. Pristupa ima mnogo; osim raznolikih empirijskih izraza i ispitivanja na fizikalnim modelima, danas se ponajviše koriste jedno- ili više-dimenzionalni numerički modeli. Iako se po karakteristikama mogu i značajnije razlikovati, zajednička im je nezaobilazna potreba za kalibracijom, odnosno terenskim mjerenjima pojedinih hidrauličkih parametara [1]. U ovom je radu naglasak stavljen na primjenu 1D numeričkih modela te probleme koji se susreću pri pokušaju što realnijeg opisa procesa koji se odvijaju u stratificiranom estuariju.

Tečenje u otvorenim koritima se najčešće opisuje Saint-Venantovim jednadžbama [2]:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = -gAS_f \quad (2)$$

gdje je  $A$  površina poprečnog presjeka,  $Q$  protok,  $h$  razina vode,  $S_f$  pad energetske linije,  $t$  vremenska varijabla,  $x$  prostorna varijabla.

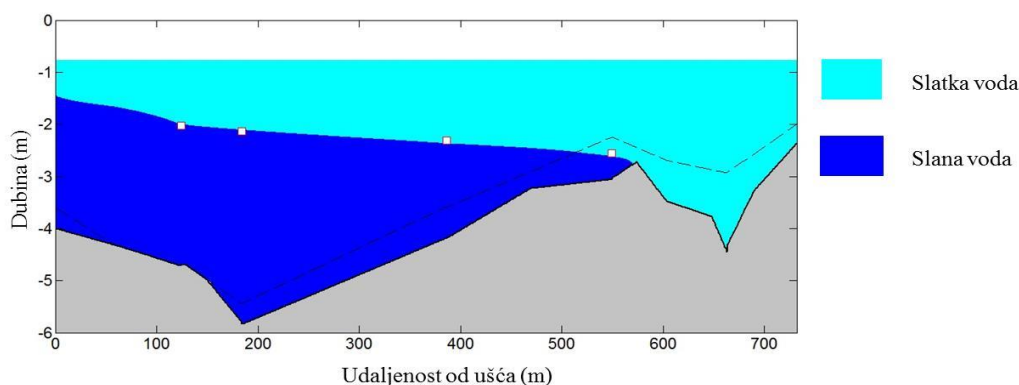
Jedan od prvih numeričkih modela zasnovanih na navedenom sustavu jednadžbi razvili su Schijf i Schonfeld 1953. godine [3]. Uz pretpostavku dva homogena sloja različitih gustoća te trenja na razdjelnici slojeva promatrali su stacionarno stanje kako bi izračunali konačni oblik slanog klina. Ovaj tip modela je duži niz godina bio u upotrebi, sve do 1987. kada su Arita i Jirka objavili rad [4] u kojem daju prvu značajniju kritiku, odnosno modifikaciju, ovog dvoslojnog modela. Naime, na osnovu niza izmjerenih vertikalnih profila brzina zaključili su kako (a) nije opravdano zanemariti dinamiku donjeg sloja (što proizlazi iz stacionarnog oblika Saint-Venantovih jednadžbi za dva sloja) te (b) koeficijent trenja među slojevima, koji ponajviše uvjetuje oblik klina, je tek kalibracijski parametar bez pravog fizikalnog značaja. U tom se istom periodu veći broj autora [4] bavio detaljnijim analiziranjem trenja među slojevima i pokušajem definiranja odgovarajućeg dijagrama - ekvivalentnog Moodyevom dijagramu kod tečenja u cijevima. Iako su provedeni eksperimenti bili vrlo detaljni i podrobni, vršeni su na laboratorijskoj skali. Nažalost, pri usporedbi s terenskim mjerenjima bila su primjetna i veća odstupanja ili rasipanja.

S druge strane, izrada numeričkog modela nestacionarnog tečenja u otvorenim koritima je samo po sebi već dovoljno kompleksan problem, posebice kada su prisutne nagle promjene dubine ili brzine vode. U novije vrijeme sve je veći broj različitih „*shock capturing*“ metoda [5] koji u potpunosti ili djelomično rješavaju problem pojave diskontinuiteta, poput primjerice vodnog skoka. Kod dvoslojnih i višeslojnih modela, osim problema transkritičnog tečenja, javlja se i problem gubitka hiperbolnog karaktera parcijalnih diferencijalnih jednadžbi, što se u fizikalnom smislu karakterizira kao pojava lokalne nestabilnosti na razdjelnici slojeva te razvoj Kevin-Helmholtzovih valova [6]. Dakle, kako bi se uspješno modelirala dinamika unutar stratificiranog estuarija, odnosno kako bi se odredio oblik slanog klina duž estuarija pri vremenski varijabilnim parametrima, potrebno je razriješiti nekoliko vrlo bitnih pitanja:

1. Čemu sve ovisi i na koji način odrediti odgovarajuće koeficijente trenja među slojevima?
2. Kako definirati nizvodni rubni uvjet, tj. odnos dubina slojeva na mjestu ulijevanja rijeke u more?

3. S koliko slojeva je optimalno modelirati stratificirani estuarij?
4. Koji numerički modeli pouzdano i stabilno rješavaju problem transkritičnog tečenja?
5. Na koji način riješiti problem gubitka hiperbolnog karaktera PDE, odnosno pojave nestabilnosti među slojevima?

U pokušaju da se ponude odgovori na neka od ovih pitanja, proveden je niz mjerenja na ušću Rječine u periodu od godinu dana, te je izrađen veći broj analiza i usporedbi s nekoliko numeričkih modela. Tijekom navedenog istraživanja, pokazalo se kako dvoslojni model relativno uspješno opisuje stacionarni oblik slanog klina pri različitim protocima Rječine i razinama mora, ali uz kalibraciju koeficijenta trenja (Slika 1) [7]. S druge strane, niti jedan od dostupnih dijagrama ili izraza za određivanje navedenog koeficijenta nije primjenjiv na ušće Rječine, čak štoviše, neki dijagrami ukazuju na posve suprotan trend. Iako se došlo do određenih novih spoznaja korelacijom koeficijenta trenja i Frouudovog broja na ušću Rječine, dobivene rezultate nije moguće sa sigurnošću ekstrapolirati i na ostale rijeke. Također, potvrdila se i pretpostavka kako na mjestima naglih promjena geometrije korita (suženja ili proširenja) postoji tzv. "hydraulic control point" gdje se jednoznačno može odrediti odnos dubina slojeva poznavajući Frouudove brojeve, što može poslužiti kao dobra osnova za definiranje nizvodnog rubnog uvjeta [8].



**Slika 4.** Rezultati dvoslojnog stacionarnog modela na ušću Rječine

Uz spomenuti stacionarni dvoslojni model, izrađen je i troslojni model koji u usporedbi s izmjerenim vrijednostima pokazuje bolje rezultate od dvoslojnog, posebice na potezima korita s izrazito promjenjivom geometrijom [9]. Također su se potvrdila i ograničenja jednostavnijih numeričkih metoda, poput metode konačnih razlika (Runge-Kutta i implicitna trapezna metoda [2]), pri pojavi diskontinuiteta, odnosno transkritičnog tečenja, kada model postaje nestabilan. Razvidno je kako jedino naprednije numeričke metode mogu uspješno nadići spomenuta ograničenja kod kompleksnih višeslojnih sustava. Uvažavajući navedeno, izrađen je i nestacionarni dvoslojni model temeljen na metodi konačnih volumena, tj. aproksimativnom Riemannovom solveru [6], pomoću kojeg se na nekoliko realnih primjera pokazalo kako je moguće uspješno savladati pojavu internih ili eksternih diskontinuiteta.

Pojava nestabilnosti među slojevima ostaje problem koji je još potrebno riješiti, vrlo vjerojatno na način da se u model ugrade lokalni gubici, miješanje među slojevima ili pak korištenjem modela s više slojeva. Jednom kada se i taj problem riješi te detaljnije analizira trenje među slojevima, bit će postavljeni dobri temelji za izradu cjelovitog i pouzdanog numeričkog modela koji će omogućiti detaljniju analizu hidrodinamičkih procesa unutar stratificiranog estuarija.

#### Literatura

- [1] Van der Tuin, H.: *Guidelines on the study of seawater intrusion into rivers*, UNESCO, Paris, France, 1991.
- [2] Szymkiewicz, R.: *Numerical Modeling in Open Channel Hydraulics*, Springer Science & Business Media, 2010.
- [3] Schijf, J.B., Schonfeld, J.C.: Theoretical Considerations on the Motion of Salt and Fresh Water, Proceedings of Minnesota International Hydraulics Convention. Minnesota, USA, 1953.
- [4] Arita, M., Jirka, M.: Two-Layer Model of Saline Wedge, Part I & II, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.113, No.10, 1987. pp 1229-1263
- [5] LeVeque, R.J.: *Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems*, Cambridge University Press, 2002.
- [6] Castro, M.N, Garcia-Rodriguez, J.A., Gonzales-Vida, J.M., Macias, J., Peres, C., Vasquez-Cendon, M.E.: Numerical simulation of two-layer shallow water flows through channels with irregular geometry, *Journal of Computational Physics*, Vol. 195, 2004. pp 202-235.
- [7] Krvavica, N., Travaš, V., Ravlič, N., Ožanić, N.: Hydraulics of stratified two-layer flow in Rječina Estuary. Landslides and flood hazard assessment, Zagreb, 2013. pp 72.
- [8] Krvavica, N., Mofardin, B., Ružić, I., Ožanić, N.: Mjerenje i analiza zaslanjivanja na ušću Rječine, *Građevinar*, Vol 64., 2012., pp 923-933.
- [9] Krvavica, N., Travaš, V., Ožanić, N.: Troslojni numerički model stacionarnog tečenja u stratificiranom estuariju, Zbornik radova šestog susreta Hrvatskog društva za mehaniku, Rijeka, 2014. pp 111-116.

# 18.

## ANALITIČKO I EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE STAROGA MOSTA U MOSTARU

**Mladen Kustura** ([mladen.kustura@gfmo.ba](mailto:mladen.kustura@gfmo.ba))

*Sveučilište u Mostaru; Građevinski fakultet*

### Sažetak:

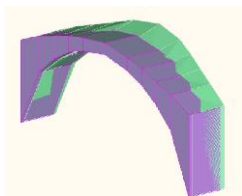
Članak ukratko opisuje ispitivanja provedena na Starom mostu u Mostaru. Kako bi saznali sve pojedinosti seizmičkog ponašanja mosta provedena su eksperimentalna ispitivanja metodom ambijentalnih vibracija kako bi definirali osnovne dinamičke karakteristike – vlastite frekvencije, tonovi osciliranja, koeficijente prigušenja. Numerička analiza mosta uređena je u programu Tower 3D gdje su razmatrani različiti slučajevi opterećenja. Usporedbom rezultata dobivenih eksperimentalnim ispitivanjem i numeričkom analizom može se vidjeti sličnost istih. Dobiveni rezultati predstavljaju dobru podlogu za daljnja istraživanja ovoga spomenika kulturne baštine.

### Uvod

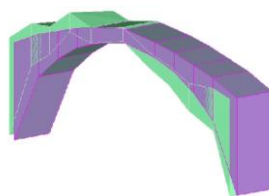
Predmet istraživanja ovoga rada je Stari most u Mostaru, objekt graditeljskog naslijeđa pod zaštitom UNESCO-a. Da bi utvrdili stvarno stanje na mostu smo proveli eksperimentalna istraživanja metodom ambijentalnih vibracija. Za mjerenje i registraciju ambijentalnih vibracija konstrukcije primjenjuje se sustav seizmometara, amplifajera i rekordera. Usporedo je rađena i matematička analiza suvremenim softverom Tower 6.0. Na ova dva načina su određene dinamičke karakteristike mosta koje uspoređujemo sa odgovarajućim karakteristikama iz projekta rekonstrukcije mosta te zaključujemo razinu izvedbe i rekonstrukcije građevine.

### Eksperimentalna ispitivanja

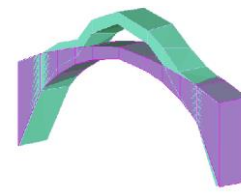
Stari most je ispitivan metodom ambijentalnih vibracija, mjerene su vibracije u karakterističnim točkama uzduž mosta, a zatim je vršena obrada snimljenih signala kako bi se odredile dinamičke karakteristike. Za mjerenje i registraciju ambijentalnih vibracija konstrukcije primjenjuje se sistem seizmometara, amplifajera i rekordera. Seizmometri su se postavljali za horizontalne pravce uzduž osi i okomito na os mosta te za vertikalni pravac. Izvršeno je 88 mjerenja uključujući i test dinamičke kalibracije, a snimanje podataka vršeno je u trajanju od 100 sekundi pri testnoj frekvenciji od 200 čitanja u sekundi. Dobiveni rezultati prikazani su na sljedećoj slici:



$f= 7,6\text{Hz}$  (transverzalni pravac)



$f= 11,43\text{Hz}$  (longitudinalni pravac)

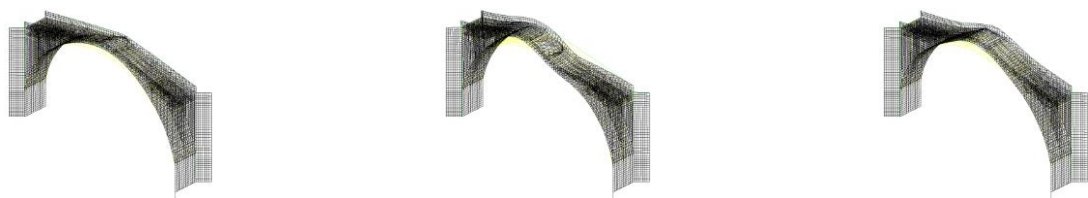


$f= 13,96\text{Hz}$  (vertikalni pravac)

**Slika 1.** Oblici osciliranja dobiveni eksperimentalnim ispitivanjem

### Numerička analiza konstrukcije

Proračun je izveden u programskom paketu Tower. Uvjeti opterećenja i njihove kombinacije definirani su prema Eurocode 1, a za definiranje seizmičkog opterećenja koristimo Eurocode 8. Izvršen je proračun na bazi linearno-elastičnog ponašanja konstrukcije. Seizmička djelovanja izračunavaju se modalnom analizom i projektnim spektrom ubrzanja. Oblici osciliranja dobiveni numeričkom analizom konstrukcije prikazani su na sljedećim slikama:



$f = 7,25\text{Hz}$  (transverzalni pravac)

$f = 10,52\text{Hz}$  (longitudinalni pravac)

$f = 13,12\text{Hz}$  (vertikalni pravac)

**Slika 2.** Oblici osciliranja dobiveni numeričkom analizom

### Verifikacija modela mosta na osnovu dobivenih eksperimentalnih rezultata

Analiza ponašanja Staroga mosta provedena u programskim paketima Tower 6.0 i kao i programu Ansys, korištenom pri izradi projekta rekonstrukcije mosta, oba zasnovana na metodi konačnih elemenata uz zadavanje karakteristika materijala dobivenih za ispitivane uzorke, dala je rezultate za koje se može reći da se dobro slažu sa rezultatima analize provedene eksperimentalnim ispitivanjima metodom ambijentalnih vibracija.

### Rezultati provedene analize konstrukcije

U daljnjem tekstu biti će opisana dobivena tlačna i vlačna naprezanja u svodu mosta, krilnim zidovima i središnjem rebro za razmatrane kombinacije opterećenja.

- dobivena tlačna naprezanja u svodu i zidovima mosta manja su od srednjih tlačnih čvrstoća kamenog zida pretpostavljenih u projektu rekonstrukcije Starog mosta;
- dobivena vlačna naprezanja veća su od srednjih vlačnih čvrstoća kamenog zida pretpostavljenih u projektu rekonstrukcije Starog mosta;
- kod pojave vlačnih naprezanja sa gornje strane lučne konstrukcije mosta ista će preuzeti spona i pijavice korištene za povezivanje kamenih blokova u jednu monolitnu cjelinu, kapacitet ovoga načina povezivanja blokova trebalo bi dodatno utvrditi;
- kod pojave vlačnih naprezanja sa donje strane lučne konstrukcije mosta mogu se pojaviti mikro-naprslina u mortu. To će dovesti do pomaka neutralne linije napona prema tlačnoj zoni i povećanja napona tlaka, ali neće ugroziti stabilnost mosta;
- vrijednosti pomaka pokazuju da su maksimalni pomaci u najvišoj točki svoda mosta uglavnom su i maksimalni pomaci na cijelome mostu.

### Zaključci i smjernice daljnjih istraživanja

Na osnovu prethodno navedenoga možemo zaključiti:

- minimalne razlike u oblicima osciliranja mosta tj. nešto kruće ponašanje mosta dobiveno metodom mjerenja ambijentalnih ispitivanja na licu mjesta može se objasniti kvalitetnom izradom uz sudjelovanje metalnih elemenata u mostu (elementi od kovanog željeza, klanfe i spona) koji utječu na krutost mosta a koji u numeričkom modelu nisu mogli biti zastupljeni.
- dobivena maksimalna naprezanja i pomaci na mostu ukazuju da je konstrukcija mosta najosjetljivija za područje u blizini vrha luka mosta kao i u trećinama raspona mosta.
- dobiveni maksimalni pomaci u vrhu mosta za smjer okomit na pravac pružanja mosta pokazuju gdje je konstrukcija mosta najosjetljivija
- umijeće i kreativnost starih graditelja, način građenja sa specifično izvedenim spojevima uz korištenje klanfi, pijavica i drugih metoda spajanja kamenih blokova neosporno daju jedinstvenu konstruktivnu cjelinu koja utječe na ponašanje konstrukcije u svim uvjetima korištenja
- možemo konstatirati da su vlastita težina i oblik mosta dominantan faktor koji utječe na stabilnost cijele konstrukcije pa tako i za djelovanje sila potresa

U cilju što boljeg razumijevanja ponašanja Staroga mosta kao i njegove zaštite i očuvanja za generacije koje dolaze potrebno je vršiti stalni monitoring na objektu suvremenim instrumentima koji bi registrirali i zapisali svaku aktivnost konstrukcije. Sljedeći korak u definiranju osnovnih karakteristika mosta bio bi testiranje modela mosta na seizmičkoj platformi kako bi se dobila kvalitetnija slika seizmičkog ponašanja i stabilnosti ovoga spomenika kulture pod zaštitom UNESCO-a. Jedan od važnih ciljeva biti će istraživanje i definiranje kapaciteta veza korištenih za povezivanje kamenih blokova u monolitnu cjelinu.

### Literatura

- [1] M. Kustura: ISTRAŽIVANJE SEIZMIČKE STABILNOSTI STAROG MOSTA U MOSTARU, Magistarski rad (Institut za zemljotresno inženjerstvo i inženjersku seizmologiju IZIS- Skopje, 2009)



# 19.

## UPRAVLJANJE RIZICIMA KOD STIJENSKIH ODRONA

**Lovorka Librić (llibric@grad.hr)**

*Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet; Zavod za geotehniku*

Odroni predstavljaju stalnu opasnost za objekte, infrastrukturu i stanovništvo u planinskim područjima. Više od polovice površine Hrvatske ili preko dvije trećine ako se uzme u obzir i hrvatsko Jadransko podmorje u kojem prevladavaju karbonatne stijene podložne okršavanju zauzima krš. Brze promjene klime, koje su se počele proučavati tek u zadnjih 30 godina, snažno se odražavaju i na stabilnost odrona. Posebno jak utjecaj, zbog povećanja frekvencije odrona, klimatske promjene imaju na kosine i inženjerske usjeke u tlu i stijeni koji služe prometnoj infrastrukturi.

Glavni čimbenici koji su dovode do odrona su nepovoljne karakteristike stijenske mase tijekom perioda jakih kiša i utjecaj nepravilnih intervencija na pokosima tijekom izgradnje ceste. Voda je jedan od ključnih faktora koji kontrolira stabilnost odrona. Klimatske promjene predviđaju vruća i suša ljeta gdje će doći do skupljanja i raspucavanja stijenske mase te gubitka vegetacije. Očekuju se periodi intenzivnijih oborina kod koji će doći do bujanja stijena, drugačijeg režima infiltracije, povišenih pornih pritisaka, erozija i poplavlivanja.

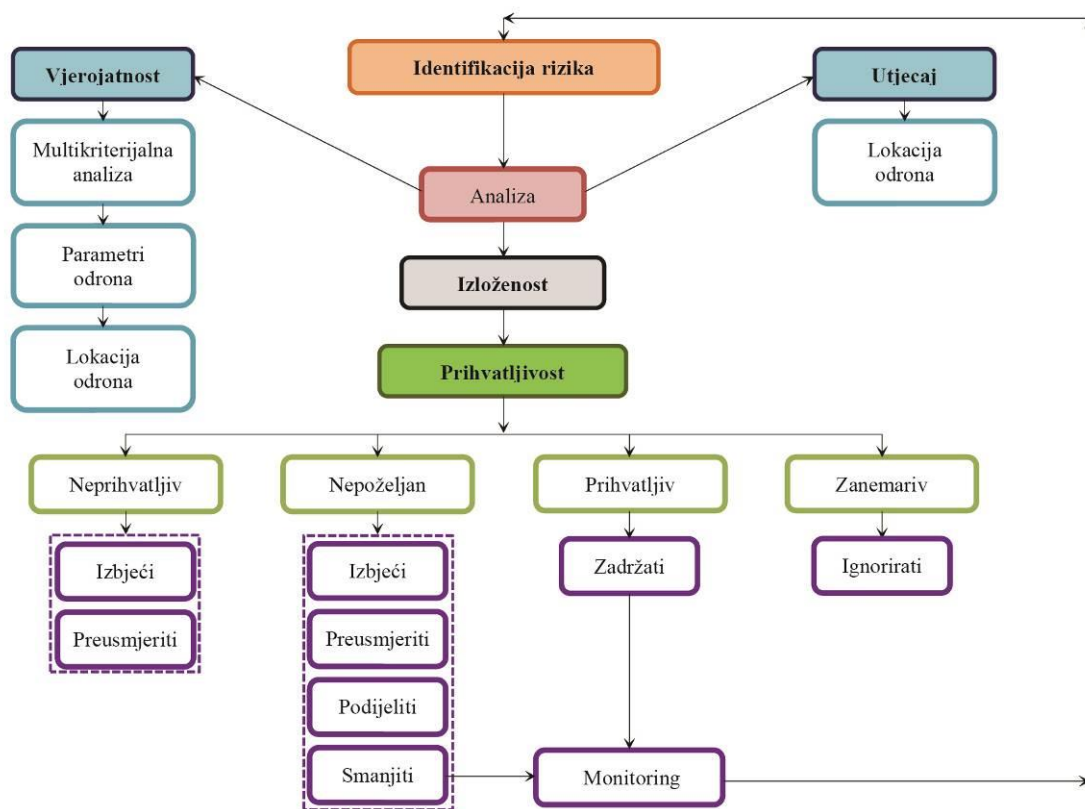
Tijekom posljednjeg desetljeća, u Republici Hrvatskoj dogodili su se veliki odroni na strmim pokosima vapnenačke stijenske mase duž Jadranske obale uzrokujući ozbiljna oštećenja na građevinama i prometnoj infrastrukturi, ozljede ljudi i poteškoće u prometu. Najveći stijenski odron dogodio se u listopadu 2010. godine na predjelu Stupica na državnoj cesti D512 koja spaja Makarsku i Vrgorac te predstavlja važnu prometnicu za regionalni promet. Volumen najvećih odronjenih stijenskih blokova iznosio je cca 100 i 250 m<sup>3</sup>.

U Republici Hrvatskoj ne postoji sustavno prikupljanje podataka o odronima koji mogu dati korisne informacije o veličini i frekvenciji odrona za potrebe projektiranja mjera zaštite od odrona u područjima koja su najugroženija. Trenutno se u Hrvatskoj radovi zaštite od odrona na već postojećim prometnicama odvija u sklopu redovnog održavanja tih prometnica. U Hrvatskoj ne postoji niti sustav klasifikacije stijenskih odrona prilagođen hrvatskom kršu. Potrebno je razviti metodologiju koja će omogućiti mapiranje područja opasnosti od odrona. Zbog specifičnosti krša u Hrvatskoj, potrebno je razviti metode za određivanje ulaznih parametara, formiranje baza podataka na temelju prijašnjih odrona te nove spoznaje temeljiti i verificirati in situ testovima. Potrebno je razviti metodologiju klasifikacije stijenskih odrona u kršu koja će biti prilagođena značajkama procesa koji su važni u nastajanju ovog reljefnog tipa. Kvantitativna klasifikacija trebala bi omogućiti standardiziran način određivanja prioriteta za radove sanacije na područjima opasnosti od odrona. Razvoj klasifikacije stijenskih odrona u Hrvatskoj omogućio bi razvoj sustava upravljanja rizicima povezanih s odronima preko projekata sanacije odrona.

Procjena rizika od odrona kod linijskih infrastrukturnih objekata kao što su državne ceste, autoceste i željeznice, najčešće se temelji na rezultatima bodovanja određenog broja parametara, za svaku odabranu lokaciju za koju je identificirana mogućnost pojave odrona. Dionica koja ima najveći zbroj bodova ima ujedno i najveći rizik od odrona.

Prema Jaboyedoff and Derron [1] mogu se bodovati interni parametri stijenskog pokosa koji utječu na stabilnost i vanjski faktori koji mogu uzokovati pojavu odrona. Jedan od prvih i najraširenijih sustava bodovanja je Rockfall Hazard Rating System (RHRS) razvijen za procjenu rizika od stijenskih odrona na pokosima nastalim prilikom uzgradnje autocesta u državi Oregon, USA [2] kod kojeg se zbrajaju ocjene 9 parametara. Uslijedilo je niz modifikacija RHRS sustava kao i razvoj potpuno novih sustava kod kojih broj parametara raste i do 20 [3]. Veliku poteškoću prilikom bodovanja predstavlja činjenica da se veliki broj parametara mora kvalitativno odrediti na temelju subjektivnih procjena [4]. Dodatni problem predstavlja metodologija određivanja relativnih težina odnosno relativnog značaja svakog pojedinog parametra u odnosu na ostale.

Rizik u sebi sadrži dvije neovisne komponente: vjerojatnost pojave rizika i utjecaj rizika na projekt. Obje ove komponente treba na neki način kvantificirati da bi se različiti rizici mogli analizirati, međusobno uspoređivati i priorizirati. To se vrši uvođenjem pojma izloženost riziku koji predstavlja umnožak vjerojatnosti pojave rizika i utjecaja rizika na projekt [5].



Slika 1. Ciklički proces procjene rizika od odrona

Procjena rizika od odrona kod linijskih infrastrukturnih objekata započinje pregledom terena i odabirom lokacija na kojima će se vršiti procjena rizika. Za svaku odabranu lokaciju potrebno je odrediti izloženost riziku, a ovisno o njemu prihvatljivost rizika.

Vjerojatnost da se na pojedinoj lokaciji pojavi odron može se odrediti kvantitativnim ili kvalitativnim pristupom. Kvantitativni pristup podrazumijeva da se vjerojatnost pojave određenog rizika može izračunati ako postoji statistički relevantna baza podataka o iskustvima o sličnim događajima u prošlosti. Kvalitativni pristup primjenjuje se kad nije dostupna odgovarajuća baza podataka o prethodno izvedenim projektima na osnovi koje bi se uspostavila funkcija razdiobe vjerojatnosti i odredila vjerojatnost pojave rizika.

Utjecaj rizika na projekt odnosno, u ovom slučaju, predstavlja veličinu kinetičke energije odronjenog bloka na prometnicu. U tu svrhu se koriste neki od komercijalnih računarskih programa za 2D i 3D numeričkog modeliranja. Nakon izračunavanja kinetičke energije odronjenih blokova provodi se težinsko vrednovanje utjecaja na rizik na isti način kao i kod vjerojatnosti pojave rizika.

Određivanjem izloženosti riziku za sve lokacije i njihovim stavljanjem u međusobni odnos, može se formirati lista prioriteta. Ovisno o položaju lokacije u listi prioriteta odnosno relativnoj vrijednosti izloženosti pojedine lokacije riziku u odnosu na ostale lokacije bit će angažirana odgovarajuća sredstva za predviđeni odgovor na rizike. Svaki identificirani rizik, u ovisnosti o vrijednosti izloženosti riziku, klasificira se kao neprihvatljiv, nepoželjan, prihvatljiv ili zanemariv. Ovisno o toj klasifikaciji donosi se odluka o načinu odgovora na svaki pojedini rizik. Akcija poduzeta kao odgovor na rizik može proizvesti nove rizike koje treba identificirati, analizirati i ovisno o prihvatljivosti rizika odgovoriti na njih. Tako proces upravljanja rizicima postaje ciklički proces (slika 1).

#### Literatura

- [1] Jaboyedoff, M., Derron, M.H.: Integrated risk assessment process for landslides, *Landslide risk management*, Taylor and Francis, 2005.
- [2] Pierson, L. A., Davis, S. A., Van Vickle, R.: Rockfall Hazard Rating System Implementation Manual, Federal Highway Administration Report FHWA-OR-EG-90-01. FHWA, U.S. Department of Transportation, 1990.
- [3] Saroglou, H., Marinos, V., Marinos, P., Tsiambaos, G.: Rockfall hazard and risk assessment: an example from a high promontory at the historical site of Monemvasia, Greece Assessment of rockfall risk along roads, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 12, 2012., pp. 1823-1836,
- [4] Budetta, P.: Assessment of rockfall risk along roads, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 4, 2004., pp. 71-81
- [5] Cerić, A., Marić, T.: Određivanje prvenstva pri upravljanju rizicima građevinskih projekata, *Građevinar*, Vol. 63, 2011., pp. 265-271

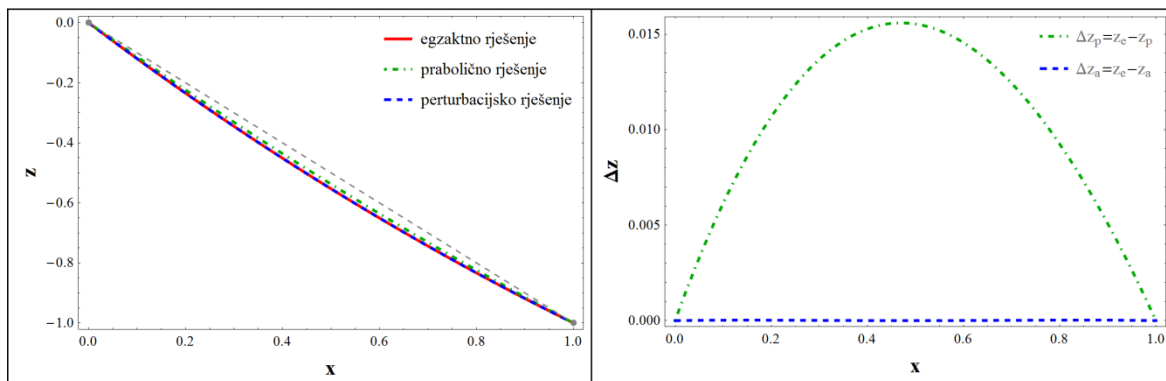
# 20.

## PRIMJENA VIŠESKALNE METODE U ANALIZI DINAMIČKIH SUSTAVA

**Marija Nikolić (mnikolic@grad.hr)**

Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet; Katedra za statiku, dinamiku i stabilnost konstrukcija

Višeskalna metoda (engl. *Method of Multiple Scales - MMS*) pripada grupi perturbacijskih postupaka kojima se određuju asimptotska rješenja nelinearnih dinamičkih problema za koje nije moguće odrediti egzaktno rješenje. Perturbacijske metode temelje se na formiranju rješenja u obliku razvoja funkcija u kojem članovi razvoja predstavljaju korekciju osnovnog neperturbiranog rješenja [1]-[4]. Razvoj funkcija se formira prema malom perturbacijskom parametru  $\varepsilon$ . Korekcije se određuju tako da prva korekcija bude mala u odnosu na osnovno neperturbirano rješenje, zatim da druga korekcija bude mala u odnosu na prvu itd. [1]. Rangiranje (engl. *ordering*) je jedino pravilo koje strogo vrijedi pri provedbi perturbacijskog postupka i konstrukciji asimptotskog rješenja [1]. Perturbacijskom hijerarhijom formira se sustav jednadžbi koji je pogodan za sukcesivno rješavanje. Uobičajena procedura za provedbu perturbacijskog postupka je formiranje nelinearne algebarske ili diferencijalne jednadžbe u bezdimenzionalnom prostoru nakon čega se odabire mali parametar  $\varepsilon$  na temelju kojeg se oblikuje perturbirano rješenje. Međutim, postoje i slučajevi kada se mali parametar koji bi bio pogodan za rangiranje ne pojavljuje eksplicitno u jednadžbi te je potrebno pristupiti postupku modeliranja fizikalnog sustava. Fizikalno razumijevanje prirode problema u postupku modeliranja ključno je za pravilno formuliranje matematičkog problema. Rangiranje članova diferencijalne jednadžbe može imati presudan utjecaj na strukturu konačnog asimptotskog rješenja s jasnim konotacijama na točnost i fizikalno značenje [2]. U tom slučaju možemo govoriti o 'umjetnom' parametru popularno nazvanog "*bookkeeping parameter*" [3]-[5]. Takvim parametrom uvodi se implicitna pretpostavka o utjecaju nelinearnih koeficijenata, prigušenja i pobude na odziv sustava [2].

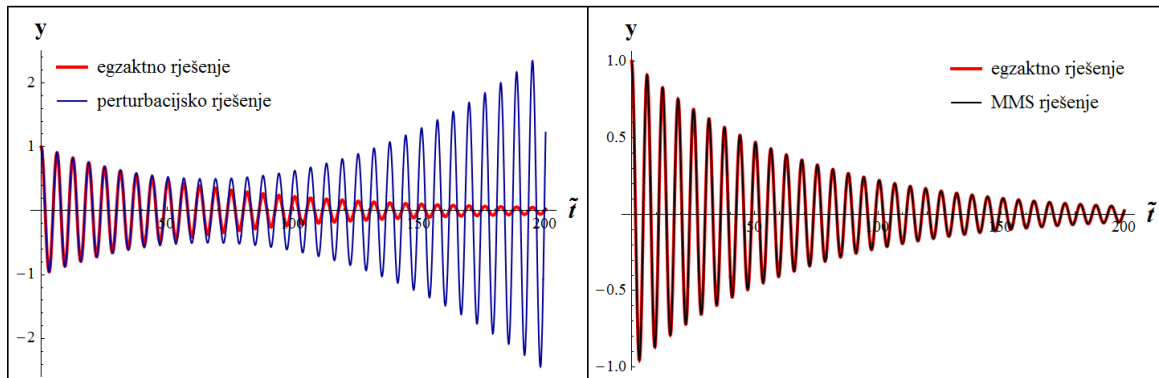


Slika 1. Egzaktno i aproksimacijska rješenja statičkog profila neelastične lančanice za  $\varepsilon=0.5$

Vrlo jednostavan primjer primjene općeg perturbacijskog postupka može se vidjeti na Slici 1 na kojoj je prikazan statički profil neelastične lančanice [6]. Egzaktno rješenje problema dobro je poznata hiperbolna funkcija koja se u slučaju malog omjera provjesa i raspona najčešće aproksimira kvadratnom parabolom. Ta aproksimacija postaje lošija ako je sustav nesimetričan odnosno ako oslonci nisu na istoj visini. Perturbacijsko rješenje je kubna parabola koja daje puno bolju aproksimaciju ali i jednostavnu analitičku funkciju statičkog profila koja se vrlo često koristi u nelinearnim dinamičkim analizama.

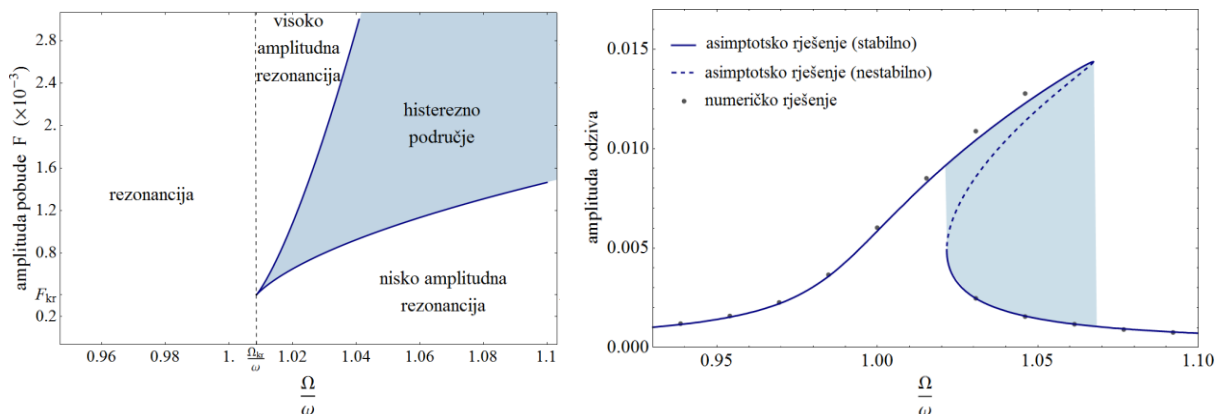
Opći perturbacijski postupak postaje neadekvatan ukoliko je rješenje sustava potrebno odrediti na nekoj većoj domeni nezavisnih varijabli što je npr. slučaj u dinamičkim problemima [1]. Neuspjeh općeg perturbacijskog postupka može se vrlo jednostavno prikazati na jednadžbi slabo prigušenog linearnog oscilatora. Na Slici 2 može se vidjeti da perturbacijsko rješenje dobro opisuje egzaktno rješenje za vrlo ograničeno vrijeme. U početku rješenja koincidiraju, ali s porastom vremena perturbacijsko rješenje počinje se sve više udaljavati od egzaktnog rješenja. Članovi koji narušavaju točnost aproksimacije, odnosno sekularni članovi, proporcionalni su s  $\varepsilon t$ , zbog toga za vrijeme  $t > 1/\varepsilon$  prva korekcija perturbacijskog rješenja postaje istog reda veličine kao i neperturbirano rješenje,

odnosno krši se osnovno pravilo perturbacijskog postupka te rangiranje prestaje vrijediti. Navedeni problem može se riješiti vrlo uspješno primjenom MMS metode u kojoj se skaliraju prostorne i vremenske koordinate. U MMS metodi malim parametrom  $\varepsilon$  dodatno se rangiranju gibanja koja se odvijaju “brzo” po varijabli  $T_0=t$ , u skladu s linearnom frekvencijom neprigušenog sustava od gibanja koja se vrše “sporije” po varijablama  $T_1=\varepsilon t$ ,  $T_2=\varepsilon^2 t$  itd. Drugim riječima, gibanje osnovnog sustava ima najveći doprinos u rješenju, a članovi razvoja predstavljaju korekcije tog gibanja zbog utjecaja perturbacijskih članova odnosno nelinearnosti sustava. Uvođenjem višestrukih vremenskih skala u perturbacijski postupak asimptotsko rješenje linearnog oscilatora se gotovo savršeno poklapa s egzaktnim.



Slika 2. Funkcije odziva linearnog oscilatora za  $\varepsilon=0.03$

MMS metoda dominantno se primjenjuje u analizi nelinearnih dinamičkih sustava [5]. Postupak modeliranja i provedba MMS postupka prikazati će se u analizi prisilnih oscilacija kabela za monofrekventan odziv sustava. Slika 3 prikazuje analitička rješenja rezonancijskih područja te frekvento-amplitudnu krivulju za primarnu rezonanciju modela kabela kojim se uzimaju u obzir kvadratne i kubne nelinearnosti sustava. Asimptotska rješenja potvrđena su i numeričkom integracijom sustava jednadžbi primjenom konačnih diferencija za prostornu diskretizaciju kontinuiranog sustava te prediktor-korektor postupaka za vremensku integraciju sustava jednadžbi.



Slika 3. Primarna prisilna rezonancija nelinearnog modela kabela

Značajna prednost MMS metode je u tome što omogućava analitičku formulaciju rezultata iz kojih proizlazi jasno pokazana veza s parametrima sustava i pobudom. Numerički proračuni nelinearnih dinamičkih problema često su vremenski vrlo dugotrajni a ulazne vrijednosti parametara moraju biti brojčane. Stoga, u analizi dinamičkih sustava asimptotske metode kao što je MMS mogu poslužiti kao dodatan alat pri odabiru parametara sustava ali i bolju interpretaciju rezultata numeričkih proračuna.

#### Literatura

- [1] Jakobsen, P.: Introduction to the method of multiple scales, Cornell University Library, 2013. URL: <http://arxiv.org/abs/1312.3651v2> (03.07.2014.)
- [2] Marinca, V., Nicolae, H.: *Nonlinear Dynamical Systems in Engineering*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
- [3] Nayfeh, A.H., Mook, D.T.: *Nonlinear Oscillations*, John Wiley & Sons Inc., USA, 1995.
- [4] Nayfeh, A.H.: *Introduction to Perturbation Techniques*, John Wiley & Sons Inc., USA, 1993.
- [5] Abe, A.: On non-linear vibration analysis of continuous systems with quadratic and cubic non-linearities, *International Journal of Non-linear Mechanics*, Vol. 41, No. 8, 2006., pp. 873-879.
- [6] Irvine, M.: *Cable Structures*, Dover Publications, Inc., New York, 1992.



# 21.

## INTERPOLACIJA OVISNA O KONFIGURACIJI U RAVNINSKIM GREDNIM KONAČNIM ELEMENTIMA

*Edita Papa Dukić, Gordan Jelenić (edita.papa@gradri.uniri.hr, gordan.jelenic@gradri.uniri.hr)*  
 Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet; Katedra za tehničku mehaniku

Interpolacijske funkcije koje se u metodi konačnih elemenata koriste da bi se približno opisala polja nepoznanica, daju metodi konačnih elemenata aproksimativni karakter. Ovisno o primijenjenoj interpolacijskoj funkciji će rješenja koja daje ova numerička metoda biti više ili manje točna. Stoga je jedan od glavnih razloga istraživanja interpolacijskih funkcija poboljšanje točnosti konačnih, u ovom slučaju grednih elemenata.

U linearnoj analizi Timošenkovih greda poznate su interpolacijske funkcije koje dovode do točnih analitičkih rješenja i takva interpolacija se naziva vezana interpolacija [1], koja se temelji na povezivanju polja pomaka i polja rotacija. Interpolacija ovisna o konfiguraciji [2] u nelinearnoj Reissnerovoj teoriji greda [3] predstavlja pokušaj generalizacije vezane interpolacije na nelinearnu analizu. Pri tome kao polazne točke, uz već spomenutu vezanu interpolaciju, koristimo još deformacijski invarijantnu interpolaciju [4] te helikoidalnu interpolaciju [5].

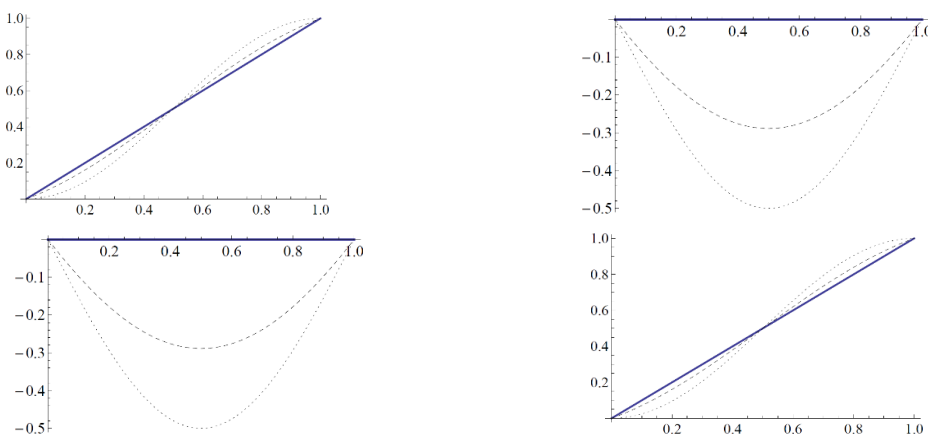
Interpolacija ovisna o konfiguraciji u slučaju ravninskih grednih problema podrazumijeva upotrebu standardnih Lagrangeovih polinoma za opisivanje polja rotacija, dok se za interpolaciju polja pomaka koristi izraz  $\mathbf{r} = \sum_{i=1}^N \mathbf{J}_i \mathbf{r}_i$ , gdje je funkcija  $\mathbf{J}_i$  dana izrazom (1).

$$\mathbf{J}_i = \delta_{Ii} (\mathbf{I} - \sum_{m=1}^N \mathbf{N}_m) + \mathbf{N}_i \quad (1)$$

Pri tome  $\mathbf{r}_i$  označava vektor pomaka čvora  $i$ ,  $\delta_{Ii}$  je Kronekerov simbol ( $\delta_{Ii} = 1$  za  $I=i$  te  $\delta_{Ii} = 0$  u suprotnom),  $I$  je oznaka odabranog referentnog čvora a  $\mathbf{I}$  je dvodimenzionalna jedinična matrica. Funkcija  $\mathbf{N}_i$  je definirana izrazom (2).

$$\mathbf{N}_i = I_i \frac{\vartheta_i \sin \vartheta}{\vartheta \sin \vartheta_i} [\cos(\vartheta - \vartheta_i) \mathbf{I} + \sin(\vartheta - \vartheta_i) \hat{\mathbf{e}}] \quad (2)$$

U ovom izrazu je  $I_i$  Lagrangeov polinom reda  $N-1$  ( $N$  je broj čvorova elementa). Nadalje,  $\vartheta = \beta (\varphi - \varphi_i)/2$  te  $\vartheta_i = \beta (\varphi_i - \varphi_I)/2$ , gdje  $\varphi_i$  označava nepoznatu čvornu rotaciju a  $\varphi$  je interpolirano nepoznato polje rotacija. Antisimetrična matrica  $\hat{\mathbf{e}}$  je definirana kao  $\hat{\mathbf{e}} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ . Ovisno o koeficijentu  $\beta$  moguće su dvije varijante interpolacije ovisne o konfiguraciji. Interpolacija s koeficijentom  $\beta = 1$  daje rješenje neovisno o izboru referentne osi grede ali ne daje točno analitičko rješenje u slučaju linearne analize. Potpuno je suprotan slučaj kada je  $\beta = 2/N$  koji rezultira točnim analitičkim rješenjem u slučaju linearne analize ali ne daje rješenje neovisno o izboru referentne osi grede.

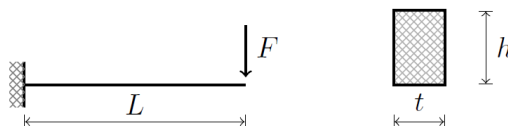


Slika 1. Funkcija  $N_2(x, \vartheta_2 = 0, \frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{2})$ .

Na Slici 1 je dan grafički prikaz interpolacije ovisne o konfiguraciji za dvočvorni gredni element. U slučaju kada ne postoje lokalne rotacije, interpolacija ovisna o konfiguraciji se svodi na Lagrangeove polinome koji su na slici prikazani debelom plavom linijom. Što je lokalna rotacija veća, to je veći odmak od Lagrangeovog polinoma, na slici prikazan iscrtanom i točkastom linijom.

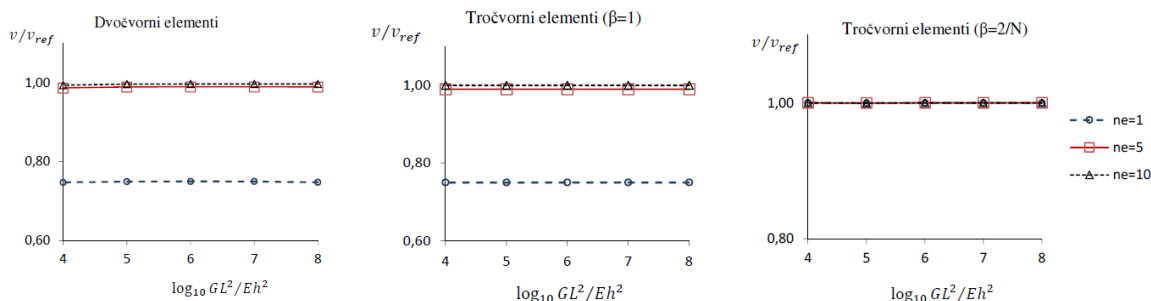
Opisana interpolacija ovisna o konfiguraciji nije podložna problemu *shear locking* koji se javlja kada se u elementima nižeg reda koristi Lagrangeova interpolacija u kombinaciji s punom integracijom matrice krutosti te se objašnjava kao posmično blokiranje uslijed djelovanja poprečnih sila. Ovaj fenomen postaje izraženiji kako se debljina grede smanjuje.

Da bi se pokazao utjecaj poprečnih sila na pomake kada se debljina grede mijenja od male (što odgovara tankim gredama) do velike (što odgovara debelim gredama), odabran je primjer konzolne grede opterećene vertikalnom silom na slobodnom kraju, kako je prikazano na Slici 2.



Slika 2. Konzolna greda opterećena vertikalnom koncentriranom silom

Problem je analiziran sa sljedećim materijalnim i geometrijskim karakteristikama:  $L = 1$ ,  $t = 0.1$ ,  $E = 10^7$ ,  $G = 10^{13}$ ,  $F = 1$ . Budući je problem *locking* direktno povezan sa visinom grede  $h$ , ovu dimenziju, za potrebe ove analize, variramo od vrlo male  $h = 0.1$  do vrlo velike  $h = 10$ . Vertikalni pomaci kraja konzole  $v$  uspoređeni su sa referentnim rješenjem  $v_{ref}$  koje je dobiveno diskretizacijom problema sa 100 tročvornih elemenata, u obliku kvocijenta  $v/v_{ref}$ . Rezultati su grafički prikazani u logaritamskoj skali na Slici 3 u ovisnosti o parametru  $GL^2/Eh^2$  za dvočvorne i tročvorne elemente. Konzola je modelirana s jednim, pet i deset konačnih elemenata.



Slika 3. Normalizirani vertikalni pomaci slobodnoga kraja konzole za dvočvorne i tročvorne elemente s korištenom interpolacijom ovisnom o konfiguraciji ( $n_e$  – broj elemenata u mreži)

Rezultati prikazani na Slici 3 pokazuju da vertikalni pomaci slobodnoga kraja konzole ne ovise o visini grede te stoga možemo reći da interpolacija ovisna o konfiguraciji nije osjetljiva na problem *locking* niti u slučaju elementa najnižega reda. Naravno, s povećanjem broja elemenata povećava se i točnost rješenja. Uočavamo razliku u točnosti rješenja za različite vrijednosti koeficijenta  $\beta$ . Rješenje je vrlo blisko referentnom rješenju već s jednim tročvornim konačnim elementom za slučaj kada je koeficijent  $\beta = 2/N$ . Razlog ovome leži u tome što je razmatrani problem u domeni malenih pomaka i malenih rotacija te možemo reći da je vrlo blizak linearnoj analizi a interpolacija ovisna o konfiguraciji za dani slučaj  $\beta = 2/N$  rezultira točnim analitičkim rješenjem u linearnoj analizi.

#### Literatura

- [1] Jelenić, G., Papa, E.: Exact solution of 3D Timoshenko beam problem using linked interpolation of arbitrary order, *Archive of Applied Mechanics*, Vol. 81, No. 2, 2009., pp. 171-183.
- [2] Papa Dukić, E., Jelenić, G., Gaćeša, M.: Configuration-dependent interpolation in higher-order 2D beam finite elements, *Finite Elements in Analysis and Design*, Vol. 78, 2014., pp. 47-61.
- [3] Reissner, E.: On one-dimensional finite-strain beam theory: The plane problem, *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Physik*, Vol. 23, No. 5, 1972., pp. 795-804.
- [4] 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, 1999., pp. 141-171.
- [5] Borri, M., Bottasso, C.: An intrinsic beam model based on a helicoidal approximation – Part II: Linearization and finite element implementation, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 37, No. 13, 1994., pp. 2291-2309.

# 22.

## KLIZIŠTE GROHOVO I INSTALIRANI SUSTAV MONITORINGA

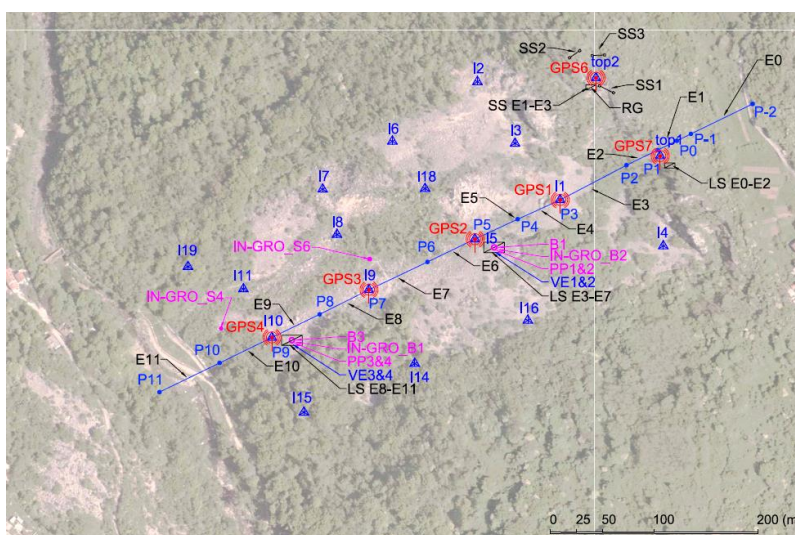
*Josip Peranić, Vedran Jagodnik, Martina Vivoda, Sanja Dugonjić Jovančević, Kristijan Ljutić, Željko Arbanas (josip.peranic@gradri.uniri.hr)*

*Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Katedra za geotehniku*

Područje istraživanja nalazi se u zaleđu grada Rijeke, najveće hrvatske luke, svega 4 km udaljenosti od samog središta grada. Klizište Grohovo najveće je poznato aktivno klizište duž hrvatskog dijela jadranske obale, nalazi se na sjeveroistočnoj padini srednjeg dijela toka Rječine i predstavlja samo dio područja s učestalim pojavama nestabilnosti. Prema dokumentima Državnog arhiva u Rijeci [1], prvi zapisi o pojavama nestabilnosti u dolini Rječine povezuju se s potresom iz 1750. godine, koji je imao epicentar u Rijeci. Velik odron na desnoj obali Rječine u blizini mjesta Grohovo, dogodio se 1870. godine, a klizište se reaktiviralo nakon perioda dugotrajnih kiša, 1885. godine [1]. Na lijevoj strani obale dokumentirano je veliko klizanje u studenom 1893. godine, pri čemu je korito Rječine pomaknuto za oko 50 metara južnije [1]. Do 1908. godine dovršeni su radovi na regulaciji srednjeg toka Rječine, dok je 1967. na lokaciji Valići završena izgradnja gravitacijske betonske brane, popraćena brojnim klizištima aktiviranim tijekom gradnje na oba boka. Posljednja značajna aktivnost na lokaciji istraživanja dogodila se nakon dužeg kišnog razdoblja, 5. prosinca 1996. godine. Klizanje se dogodilo na sjeveroistočnoj padini i na mjestu klizišta iz 1893. godine [1]. Istraživanjima je utvrđeno kako se radi o složenom retrogresivnom klizištu, sa utvrđenih 13 pojedinačnih kliznih tijela i procijenjenom količinom pokrenutog materijala od oko 850.000 m<sup>3</sup> [1]. Posljednje veliko klizanje u dolini Rječine dogodilo se 13. veljače 2014. godine, na desnoj padini toka Rječine i neposredno iznad akumulacije Valići, a događaju je također prethodio dug period obilnih kiša. Uzrok brojnim klizanjima na ovom području povezan je s geološkom građom šireg područja u smislu smanjenja čvrstoće materijala podložnih trošenju, najčešće u kombinaciji s faktorima koji djeluju nepovoljno na stabilnost padina, kao što su smanjenje posmične čvrstoće materijala uslijed porasta pornih tlakova i porasta aktivnih sila uslijed dugotrajnih oborina ili djelovanja potresa. Padine srednjeg i gornjeg dijela toka Rječine izgrađuje vapnenačka stijenska masa pri vrhu, dok se pri dnu kosina uglavnom nalazi siliciklastična stijenska masa (fliš) [2]. Za razliku od vapnenaca, flišna stijenska masa izrazito je podložna trošenju, što je rezultiralo formiranjem glinene trošne zone iznad osnovne stijene. S vremenom, došlo je do infiltracije krupnijih fragmenata nastalih odronjavanjem vapnenačkih masiva pri vrhu klizišta unutar prašinsto-glinovitog pokrivača. Time je formirana kosina s pokrivačem, debljine do nekoliko metara [3].

Do danas su provedena brojna istraživanja na temu složenih sustava monitoringa klizišta i sustava ranog uzbunjivanja. Ipak, zbog raznolikosti vrsta klizišta, samih ciljeva istraživanja, geoloških uvjeta na lokaciji, te ubrzanog tehnološkog razvoja i korištenih senzora pri monitoringu klizišta, ne postoji opće prihvaćeni pristup koji je moguće usvojiti kao univerzalno rješenje pri uspostavi sustava monitoringa klizišta [4]. Rezultati monitoringa trebaju pružiti osnovu za razvoj i verifikaciju numeričkog modela klizišta, te omogućiti adekvatno upravljanje hazardom. U okviru petogodišnjeg bilateralnog projekta između Hrvatske i Japana „Risk identification and Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia“, koji je započeo krajem ožujka 2009. godine, upravo je dio doline Rječine između brane Valići i ulaza u kanjon odabran kao pilot područje istraživanja [5]. U sklopu projekta osposobljen je opsežan sustav monitoringa koji obuhvaća geodetski i konvencionalni geotehnički monitoring, osmišljen na način da slijedi načelo fuzije senzora [6]. Pojam u ovom smislu podrazumijeva korištenje višestrukih senzora za praćenje iste veličine, na istoj poziciji. Time se osigurava obilje mjernih podataka na odabranim lokacijama, čime se bitno umanjuje mogućnost gubitak podataka za konkretnu poziciju uslijed otkazivanja uređaja. Također, korištenjem različitih vrsta senzora na istoj poziciji moguće je vršiti prostorne korelacije izmjerenih podataka, na površini i po dubini profila klizišta. Geodetski dio monitoringa sastoji se od automatizirane totalne stanice (Leica TM30) i sustava globalnog pozicioniranja (GPS). Robotiziranom totalnom stanicom prati se položaj 25 geodetskih prizmi, od kojih je 16 smješteno na samom kliznom tijelu, 2 se nalaze iznad glavne vlačne pukotine, dok se 5 referentnih točaka nalazi u okolini kliznog tijela i brane Valići. Sustav globalnog pozicioniranja sastoji se od jedno-frekventnog GMX901 prijemnika-antene spojenog na računalo sa softverom za post-procesuiranje u svrhu preciznog izračunavanja koordinata i pohrane podataka (Leica GNSS), dok se integracija s ostalim sensorima vrši programom Leica GeoMos. Glavna GPS jedinica prati položaje ukupno

9 jedno-frekventnih GPS rovera od kojih se 4 nalaze na kliznom tijelu, 2 iznad glavne vlačne pukotine, 2 u blizini kliznog tijela, te je 1 rover smješten na zgradi Građevinskog fakulteta koji ujedno služi kao stabilna referentna točka. Glavne jedinice geodetskog dijela monitoringa instalirane su na strateški najznačajnijoj poziciji, Velom Vrhu, s kojeg je moguća izravna vizualna komunikacija sa svim točkama čiji položaj se sustavno prati. Na ovoj poziciji vrši se pohranjivanje i obrada podataka, te prijenos podataka do kontrolne sobe u zgradi Građevinskog fakulteta. Komunikacija i prijenos podataka između uređaja na terenu i glavne jedinice smještene na Velom Vrhu odvija se putem bežične mreže, dok je daljinski pristup glavnom računalu na Velom Vrhu omogućen UMTS modulom. S obzirom da na Velom Vrhu ne postoji infrastruktura za opskrbu električnom energijom, napajanje sustava vrši se isključivo energijom proizvedenom sustavom solarnog napajanja. Dosadašnje iskustvo pokazalo je kako u zimskom periodu solarni paneli ne mogu generirati dovoljnu količinu energije potrebne za stabilan rad čitavog sustava monitoring, te upravo ova komponenta predstavlja najveću prepreku u slijedećoj fazi nadogradnje integriranog sustava monitoringa. Konvencionalni geotehnički sustav monitoringa uključuje inklinometarske bušotine i vertikalne žičane ekstenzometre, žičane ekstenzometare duljeg i kraćeg raspona, mjerace pornih pritisaka, meteorološku stanicu i kišomjer. Svi senzori geotehničkog dijela monitoringa spojeni su u ukupno četiri važne točke. S obzirom na postojanje infrastrukture na ovim pozicijama, prijenos podataka do glavnog računala na Velom Vrhu je moguć. Slijedeći korak u nadogradnji sustava predstavlja povezivanje svih senzora sa terena u jedan sustav monitoringa s kontinuiranim prijenosom mjerenih podataka do središnjeg računala u kontrolnoj sobi zgrade fakulteta. Ovaj korak je neophodan za uspostavu naprednog sustava monitoringa i ranog uzbunjivanja, kao i upravljanja rizikom od pojave klizanja [4].



Slika 1. Raspored opreme ugrađene na klizištu Grohovo

### Literatura

- [1] Vivoda, M., Benac, Č., Žic, E., Đomlija, P., Dugonjić Jovančević, S.: Geohazardi u dolini Rječine u prošlosti i sadašnjosti, *Hrvatske vode*, Vol. 20, No. 81, 2012., pp. 105-116.
- [2] Benac, Č., Arbanas, Ž., Jurak, V., Oštrić, M., Ožanić, N.: Complex landslide in the Rječina River valley (Croatia): origin and sliding mechanism, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 64, No. 4, 2005., pp. 361-371.
- [3] Arbanas, Ž., Sassa, K., Nagai, O., Jagodnik, V., Vivoda, M., Dugonjić Jovančević, S., Peranić, J., Ljutić, K.: A landslide monitoring and early warning system using integration of GPS, TPS and conventional geotechnical monitoring methods – Proceedings of the World Landslide Forum 3, Editors: Sassa, K., Canuti, P., Yin, Y., Beijing, 2014., Springer, 2014., pp. 631-636.
- [4] Arbanas, Ž., Jagodnik, V., Ljutić, K., Vivoda, M., Dugonjić Jovančević, S.: Remote monitoring of a landslide using integration of GPS, TPS and conventional geotechnical monitoring methods – Proceedings of the 1st Symposium on Landslides in Adriatic Balkan Region, Editors: Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., Zagreb, 2014., City of Zagreb, Emergency Management Office, 2013., pp. 14-15.
- [5] Mihalić, S., Arbanas, Ž.: The Croatian-Japanese Joint Research Project on Landslides: Activities and Public Benefits, *Landslides: Global Risk Preparedness*, Editors: Sassa, K., Rouhban, B., Briceno, S., He, B., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013., pp. 345-361.
- [6] Arbanas, Ž., Sassa, K., Marui, H., Mihalić, S.: Comprehensive monitoring system on the Grohovo Landslide, Croatia - Proceedings of the 11th International Symposium on Landslides (ISL), Editors: Eberhardt, E., Froese, C., Turner, K., Leroueil, S., Vancouver, 2012., CRC Press, 2012., pp. 1441-1447.



# 23.

## PREDATOR-PREY MODEL I UTJECAJ POMAKA U VREMENU

Tea Rukavina ([tea.rukavina@gradri.uniri.hr](mailto:tea.rukavina@gradri.uniri.hr))

Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet; Zavod za računalno modeliranje materijala i konstrukcija

U ovom radu analiziran je *predator-prey* model koji se sastoji od dvije međusobno zavisne linearne diferencijalne jednačbe. Dan je grafički prikaz rješenja te je provedena analiza osjetljivosti. Izračunate su točke stabilnosti i prikazana je njihova analiza korištenjem Jakobijane sustava. Prikazan je utjecaj pomaka u vremenu kod ovakvih modela.

*Predator-prey* model (model lovac-lovina) predstavljen je Lotka-Volterra jednačbama koje imaju sljedeći oblik:

$$dx(t)/dt = A x(t) - B x(t) y(t) \quad (1)$$

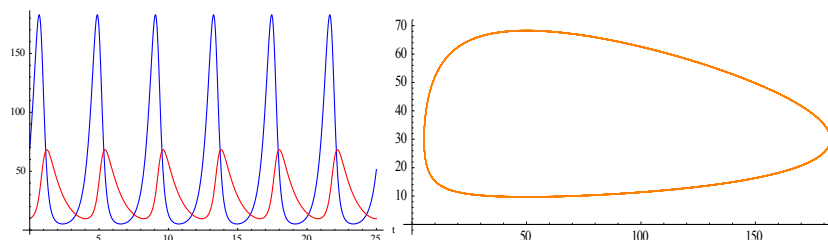
$$dy(t)/dt = -C y(t) + D x(t) y(t) \quad (2)$$

gdje  $x(t)$  predstavlja funkciju populacije lovine (*prey*), a  $y(t)$  funkciju populacije lovaca (*predator*).

Parametri  $A, B, C$  i  $D$  opisuju interakciju lovaca i lovine.  $A$  predstavlja rast populacije lovine, a  $B$  smrtnost lovine zbog djelovanja lovaca tj. "uspješnost" lovaca.  $C$  predstavlja smrtnost lovaca, a  $D$  rast populacije lovaca zbog hranjenja lovinom. Ti se parametri, kao i početne vrijednosti veličine populacija  $x(0)$  i  $y(0)$ , najčešće određuju opažanjem u prirodi ili eksperimentom. Iz izraza (1) i (2) vidljivo je da bi se, u nedostatku lovaca, broj lovine povećavao do beskonačnosti, a u nedostatku lovine, broj lovaca težio bi nuli.

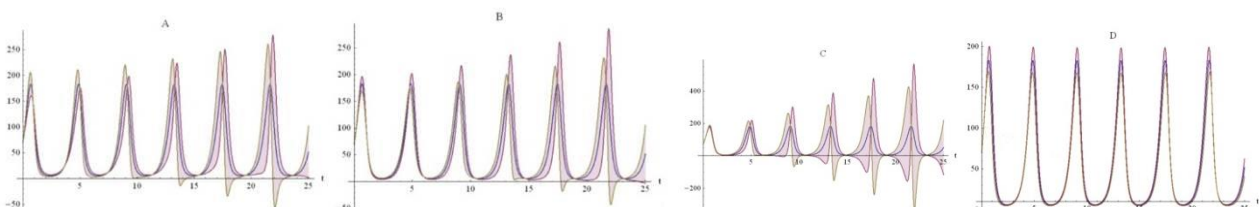
Ovakvi modeli mogu se koristiti za opisivanje interakcije vrsta u nekom biološkom sustavu (npr. interakcija lisica i zečeva, geparda i pavijana i sl.), u ekonomiji (npr. potrošnja resursa [1]), za opisivanje kemijskih interakcija među tvarima [2] i sl. Također, postoji općenitiji oblik jednačbi (1) i (2), gdje se javljaju i dodatni članovi [3, 4], a može se raditi i o sustavima više jednačbi koji opisuju interakciju između više vrsta [5]. Parametri  $A, B, C$  i  $D$  ne moraju biti konstante, već mogu biti funkcije nekih varijabli.

Za primjer je uzeto da su vrijednosti parametara konstante koje iznose:  $A = 3$ ,  $B = 0.1$ ,  $C = 1$  i  $D = 0.02$ , a početni uvjeti su sljedeći:  $x(0) = 70$  i  $y(0) = 10$ . Rješenje sustava prikazano je na Slici 1, gdje je dan prikaz u vremenu i parametarski prikaz.



Slika 1. Prikaz rješenja u vremenu i parametarski prikaz za *predator-prey* sustav

Provedena je analiza osjetljivosti (eng. *sensitivity analysis*) kako bi se utvrdilo koliko promjena određenog parametra utječe na konačno rješenje. Na Slici 2 prikazana je analiza osjetljivosti za varijablu  $x$ . Vidljivo je da je ona najosjetljivija na parametar  $C$ , a najmanje osjetljiva na parametar  $D$ .



Slika 2. Analiza osjetljivosti za varijablu  $x$

Ravnoteža se postiže u slučaju kada nema promjena u populacijama lovaca i lovine. Matematički se to može izraziti kao  $x(A - B y) = 0$  i  $y(D x - C) = 0$ , što daje dva rješenja za točke stabilnosti modela. Prva točka stabilnosti je  $E_1 = (0, 0)$ , a druga je  $E_2 = (C/D, A/B)$ . Kada se uvrste vrijednosti parametara za naš primjer dobiva se da je  $E_2 = (50, 30)$ .

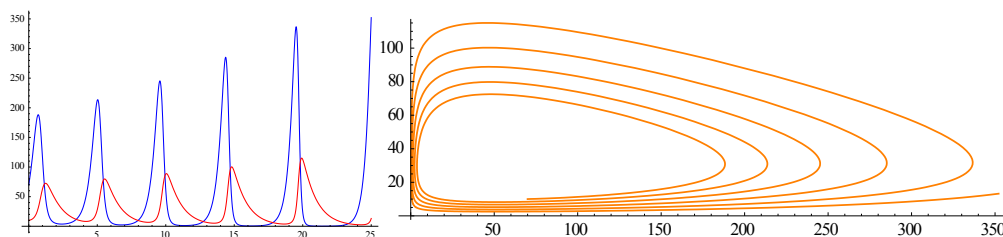
Analiza točaka stabilnosti provodi se korištenjem Jakobijane *predator-prey* modela. Za prvu točku stabilnosti dobiju se vlastite vrijednosti  $\lambda_1 = A$  i  $\lambda_2 = -C$ . Kako u modelu uvijek vrijedi  $A, C > 0$ , vlastite vrijednosti imat će uvijek različit predznak, što znači da se radi o sedlastoj točki koja je nestabilna [6]. Kada bi ova točka bila stabilna tj. kada bi obje vlastite vrijednosti bile realne i negativne, ona bi privlačila k sebi populacije lovaca i lovine što bi lako moglo dovesti do izumiranja obje vrste. U našem slučaju, kada je točka nestabilna, nije izgledno da dođe do izumiranja, osim u slučaju kada nema više lovine pa svi lovci nestanu zbog nedostatka hrane. Za drugu točku stabilnosti dobivaju se vlastite vrijednosti  $\lambda_1 = -i\sqrt{AC}$  i  $\lambda_2 = i\sqrt{AC}$ . Kako se obje vlastite vrijednosti sastoje samo od imaginarnog dijela, radi se o točki koja je središte putanje, a rješenje jednadžbi periodički se kreće po toj putanji.

Kod ovakvih sustava jednadžbi najčešće postoji konstanta koja predstavlja “očuvanu količinu” koja se ne mijenja kada se promijene  $x$  i  $y$ . Ta konstanta ovisi o odabranim parametrima  $A, B, C$  i  $D$ , a ne ovisi o vremenu  $t$ . Prema [7], ona iznosi:  $E(x, y) = A \ln y + C \ln x - B y - D x = K$ .

Postoje i *predator-prey* modeli s pomakom u vremenu. Kod takvih diferencijalnih jednadžbi (engl. *delay differential equations - DDEs*), derivacija ne ovisi samo o rješenju u trenutku  $t$ , nego i o rješenju u nekom ranijem trenutku  $t - \tau$ . Najčešće je pomak u vremenu konstantan, ali on može ovisiti o vremenu  $t$  ili o rješenju  $x(t)$ . Za razliku od običnih diferencijalnih jednadžbi gdje su diskontinuiteti u derivacijama nižeg reda rijetki, kod diferencijalnih jednadžbi s pomakom u vremenu oni se javljaju gotovo uvijek [8]. Zato treba prilagoditi numeričke metode kojima se takve jednadžbe rješavaju. Jedna od metoda rješavanja jednadžbi s pomakom u vremenu jest metoda koraka koja se temelji na rješavanju serije običnih diferencijalnih jednadžbi po pojedinim intervalima. Na tom principu radi rješavač NDSolve u Wolfram Mathematici koji je korišten u ovom radu.

Pomaci u vremenu mogu se javiti u bilo kojem članu sustava (1) i (2). Za primjer je uzet sustav s pomacima u obje jednadžbe:  $dx(t)/dt = x(t)[A - B y(t - v)]$  i  $dy(t)/dt = y(t)[-C + D x(t - \tau)]$ , gdje  $v$  predstavlja pomak u lovu, a  $\tau$  pomak zbog sazrijevanja lovaca.

Analiza takvog sustava može se provesti prema [2]. Izraz za kritični pomak u vremenu je  $\tau_n = 2(n + 1)\pi / [(1 + r)\sqrt{AC}]$ , gdje je uzeto da su pomaci u vremenu jednaki, odnosno  $r = v/\tau = 1$ . Zaključuje se da je točka stabilnosti  $E_2$  nestabilna za sve  $\tau > 0$ , a pri svakom  $\tau = \tau_n$  dolazi do Hopfove bifurkacije [9]. Rješenje sustava jednadžbi s pomacima u vremenu prikazano je na Slici 3, za  $v = \tau = 0.01$ , gdje je vidljivo da pomaci u vremenu destabilizirajuće djeluju na model.



Slika 3. Prikaz rješenja u vremenu i parametarski prikaz za *predator-prey* sustav s pomakom u vremenu

## Literatura

- [1] Martin, A., Ruan, S: Predator-prey models with delay and prey harvesting, *Journal of Mathematical Biology*, Vol. 43, 2001., pp. 247-267.
- [2] Mukhopadhyay, B., Bhattacharyya, R.: A mathematical model describing the thyroid-pituitary axis with time delays in hormone transportation, *Applications of Mathematics*, Vol. 51, No. 6, 2006., pp. 549-564.
- [3] Faria, T.: Stability and Bifurcation for a Delayed Predator-Prey Model and the Effect of Diffusion, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, Vol. 254, 2001., pp. 433-463.
- [4] Xu, C., Li, P.: Dynamical Analysis in a Delayed Predator-Prey Model with Two Delays, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Volume 2012, Article ID 652947
- [5] May, R.M.: Time-Delay Versus Stability in Population Models with Two and Three Trophic Levels, *Ecology*, Vol. 54, No. 2, 1973., pp. 315-325.
- [6] Miller, L.A.: Studying Critical Points in Linear and Almost Linear Systems of Differential Equations, URL: [http://www.unc.edu/~lam9/biocalc/critical\\_notes.doc](http://www.unc.edu/~lam9/biocalc/critical_notes.doc) (07.2014.)
- [7] Hyde, D.: Predator-Prey Modeling with the Lotka-Volterra Equations, Online Math Circle, 2011., URL: <http://onlinemathcircle.com/wp-content/uploads/2012/03/Lotka-Volterra-Equations.pdf> (07.2014.)
- [8] Shampine, L.F., Gladwell, I., Thompson, S.: *Solving ODEs with MATLAB*, Cambridge University Press, 2003.
- [9] Van der Heijden, G.: Hopf bifurcation, URL: <http://www.ucl.ac.uk/~ucesgvd/hopf.pdf> (07.2014.)

# 24.

## ORGANIZACIJSKI MODEL UMANJENJA POTRESNE POVREDLJIVOSTI JAVNIH ZGRADA

**Zvonko Sigmund** ([zsigmund@grad.hr](mailto:zsigmund@grad.hr))

*Sveučilište u Zagrebu; Građevinski Fakultet; Zavod za organizaciju i ekonomiku građenja*

Potres se svakako treba svrstati u jedan od najrizičnijih prirodnih pojava, obzirom na prirodu njegove pojave: periodi između dvije pojave su često veće od 200 godina, izvjesno je da će se dogoditi, događa se ne najavljen, a potencijalno se oslobađa energija dovoljna da decenijama naruši stabilnost koju je čovječanstvo gradilo stoljećima. Ovome svjedoči i Pravilnik o metodologiji za izradu procjene ugroženosti i planova zaštite i spašavanja, koji kao osnovne prijetnje prepoznaje poplave i potrese.

U ovom radu razrađuje se model za procjenu i odabir rizičnih zgrada za umanjene njihove potresne povredljivosti uzimajući u obzir tehničke, ekonomske, regulativne i organizacijske aspekte umanjavanja potresne povredljivosti postojećih zgrada.

Utjecaj prirodnih katastrofa na ekonomsku stabilnost društva je značajnija za siromašnije zemlje, koje imaju manje mogućnosti zaštititi sebe i imovinu. S toga je izgradnja otpornosti društva i nacije na prirodne katastrofe od visokog značaja, a ne samo zbog umanjavanja rizika i posljedica koji nastupaju prirodnim djelovanjem, već i zbog osiguranja ekonomske stabilnosti društva i ostvarivanja ciljeva održivog razvoja [1]. Društvo otporno na katastrofe je ono u kojoj su se društvene zajednice sposobne prilagoditi i/ili zadržati bitne društvene funkcije brzo nakon što se dogodi veća katastrofa [2].

Zgrade građene u povijesti na području Republike Hrvatske u glavnom su građene prema obrtničkim iskustvima, te principima predaje sve do početka 18. stoljeća, kada se pojavljuju prve građevne regule. No niti ove regule nisu pri planiranju izgradnje uzimale u obzir potencijalno djelovanje potresa sve do 1964. godine. Uključujući i ovu godinu, zgrade na našim područjima su se u glavnom gradili od opeke, a za stropove su se koristile drvene grede, a rijetko i samo djelomično beton ili pak armirani beton. 1964. godina obilježena je pojavom prvih smjernica za projektiranje novih građevina u potresno aktivnim područjima, a izrada propisa potaknuta je devastirajućim potresom koji se dogodio u Skopju 1963. godine koji je razrušio čak 75% zgrada u Skopju. Tek počevši od ovog propisa, nacija postaje službeno svjesna prijetnje potresom, a svoje djelovanje orijentira tek na zgrade koje će biti izgrađene od te godine na dalje. Danas, briga za postojeće zgrade je više iznimka nego pravilo, te se zgrade tretiraju tek kada je jasno poznata opasnost od rušenja uslijed već postojećeg stradavanja zgrade.

Ovakva situacija nije jedinstvena za naše životno okruženje. Potresna povredljivost nearmiranih zidanih zgrada poznata je istraživačima diljem svijeta, o čemu svjedoče mnogobrojna izvješća iz Italije [3], Kanade [4], Novog Zelanda [5], Slovenije [6], itd.

Iako je rizik od stradavanja u potresima poznat čovječanstvu, potresno se inženjerstvo na našim područjima počelo se razvijati tek od 1960-ih, kada su se počeli razvijati i primjenjivati protupotresni propisi. No i u svijetu, pravi procvat i bitnu poziciju u znanosti potresno je inženjerstvo doživjelo tek u posljednjih 40-ak godina. No unatoč velikom i upornom napretku znanosti na području principa ponašanja konstrukcija za potresa, tehnika ispitivanja ugroženosti i tehnologija ojačanja postojećih zgrada, činjenice svakodnevno ukazuju na problem da je implementacija u raskoraku u odnosu na znanstvena i inženjerska razumijevanjem problematike djelovanja potresa. Svijest o riziku kojeg predstavljaju potresno povredljive zgrade postoji, no uspješna implementacija pozitivnih potresnih mjera češće iznimka nego pravilo [7]. Razlog ovomu su često loša informiranost pogođenih interesnih skupina, a samim time i niska motiviranost istih, ali i nedostatak poticaja i inicijative od strane zakonodavnih vlasti. Znanstvena izvješća o implementaciji poznatih mjera zaštite od potresa u zakone izjavljuju kako uspješnost implementacije i primjene najčešće nije zadovoljavajuća [8].

Velike svjetske organizacije koje okupljaju grupe znanstvenika iz cijelog svijeta prepoznali su taj složeni tehnološki i zakonodavni problem potrebe za umanjavanjem potresne povredljivosti građevnog inventara, pa su zadatak uspješnog implementiranja takvih modela proglasili svojom temeljnom zadaćom. Neki od tih organizacija su ASCE, SEI, FEMA za područje SAD-a, EdM za područje Australije i Novog Zelanda, MEXT i CDMC u Japanu, PWGSC u Kanadi, SIA u Švicarskoj i još neke druge.

Iz ovih opservacija lako je zaključiti kako se za većinu zgrada izgrađenih prije 1963. godine može pretpostaviti da nisu sposobne podnijeti djelovanje potresa. Nadalje, može se reći kako su i centri vitalno za održanje funkcionalnosti cjelokupnog državnog sustava i omogućavanje jednostavnijeg oporavka društva i države, smješteni u zgradama za koje možemo pretpostaviti da ne mogu zadovoljiti potrebama sigurnosti određenih današnjim propisima. Samim time se može očekivati da neće biti u mogućnosti obavljati svoju dužnost u kriznoj situaciji, pa time predstavljaju najslabiju kariku društva.

Ako je prepoznata rizičnost građevnog inventara i ako već postoje saznanja što i kako učiniti, postavlja se pitanje: zašto ne preuzeti i prihvatiti već postojeća znanja? Iako u svijetu postoje pokušaji sagledavanja ovog problema kao cjeline, problem nikada nije bio obrađen za karakteristični građevni inventar i mjerodavna ograničenja određena zakonskim, ali i financijskim okvirima Republike Hrvatske, ali i šire regije. Prepreka prilikom implementacije modela za umanjene potresne povredljivosti građevnog inventara su karakterističan i u uvjetima Republike Hrvatske specifičan skup građevina iz razdoblja od 1860-ih do 1920-ih, koji je karakteriziran nearmiranim zidanim zgradama. Ove zgrade čine više od 30% građevina u gradovima u Republici Hrvatske [9]. Nerijetko su u njima smještene bitne državne institucije poput fakulteta, bolnica, ogranci državne uprave, vlada, sudovi i slično. Ove zgrade predstavljaju opasnost za korisnike, ali i one koje ovise o uslugama koje pružaju, u slučaju potresa. Za očekivati je da ovi objekti zbog statusa kulturne baštine i društvenog nasljeđa neće biti izuzete iz građevnog inventara gradova, pa možemo zaključiti kako je potrebno predvidjeti potrebu za usklađivanjem takvih građevina sa suvremenim sigurnosnim zahtjevima. Usklađivanje ovih objekata sa suvremenim propisima je multidisciplinarno pa problem treba sagledavati s organizacijskog, ekonomskog, regulativnog i tehnološkog gledišta.

Tako su kao problemi i predmeti ovog istraživanja prepoznati:

1. veliki broj zidanih zgrada izvedenih prije 1920. godine koji svojom konstrukcijom uslijed potresa nemaju mogućnost pružiti zahtijevanu sigurnost korisnicima, ni njihovoj imovini
2. ne postoje regule za brzu, sustavnu i objektivnu procjenu potresne povredljivosti zidanih zgrada za građevni inventar Republike Hrvatske
3. ne postoje jednoznačni i objektivni principi za potporu odlučivanju kod odabira zgrada za umanjene njihove potresne povredljivosti, a na osnovu njihove rizičnosti
4. ne postoje objektivizirani principi odabira tehnologija za umanjene potresne povredljivosti zgrada
5. ne postoje sustavi procjene troškova i isplativosti umanjenja potresne povredljivosti zgrada ne postoje sustavi koji bi omogućili objedinjavanje svih prethodno navedenih ciljeva i pri tomu omogućili uspješnu provedbu procjene skupa zgrada spram njihove potresne povredljivosti i isplativosti ojačanja na osnovu objektivnih i inženjerski primjenjivih kriterija, a da je pri tomu u potpunosti prilagođen zakonima Republike Hrvatske

#### Literatura

- 
- [1] Mexico, G.o. and W.B. Group, *Improving the Assessment of Disaster Risks to Strengthen Financial Resilience*, 2012.
  - [2] NRCNA, *National Earthquake Resilience: Research, Implementation, and Outreach*, 2011, The National Academies Press: USA. p. 278.
  - [3] *THE 1908 MESSINA EARTHQUAKE: 100-YEAR RETROSPECTIVE*, in *RMS - Risk Management Solutions*, R.-R.M. Solutions, Editor. 2008: internet. p. 16.
  - [4] Bruneau, M., *State-of-the-art report on seismic performance of unreinforced masonry buildings*, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 120, No. 1, 1994., pp. 230-251.
  - [5] Cooper, J.M., R. Carter, and R. Fenwick, *Final report - volume 4 - Earthquake-Prone Buildings*. Vol. 4. 2012, Christchurch, New Zealand: Canterbury Earthquakes Royal Commission.
  - [6] Tomažević, M., *Protupotresna obnova postojećih zidanih građevina*, *Građevinar*, Vol. 52, 2000., pp. 11.
  - [7] Alesch, D.J. and W.J. Petak. *Overcoming Obstacles to Implementing Earthquake Hazard Mitigation Policies. in Integrated Disaster Risk Management*. 2002. Laxenburg, Austria: IASA.
  - [8] Calista, D., *Policy implementation*, in *Encyclopedia of policy studies*, S.S. Nagel, Editor. 1994, Dekker: New York, USA. p. 117-155.
  - [9] Milić, B., *Urbani razvoj gradova na tlu Hrvatske - 09. st., Prostor*, 2005. **14 - 2006**: p. 22.



# 25.

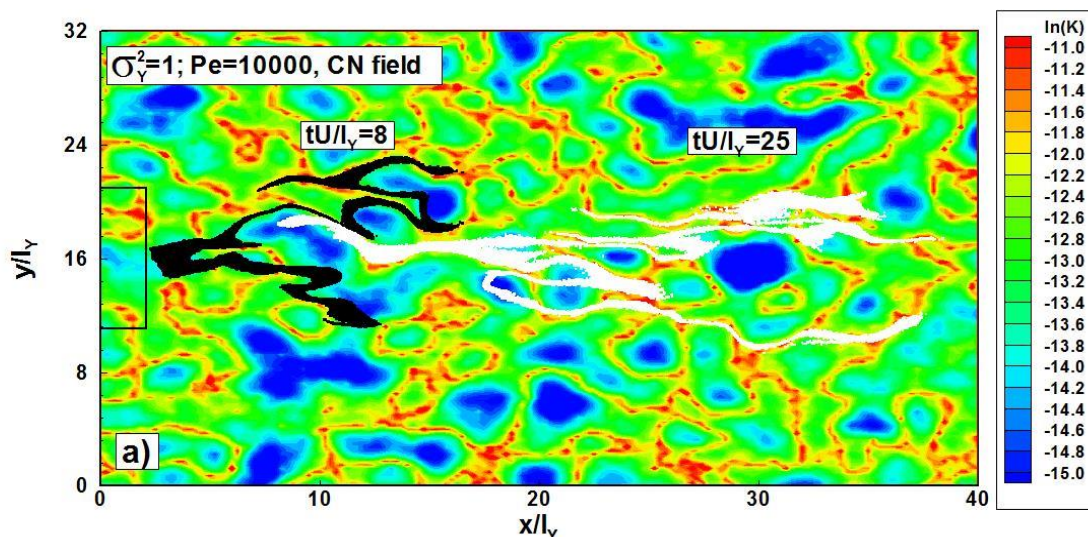
## UPOTREBA ANALITIČKIH MODELA DISTRIBUCIJE POLJA KONCENTRACIJE ZA POTREBE PROCJENE RIZIKA

**Veljko Srzić** ([veljko.srzic@gradst.hr](mailto:veljko.srzic@gradst.hr))

*Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije; Katedra za privrednu hidrotehniku*

Ekološki problemi su sveprisutni, neovisno o mediju u kojem dolazi do nekontroliranog ispuštanja toksičnih spojeva. Podzemne vode nisu izložene vanjskim utjecajima u mjeri u kojoj su izložene rijeke i jezera. Samim time uvelike su svakodnevno korištene kao voda za piće, u prehrambenoj industriji i za ostale svrhe. Onečišćenje podzemnih voda toksičnim spojem uzrokuje povećanje koncentracije spojeva štetnih po ljudsko zdravlje. Potreba za procjenom veličina koncentracije te vremena izloženosti je od presudnog značaja u kontroli kvalitete vode i očuvanju zdravlja korisnika iste [1].

Nepoznavanje prostorne raspodjele fizikalnih parametara tla ključan je faktor u prognozama ovog tipa te zahtijeva stohastički pristup u rješavanju problema. Sam transport kroz zasićenu poroznu sredinu definiran je dvama mehanizmima; advekcijom koja djeluje na svim skalama, i hidrodinamičkom disperzijom koja obuhvaća difuziju kao fizikalni proces te sve varijabilnosti brzina na skalama manjim od skale modela [2].

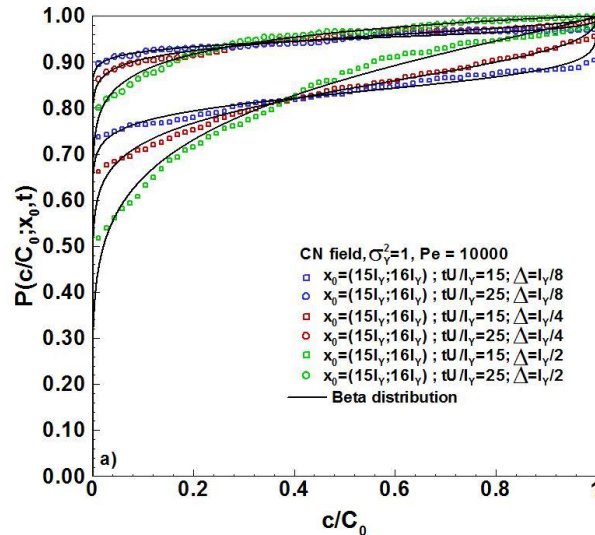


**Slika 1.** Jedna realizacija transporta u zasićenoj poroznoj formaciji

Poznavanje varijabilnosti polja koncentracije nužno je u prostornoj i vremenskoj domeni. Jedan od pristupa baziran je na Monte-Carlo metodi te analizi momenata [3] ili funkcije gustoće vjerojatnosti koncentracije [4]. Pristup ovakvog tipa zahtijeva značajne računске resurse te povećano vrijeme u nastojanju za dolaskom ka konačnom rješenju.

Ignoriranje funkcionalnih veza među momentima višeg i nižeg reda [5] indirektno je dokaz o mogućnosti korištenja analitičkih modela distribucija definiranih sa dva parametra; u ovom slučaju korištena je Beta distribucija.

Primjena analitičkih modela predstavlja znatno olakšan pristup. Uz značajno smanjenje kapaciteta moguće je ponuditi vrlo efektivna rješenja. Podudarnost sa Monte-Carlo rezultatima provodi se Cramer von Mises testom a direktna mjera kvalitete analitičkog modela verificira se rezultatima rizika od štetnog djelovanja toksičnog spoja na zdravlje korisnika.



Slika 2. Usporedba MC rezultata sa analitičkim modelom

Procjena rizika ukazuje na dominantan efekt hidrodinamičke disperzije [6] te ovisnost rezultata o udaljenosti između mjesta dodira toksičnog spoja sa podzemnom vodom i zahvata vode.

#### Literatura

- [1] Andricevic, R., Srzic, V., Gotovac, H.: Risk characterization for toxic chemicals transported in aquifers, *Adv Water Res*, 2012., doi: 10.1016/j.advwatres.2011.04.009.
- [2] Salandin, P., Fiorotto, V.: Solute transport in highly heterogeneous aquifers, *Water Resour Res*, Vol. 34, No. 5, 1998., pp. 949-961.
- [3] Fiori, A., Dagan, G.: Concentration fluctuations in aquifer transport: a rigorous first order solution and applications, *J Contam Hydrol*, Vol. 45, 2000., pp. 139-163.
- [4] Bellin, A., Tonina, D.: Probability density function of non-reactive solute concentration in heterogeneous porous formations, *J Contam Hydrol*, Vol. 91, 2007., pp. 109-25.
- [5] Srzic, V., Andricevic, R., Gotovac, H., Cvetkovic, V.: Collapse of higher order concentration moments in groundwater transport, *Water Resour Res*, Vol. 49, 2013., pp. 4751-4764.
- [6] Tonina, D., Bellin, A.: Effects of pore scale dispersion, degree of heterogeneity, sampling size, and source volume on the concentration moments of conservative solutes in heterogeneous formations, *Adv Water Resour*, Vol. 31, 2008., pp. 339-354.

# 26.

## PREDVIĐANJE RAZINA PODZEMNE VODE UPOTREBOM UMJETNE NEURONSKE MREŽE (UNM) NA PRIMJERU SLIVA SLANOG POTOKA

**Ivana Sušanj (isusanj@uniri.hr), Nevenka Ožanić (nevenka.ozanic@uniri.hr)**

Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet; Katedra za hidrotehniku

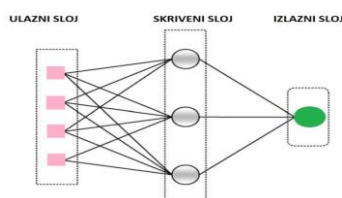
Analogni i fizikalni modeli su danas široko rasprostranjeni alat za razumjevanje i opisivanje hidroloških procesa. Prilikom njihove primjene u nekom specifičnom području (poput predviđanja hidroloških parametara) često dolazi do ograničenja u smislu mogućnosti šire primjene tih modela [1]. Zbog toga, u zadnja četiri desetljeća vidljiv je naglasak upravo na razvoj matematičkih modela koji su u mnogočemu pridonijeli sveobuhvatnom modeliranju hidroloških procesa usmjeravajući građevinsku struku prema optimalizaciji postojećih i planiranih hidroloških objekata. Razvoj računalne tehnologije ključan je za razvoj modela predviđanja, koji imaju sposobnost obrade i analize velikog broja ulaznih podataka kako bi u što kraćem vremenu dali tražene izlazne podatke. Valja napomenuti da među velikim brojem postojećih modela glavni problem predstavljaju (i) validacija ulaznih i (ii) nemogućnost verifikacije izlaznih podataka koji mogu dovesti model glavne, usprkos složenosti i uloženom trudu, do njegove neupotrebljivosti. Upravo zbog toga je od ključne važnosti sprovesti kontinuirana terenska mjerenja potrebnih hidroloških i meteoroloških parametara modela, koji će potom omogućiti njegovu verifikaciji.

Prema definiciji koju je dao Aleksander Morton (1990) umjetna neuronska mreža (UNM) je „masivni paralelni distribuirani sustav za obradu podataka koji se sastoji od jednostavnih elemenata i ima prirodnu sklonost pohranjivanja iskustvenog znanja koje potom može i koristiti, a sličan mozgu prema načinu na koji stječe i pohranjuje znanje. Neuronska mreža znanje stiče kroz proces učenja, a pohranjuje ga posredstvom intenziteta međuneuronskih mreža.“ [2]. Primjena UNM-a rasprostranjena je u svim segmentima ljudskog djelovanja, no začudo, očekivana primjena u vodnom gospodarstvu u svrhu izrade hidroloških modela na području Republike Hrvatske je, usprkos širokoj primjeni u Svijetu, izostala [3]. Razlog tomu moguće je naći u većoj koncentraciji stručnjaka na razvitak i usavršavanje postojećih modela.

Unutar ovoga rada je prikazan UNM model koji je razvijen s ciljem predviđanja kolebanja podzemnih razina vode a koji se može opisati kao „black box“ model čije su glavna karakteristike sposobnost učenja, pamćenja i generalizacije podataka na osnovi ulaznih i izlaznih podataka. UNM posjeduje svojstvo modeliranja dinamičkih nelinearnih funkcija između podataka bez zadiranja u opis procesa između ulaza i izlaza iz modela. Spomenuti model bazira se na strukturi višeslojnog perceptrona (engl. *Multy Layer Perceptron - MLP*) umjetne neuronske mreže a koji se sastoji od ulaznog, skrivenih slojeva i izlaznog sloja (Slika1) Unutar spomenute strukture je u svrhu učenja modela korišten Levenberg-Marquardt (LM) algoritam učenja koji je modifikacija klasičnog *Newton-ovog* optimalizacijskog algoritma i metode konjugiranog gradijenta čime se aproksimira *Hessian* matrica zakrivljenosti površine prostora pogreške. LM algoritam se može prikazati na sljedeći način:

$$x_{k+1} = x_k - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad (1)$$

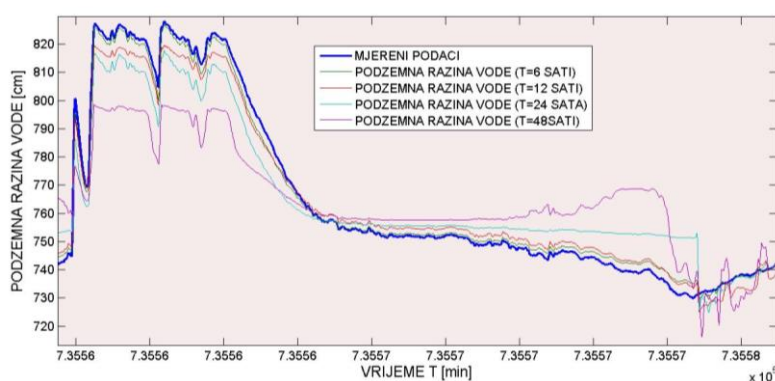
gdje je  $x$  vrijednost neuronske mreže,  $J$  Jakobijan matrica sastavljena od prvih derivacija vektora pogreške  $e$  po podesivim parametrima mreže,  $\mu$  skalarni parametar koji kontrolira proces učenja unutar mreže,  $I$  jedinična matrica te  $e$  vektor pogreške. Parametar  $\mu$  kontrolira algoritam pri čemu, ukoliko teži minimumu, pretvara izraz (1) u *Newton-ov* algoritam dok u suprotnom postaje sve sličniji algoritmu konjugiranog gradijenta [4].



Slika 1. Model strukture višeslojnog perceptrona [1]

Predviđanje podzemnih razina vode na temelju mjerenih meteoroloških parametara za istražno područje Slanog potoka dio je hidrološkog modela koji će služiti za predviđanje otjecanja sa sliva. U ovom radu ispitan je vremenski inkrement kojim ovaj model može predvidjeti razina podzemne vode. Ovo područje izabrano 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. Razvijeni model dalje je moguće koristiti kao alat za predviđanje pojave spomenutih hazarda čiji je glavni pokretač voda na slivovima sličnih karakteristika.

UNM model s 10 skrivenih slojeva izrađen je pomoću programskog paketa *Matlab* tvrtke *MathWorks* unutar kojeg je formiran ulazni sloj meteoroloških i hidroloških podataka koji utječu na kolebanje podzemne razine vode za analizirano razdoblje prikupljenih podataka od rujna 2013. do svibnja 2014. godine. Količina oborine, intenzitet oborine, temperatura zraka, brzina vjetera, insolacija (mjerni instrument: meteorološka postaja Vantage pro 2 proizvođača Davis Instruments) i razina podzemne vode (mjerni instrument: Mini Diver proizvođača Schlumberger Water Services) ulazni su sloj podataka u model a mjereni su u 10-minutnom vremenskom koraku. Izlazni sloj predstavljaju podaci predviđanja podzemne razine vode u vremenskim koracima od 6, 12, 24 i 48 sati. Kvaliteta predviđanja je ispitana s dva reprezentativna kriterija: korijenom srednje kvadratne pogreške (engl. *Root Mean Squared Error - RMSE*) i koeficijentom određenosti (engl. *Coefficient of determination - r<sup>2</sup>*) [4]. Kvaliteta odnosno točnosti modela definirana je ovim dvjema parametrima, gdje vrijednosti *RMSE* koji teže prema nuli te *r<sup>2</sup>* koji teže prema jedan predstavljaju dobre modele. Rezultati predviđanja za zadane vremenske korake prikazani su grafom (Slika 2) i tablično s kriterijima (Tablica 1).



Slika 2. Usporedni prikaz mjerenih podataka i izlaza iz modela

Tablica 1. Vrijednost parametara kvalitete modela prema vremenu predviđanja

| Korak vremena [h] | <i>RMSE</i> [-] | <i>r<sup>2</sup></i> [-] |
|-------------------|-----------------|--------------------------|
| 6                 | 6.338           | 0.9925                   |
| 12                | 10.306          | 0.98422                  |
| 24                | 15.833          | 0.97068                  |
| 48                | 23.575          | 0.94584                  |

Dobiveni rezultati pokazuju da je na području Slanog potoka moguće najtočnije predvidjeti razinu podzemnih voda za vremenski korak od 12 sati s obzirom na dostupne mjerene podatke. Vrijednost parametara točnosti ukazuje da je za sve slučajeve vrlo visok koeficijent određenosti dok je korijenom srednje kvadratne pogreške veći od željenog a što je vidljivo i na Slici 2. Obzirom na hidrogeološke karakteristike sliva Slanog potoka koji je bujični vodotok s vrlo velikim koeficijentom otjecanja sa sliva u zimskim mjesecima bez vegetacije, a značajno umanjenim u vrijeme rasta vegetacije u proljeće, analiziran je kišni period godine (od rujna 2013. do svibnja 2014. godine). U daljnjem razvoju hidrološkog modela, unutar dizertacije autorice, očekuje se da će povećanjem broja ulaznih podataka model dati mogućnost većeg koraka predviđanja, te da će u ovom slučaju korijen srednje kvadratne pogreške biti manji, te težiti svom minimumu. Predstavljeni model može značajno pridonijeti razvitku sistema za rano uzbunjivanje stanovništva od potencijalnih hazarda kao što je primjerice poplava na istraživanom području dok je također moguća prilagodba modela i za druge slivove s uvijetom kontinuiranog mjerenja meteoroloških i hidroloških podataka.

#### Literatura

- [1] Daliakopoulos, I.N., Coulibaly, P., Tsanis, I.K.: Groundwater level forecasting using artificial neural networks, *Journal of Hydrology*, Vol. 309, No. 1, 2005., pp. 229-240.
- [2] Haykin, S.: *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Pearson Education Inc., Singapur, Singapur, 1999.
- [3] Vouk, D., Malus, D., Carević, D.: Neuralne mreže i njihova primjena u vodnom gospodarstvu, *Građevinar*, Vol. 63, No. 6, 2011., pp. 547-554.
- [4] Abrahart, R.J., Kneale, P.E., See, L.M.: *Neural networks for hydrological modelling*, Taylor & Francis Group plc, London, U.K., 2004.



# 27.

## NUMERIČKI MODEL VIŠESLOJNE GREDE S POPUSTLJIVOM VEZOM MEĐU SLOJEVIMA

Leo Škec ([leo.skec@uniri.hr](mailto:leo.skec@uniri.hr))

Sveučilište u Rijeci; Građevinski Fakultet; Katedra za tehničku mehaniku

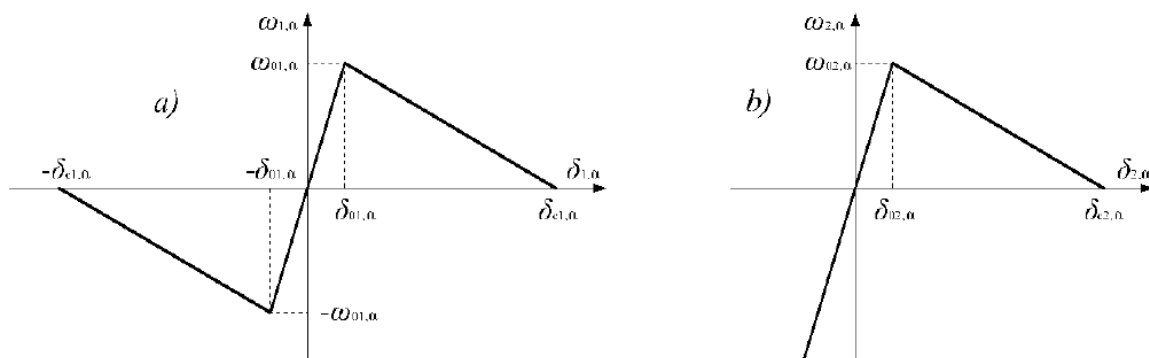
Pod modeliranje slojevitih nosača podrazumijeva se, osim modeliranja spregnutih nosača, i modeliranje homogenih nosača izrađenih od istog materijala koji su uslojeni u stvarnosti ili samo u modelu [1]. Gredni modeli za slojevite nosače u pravilu se razlikuju po broju slojeva (dva, tri ili više) te stupnju složenosti (točnosti) geometrijskih i materijalnih relacija. U ovom radu predstavljen je model za geometrijski linearne višeslojne grede s popustljivim kontaktom među slojevima. Za kontaktni sloj usvojen je model kojeg su predstavili Alfano i Crisfield [2] i koji omogućava modeliranje mješovitog raslojavanja (engl. *Mixed mode delamination*) kombiniranjem oblika (moda) I (poprečno raslojavanje) i II (uzdužno raslojavanje).

U modelu je zadana ravna slojevita greda duljine  $L$  sastavljena od  $n$  slojeva, od kojih svaki sloj ( $i$ ) može imati zasebne materijalne i geometrijske karakteristike. Greda je smještena u ravninu čije su prostorne osi definirane baznim vektorima  $e_1$  i  $e_2$ , a položaj grede u prostornom koordinatnom sustavu u nedeformiranom stanju definiran je baznim vektorima  $t_{01}$  i  $t_{02}$ . U deformiranom stanju položaj nekog sloja  $i$  slojevite grede definiran je baznim vektorima  $t_{i,1}$  i  $t_{i,2}$  koji ovise o kutu zaokreta poprečnog presjeka sloja  $i$  -  $\theta_i$ .

Kinematičke jednadžbe slojeva su linearizirane Reissnerove jednadžbe, koje se svode na Timoshenkovu grednu teoriju. Konstitutivni zakon slojeva je linearno-elastičan. Vezne jednadžbe povezuju susjedne slojeve preko relativnog pomaka kontaktnog sloja. Konstitutivni zakon kontaktnog sloja  $\alpha$  definiran je za svaki oblik raslojavanja posebno prema Slici 1. Za mjeru oštećenja kod mješovitog raslojavanja koristi se parametar koji kombinira oštećenja nastala od svakog oblika pojedinačno prema izrazu

$$\beta_\alpha(\tau') = \left[ \left( \frac{|\delta_{1,\alpha}(\tau')|}{\delta_{01,\alpha}} \right)^\eta + \left( \frac{\langle \delta_{2,\alpha}(\tau') \rangle}{\delta_{02,\alpha}} \right)^\eta \right]^{\frac{1}{\eta}} - 1, \quad \eta = 2, \quad (1)$$

gdje je  $\langle x \rangle$  McCauleyeva zagrada.



Slika 1. Konstitutivni zakon kontaktnog sloja za: a) oblik II (smjer 1) i b) oblik I (smjer 2)

Oštećenje je nepovratno, tako da u nekom trenutku  $\tau$  pseudo-vremena  $\bar{\beta}_\alpha(\tau)$  predstavlja najveće oštećenje od svih koja su se do tada dogodila. Kontaktna naprezanja računaju se prema izrazu

$$\omega_\alpha = \begin{cases} \omega_{\alpha,1} \\ \omega_{\alpha,2} \end{cases} = \begin{cases} S_\alpha \delta_\alpha & \text{ako je } \bar{\beta}_\alpha \leq 0 \\ [I - G_\alpha P_\alpha] S_\alpha \delta_\alpha & \text{ako je } \bar{\beta}_\alpha > 0 \end{cases}, \quad (2)$$

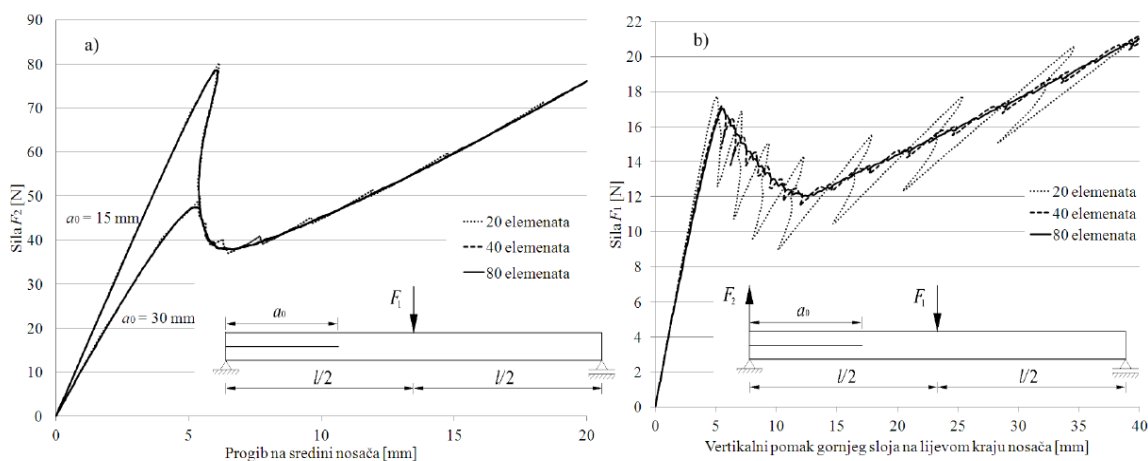
gdje je

$$\begin{aligned}
 \mathbf{S}_\alpha &= \begin{bmatrix} S_{1,\alpha} & 0 \\ 0 & S_{2,\alpha} \end{bmatrix}, \quad S_{i,\alpha} = \frac{\omega_{0i,\alpha}}{\delta_{0i,\alpha}}, \quad \mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G}_\alpha = \begin{bmatrix} g_{1,\alpha} & 0 \\ 0 & g_{2,\alpha} \end{bmatrix}, \\
 g_{i,\alpha} &= \min \left\{ 1, \frac{\delta_{ci,\alpha}}{\delta_{ci,\alpha} - \delta_{0i,\alpha}} \frac{\bar{\beta}_\alpha}{1 + \bar{\beta}_\alpha} \right\}, \quad \mathbf{P}_\alpha = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \langle \text{sgn}(\delta_{2,\alpha}) \rangle \end{bmatrix}, \quad i=1,2.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Slučaj  $\bar{\beta}_\alpha \leq 0$  predstavlja linearno-elastično područje, dok za  $\bar{\beta}_\alpha > 0$  dolazi do oštećenja kontaktnog sloja te, konačno, kada je  $g_{i,\alpha} = 1$  do potpunog gubitka nosivosti kontaktnog sloja ( $\omega_\alpha = 0$ ). Matrica  $\mathbf{P}_\alpha$ , ovisno o veličini parametra  $S_{i,\alpha}$  ( $i = 1, 2$ ), djelomično sprečava međusobno prodiranje susjednih slojeva u slučaju tlačnih kontaktnih naprezanja u smjeru 2 (Slika 1b). Treba naglasiti da se u slučaju kada se jedan od dva oblika raslojavanja ne aktivira, konstitutivni zakon (2) reducira na Sliku 1a odnosno Sliku 1b.

Za statički problem ukupni virtualni rad za čitavu višeslojnu gredu sa  $n$  slojeva i  $n-1$  kontaktnih slojeva dobiva se kao zbroj virtualnih radova unutrašnjih sila po slojevima i kontaktnim slojevima od čega se oduzima virtualni rad vanjskih sila po slojevima. Domena je diskretizirana na  $N$  čvorova. Nakon što se izolira vektor čvornih virtualnih pomaka i rotacija za sve slojeve, moguće je definirati vektor neuravnoteženih sila, koji se sastoji od vektora unutrašnjih sila (dio od slojeva i dio od kontakta) i vektora vanjskih sila (raspodijeljeno opterećenje ili koncentrirane čvorne sile). Nakon linearizacije vektora neuravnoteženih sila dobiva se čvorna matrica krutosti za gredni višeslojni konačni element, te se rješenja sustava (čvorni pomaci i zaokreti svih slojeva) dobivaju iterativno koristeći Newton-Raphsonovu proceduru. Budući da kod sustava s raslojavanjem postoje vrlo oštri zaokreti u dijagramu sila-pomak (što će biti pokazano na primjerima) u proceduri za rješavanje koristi se i modificirana metoda lučne duljine (engl. *Modified arc-length method*). Za integriranje kod grednih konačnih elemenata korištena je Gaussova integracija u  $N-1$  točaka po elementu, a kod kontaktnih konačnih elemenata Simpsonova integracija u  $N + 1$  točaka po elementu.

Predstavljeni model testiran je na primjeru sa Slike 2, gdje se u slučaju kada djeluje samo sila  $F_1$  događa samo raslojavanje oblika II (klizanje jednog sloja po drugome), a kada djeluju obje sile dolazi do mješovitog raslojavanja (poprečno odvajanje gornjeg sloja u odnosu na donji uz međusobno uzdužno klizanje) [3]. U oba slučaja povećanjem opterećenja dolazi do propagacije pukotine  $a_0$  s lijeva na desno. Numerički parametri su  $l = 100$  mm,  $a_0 = 30$  mm,  $h = 3$  mm,  $b = 1$  mm,  $E = 135000$  N/mm<sup>2</sup>,  $\nu = 0.25$ ,  $\omega_{0i} = 57$  N/mm<sup>2</sup>,  $\delta_{0i} = 10^{-7}$  mm,  $\delta_{ci} = 0.14$  mm,  $S_i = 5.7 \cdot 10^8$  N/mm<sup>3</sup>,  $i = 1, 2$ ,  $F_2 = 0.4535 F_1$ . Kod rijetkih mreža može se uočiti značajnije odstupanje od točnog rješenja koje nastaje kao rasterećenje nakon potpunog gubitka nosivosti kontaktnog sloja u po jedinoj integracijskoj točki. Ta se pojava može uočiti i kod gušćih mreža, ali su tada odstupanja od točnog rješenja manja. Uočeno je da prikazani rezultati odgovaraju rezultatima iz literature [3] koji su dobiveni koristeći izotropne i ortotropne konačne elemente za ravninsko stanje deformacija u geometrijski linearnoj analizi.



Slika 2. Rezultati testova za: a) uzdužno raslojavanje (oblik II) i b) mješovito raslojavanje.

### Literatura

- [1] Škec, L., Jelenić, G.: Analysis of a geometrically exact multi-layer beam with a rigid interlayer connection, *Acta Mech.*, Vol. 225, No. 2, 2014., pp. 523–541.
- [2] Alfano, G., Crisfield, M.A.: Finite element interface models for the delamination analysis of laminated composites: mechanical and computational issues, *Int. J. Numer. Mech. Eng.*, Vol. 50, No. 7, 2001., pp. 1701–1736.
- [3] Mi, Y., Crisfield, M., Davies, G., Hellweg, H.: Progressive Delamination Using Interface Elements, *J. Compos. Mater.*, Vol. 32, No. 14, 1998., pp.1246–1272.

# 28.

## SPREZANJE STAKLOPLASTIKE

**Tihomir Štefić** (*tstefic@gfos.hr*)

*Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku; Građevinski fakultet Osijek; Zavod za materijale i konstrukcije; Katedra za zidane, drvene i metalne konstrukcije*

Koncept stakloplastike odnosno staklom armiranog polimera (glass fibre reinforced polymer – GFRP), a i svakog kompozitnog materijala je upotreba više materijala, najčešće dva, kako bi iz istih nastao treći materijal odnosno kompozit. Ideja je da taj kompozit iskoristi najbolje karakteristike pojedinih materijala odnosno bude materijal koje je sposoban podnijeti, preuzeti ili prenijeti puno više utjecaja ili ispuniti puno više zahtjeva koji se danas postavljaju na moderne konstrukcije od pojedinačnih materijala od kojih se sastoji. Najbolji i najjednostavniji primjer kompozita je beton pa onda i armirani te spregnuti beton. Slično kao i kod stakloplastike sastoji se od matrice odnosno agregata i ispune odnosno armature i prednapetih kablova. Osim stakloplastike poznato je te se koristi i istražuje veliki broj drugih kompozita. Upravo istraživanje i traženje dobrih komponenti (materijala) te povoljnog spoja (kombinacije) odnosno kompozita ima za želju naći kompozit za svaki okoliš i uvjete u kojima se nalazi konstrukcija. Upotreba stakloplastike je najveća u području brodogradnje (manje brodice), sportskoj industriji (sportski rekviziti), svakodnevnom kućanstvu (tobogani, posude, sanitarije, i dr.) te naravno i građevini [1]. Osim spomenutih uobičajenih uvjeta koje nameću konstrukcije i financijski dio je postao jako bitan te se i stakloplastika u svojoj primjeni mora tome prilagoditi [2]. Svaka ušteda se računa i svaki dodatni rad nepotrebno financijski opterećuje konstrukciju. Trenutno se stakloplastika najviše istražuje i primjenjuje pri izgradnji mostova [3, 4] te iako se koriste i ostali kompoziti stakloplastika je kroz svoju primjenu u ostalim područjima, a time i proizvodnu količinu polako postaje sve dostupniji odnosno troškovno pristupačniji materijal.

Ideja ovog istraživanja je napraviti korak dalje u sprezanju različitih materijala odnosno sprezanju kompozitnih materijala kao stakloplastike s uobičajenim materijalima koji se koriste u građevini. Kako puno situacija u građevinarstvu zahtjeva upotrebu već korištenih dijelova konstrukcije ili materijala ideja je koristiti neki kompozit, npr. stakloplastiku, kao materijal s kojim ćemo spregnuti odnosno ojačati konstrukciju ili neki njen dio. Puno konstrukcija se već sada pojačava ili sanira s raznim konvencionalnim (čelik, beton, i dr.) ili manje konvencionalnim (karbonska vlakna, platna, armatura od kompozita) materijalima te upravo ovdje stakloplastika može naći svoje mjesto [5]. Ovome u prilog ide i način proizvodnje stakloplastike koji nije zahtjevan te ga je moguće izvesti u skoro svim uvjetima.

Kako se na svakom području života pokušavamo što je moguće više približiti održivom i obnovljivom tako se i primjena takvih konstrukcija pojačava. Isto se može postići i s kompozitnim materijalima ukoliko ih sastavljamo od materijala koji su obnovljivi. Svoju primjenu tu su odmah našle i drvene konstrukcije, ali još nije toliko istražena i korištena mogućnost pojačanja ili armiranja konstrukcija od drva [6]. Kroz obradu drva danas možemo dobiti drvo kao jedan relativno homogen materijal koji se sasvim dobro koristi u konstrukcijama uz relativno mala ograničenja. Ali kako on ipak nastaje u prirodi ima određena ograničenja u svojim karakteristikama, a tako i primjeni. Svakako se ovaj spoj drvenih i kompozitnih konstrukcija nameće kao održivi i obnovljiv sustav te predstavlja obećavajući smjer za daljnja istraživanja.

Osim proizvodnje spregnutih konstrukcija stakloplastika, a i ostali kompoziti, vrlo jednostavno se mogu primijeniti i kod sanacije oštećenih konstrukcija [7]. Iako postoji veliki broj materijala koji su se ustalili kod sanacija ili popravaka raznih konstrukcija (čelik, aluminij, laki beton i sl.) stakloplastika svojim karakteristikama djeluje kao dobar odabir. Naime relativno malom specifičnom težinom minimalno dodatno opterećuje konstrukciju, povoljnim mehaničkim svojstvima lako sanira odnosno ojačava konstrukciju te uz vrlo dobru otpornost na vanjske utjecaje, čini konstrukciju otpornijom a time i trajnijom što je svakako pozitivna osobina.

Upravo je otpornost i trajnost kompozitnih materijala otvorila vrata zamjeni čelika u armiranom betonu s armaturom izrađenog od nekog kompozitnog materijala. Ili pak zaštita vanjskih površina konstrukcija, a ujedno i ojačanje iste je također jedna od proučavanih tema raznih istraživanja. U oba navedena slučaja stakloplastika može naći svoje mjesto. Svaka konstrukcija ima specifične zahtjeve prvenstveno u pogledu nosivosti, ali kao jedno od bitnih stavki i u pogledu trajnosti. Na primjer kod drvenih konstrukcija uvijek je teško izbjeći širenje požara, a dobrim odabirom komponenti kompozitnog materijala možemo takvu konstrukciju obložiti i učiniti negorivom. I

ujedno ju ojačati tim istim kompozitnim materijalom bez dodatne intervencije.

Jedan od bitnih zahtjeva za konstrukcije, a trenutno i aktualnih u javnosti, je i ispunjavanje određenih izolacijskih svojstava u smislu potrošnje energije za korištenje naše konstrukcije odnosno građevine. Kako su kompoziti materijali dobrih mehaničkih karakteristika u pravilu su konstrukcije od njih sastavljene od tankih segmenata. S druge strane uobičajeni oblici poprečnih presjeka obično diktiraju što je moguće veću visinu kako bi i nosivost nosača bila što je moguće veća. Upravo se sprežanjem izolacijskih materijala sa stakloplastikom ili nekim sličnim kompozitom može sastaviti nešto viši presjek s tankim stjenkama (što uzrokuje malu potrošnju materijala te time i cijenu i težinu konstrukcije), što će u konačnici činiti presjek dobrih izolacijskih karakteristika, dobre otpornosti na vanjske utjecaje i dobre nosivosti. Nepovoljna karakteristika tankih stijenki u poprečnom presjeku je što mogu uzrokovati lokalnu nestabilnost te i globalni slom uslijed toga. Tako vitke dijelove presjeka potrebno je pridržati odnosno prostorno stabilizirati. Kako su ti utjecaji koji destabiliziraju dijelove presjeka relativno malih vrijednosti to je moguće učiniti i sa samom ispunom.

Ideja ovog istraživanja je naći idealan par materijala koji će se nadopunjavati. Na strani stakloplastike su bolje mehaničke karakteristike, homogenost, mogućnost utjecaja na karakteristike samog kompozita kroz utjecaj/korekciju matrice i/ili ispune te njihovog omjera, jednostavan način proizvodnje i primjene, dobra otpornost na vanjske utjecaje, mogućnost reciklaže. Kao materijali koje će sprežati stakloplastika koristiti će se drvo (široka primjena, obnovljiv i prirodan materijal, dobre toplinsko-izolacijske karakteristike, mogućnost nove proizvodnje iz recikliranih komponenti), ekstrudirani polistiren (široka primjena, odlična toplinska izolacija, mala težina) i ekspanzirani polistiren (kao i ekstrudirani, ali nešto bolje trajnosti). Primjena predviđenih nosača je u nosivim konstrukcijama, a primarno područje istraživanja je potvrditi jesu li ti parovi materijala dobro usklađeni te koliko koji par čini dobar odabir i s kakvim karakteristikama.

Ispitivanja bi se radila na modelima omjera od oko 1:5 te bi predstavljali nosače raspona od oko 5m što čini prosjek u konvencionalnim građevinskim konstrukcijama. Za par materijala koji se pokaže kao najbolji izradili bi se i modeli u mjerilu 1:1. Za usporedbu bi se koristili i nosači napravljeni samo od pojedinih materijala: samo stakloplastike, samo drvo, samo EPS te samo XPS. Sve ispitivane nosače te rezultate će se numerički potvrditi i kao rezultat predložiti metoda izračuna odabranih nosača, ali i uvjeti korištenja nekih sličnih varijanti, materijala i nosača.

#### Literatura

- [1] Gerdeen, J.C., Lord, H.W., Rorrer, R.A.L.: *Engineering Design with Polymers and Composites*, CRC Press, Boca Raton, 2006.
- [2] Kim, G.B., Pilakoutas, K., Waldron, P.: Thin FRP/GFRP structural elements, *Cement & Concrete Composites*, Vol. 30, 2008., pp. 122–137.
- [3] Yeou-Fong Li, Sainey Badjie, Walter W. Chen, Yu-Tsung Chiu: Case study of first all-GFRP pedestrian bridge in Taiwan, *Case Studies in Construction Materials*, Vol. 1, 2014., pp. 83–95.
- [4] Stankiewicz, B.: Composite GFRP Deck for Bridge Structures, *Procedia Engineering*, Vol. 40, 2012., pp. 423–427.
- [5] Moravčík, M., Kotula, P., Bahleda, F.: Experimental and FEM analysis of Hybrid composite structures with GFRP elements, *Procedia Engineering 40, Steel Structures and Bridges 2012*, 2012., pp. 268–273.
- [6] Alhayek, Hanan; Svecova, Dagmar: Flexural Stiffness and Strength of GFRP-Reinforced Timber Beams, *Journal of Composites for Construction*, Vol. 16, No. 3, 2012., pp. 245–252.
- [7] Alam, P., Ansell, M.P., Smedley, D.: Mechanical repair of timber beams fractured in flexure using bonded-in reinforcements, *Composites Part B-Engineering*, Vol. 40, No. 2, pp. 95–106.



# 29.

## INFRASTRUKTURA PROSTORNIH PODATAKA O MORU U HRVATSKOJ

*Marina Tavra (mtavra@gradst.hr)*

*Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije; Katedra za geodeziju i geoinformatiku*

Zbog svoje temeljne vrijednosti, prostorne podatke trebaju gotovo sve gospodarske grane i znanstvene discipline. Prostorni podaci, upravljanje njima, njihova razmjena i korištenje čine jednu od osnova razvoja društva. Zbog toga je **Nacionalna infrastruktura prostornih podataka (NIPP)** definirana kao skup tehnologija, mjera, normi, provedbenih pravila, usluga, ljudskih kapaciteta i ostalih čimbenika koji omogućavaju djelotvorno objedinjavanje, upravljanje i održavanje dijeljenja prostornih podataka u svrhu zadovoljenja potreba na nacionalnoj, kao i na europskoj razini. NIPP je dio Europske infrastrukture prostornih podataka određene INSPIRE direktivom [1]. INSPIRE direktiva se zasniva na postojećim NIPP-ovima zemalja članica EU i ne zahtijeva novo prikupljanje podataka, ali zahtijeva harmonizaciju postojećih podataka. INSPIRE direktiva u sve tri skupine (*Annex I, II i III*) navodi teme prostornih podataka vezanih za more:

**Tablica 1.** Skupine podataka vezanih za more prema INSPIRE direktivi

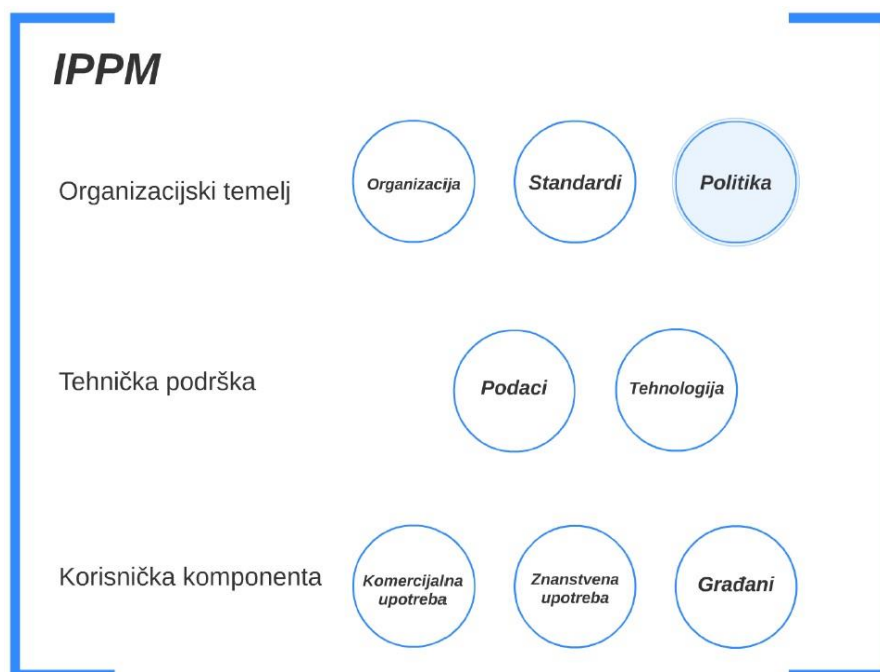
| 1. skupina         | 2. skupina       | 3. skupina   |
|--------------------|------------------|--|
| Geografska imena   | Visine           | Geologija  |
| Upravne jedinice   | Pokrov zemljišta | Sustavi za nadzor okoliša  |
| Prometne mreže     | Ortofotosnimke   | Proizvodna i industrijska postrojenja  |
| Hidrografija       |                  | Sustavi za poljoprivredu i akvakulturu   |
| Zaštićena područja |                  | Područja upravljanja/zaštićena područja/, uređena područja i jedinice za izvješćivanje |
|                    |                  | Oceanografsko-geografska obilježja   |
|                    |                  | Morske regije  |
|                    |                  | Biogeografske regije   |
|                    |                  | Rasprostranjenost vrsta  |
|                    |                  | Izvori energije  |
|                    |                  | Izvori minerala  |

Infrastruktura prostornih podataka o moru (IPPM) obuhvaća prostorne podatke o moru u najširem smislu, a obvezno uključuje topografiju morskog dna (batimetriju), geologiju, administrativne granice, pomorski katastar, područja zaštite prirodnih morskih staništa i oceanografiju [2] i mnoge druge podatke.

Infrastruktura prostornih podataka koja obuhvaća podatke o moru i obali neophodna je za svaku državu koja ima izlaz na more. Prema Duplančić Leder i dr. [3] Hrvatska je po razvedenosti obale na drugom mjestu na Sredozemlju, s teritorijalnim morem čija ukupna površina iznosi oko 55349 km<sup>2</sup> odnosno 97.9% kopnene površine. Uslijed velike ekonomske vrijednosti, aktivnosti koje se odvijaju u obalnom i morskom području te društvenoj vrijednosti obalne zone za kvalitetu života, upravljanje obalnim područjem je ključna sastavnica društveno-ekonomskog okvira većine primorskih država [4]. Obalna zona izložena je prirodnim katastrofama koje mogu doći s mora te globalnom zatopljenju koje može uzrokovati porast morske razine, što se odražava na prava, ograničenja i odgovornosti kako države tako i pojedinca koji su u posjedu zemljišta na obali, odnosno njime upravljaju. Stoga je vrlo važno imati točan i kompletan izvor prostornih podataka i odgovarajuće usluge, kako bi se omogućilo planiranje razvoja obalne zone te blagovremeno upravljanje katastrofama [5].

IPPM inicijative razvijaju se u mnogim državama i imaju zajednički cilj, olakšati razmjenu prostornih informacija kako bi se poboljšao proces donošenja odluka te upravljanje u morskom i obalnom području. Veliki broj primorskih država istražuje različite pristupe za bolje upravljanje područjima svojih nadležnosti, često pritom koristeći tehnologije ili alate za upravljanje prostornim podacima [6]. Postoji potreba za boljim i sveobuhvatnijim načinom povezivanja različitih inicijativa, nudeći pritom bolje razumijevanje potrebe za povezivanjem morskog i obalnog okoliša. Ova saznanja daju daljnju potporu tvrdnji da se IPP obalnog područja ne može i ne treba razvijati

u izolaciji od šire nacionalne IPP bilo koje nadležnosti [5, 7]. Na temelju međunarodnih iskustava potrebno je zadovoljiti sve veću potrebu za uspostavljanjem infrastrukture prostornih podataka o moru kao i njihovog dijeljenja.



**Slika 1.** Procesi i komponente IPPM-a

Postojan sustav upravljanja, održavanja i zaštite morskog područja u Republici Hrvatskoj nije u potpunosti razvijen. Zakonska regulativa nedovoljno uvažava i respektira interese svih razina vlasti koje bi trebale biti u funkciji gospodarskog razvoja i zaštite obalnog područja. Integralno upravljanje obalnim i morskim područjima je trajan i prilagodljiv proces upravljanja resursima, u cilju postizanja održivog razvoja u obalnom i morskom području. IPPM-a i razvoj geoportala predstavlja temelj u postizanju tih ciljeva [8]. Pretpostavlja se da postoje specifični zahtjevi korisnika prostornih podataka o moru u RH, što ukazuju na veću potrebu korištenja IPPM-a. Uspostava IPPM-a u Hrvatskoj osim što bi dala podršku upravljanju i gospodarenju morskim dobrom naglašava bolju kontrolu aktivnosti koje se događaju u obalnom i priobalnom području. Budući geoportal temeljen na IPPM-u bi trebao uzeti u obzir zahtjeve korisnika, ali i specifičnosti prostora Jadranskog mora te optimalno iskoristilo potencijale tog prostora.

#### Literatura

- [1] Nacionalna infrastruktura prostornih podataka: NIPP, URL : [www.nipp.hr](http://www.nipp.hr) (1. 5. 2014.).
- [2] International Hydrographic Organization: Spatial Data Infrastructures „The Marine Dimension“ – Guidance for Hydrographic Offices, Edition 1.0., Published by the International Hydrographic Bureau, Monaco, 2009.
- [3] Duplančić Leder, T., Leder, N., Tavra, M.: Geospatial Data in Marine SDI Services, 6th International Maritime Science Conference, Split, Faculty of Maritime Studies Split, 2014., pp. 465-469.
- [4] Strain, L.: An SDI model to include the marine environment, M.Sc Thesis, University of Melbourne, Australia, 2006.
- [5] Vaez, S.: Building a Seamless SDI Model for Land and Marine, disertacija, Sveučilište u Melbourneu, Australia Environments, Australia, 2010.
- [6] Strain, L., Rajabifard, A., Williamson, I.: Spatial Data Infrastructure and Marine Administration, *Journal of Marine Policy*, Vol. 30, 2006., pp. 431-444.
- [7] Duplančić Leder, T., Leder, N.: Infrastruktura prostornih podataka o moru kao integralni dio nacionalne infrastrukture prostornih podataka, sažetak predavanja, 1. hrvatski NIPP i INSPIRE dan i Savjetovanje Kartografija i geoinformacije, Miljenko Lapaine (ur.), Hrvatsko kartografsko društvo, Zagreb, 2009., pp. 39-40.
- [8] Barišić, B.: Infrastruktura podataka obalnog područja, magistarski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2012.

# 30.

## MERITVE PREVOZNE HITROSTI V ENOPASOVNIH KROŽNIH KRIŽIŠČIH

**Tomaž Tollazzi** ([tomaz.tollazzi@um.si](mailto:tomaz.tollazzi@um.si)), **Marko Renčelj** ([marko.rencelj@um.si](mailto:marko.rencelj@um.si)), **Sašo Turnšek** ([saso.turnsek@um.si](mailto:saso.turnsek@um.si))

Univerza v Mariboru; Fakulteta za gradbeništvo; Katedra za prometne gradnje

Krožna križišča so danes prepoznana kot tip nivojskega križišča, ki ob relativno visoki kapaciteti oz. prepustnosti zagotavlja višji nivo prometne varnosti - seveda v primerjavi z ostalimi tipi nivojskih križišč. V Sloveniji se krožna križišča izvajajo tako v primeru novogradenj kot tudi v primeru rekonstrukcij obstoječih nesemaforiziranih ali semaforiziranih nivojskih križišč.

Danes se pri načrtovanju krožnih križišč poskuša doseči ravnovesje med prometno varnostjo in prepustno sposobnostjo (kapaciteto) krožnega križišča. Dobro načrtovano krožno križišče mora zagotoviti ustrezno prepustno sposobnost ob nezmanjšani ravni prometne varnosti. Na primer, tangencialni uvozi omogočajo višje uvozne hitrosti, kar posledično lahko privede do večjega števila konfliktnih situacij. Na drugi strani preveč „radialni uvozi“ zmanjšajo pretočno sposobnost krožnega križišča.

Ustrezno načrtovano krožno križišče že s svojo zasnovo „vodi“ voznika, da ob vstopu zmanjša hitrost in z zmanjšano hitrostjo tudi nadaljuje vožnjo skozi krožno križišče. Tuje izkušnje kažejo, da je krožno križišče pravilno načrtovano, če je radij prevozne poti ustrezne velikosti in če je izračunana prevozna hitrost manjša od 35 km/h [1].

Velikost uvoznega, sredinskega in izvoznega radija morajo biti med seboj usklajeni. Večja kot je ukrivljenost krivulje vožnje, manjša je hitrost vožnje (in obratno). Na prevozna hitrost lahko vplivamo na tri načine:

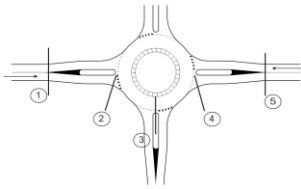
- s spreminjanjem velikosti in središča krožnega križišča (ustrezno, ampak v praksi večkrat neizvedljivo – prostorski kriterij),
- z oblikovanjem ločilnih otokov (manj ugodno, toda v praksi večkrat izvedeno) ter
- tangencialna poravnava zunanlega roba uvoznega kraka z zunanjim robom izvoznega kraka - odvisno od vpadnega kota glede na tangento na krožni lok. [2]

Z namenom določitve čim bolj jasnih korelacij oz. razmerij (med geometrijskimi elementi in prevoznimi hitrostmi) ter z namenom eliminiranja čim večjega števila vplivnih (motečih) faktorjev je bila zasnovana raziskava, s katero smo - na izbranih izvedenih primerih enopasovnih krožnih križišč - izvedli meritve hitrosti motornih vozil pri vožnji skozi krožno križišče.

Pred izvedbo terenskih meritev oz. pred izbiro primernih krožnih križišč so bili postavljeni naslednji omejitveni faktorji oz. omejitve:

- meritve smo opravljali le v enopasovnih krožnih križiščih,
- glavno prometno obremenitev predstavlja promet na GPS - „vožnjo naravnost“,
- izbrana so bila štirikraka krožna križišča,
- vpliv pešcev / kolesarjev je bil minimalen,
- hitrost na lokaciji krožnega križišča je omejena na 50 km/h,
- izbrana so bila „izolirana“ krožna križišča - zastoji sosednjih križišč niso imeli vpliva na prevozna hitrost v analiziranem krožnem križišču,
- analizirali smo rezultate dobljene le za osebna motorna vozila,
- izbrana krožna križišča so - glede na svoje značilnosti - ustrezala eni od treh skupin (izrazita (velika) defleksija, srednje velika defleksija in majhna defleksija).

Izvajanje meritev so se izvajale s pnevmatskimi števci prometa „MetroCount“, ki so bili postavljeni v petih prerezih (pred krožnim križiščem, na uvozu, v sredinskem delu krožnega križišča, na izvozu in za krožnim križiščem). Na ta način so bile izmerjene hitrosti motornih vozil v petih prerezih. Značilnosti meritev hitrosti se v posameznih prerezih razlikujejo. Na primer, pred krožnim križiščem imajo vsa vozila nezmanjšano hitrost - neglede na smer nadaljevanja vožnje. Na uvozu v krožno križišče se že pojavijo različne hitrosti, saj npr. hitrost, ki je manjša od 10 km/h nakazuje, da se vozilo zaustavlja (zaradi odvzema prednosti vozila v krožnem toku ali



**Slika 1.** Prikaz mernih mest / prerezov v krožnem križišču

prečkanja pešcev / kolesarjev). V prerezu, ki je bil nameščen v sredini krožnega križišča so bila izmerjena le tista vozila, ki so vozila po glavni prometni smeri (GPS) skozi krožno križišče - torej zavijalci iz stranskih smeri niso bili upoštevani. Tudi na izvozu so bila beležena le vozila na GPS, za krožnim križiščem pa so hitrosti spet neodvisne od manevra v krožnem križišču (prerez je bil toliko oddaljen, da razlik v hitrostih ni bilo opaziti). Z namenom določevanja natančnejših lokacij oz. oddaljenosti med prerezi so bile označene tudi referenčne točke križišča ( za namen enostavnejšega odčitavanja razdalj) (Sl. 1).

Pri izvajanju meritev so bile upoštevane le hitrosti vozil v „prostem prometnem toku“. Navedeno pomeni, da so bili iz rezultatov izločeni podatki o hitrostih tistih vozil, ki so npr. v krožnem križišču zavijala, ki so zmanjšala hitrost oz. se ustavila (npr. zaradi pešcev) ipd. Za identifikacijo „pravilnih“ oz. „nepravilnih“ vozil smo si dodatno pomagali s sprotnim beleženjem časov, ki se je izvajalo s pomočjo aplikacije za telefon „Števec“. Predhodno je bilo potrebno še sinhronizirati ure pnevmatskih števecv prometa in samega programa za beleženje časov, s čimer smo dobili natančnejše čase.

Za meritve smo uporabili pnevmatske števecv prometa „MetroCount“. Na osnovi različne postavitve merilnih aparatov lahko pridobimo podatke o prometu na (a) posameznem prometnem pasu (v kolikor je merilna aparatura nameščena le na enem prometnem pasu), (b) na dveh ali več prometnih pasovih (v kolikor je merilna aparatura nameščena čez dva (ali več) prometnih pasov). V splošnem se z navedenimi avtomatskimi števci prometa opravljajo tri vrste meritev: štetje prometa, meritev hitrosti in klasifikacija motornih vozil (12 razredov) [3].

Na osnovi že zgoraj opisanih omejitev / omejitvenih kriterijev smo izbrali vzorec 11 enopasovnih krožnih križišč. Izbrana krožna križišča so locirana na državnem cestnem omrežju (vsaj en krak predstavlja državno cesto) na območju Štajerske in Prekmurja (Sl. 2).

Kot je bilo že navedeno smo meritve opravili v petih prerezi (Sl. 3), v prerezu 3 in 4 smo izmerili hitrosti najmanj 100 vozilom, v 1 in 5 prerezu smo upoštevali vsa vozila, ki so v času meritev prepeljala ta prerez. Dodatno smo v prerezu 3 izločili vsa vozila, katera so imela hitrost manjšo od 10 km/h (vozila so zavirala ali se ustavila). V določenih primerih se je opazilo neskladje s projektom krožnega križišča in izvedenim stanjem na terenu. Dodatno smo v nekaterih primerih zaznali sunkovito zaviranje voznikov pred pnevmatskimi cevmi, tudi delovna mehanizacija je v določenih primerih ovirala prosti prometni tok.



**Slika 2.** Prikaz lokacij obravnavanih krožnih 11 krožnih križišč [3]

Na osnovi izvedenih meritev lahko grafično prikažemo dobljene rezultate (npr. za npr. krožno križišče v Miklavžu, sl. 4).



**Slika 3.** Prikaz postavitve pnevmatskih cevi na vozišču v posameznem prerezu – npr. v krožnem križišču Juršinci [3]



**Slika 4.** Hitrosti v različnih prerezih za smer vožnje Maribor - Ptuj v krožnem križišču v Miklavžu [3]

Na osnovi izvedenih meritev se je pokazalo, da s pravilno izbiro geometrijskih elementov lahko nadziramo prevozno hitrost skozi krožna križišča že v fazi zasnove krožnega križišča. Ugotovili smo, da ima vpadni kot in velikost geometrijskih elementov krožnih križišč velik vpliv na prevozno hitrost pri vožnji skozi krožno križišče. Glede na rezultate naših meritev lahko izpostavimo, da imajo v nekaterih križiščih z iztegnjeno defleksijo motorna vozila višje hitrosti kot v križiščih z močno ukrivljeno defleksijo.

### Literatura

- [1] Geometric Design of Roundabouts. TD 16/07. Department of Transport, United Kingdom, August 2007.
- [2] T. Tollazzi: Krožna križišča, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, Maribor, 2008.
- [3] Sašo Turnšek: Vpliv geometrijskih elementov na prevozno hitrost v enopasovnih krožnih križiščih (v izdelavi); Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, Maribor, 2014.



# 31.

## NEDRENIRANO ISPITIVANJE UZORKA SA KLIZIŠTA GROHOVO U APARATU ZA PRSTENASTO SMICANJE ICL-1

**Martina Vivoda** ([martina.vivoda@gradri.uniri.hr](mailto:martina.vivoda@gradri.uniri.hr))

*Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet; Katedra za geotehniku*

Rad opisuje novi prijenosni aparat za prstenasto smicanje, ICL-1 (Slika 1) za laboratorijska ispitivanja i simulaciju klizišta. Aparat je doniran Hrvatskoj 2012 godine u sklopu hrvatsko-japanskog projekta „Risk identification and land-use planning for disaster mitigation of landslides and floods in Croatia“. Budući da omogućuje beskonačne deformacije uzorka, inicijalna uloga aparata za prstenasto smicanje je istraživanje rezidualne posmične čvrstoće mobilizirane duž klizne plohe pri velikim posmičnim deformacijama u klizištima. Konfiguraciju ispitivanja na aparatu za prstenasto smicanje je uveo Hrvoslev [1], dok je najpoznatiju i najprihvatljiviju vrstu razvio Bishop i kolege 1971. godine [2]. Sassa je zajedno sa svojim kolegama od 1984. godine razvio sedam aparata za prstenasto smicanje, DPRI-1 do DPRI-7.

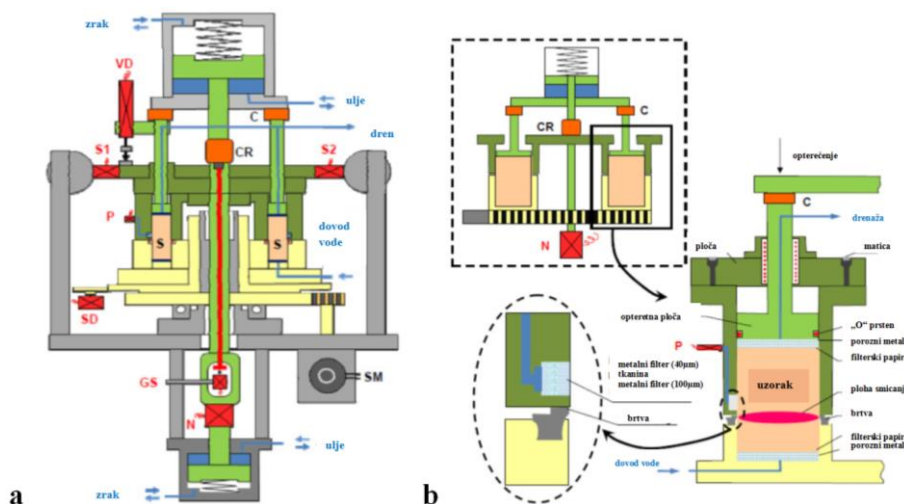
U usporedbi sa DPRI, novi ICL-1 ima manje dimenzije i veće mogućnosti. Značajna redukcija dimenzija postignuta je manjom posmičnom brzinom (maksimalna posmična brzina je 5.4 cm/s) i novim opterećenim sustavom gdje se normalno naprezanje nanosi izvlačenjem središnje osi stroja. Osim manjih dimenzija ICL-1 može postići do 1 MPa pornih pritisaka u nedreniranim uvjetim te normalno naprezanje od 1 MPa. ICL-1 je praktični aparat u znanosti o klizištima budući da može fizikalno simulirati formiranje klizne plohe i kretanje klizišta. Može simulirati porast pornog tlaka uslijed infiltriranja padalina te dinamička opterećenja uslijed potresa, pri čemu postoji kontinuirano mjerenje razvoja pornog tlaka, mobiliziranog posmičnog otpora te posmične deformacije [3].



**Slika 1.** Novi prijenosni aparat za prstenasto smicanje, ICL-1 doniran Hrvatskoj 2010. godine (Slika: M.Vivoda)

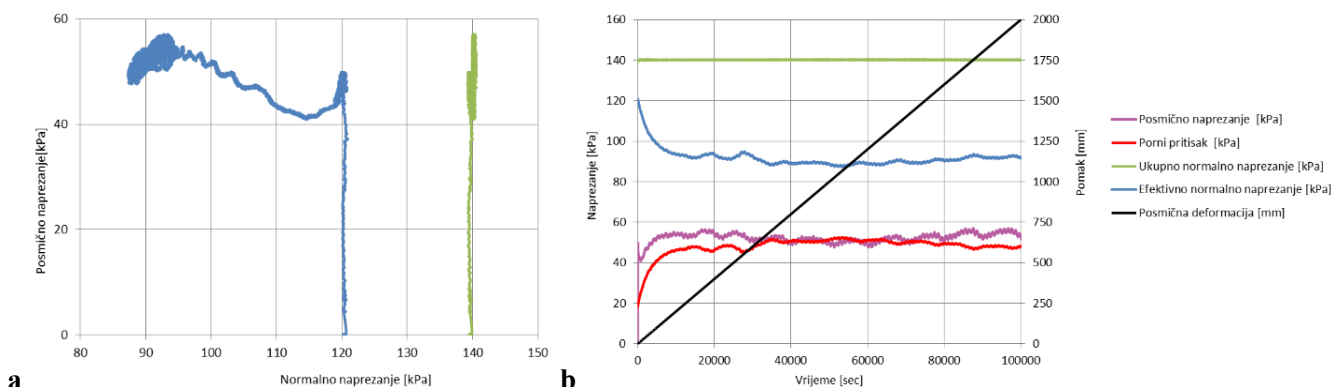
Prijenosni ICL-1 se sastoji od nekoliko odvojenih jedinica koje se mogu jednostavno transportirati (Slika 1): instrumentna jedinica (čelija za smicanje, 3 servo motora, senzori za vertikalni pomak, posmični pomak, gap senzori, mjerači pornog pritiska, čelija za normalno naprezanje i 2 čelije za posmični otpor), kutija za monitoring, kontrolna kutija te sustav za deaeriranje i vakumiranje te kontrolu pornog pritiska (Slika 1). Izmjene na prijenosnom ICL-1 napravljene su kako bi se aparat mogao jednostavno održavati i izvan Japana. Gumene brtve se mogu jednostavno zamijeniti, 100  $\mu\text{m}$  i 40  $\mu\text{m}$  metalni filtri u žlijebu mogu se jednostavno čistiti i mijenjati. Također se i visina donje polovice čelije za smicanje može prilagoditi dodavanjem poroznih metala (Slika 2b). Na taj se način ubrzava konsolidacija slabo propusnih materijala poput uzoraka sa klizišta Grohovo i Kostanjek.

Uzorak se ugrađuje u čeliju za smicanje i opterećuje normalnim naprezanjem pomoću okrugle opteretne ploče (Slika 2a). Smicanje se postiže rotacijom donje polovice čelije za smicanje dok gornju polovicu zadržavaju dvije čelije za posmični otpor (S1 i S2 na Slici 2a). Moguće su tri vrste ispitivanja i to kontrolom naprezanja, deformacije i brzine smicanja. Ispitivanje kontrolom brzine smicanja se obično koristi za dobivanje parametara tla dok se ispitivanja kontrolom naprezanja koriste za simulaciju klizišta. Naprezanja mogu biti statička ili dinamička poput cikličkih naprezanja ili potresa.



Slika 4. a) Mehanička struktura ICL-1; b) Presjek polovice ćelije za smicanje i detaljna skica rubova [4]

Klizište Grohovo je jedno od pilot područja u sklopu hrvatsko-japanskog projekta te je pomoću novog ICL-1 opisano ponašanje tla tog klizišta. Nedrenirana ispitivanja uzoraka sa površine terena na klizištima Grohovo i Kostanjek izvršena su u sklopu dvomjesečnog programa obuke u Kyotu. Tim je ispitivanjima uspostvaljena procedura ispitivanja i dobiveni su preliminarni rezultati koji se mogu dalje koristiti za planiranje ispitivanja uzoraka iz jezgre bušotine [5]. Nedrenirano ispitivanje sa konstantnom brzinom smicanja sve do mirnog stanja (engl. *steady-state condition*) provedeno je na uzorcima iz bušotine sa klizišta Grohovo. Uzorci su uzeti sa dubine na kojoj se nalazi klizna ploha. Ta je dubina izmjerena vertikalnim inklinometrom, a uvjetovana kontaktom pokrivača i flišne stijenske podloge. Iz tog su ispitivanja dobivene osnovne značajke materijala, mobilizirani kut trenja,  $\phi_m=25^\circ$  i mobilizirana kohezija,  $c_m=15.2$  kPa te normalno,  $\sigma_{ss}=91$  kPa i posmično naprezanje,  $\tau_{ss}=54$  kPa pri mirnom stanju (Slika 3) [6]. Dobiveni rezultati su u skladu sa rezultatima prethodnih laboratorijskih ispitivanja na uzorcima s površine terena na aparatu za prstenasto smicanje i aparatu za direktno smicanje. Na osnovi prethodnih i novih ispitivanja opisano je ponašanje tla na klizištu Grohovo.



Slika 5. Nedrenirano ispitivanje sa konstantnom brzinom smicanja na glinovitim, saturiranim uzorcima iz bušotine na klizištu Grohovo: a) Trag naprezanja; b) Naprezanja, porni pritisak i posmična deformacija u vremenu [6]

### Literatura

- [1] Hvorslev, M. J.: Torsion Shear Tests and Their Place in the Determination of Shearing Resistance of Soils, Proceedings of the American Society of Testing and Materials, Vol. 39, 1939, pp. 999–1022.
- [2] Bishop, A. W., Green, G. E., Garge, V. K., Andersen, A., Brown, J. D.: A New Ring Shear Apparatus and its Application to the Measurement of Residual Strength, *Géotechnique*, Vol. 21, No. 1, 1971., pp. 273–328.
- [3] Sassa, K., He, B., Dang, K., Nagai, O., Takara, K.: Plenary: Progress in Landslide Dynamics, Proceedings of the Third World Landslide Forum, Vol. 1, 2014, pp. 37-67.
- [4] Ostric, M., Sassa, K., Ljutic, K., Vivoda, M., He, B., Takara, K.: PDF-tool 3.081-1.1 Manual for ICL-1 – a transportable ring shear apparatus, ICL Landslide Teaching tools, 2013b, p. 362, 46 pages (pdf, on cd)
- [5] Ostric, M., Ljutic K., Krkac M., Setiawan H., He, B., Sassa, K.: Undrained Ring Shear Tests Performed on Samples from Kostanjek and Grohovo Landslide, Proceedings of the IPL Symposium, Urednici: Sassa, K., Takara, K., He, B., Kyoto. 2012, pp. 47-52.
- [6] Vivoda M., Sassa, K., Arbanas, Z., Dugonjić Jovancevic, S., Jagodnik, V., Peranic, J.: Shear strength properties of soil materials from the Grohovo Landslide, Abstract Proceedings of 4th Workshop of the Japanese-Croatian Project, Split, 2013, pp.22.

## 32.

# ANALIZA PROMETNE SIGURNOSTI, RAZINA USLUŽNOSTI I EMISIJE ISPUŠNIH PLINOVA NA MEĐUSOBNO POVEZANIM RASKRIŽJIMA

**Tedi Zgrablić (tedi.zgrablic@gmail.com)**

*Univerza v Mariboru; Fakulteta za gradbeništvo; Prometne gradnje*

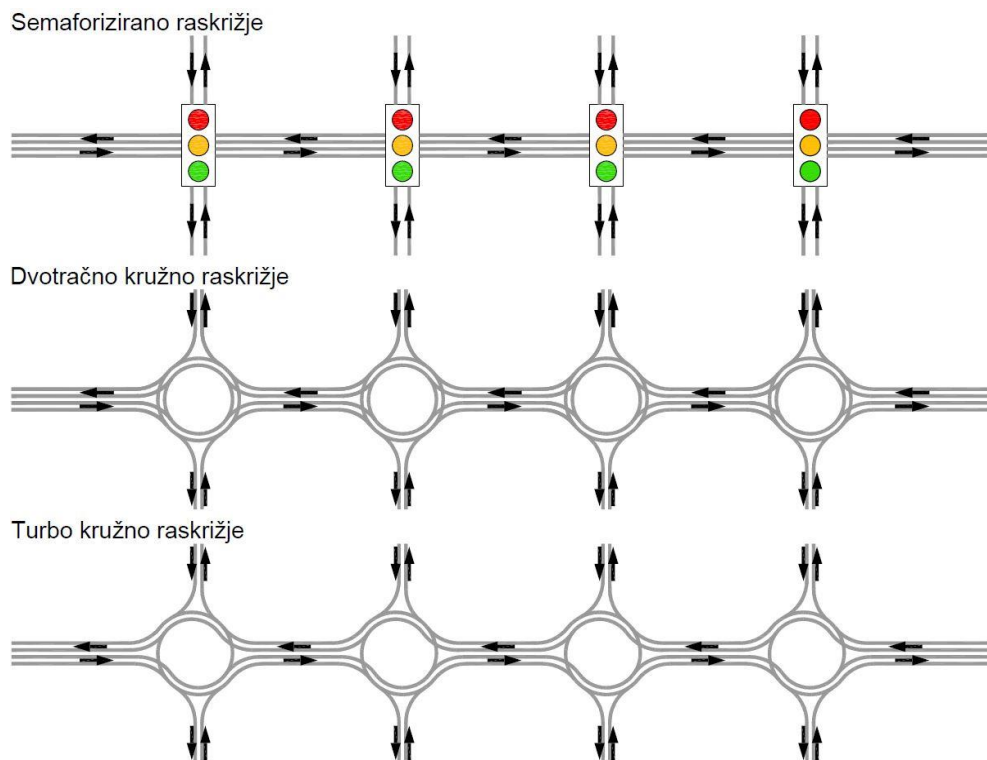
Posljednjih se dvadeset godina u prometu primjećuje znatno povećanje broja vozila što stvara poteškoće prometovanja u gradovima. Jedno od rješenja prometnih gužvi na prometnicama unutar samog grada je upravo gradnja novih zaobilaznica ili rekonstrukcija postojećih, na što se sve više gradova odlučuje. Budući da su raskrižja mjesta gdje se stvaraju veći zastoji odnosno zagušenja prometa te se pomoću njih omogućuje ulazak u pojedine dijelove (kvartove) gradova, njihova projektno – tehnička rješenja te način regulacije prometa su važan faktor funkcionalnosti zaobilaznice gradova.

Uz oblik i režim prometa na raskrižjima, koji je sastavni dio zaobilaznice, bitnu ulogu ima i međusobna udaljenost između raskrižja te njihovo međudjelovanje i funkcionalnost.

Zbog znatnog povećanja prometa klasična semaforizirana raskrižja polako se „izbacuju“ iz upotrebe te se sve više počinju koristiti kružna raskrižja kao rješenje poboljšanja razine uslužnosti raskrižja. Dugogodišnja iskustva korištenja klasičnih kružnih raskrižja kao načina povećavanja razine uslužnosti i prometne sigurnosti dovela su do razvoja alternativnih tipova kružnih raskrižja: Kružna raskrižja sa spiralnim kružnim kolnikom – turbo kružno raskrižje, Kružna raskrižja s „pritisnutim“ trakama za desne skretače – Flower kružna raskrižja i druga. Alternativni tipovi kružnih raskrižja karakteristični su po tome što su specijalizirani za rješavanje pojedinih problema. Njihova karakteristika je da oni u jednom ili više projektno – tehničkih elemenata odstupaju od „klasičnih“ kružnih raskrižja i izvode se samo u specifičnim situacijama.

Dosadašnji radovi bavili su se istraživanjima propusnosti zelenog vala na nizu semaforiziranih raskrižja, što je tada doprinijelo korisnijem načinu organiziranja prometa. Međutim, pojavom i razvojem novih, alternativnih tipova raskrižja, pojavljuje se potreba za detaljnijom analizom funkcioniranja mreže i takvih raskrižja. U području alternativnih tipova raskrižja dosad je istraživana kapacitet, prometna sigurnost motoriziranih i nemotoriziranih sudionika u prometu te njihov utjecaj na okoliš, ali sve u kontekstu pojedinačnih raskrižja. Na temelju ovih podataka ukazuje se potreba za ispitivanjem spomenutih kriterija, ali na dionicama koje se sastoje od niza međusobno povezanih raskrižja.

Ovim člankom ispitat će se razina uslužnosti, prometna sigurnost motoriziranih i nemotoriziranih sudionika u prometu na četiri primjera prometnice, uz emisiju štetnih plinova na područjima raskrižja duž cijele dionice. Svi primjeri prometnica bit će podjednaki po dužini, opterećenju prometa po pojedinim raskrižjima te položaju raskrižja. Svaka prometnica izvedena je kao četverotračna prometnica, od kojih su dvije prometne trake namijenjene za jedan smjer a druge dvije za suprotni smjer. Duž cijele prometnice nalaze se četiri jednaka tipa raskrižja. Ono što će se mijenjati po primjerima prometnica su tipovi raskrižja, odnosno njegovi projektno – tehnički elementi.



**Slika 1.** Shematski prikaz ispitanih prometnice

Prvi primjer prometnice sastoji se od četiri međusobno povezana klasična semaforizirana raskrižja koja su regulirana „zelenim valom“. Drugi primjer prometnice sastavljen je od četiri dvotračna kružna raskrižja, dok je treći primjer prometnice sastavljen od četiri međusobno spojena turbo kružna raskrižja. Četvrti je primjer spoj četiri tipa raskrižja koji su prema svojim karakteristikama najbolje rješenje za pojedinu lokaciju raskrižja obzirom na prometno opterećenje i prometnu sigurnost.

Istraživanje je vršeno pomoću software-skog paketa za mikrosimulacije PTV Vissim.

#### Literatura

- [1] Giuffrè, O., Grana, A., Marino, S.: Turbo – roundabouts vs Roundabouts Performance Level, SIIV – 5th Interantional Congress – Sustainability of Road Infrastructures.
- [2] Fortuijn L.G.H.: Turbo Roundabouts: Design Principles and Safety Performance, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, ISSN0361-1981, Volume 2096/2009.
- [3] Highway Capacity Manual ( HCM) 2010, Transportation research bord, ZDA, 2010.
- [4] Kenjić, Z.: Kružne raskrsnice – rotori, Priručnik za planiranje i projektiranje, Sarajevo, 2009.
- [5] Maletin, M., Andjus, V., Katanić, J.: Tehnička uputstva za projektovanje površinskih raskrsnica (PGS-PR/07), Beograd, 2010.
- [6] Maletin, M., Andjus, V., Katanić, J.: Tehnička uputstva za projektovanje deonica primarne gradske putne mreže (PGS-PM/07), Beograd, 2010.
- [7] Mauro, R., Branco, F.: Comparative Analysis of Compact Multilane Roundabouts and Turbo roundabouts, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 136, No. 4, 2010., pp. 284-296.
- [8] PTV AG (2013), VISSIM user's manual, version 6.0. Karlsruhe, Germany, 2013.
- [9] Tollazzi, T., Renčelj, M., Turnšek, S.: New type of roundabout : roundabout with “depressed” lanes for right turning – “flower roundabout”, *Promet*, Vol. 23, No. 5, 2011., pp. 353-358.
- [10] Tollazzi, T., Renčelj, M., Turnšek, S.: Slovenian experience with “Turbo – Roundabouts”, *Elektromički zbornik radova Građevinskog fakulteta u Mostaru*, No. 3, 2012.
- [11] Šraml, M., Jovanović, G.: Praktikum iz mikrosimulacij v prometu (z uporabo VISSIM-a), Maribor, 2014.



# 33.

## PROCJENA KOLIČINE PODZEMNE VODE U KRŠU POMOĆU JEDNOSTAVNOG KONCEPTUALNOG MODELA OTJECANJA

Ivana Željковиć (ivana.zeljko@gradst.hr)

Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Cilj ovoga rada je analiza krškog izvora Opačac, smještenog kraj grada Imotski, Hrvatska, koji je ujedno i glavni opskrbljivač vodom grada i okolnog područja. Hidrogram krškog izvora može reflektirati stanje i razinu vode u podzemlju ali i utvrditi osnovne hidrogeološke karakteristike promatranog područja [1], [2]. Modeliranje procesa otjecanja često se bazira na konceptualnoj prezentaciji fizikalnih procesa riječnog toka sa tzv. "lumped" modelima. Parametri korišteni u takvim modelima često nisu direktno mjerljivi te su potrebne druge tehnike i metode za procjenu parametara.

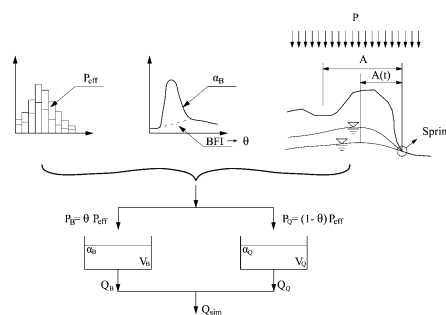
Jednostavni model otjecanja je predložen za procjenu komponenti podzemnog otjecanja uključujući vremenski promjenjivu granicu sliva i karakteristike hidrograma. Predložena procjena parametara ujedinjuje jednadžbu bilance voda odnosa vlage u tlu i bilancu u podzemlju.

Na mjestu izvora je od 1995. postavljena vodomjerna stanica te su prikupljeni podaci za razdoblje 1995. – 2010. Dostupni podaci sa obližnje meteorološke stanice: srednja dnevna temperatura, relativna vlažnost i količina oborina korišteni su za proračun efektivne kiše prema Palmerovom [3] matematičkom modelu bilance voda. Iako je Palmerova metoda prvotno zamišljena za korištenje u nekrškim područjima, njena primjena u krškim područjima daje zadovoljavajuće rezultate. Osnova bilance se temelji na pretpostavci da se tlo dostupno biljkama može modelirati sa dva sloja – površinski do dubine 20 cm i potpovršinski – do dubine 100 cm te promatranjem stanja vode u svakom sloju i u određenom vremenskom koraku (sat, dan, mjesec) moguće je odrediti komponente bilance vode na granici tlo-zrak prema:

$$P + L = ET + R + RO \quad (1)$$

gdje su redom članovi: P – oborina, L – gubici, ET – evapotranspiracija, R – procjeđivanje, RO – otjecanje.

Dobiveni rezultati su ulaz za model sa dva linearna rezervoara [4]-[7] prezentiranog na Slici 1.



Slika 1. Konceptualni hidrološki model izvora Opačac

Nakon određivanja efektivne oborine, uz pretpostavku da sva količina iste perkolacijom ulazi u vodonosnik, metodom linearnog rezervoara simuliran je proces istjecanja iz dvaju paralelnih rezervoara. Definiran je težinski koeficijent između brzog i sporog otjecanja čija je vrijednost za spori dio procijenjena prema prethodno izračunatom indeksu baznog (sporog) toka (engl. *Base Flow Index - BFI*). BFI je omjer ili količina toka rijeke koja dolazi iz sume dubokog potpovršinskog otjecanja i zakašnjelog plitkog potpovršinskog toka. Low Flow Studies Report [8] je definirao ovaj indeks kao parametar za procjenu utjecaja geologije kod nižih protoka. Iako je prvotno namijenjen analizi geologije jezera i njihovih kapaciteta u Velikoj Britaniji, široka uporaba BFI-a u raznim dijelovima svijeta (Kanda, Fidi, Zimbabve, Norveška itd.) je pokazala korisnost indeksa u regionalnim studijama. Za određivanje indeksa potrebno je izvršiti grafičko-matematičkim postupak separacije baznog otjecanja.

Iz analize hidrograma utvrđen je i recesijski koeficijent spore komponente otjecanja prema [9]. Petras je, polazeći od Boussinesq-ove [10] osnovne nelinearne parcijalne diferencijalne jednadžbe za filtracijsko tečenje sa

neograničenom razinom vode u anizotropnim stijenkama:

$$Q = Q_{01}e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (2)$$

uz određivanje koeficijenta recesije  $\alpha$  uključio i korištenje grafičke metode na polu-logaritamskom mjerilu. Time se krivulja protoka prikazuje kao pravac, a  $\alpha$  predstavlja gradijent pravca. Promjena iz direktnog u bazno otjecanje uobičajeno je popraćena promjenom nagiba recesijske krivulje. Analitičko rješenje jednadžbe (2) dobiva superpozicijom te se na ovaj način krivulja recesije može prikazati kao serija ravnih linija čiji je proračun moguć prema jednadžbi (3):

$$Q = Q_{01}e^{-\alpha_1 t} + Q_{02}e^{-\alpha_2 t} + \dots + Q_{0n}e^{-\alpha_n t} \quad (3)$$

Srednja veličina sliva određena je temeljem Turc-ove [11] metode proračuna deficita a prema istraživanju [12] je procijenjena njena mjesečna promjena.

Aplikacija serije linearnih rezervoara je klasična i česta tehnika proračuna komponenti bilance voda ali sa procjenama karakteristika toka daje dobre rezultate. Simuliran protok je izražen pomoću linearne diferencijalne jednadžbe za bazno (engl. *base flow*) i brzo (engl. *quick flow*) otjecanje:

$$Q_{sim,b}(t) = Q_{sim,b}(t-1) \times e^{-\alpha_b} + \theta \times R(t) \times (1 - e^{-\alpha_b}) \quad \text{- bazno otjecanje - base flow} \quad (4)$$

$$Q_{sim,q}(t) = Q_{sim,q}(t-1) \times e^{-\alpha_q} + (1 - \theta) \times R(t) \times (1 - e^{-\alpha_q}) \quad \text{- brzo otjecanje - quick flow} \quad (5)$$

$$Q_{sim}(t) = Q_{sim,b}(t) + Q_{sim,q}(t); R(t) = P_{eff}(t) \times A(t) \quad (6)$$

$$Q_{sim}(t) = Q_{sim,b}(t) + Q_{sim,q}(t) \quad \text{- ukupno otjecanje} \quad (7)$$

Parametri modela nisu direktno mjerljivi te je izvršena kalibracija. Koeficijent Nash-Sutcliffe za efikasnost simuliranog hidrografa je primijenjen za procjenu snage predviđanja predloženog modela.

Validacija modela simulirane i generirane vremenske serije izvršena je sa spektralnom analizom [13]. Potrebno je utvrditi da li simulirana vremenska serija generira perturbacije – vještačke periode te usporediti dobivene statističke funkcije. Analiza vremenske serije otjecanja krškog izvora, osim validacije, daje dodatne informacije o karakteristikama toka – odgovor sustava, koreliranost sa ulaznim signalom (oborine), razlikovanje brzog i sporog toka i srednje kašnjenje.

Konceptualni modeli su se pokazali kao dobra početna točka u analizi hidrološki neistraženih područja, kao i kod onih u kojima nedostaju opsežnija dugoročna mjerenja. NS koeficijent potvrđuje ovu relaciju dajući dobre rezultat efikasnosti predloženog modela. Spektralna analiza vremenskih serija se pokazala kao koristan alat u proučavanju vodnih sustava u kršu, komplementarno sa klasičnim tehnikama koje su korištene u radu. Uzimajući u obzir dobivene rezultate može se zaključiti da je slivno područje izvora Opačac kompleksnog karaktera: izrazito je kršno područje uz prtok Vrljike u Maticu, zapadni glavni tok je slabo karstificiran i nije podzemno povezan dok su najveći doprinos čine podzemni tokovi koji se pružaju i imaju svoj izvor van granica sliva.

## Literatura

- [1] Bonacci, O.: Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers, *Hydrological Sciences*, Vol. 38, No. 1, 1993., pp. 51-62.
- [2] Bonacci, O.: *Karst Hydrology with Special References to the Dinaric Karst*, Springer Verlag, Berlin, Germany, 1987.
- [3] Palmer, W.C.: *Meteorological Drought*, US Department of Commerce, Research Paper No. 45, Washington DC, 1965., 58pp.
- [4] Fleury, P., Plagnes, V., Bakalowicz, M.: Modelling of the functioning of karst aquifers with a reservoir model: Application to Fontaine de Vaucluse (South of France), *Journal of Hydrology*, Vol. 345, 2007., pp. 38-49.
- [5] Jukić, D., Denić-Jukić, V.: Groundwater balance estimation in karst by using a conceptual rainfall-runoff model, *Journal of Hydrology*, Vol. 373, 2009., pp. 302-315.
- [6] Ocak, A., Bayazit, M.: Linear reservoirs in series model for unit hydrograph of finite duration, *Turkish Journal of Eng. Env. Sci.*, Vol. 27, 2003., pp. 107-113.
- [7] Pedersen, J.T., Peters, J.C., Helweg, O.J.: *Hydrographs by single linear reservoir model*. USACF.TP-74., 1980.
- [8] Gustard, A., Bullock, A., Dixon, J.M.: *Low flow estimation in the United Kingdom*, Wallingford, Institute of Hydrology (IH Report No.108) 88pp., 1992.
- [9] Petras, I.: An approach to the mathematical expression of recession curves, *Water SA*, Vol. 12., No. 3., 1986.
- [10] Boussinesq, J., (1904.): *Recherche theoruques sur l'écoulement des nappes d'eau infiltrées dans le sol et sur le débit des sources*, J. Math. Pures appl. Fr. (5) 10: 5-78, 363-394. (originally published by C. R. Acad. Sci. Paris, Juin 22, 1903)
- [11] Turc, L., (1954.): *Le bilan d'eau des soles*. Troisième journée de l'hydraulique. Alger: 36-44.
- [12] Bonacci, O., Roje-Bonacci, T.: Water losses from the Ričice reservoir built in the Dinaric karst, *Engineering Geology*, Vol. 99, 2008., pp. 121-127.
- [13] Padilla, A., Pulido-Bosch, A.: Study of hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis, *J. Hydrol.*, Vol. 168, 1995., pp. 73-89.

# POPIS AUTORA

# POPIS AUTORA

## A

ARBANAS, Željko, 44

## B

BAČIĆ, Mario, 2  
BARTOLAC, Marko, 4  
BRKANIĆ, Ivana, 6

## C

CUCULIĆ, Marijana, 8  
CVETKOVIĆ, Mladen, 10

## Č

ČEH, Nina, 12  
ČUTURA, Boris, 14

## Ć

ĆOSIĆ, Krunoslav, 16

## D

DADIĆ, Tamara, 18  
DIVIĆ, Vladimir, 20  
DOKŠANOVIĆ, Tihomir, 22  
DUGONJIĆ JOVANČEVIĆ, Sanja, 24, 44  
DUVNJAK, Ivan, 26

## G

GALEŠIĆ, Morena, 28  
GILJA, Gordon, dr. sc., 30

## J

JAGODNIK, Vedran, 32, 44  
JELENIĆ, Gordan, 32, 44

## K

KRVAVICA, Nino, 34  
KUSTURA, Mladen, 36

## L

LIBRIĆ, Lovorka, 38  
LUSTIG, Nikola, 12

## Lj

LJUTIĆ, Kristijan, 44

## N

NIKOLIĆ, Marija, 40

## O

OŽANIĆ, Nevenka, 52

## P

PAPA DUKIĆ, Edita, 42  
PERANIĆ, Josip, 44

## R

RENČELJ, Marko, 60  
RUKAVINA, Tea, 46

## S

SIGMUND, Zvonko, 48  
SRZIĆ, Veljko, 54  
SUŠANJ, Ivana, 56

## Š

ŠKEC, Leo, 54  
ŠTEFIĆ, Tihomir, 56

## T

TAVRA, Marina, 58  
TOLLAZZI, Tomaž, 60  
TURNŠEK, Sašo, 60

## V

VIVODA, Martina, 44, 62

## Z

ZGRABLIĆ, Tedi, 64

## Ž

ŽELJKOVIĆ, Ivana, 66

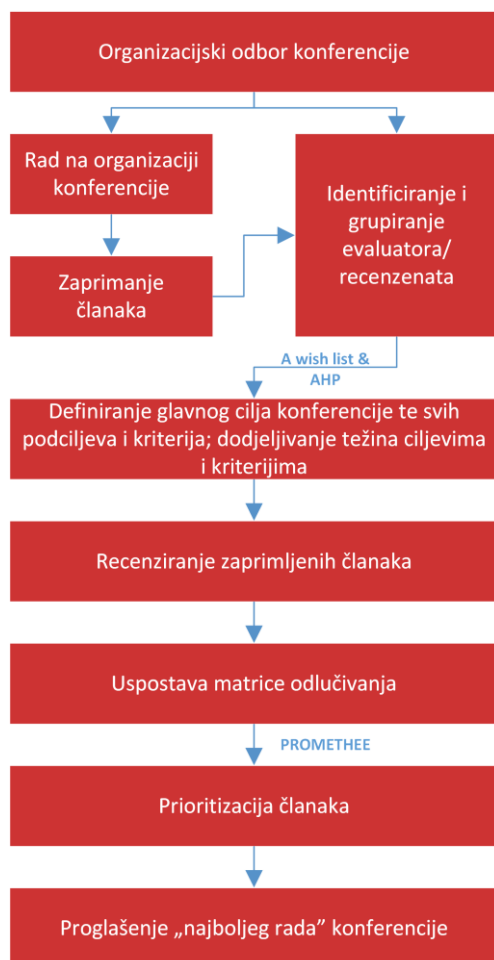




# **METODOLOGIJA OCJENJIVANJA**

# METODOLOGIJA OCJENJIVANJA

Organizacijski odbor *Drugog skupa mladih istraživača iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti—Zajednički temelji* je odlučio dodijeliti nagrade najuspješnijim mladim znanstvenicima koji su sudjelovali na Skupu. Za potrebe dodjeljivanja nagrada tj. rješavanja problema izbora „najboljeg rada“, osmišljen je model čija je arhitektura prikazana na Slici 1. Model se bazira na autorovom ranijem znanstvenom istraživanju i radovima publiciranim 2013. i 2014. godine.



**Slika 1.** Arhitektura modela za utvrđivanje „najboljeg rada“ konferencije/skupa

**Tablica 1.** Hijerarhijska struktura ciljeva i kriterija

| Kod  | Glavni cilj (GC), glavni podciljevi (GPCi) i kriteriji (Ki)        | Težina |
|------|--|--------|
| GC   | Utvrđivanje „najboljeg rada“ konferencije                          | 100    |
| GPC1 | Ocjena pisanog dijela članka                                       | 58     |
| GPC2 | Ocjena usmenog dijela članka                                       | 42     |
| K1   | Naslov članka je jasan i razumljiv                                 | 6.5    |
| K2   | Ciljevi i metodologija rada su jasno opisani                       | 13.5   |
| K3   | Tekst i slike su čitke i jasne                                     | 9.5    |
| K4   | Istraživanje je popraćeno diskusijom iz koje slijede zaključci     | 14     |
| K5   | Sva citirana literatura je relevantna i novijeg datuma publicirana | 6      |
| K6   | Gramatika i sintakse su prihvatljive                               | 8.5    |
| K7   | Korištenje vizualnih pomagala, jasnoća i konzistentnost prikaza    | 9      |
| K8   | Efektivno korištenje vremena predviđenog za prezentaciju članka    | 8      |
| K9   | Stil i nastup tijekom izlaganja                                    | 13.5   |
| K10  | Uspješnost u odgovaranju na postavljena pitanja                    | 11.5   |

Ovdje predstavljeni model se temelji na višekriterijalnom pristupu radi osiguravanja sagledavanja svih aspekata koji utječu na utvrđivanje najboljeg rada. Predstavljeni koncept temelji se na modeliranju funkcionalno organiziranog korištenja odgovarajućih višekriterijalnih metoda odlučivanja koje sinergijski stvaraju kvalitetnu podlogu za odlučivanje.

U sami proces odlučivanja su osim organizacijskog odbora uključeni i recenzenti, ali i svi sudionici/autori radova ovog Skupa. Organizacijski odbor i recenzenti su bili zaduženi za uspostavu hijerarhijske strukture ciljeva (Tablica 1) kojom su definirani svi aspekti koje treba uzeti u obzir prilikom izbora „najboljeg rada“. Također, oni su sudjelovali u određivanju važnosti tj. težina kriterija. Iako sudionici/autori radova imaju „samo“ mogućnost dodjeljivanja ocjena drugim autorima prema kriterijima proizašlim iz podcilja GPC2 (vidi Tablicu 1) putem obrazaca, oni zajedno s organizacijski odborom i recenzentima sudjeluju u grupnom odlučivanju prilikom izbora „najboljeg rada“ konferencije/skupa.

U svrhu toga, zatraženo je od svih autora da putem obrazaca dobivenih u materijalima Skupa ocijene usmena predstavljanja radova svojih kolega prema tri kriterija (K7, K8 i K10), te da ispunjene obrasce nakon svake grupe predaju na info pult. Na taj način omogućeno im je sudjelovanje u ocjenjivanju i odabiru „najboljeg rada“ Skupa.



# Zajednički temelji

Rijeka,  
24-26.9.2014

