

Udruga hrvatskih građevinskih fakulteta i  
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

Treći skup mladih istraživača iz područja građevinarstva  
i srodnih tehničkih znanosti

**ZAJEDNIČKI TEMELJI**

# ZBORNİK SAŽETAKA



23. - 25. 9. 2015.



## **ZBORNİK SAŽETAKA**

---

**Treći skup mladih istraživača iz područja građevinarstva  
i srodnih tehničkih znanosti - ZAJEDNIČKI TEMELJI**

Copyright: © 2015 Udruga hrvatskih građevinskih fakulteta i Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

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 dopuštanja autora.

Organizatori Skupa: Udruga hrvatskih građevinskih fakulteta  
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

Mjesto i vrijeme održavanja Skupa: Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, Mostar, 23. - 25. 9. 2015.

Nakladnik: Udruga hrvatskih građevinskih fakulteta

Urednici: prof. dr. sc. Ivan Lovrić  
mr. sc. Anton Vrdoljak

Grafičko oblikovanje: Božo Penavić

ISBN: 978-953-58711-0-1 [usb izdanje]  
978-953-58711-1-8 [internet izdanje]

Tekstovi u Zborniku sažetaka nisu lektorirani.

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

CIP zapis dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 000914151.



**ZAJEDNIČKI TEMELJI**

**23. – 25. rujna 2015.**

**Treći skup mladih istraživača iz područja građevinarstva  
i srodnih tehničkih znanosti  
ZAJEDNIČKI TEMELJI**

# **ZBORNİK SAŽETAKA**

Zagreb, rujan 2015.

**Predsjedništvo Organizacijskog odbora**

mr. sc. Anton Vrdoljak  
prof. dr. sc. Maja Prskalo (prodekanica)

**Organizacijski odbor**

mr. sc. Anton Vrdoljak  
prof. dr. sc. Maja Prskalo  
prof. dr. sc. Ivan Lovrić  
mr. sc. Mladen Kustura  
mr. sc. Mirna Raič  
Danijela Maslač  
Božo Penavić

**Moderatori sekcija**

mr. sc. Anton Vrdoljak  
mr. sc. Mladen Kustura  
mr. sc. Mirna Raič  
Danijela Maslač  
mr. sc. Tatjana Džeba

# SADRŽAJ

PREDGOVOR	vii
SAŽECI RADOVA	1
<b>Sead Abazi</b>	
NUMERICAL CALCULATION FOR 9.0M HIGH REINFORCED SOIL RETAINING WALL DESIGN	3
<b>Marina Alagušić</b>	
ENERGETSKI UČINKOVITA VANJSKA OVOJNICA ZGRADA – ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ ECO-SANDWICH® PANELA	5
<b>Dr .sc.Goran Baloević</b>	
DINAMIČKA ISPITIVANJA ČELIČNIH OKVIRA SA OŽBUKANOM ZIDANOM ISPUNOM	9
<b>Krunoslav Ćosić</b>	
PANELI OD SLAME - EKOLOŠKI I ODRŽIVI MATERIJAL ZA PRIMJENU U PASIVNOJ GRADNJI	11
<b>Dragan Ćubela</b>	
EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE BETONSKIH NOSAČA RAZLIČITIH STUPNJEVA PREDNAPINJANJA	15
<b>Ivan Ćurković</b>	
STANJE PODRUČJA PONAŠANJA I PRORAČUNA SUSTAVA VERTIKALNE STABILIZACIJE KOJI KORISTE SPREGNUTI ISPUN	17
<b>Ante Džolan</b>	
3D MODEL PONAŠANJA PREDNAPETIH KONSTRUKCIJA SA UKLJUČENIM DUGOTRAJNIM EFEKTIMA	19
<b>Viktorija Grgić</b>	
NUMERIČKO MODELIRANJE ZASTORNE PRIZME ŽELJEZNIČKIH KOLOSIJEKA	21
<b>Marin Grubišić, Vladimir Sigmund</b>	
ANALIZA POUZDANOSTI HORIZONTALNE NOSIVOSTI ARMIRANO–BETONSKOG OKVIRA SA ZIDANIM ISPUNOM PRIMJENOM METODE KONAČNIH ELEMENATA	23
<b>Mario Jeleč</b>	
UTJECAJ OTVORA KOD LIJEPLJENIH LAMELIRANIH NOSAČA	25
<b>Dragan Katić</b>	
TABLICA URAVNOTEŽENIH REZULTATA U GRAĐEVINSKIM PROJEKTIMA	27
<b>Jelena Kilić</b>	
MODELIRANJE NA GIS-U UTEMELJENOM SUSTAVU ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU ZA UPRAVLJANJE URBANIM JAVNIM PROJEKTIMA	31
<b>Janko Koščak</b>	
Ocjena oštećenja štapnih elemenata preko zakrivljenosti modalnih oblika	33
<b>Danijela Maslač</b>	
MIKROSIMULACIJSKI MODELI KRUŽNIH RASKRIŽJA	37
<b>Sanja Matijević Barčot</b>	
OD POLEMIKA K REALIZACIJAMA: PRONALAZENJE FORMULE RACIONALNE STANOGRADNJE U SPLITU 1956.-1959.	39

<b>Beno Mesarec</b>	
GEOGRAPHIC TRANSFERABILITY OF ACTIVITY-BASED MODELS: A FLANDERS – SLOVENIA CASE STUDY	41
<b>Kristina Potočki</b>	
PREDNOSTI ANALIZE NESTACIONARNIH HIDROLOŠKIH VREMENSKIH SERIJAMETODOM VALIČNE TRANSFORMACIJE	43
<b>Ivana Pranjić</b>	
PRELIMINARNA ISTRAŽIVANJA SVOJSTAVA HVATLJIVOSTI KOLNIČKE POVRŠINE MJERNIM UREĐAJIMA LABORATORIJA ZA PROMETNICE GRAĐEVINSKOG FAKULTETA U RIJECI	45
<b>Josip Sertić</b>	
MJEŠOVITE METODE U ISTRAŽIVANJU SLOŽENOSTI U GRAĐEVINSKOJ INDUSTRIJI	47
<b>Bojan Susinov</b>	
CEMENT STABILIZATION IMPACT ON UNCONFINED COMPRESSION STRENGTH OF SANDY SOIL	51
<b>Ivana Sušanj</b>	
LEVENBERG-MARQUARD ALGORITAM ZA TRENIRANJE UMJETNIH NEURONSKIH MREŽA	53
<b>Nataša Šprah</b>	
INSULATION OF THE BUILDING ENVELOPE AS A CRITERION OF ENERGY EFFICIENT HOUSING DEVELOPMENT	55
<b>Željko Šreng</b>	
ZELENA INFRASTRUKRA – ALTERNATIVNI NAČIN ZBRINJAVANJA OBORINSKIH VODA KAO ALAT U SMANJENJU VISOKIH TEMPERATURA URBANIH PODRUČJA	57
<b>Mihaela Teni</b>	
PRIMJENA EKSPERIMENTALNE METODE ODREĐIVANJA KOEFICIJENTA PROLASKA TOPLINE	59
<b>Goran Vlastelica</b>	
MODELIRANJE EROZIJE ZASJEKA U MEKOJ STIJENI	63
<b>Anton Vrdoljak</b>	
DISCRETE MATHEMATICS AND ITS APPLICATIONS IN NETWORK ANALYSIS	65
<b>Zlatko Zafirovski</b>	
ONE APPROACH FOR EXTRAPOLATION OF ROCK MASS PARAMETERS IN TUNNELING	69
<b>Martina Zagvozda</b>	
AKVAPLANIRANJE – UZROCI I MJERE ZA SMANJENJE POJAVA	71
<b>Mateja Zlatinek</b>	
EXPERIMENTAL ANALYSIS OF LOAD BEARING TIMBER-GLASS I BEAMS WITH SILICONE ADHESIVE	73
POPIS AUTORA	77



# PREDGOVOR

Ovaj zbornik sažetaka „Zajedničkih temelja“ nastao je iz priopćenja pripremljenih za Treći skup mladih istraživača iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti – ZAJEDNIČKI TEMELJI 2015., održanom na Građevinskom fakultetu u Mostaru, od 23. do 25. rujna 2015. godine, u organizaciji Udruge hrvatskih građevinskih fakulteta i Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Mostaru. U radu ovog Skupa sudjelovala su 33 mlada znanstvenika iz Hercegovine, susjedne Hrvatske, te Republika Slovenije i Makedonije. Kao što u vožnji cestama treba gledati naprijed, ali i u retrovizor, tako i ovaj, već tradicionalni 3. Skup, imao je za cilj nastaviti ideju koja se rodila 2013. godine na Fakultetu građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilištu u Splitu, te koja je zaživjela godinu nakon pri Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci, ideju o intenzivnoj komunikaciji i suradnji između mladih znanstvenika, što u pravilu treba konvergirati ka bržem i boljem razvoju građevinske znanosti, ali i povećanju konkurentnosti na svjetskom tržištu znanja. Drugim riječima, cilj Skupa je bio poticanje upoznavanja i suradnje mladih istraživača (doktoranada) iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti, upoznavanje s njihovim područjima i temama znanstveno–istraživačkih radova, razmjena ideja i koncepata te ostvarivanje boljeg okruženja u njihovom znanstveno–istraživačkom radu. Ovaj zbornik sažetaka, dakle, uključuje priloge sudionika s ovog Skupa, koji su, tijekom tri dana, imali priliku prezentirati ukratko sažete, vlastite znanstveno–istraživačke radove. Ukupnost svih radova, priopćenja i priloga, koje sadrži ovaj Zbornik, čini dragocjenu znanstveno–istraživačku građu za naše buduće Skupove.

Pri uređivanju trećeg zbornika sažetaka „Zajedničkih temelja“ uređivački odbor je razvrstao radove prema abecednom redu njihovih autora, ilustrirao grafičku pozadinu naslovnice Zbornika, te je u pripremi za USB izdanje poštuovao varijantu rada na engleskom jeziku kolega autora sa Sveučilišta u Mariboru i Skopju. Zbornik sažetaka je prijavljen pri Hrvatskoj znanstvenoj bibliografiji – suvremenoj online bibliografiji, Hrvatskom arhivu weba Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu, te objavljen na službenoj web–stranici Skupa, kutku weba na kojeg smo svi mi ponosni, ponajprije jer je ovo bio prvi Skup u organizaciji naše Udruge koji je u cijelosti bio podržan sa web–sučeljem u implementaciji samoga Organizacijskog odbora! Skup su financijski omogućili Udruga hrvatskih građevinskih fakulteta (UHGF), Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, te Federalno ministarstvo obrazovanja i znanosti. Najljepša im hvala na povjerenju koje su nam ukazali!

Na kraju teksta i zajedničkoga posla, u nadi kako će se kontinuitet znanstvenih skupova Udruge hrvatskih građevinskih fakulteta i njezinih sastavnica, ali i kontinuitet izlaženja zbornika sažetaka s održanih znanstvenih skupova i dalje nesmetano nastaviti, želim zahvaliti kolegama autorima na vrijednim priložima, kolegama suradnicima iz Organizacijskog odbora, sponzorima i svima onima koji su pripomogli uspješnoj realizaciji Zbornika koji je pred nama.

U Mostaru, rujna 2015.

mr. sc. Anton Vrdoljak



# SAŽECI RADOVA



# NUMERICAL CALCULATION FOR 9.0M HIGH REINFORCED SOIL RETAINING WALL DESIGN

*Sead Abazi (sead@gf.ukim.edu.mk)*

*Ss. Cyril and Methodius University - Skopje; Faculty of civil Engineering; Department for geotechnics*

The paper presents the numerical analysis of 9.0 m high reinforced soil retaining wall for platform embankment using different software and material models to simulate the behaviour of various components in these structures. The excavated material from zone 1 was used as an embankment material in zone 2 because the terrain configuration has such needs. The height of the embankment reaches 9.0 m and it is necessary to build retaining wall to stabilize the slope which was near the boundary line. As a solution, reinforced soil retaining wall (RSRW) was proposed. This system represents different concept of retaining structure, with the fill material and reinforcement as two basic constituents.

Before the main design, geotechnical reports were prepared as a result of detailed geotechnical investigations on the location. The geotechnical reports show that the material for the embankment is classified as silty sand (SFs) with gravely particles. But, the surface ground material in zone 2 varies from area to area. Namely, on some part there is layer of clayey silt (ML/CL) at the surface, on another there is silty sand (SFs), while most is covered by very compacted gravel (GW). According to the investigation, there is no groundwater registered. The designed RSRW was built using local materials, namely SFs to avoid transportation from remote locations.

Several types of materials were used as reinforcement, but mostly geogrids/geonets. Following the results of calculation performed for retaining wall in focus, it was recommended to use uniaxial extruded geonets made of polyethylene of high density with enhanced long-term tensile strength properties, whose mean value of short term tensile strength (tests are in accordance with EN ISO 10319:2008) are 68 kN/m, 93 kN/m, 123 kN/m and 142 kN/m, respectively, while the characteristic ones are 64.5 kN/m, 88.7 kN/m, 118.4 kN/m and 137.3 kN/m. The strain at maximum tensile strength is  $11 \pm 3\%$ .

The designing of reinforced soil retaining wall was performed with various software packages. In the first analysis the TensarSoil software was used. The whole procedure involves several steps. First, geometric characteristics of the wall are entered, with selection of the type of a wall face: steel mesh panel (SMP) system, i.e. steel reinforcement formwork, at angle of  $70^\circ$ . Such selection was made in order to decrease the length, i.e. to avoid possible longer slopes, and it was also limited by the highest section of the wall which is situated on the part of the location where the space, due to regulation lines and surface drainage channel is limited. Namely, on that location the wall is about 10 m high and the horizontal distance between the top of the fill and the regulation/building line is about 6 m; about 1,5 m should be left for fence and surface drainage channel which leaves only about 4 m for the wall toe:  $\alpha = \text{inv\_tan}(10/4) = 68 \text{ deg}$ . The wall was built on well graded gravel GW defined by the bulk density  $\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$  and strength parameters (angle of internal friction  $\varphi = 30^\circ$  and cohesion  $c = 5.0 \text{ kPa}$ ). The soil material that was used as a fill is defined by the bulk density  $\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$  and strength parameters (angle of internal friction  $\varphi = 23^\circ$  and cohesion  $c = 4.0 \text{ kPa}$ ). Same values are entered for materials under and behind the reinforced soil retaining wall. This software allows entering of various positions and intensity of external load, and the sections are designed to allow traffic load of  $16 \text{ kN/m}^2$ . Factors of mutual effects during pull-out and slide are set before starting the analysis of the wall. Beside static, the walls are designed to accept also seismic loading in intensity  $a_v = 0.1g$  and  $a_h = 0.05g$ .

During the calculation stage, the software controls the inner stability of the wall, bearing capacity of the foundation, position, i.e., eccentricity of the resultant force and risks of sliding of the structure, as well as the force development along the geogrid. If only one of those factors is not satisfied, the software refuses to confirm the wall stability, demanding adjustment of some of parameters or geogrids. The software output is very abundant, including data on the type of automatically selected geonet appropriate to the forces that occur at particular depth and spacing between used geonets. The data is then graphically represented, allowing another insight into geometric characteristics of the wall, lengths of the geonets along with their starting and ending coordinates where they are fixed between the concrete elements from the wall face, their size at 1.0 m, as well as the results of above mentioned calculations. The results are shown in Figure 1.

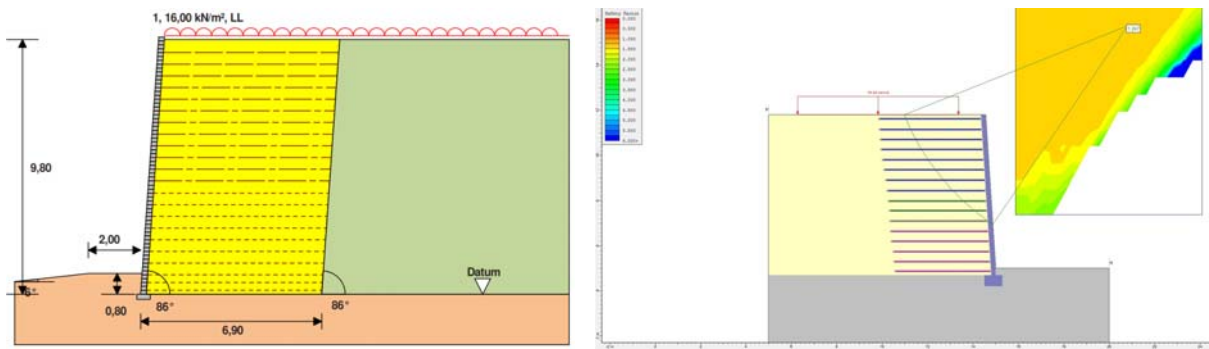


Figure 1. Results from TensarSoil and SLIDE

Although the software used to design the reinforced soil retaining structure performs all of the mentioned tests, it is not capable to analyze the overall stability, so it is tested with the SLIDE software. It is based on the method of limit equilibrium and allows entering the geometric characteristics of the section and mechanical and strength parameters of all materials in the section - soils, concrete, geonet, external impacts, etc. The centres of circular-cylindrical sliding surfaces are positioned in rectangular surface that should be set, and the software performs calculation for every single sliding surface using several methods: Bishop, general method for limit equilibrium GLE, Spencer, etc. The software then determines the smallest of all of the factors of safety gained, and the surface for which it was gained. Namely, as shown below on Figures 1 where the outputs for the analyzed typical section in a form of graphic output, which don't show risk for the stability, because the smallest obtained factor of safety for permanent conditions ( $F_{Smin}=1.50$ ) is equal or larger than the minimal required  $F_{Smin}=1.50$  and for transient condition 1.25 which is near the minimal  $F_{Smin}=1.30$ .

The reinforced soil retaining wall was also checked with stress-deformation analysis in PLAXIS 2D software using the finite element method with plane and geogrid elements. This program is designed for analysis of complex geotechnical structures that interact with the buildings. A plain strain model is analyzed which means that the obtained results refer to 1.0 m' from the structure. Also, finite elements with 16 nodes were used. When the model is developed, standard horizontal fixities are adopted at the end of geometrical model input, see Figure 2.

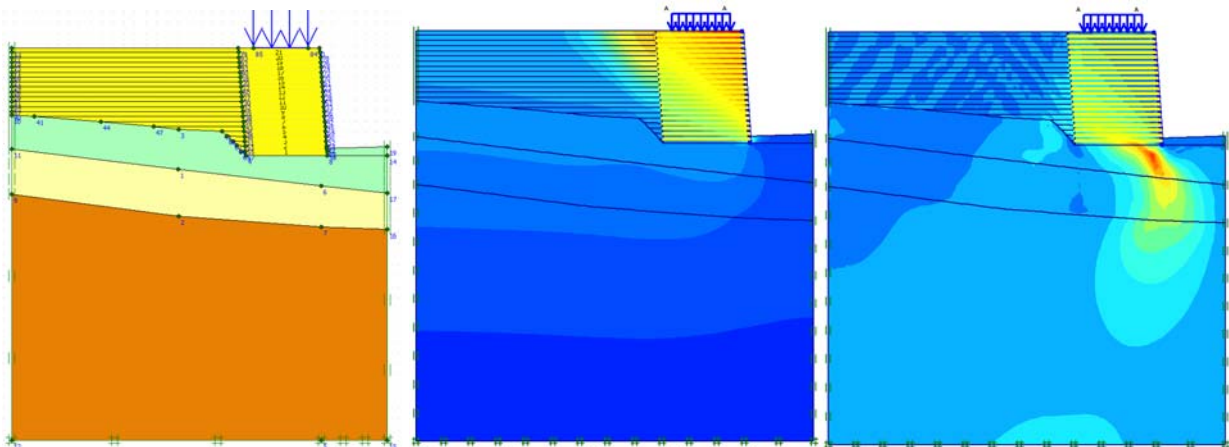


Figure 2. Model geometry, total displacement and shear stresses

The maximal total displacements are 48.67 cm, horizontal displacements are 33.05 cm and vertical displacements are 35.76 cm, all registered on the top (surface) of the reinforced soil retaining wall. These deformations occur as accumulated from the construction phases. They will probably be realized at the time of construction. If it is necessary, another layer from unreinforced material with good bearing capacity parameters will be provided on site. The maximal total displacements of the base material, in the contact with the retaining wall, are 15.0 cm. A global safety factor of 1.42 is obtained from the “ $\phi$ -c reduction” analysis. The maximal shear stresses is 97.07 kPa registered in the toe of the wall. From the performed analysis, it can be concluded that the designed reinforced soil retaining wall can meet the requirements for both static and seismic stability.

#### Literature

- [1] Abazi, S., Susinov, B.: Design of reinforced soil retaining wall in the industrial zone of Veles, Faculty of civil engineering, Skopje, 2014.

# ENERGETSKI UČINKOVITA VANJSKA OVOJNICA ZGRADA – ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ ECO-SANDWICH® PANELA

*Marina Alagušić (malagusic@grad.hr)*

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

## Uvod

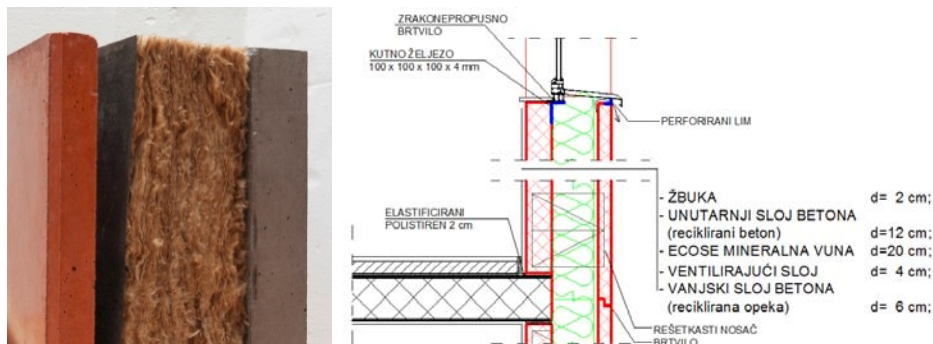
Europska politika je usmjerena u dva pravca: energetika i očuvanje prirodnih resursa. Energetska politika se ogleda u strategiji zvanj "Europe 2020" predloženoj za oživljavanje europske ekonomije. Strategija "Europe 2020" identificira pet glavnih ciljeva koje EU treba zadovoljiti kako bi se potakao rast i zapošljavanje [1]. Jedan od pet glavnih ciljeva odnosi se na Ciljeve 20-20-20 koji su duboko isprepleteni sa Direktivom o energetskeim svojstvima zgrade (2002 i njezinom Preinakom iz 2010) [2]. U EU, zgrade su odgovore za ukupno 40 % potrošnje energije te 36 % emisije CO<sub>2</sub> [3]. Samo u Republici Hrvatskoj 83 % zgrada troši 150 do 200 kWh/m<sup>2</sup>/a samo za grijanje [4]. Time sektor zgradarstva posjeduje ogroman potencijal za energetske uštede. Energetska učinkovitost jedan je od troškovno najoptimalnijih načina za stabilizaciju nesigurnosti opskrbe energijom te za smanjenje emisije CO<sub>2</sub>. Val energetske obnove postojećih i izgradnje novih, u pogledu energetske učinkovitosti sve zahtjevnijih, zgrada zahvatio je Europu te mijenja klasično lice građevinarstva. Glavni preduvjet energetske učinkovite zgrade jest njezina energetska učinkovita vanjska ovojnica.

Politika očuvanja prirodnih resursa direktna je posljedica problema građevinskog otpada i otpada od rušenja (CDW) budući da CDW čini približno 49 % ukupnog otpada generiranog diljem EU [5]. Samo u Europi, preko 750 milijuna m<sup>3</sup> betona se proizvede godišnje, što čini otprilike oko 4 tona betona po glavi stanovnika [6] i stoga ima značajan učinak na okoliš. CDW ima ogroman potencijal za ponovnu upotrebu i recikliranje koji se nastoji iskoristiti kroz mehanizme uspostavljene Okvirnom direktivom o otpadu, koja zahtjeva od zemalja članice EU da poduzmu sve potrebne mjere kako bi postigle minimum od 70 % (po težini) CDW do 2020. godine za ponovnu upotrebu, recikliranje i nasipavanje [7].

Potaknuti navedenim problematikama, nužnosti njihovih rješavanja te time zadovoljavanja politika i strategija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu je u suradnji s partnerima iz industrije proveo opsežna istraživanja s ciljem razvoja inovativnog proizvoda koji će zajedno ujediniti i energetska učinkovitost i CDW.

## Eksperimentalna istraživanja

ECO-SANDWICH® fasadni panel, Slika 1., je inovativni predgotovljeni zidni panel sa ugrađenom toplinskom izolacijom [8]. Unutarnji (samonosivi) sloj je izrađen s agregatom od recikliranog beton dok je vanjski fasadni sloj izgrađen s agregatom od reciklirane opeke. Sloj toplinske izolacije je inovativna Ecos® mineralna vuna bez formaldehida s vezivom na bazi prirodnih smola, debljine 20 cm. Kako bi se spriječila mogućnost kondenzacije vodene pare, sloj ventiliranog zraka se nalazi između sloja toplinske izolacije i vanjskog fasadnog sloja. Upravo u sloju ventiliranog zraka u predgotovljenom fasadnom panelu i korištenju recikliranog CDW leži inovativnost ovog proizvoda.



Slika 1. ECO-SANDWICH® predgotovljeni fasadni panel [8]

Shema istraživanja i razvoja ECO-SANDWICH® panela po različitim razinama istraživanja prikazana je na Slici 2.



Slika 2. Shema istraživanja i razvoja ECO-SANDWICH<sup>®</sup> fasadnog panela po različitim razinama istraživanja

Na razini materijala, nakon mehaničkih i trajnosnih ispitivanja, sastav betonskih mješavina optimiziran je na količinu agregata od 50 % recikliranog betona (unutarnji sloj) i 50 % reciklirane opeke (vanjski sloj). Ispitana toplinska provodljivost betona (HRN EN 12667:2002 i HRN ISO 8302:1998.) s 50 % udjela agregata od recikliranog betona i betona s 50 % udjela agregata od reciklirane opeke je do 27 % i do 40 % niža u usporedbi s toplinskom provodljivošću suhog betona podjednake gustoće prema vrijednostima iz literature [8, 9, 10]. Debljine pojedinih slojeva i njihovi koeficijenti toplinske provodljivosti definiraju toplinska svojstva cijelog panela (razina elementa), odnosno njegovu U-vrijednost. Za debljine panela definirane na Slici 1. U-vrijednost ECO-SANDWICH<sup>®</sup> panela iznosi 0,2 W/m<sup>2</sup>K čime je prikladan, uz pravilno riješene detalje, za izgradnju niskoenergetskih zgrada.

Za potrebe stavljanja proizvoda na tržištu, novi inovativni predgotovljeni fasadni panel ECO-SANDWICH<sup>®</sup> je prošao kroz postupak izdavanja Izjave o svojstvima i CE oznake. Radi dobivanja Izjave o svojstvima i sukladno tome CE oznake, za ventilirani predgotovljeni fasadni panel ECO-SANDWICH<sup>®</sup>, provedena su sva ispitivanja prema zahtjevima norme HRN EN 14992:2007 za svaki pojedini sloj panela (vanjski predgotovljeni sloj, sloj toplinske izolacije, unutarnji predgotovljeni sloj) te za panel kao cjelinu (razina elementa). Valja posebno istaknuti ispitivanje otpornosti na požar prikazano na Slici 2. pod dijelom Razina elementa. Trenutačno u Europskoj Uniji ne postoji norma za ispitivanje otpornosti na požar panela koji imaju svojstva i ovještene fasade i vanjskog zida. U konzultaciji s ovlaštenim laboratorijem odlučno je da se ispitivanje otpornosti na požar napravi prema normi HRN EN 1364-4. Svi dobiveni rezultati ispitivanja predgotovljenog ventilirajućeg elementa upućuju na razred EI90 prema HRN EN 13501-2 [11, 12].

Prva aplikacija ECO-SANDWICH<sup>®</sup> fasadnih panela biti će obiteljska kuća sa tri stambene jedinice u Koprivnici, Republika Hrvatska, POS gradnja A<sup>+</sup> energetskog standarda. Gradnja će započeti u kolovozu 2015. godine i time će se realizirati i razina konstrukcije. To će biti preposljednji korak u životnom vijeku ECO-SANDWICH<sup>®</sup> panela (primjena u stvarnim uvjetima korištenja). Posljednji korak u životnom vijeku je nakon isteka projektiranog vijeka uporabe zgrade, tj. njezinog rušenja, recikliranje ECO-SANDWICH<sup>®</sup> panela i njihovo korištenje kao agregata za proizvodnju novih ECO-SANDWICH<sup>®</sup> panela. Time se stvara dodatna dimenzija održivosti proizvoda.

### Preporuke za daljnja istraživanja

Preporuka za daljnja istraživanja je prikazana na Slici 2. U pojedine elemente koji će biti dio ovojnice obiteljske kuće u Koprivnici planiraju se ugraditi senzori za mjerenje temperature i sadržaja vlage. Na taj način bi se kroz poprečni presjek pojedinih elemenata dobila slika o stvarnom toku topline i toku vlage koji prikazuju higrotermalno ponašanje zgrade izvedene ovakvim elementima. Nužno je poznavati higrotermalno ponašanje vanjske ovojnice zgrade jer je vanjska ovojnica "koža" zgrade i preko nje na zgradu djeluju higrotermalna opterećenja iz okoliša te preko nje zgrada reagira na navedena opterećenja nastojeći uspostaviti higrotermalnu ravnotežu. Ukoliko je ovojnica zgrade takva da nije u mogućnosti uspostaviti prikladan prijenos (izmjenu) topline, zraka i vlage može doći do kondenzacije vodene pare koja uzrokuje



građevinske štete te povećanih gubitaka topline čime se narušavaju visoki energetske zahtjevi postavljeni na nove zgrade i obnovu postojećih zgrada.

### Zaključne napomene

Svaki građevni proizvod prije primjene mora proći opsežna istraživanja kako bi se ispitala njegova svojstva i dokazalo zadovoljavanje temeljnih zahtjeva za građevine prilikom njihove primjene. ECO-SANDWICH® fasadni paneli su energetski učinkoviti, inovativni predgotovljeni fasadni paneli koji zahvaljujući svojoj otpornosti na požar zadovoljavaju 2. temeljni zahtjev za građevine *Sigurnost u slučaju požara*, zahvaljujući svojoj zvučnoj izolacijskoj moći zadovoljavaju 5. temeljni zahtjev *Zaštita od buke*, zahvaljujući niskom prolasku topline, U-vrijednosti, zadovoljavaju 6. temeljni zahtjev *Gospodarenje energijom i očuvanje topline* te zahvaljujući upotrebi recikliranog agregata zadovoljavaju 7. temeljni zahtjev *Održiva uporaba prirodnih izvora*. Svi ostali temeljni zahtjevi se zadovoljavaju kroz projektiranje i rješavanje detalja zgrade.

### Zahvala

Autorica se želi zahvaliti Europskoj komisiji na potpori financiranju projekta „Energy Efficient, Recycled Concrete Sandwich Facade Panel – ECO-SANDWICH” kroz program CIP-EIP-Eco-Innovation-2011 (ECO/11/304438/SI2.626301), čime se omogućilo daljnje istraživanje i usavršavanje ECO-SANDWICH® fasadnih panela. Također, zahvala se upućuje i znanstvenom partneru projekta (Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu) te partnerima projekta iz industrije (Beton Lučko d.o.o., Knauf Insulation d.o.o., Eurco d.d.) na njihovom trudu, znanju i kolegijalnosti.

### Literatura

- [1] European Commission: *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions Energy 2020 A strategy for competitive, sustainable and secure energy*, COM(2010)639 final, Brussels, Belgium 2010.
- [2] European Parliament, Council of the EU: Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), *Official Journal of the European Union*, L 153/13, 2010.
- [3] European Commission: *EU energy in figures 2010 - Statistical Pocketbook 2010*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2010.
- [4] Banjad Pečur, I., Milovanović, B., Carević, I., Alagušić, M.: Precast sandwich panel – Innovative way of construction – Proceedings of 10th Central European Congress on Concrete Engineering – Concrete Offers for Period of Economic Recovery, Editor: Vitek, L. J., Liberec, 2014, Czech concrete society, 2014
- [5] Sáez P.V., del Río Merino M., Amores C. P. and de San Antonio G.A.: European Legislation and Implementation Measures in the Management of Construction and Demolition Waste, *The Open Construction and Building Technology Journal*, 5, (Suppl 2-M6), 2011, pp. 156-161
- [6] Bjegović, D., Štirmer N., Serdar M.: Ecological Aspects of Concrete Production, Proceedings of Second International Conference on Sustainable construction materials and technologies, Ancona, 2010, Main vol 3, pp. 1483-1493
- [7] European Parliament and the Council of the European Union: Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives, *Official Journal of the European Union*, L312/3, 2008
- [8] Banjad Pečur, I., Štirmer, N., Milovanović, B., Carević, I., Alagušić, M.: Energy efficiency aspects of recycled aggregate concrete – Proceedings of the International Symposium on Eco-Crete, Editors: Wallevik, O. H., Bager, D. H., Hjartarson, B., Wallevik, J. E., Reykjavik, 2014, ICI Rheocenter, 2014, pp. 393-400
- [9] ACI Committee 122. ACI 122R\_02: *Guide to Thermal Properties of Concrete and Masonry Systems* (pp. 21), 2002
- [10] Gorse, C. and Highfield, D.: *Refurbishment and Upgrading of Buildings* (Second edi., pp. 272). Spon Press., 2009
- [11] HRN EN 13501-2: Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services

- [12] Banjad Pečur, I., Gabrijel, I., Milovanović, B., Carević, I.: Ispitivanje na požar novog inovativnog predgotovljenog fasadnog panela – Proceedings of the 4th International Scientific Conference on Safety Engineering and 14th International Conference on Fire and Explosion Protection, Editors: Milanko, V., Laban, M., Mrčkova, E., Novi Sad, 2014, Higher Education Technical School of Professional Studies Novi Sad, pp. 46-54

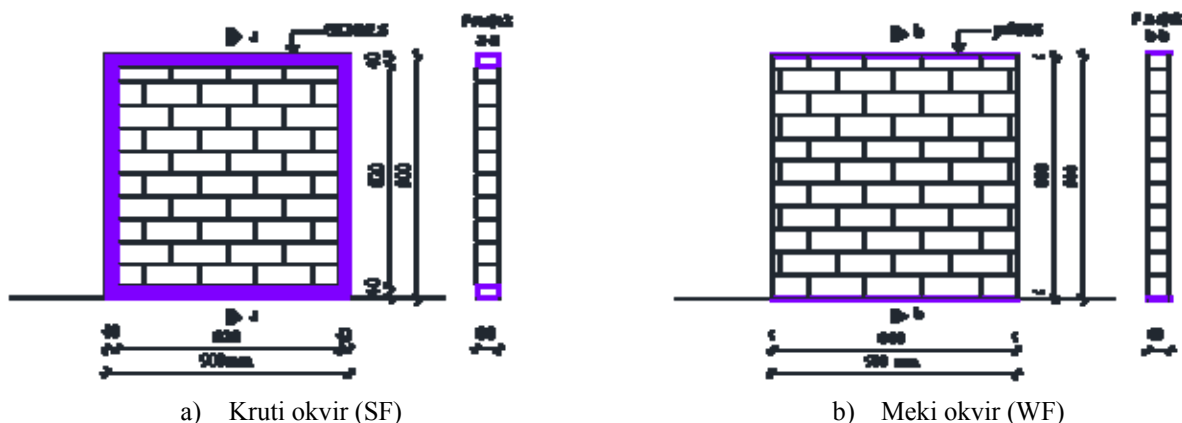
# DINAMIČKA ISPITIVANJA ČELIČNIH OKVIRA SA OŽBUKANOM ZIDANOM ISPUNOM

*dr. sc. Goran Baloević (goran.baloevic@gradst.hr)*

*Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije; Katedra za građevinske materijale*

U ovom su radu vršena dinamička ispitivanja jednoetažnih jednopoljnih čeličnih okvira sa zidanom ispunom na potresnoj platformi. Osnovni geometrijski podaci o ispitanim okvirima dani su na Slici 1. Čelični okviri su visine 900 mm, dužine 900 mm, te debljine 80 mm. Ispitani uzorci predstavljaju 1:3 umanjeni model realnog okvira. Uzorci su izrađeni od realnih materijala, s realnim načinom izvedbe. Odvojeno su razmatrani okviri s većom i manjom savojnom krutosti, tj. kruti (SF) i meki (WF) okvir. Kruti okviri izrađeni su od pravokutne čelične cijevi 80×40×2.5 mm, dok su meki okviri izrađeni od čelične lamele 80×6 mm. Svi spojevi okvira su zavareni. Okviri su uklješteni u krutu podlogu. Okviri su bočno pridržani u razini grede okvira, kako bi se spriječilo bočno savijanje stupova okvira.

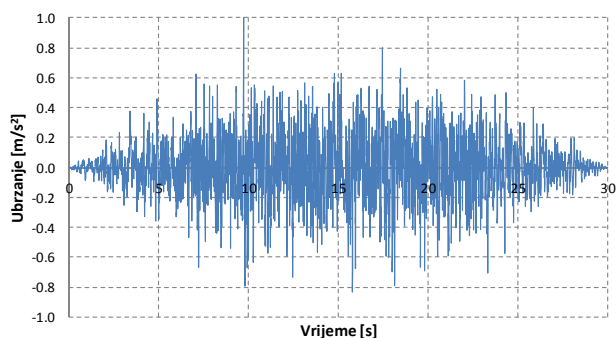
Svi okviri su ispunjeni zidom od laganog porastog betona (gustoće oko 450 kg/m<sup>3</sup>). Zidanje je vršeno upotrebom bijelog tankoslojnog morta za zidove od porastog betona. Svaki tip okvira razmatran je s tri varijante ispune: (i) okvir s čistim zidom (SF-1, WF-1), (ii) okvir s obostrano ožbukanim zidom (SF-2, WF-2), te (iii) okvir s obostrano ožbukanim zidom u kombinaciji sa staklenom mrežicom (SF-3, WF-3). Korištena je predgotovljena univerzalna mineralna žbuka nanešena u sloju debljine 10 mm sa svake strane zida. Staklena mrežica je položena u žbuku u polovini debljine sloja. Više detalja o provedenom eksperimentu može se naći u [1].



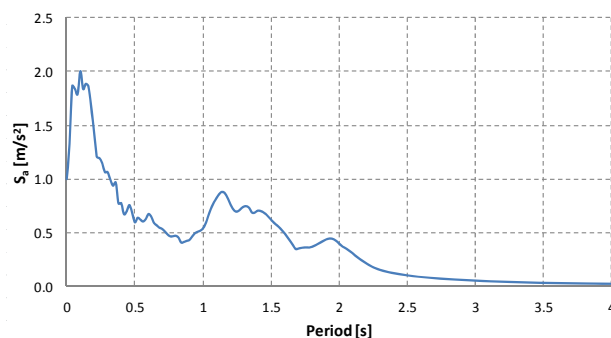
**Slika 3.** Osnovni geometrijski podaci o ispitanim okvirima

Okviri su najprije izloženi djelovanju umjetnog akcelorograma AA1 (vidi Sliku 2). Pri tome je korišten računalni program SIMQKE [2] za generiranje umjetnih akcelorograma iz proizvoljnog projektnog spektra odgovora. Od generiranog akcelorograma proizvedeno je ukupno 8 pobuda, kojima su amplitude ubrzanja postupno povećavane za 0.1 g. Dakle, svi uzorci su izloženi nizu pobuda sa sukcesivnim povećanjem maksimalnog ubrzanja  $PGA = n \times 0.1$  g;  $n=1-8$ . Nakon toga, svi uzorci su izloženi djelovanju akcelorograma potresa Petrovac iz 1979.g., Crna Gora. Kod toga je originalni zapis potresa također skaliran kako bi maksimalne vrijednosti ubrzanja bile  $PGA = n \times 0.1$  g;  $n=1, 2, 3$  i  $4.5$ .

Svi uzorci su bili opterećeni konstantnim vertikalnim opterećenjem iznosa 30 kN po dužini grede okvira, te izloženi djelovanju gibanja podloge. Za simulaciju vertikalnog opterećenja korišten je betonski blok dimenzija 1.0×1.0×1.2 m i mase 3000 kg. Fotografije uzorka pripremljenog za ispitivanje prikazane su na Slici 3. Za svaku apliciranu dinamičku pobudu praćeni su: horizontalni pomak vrha okvira, deformacija čelika pri dnu stupa s vanjskih strana okvira, prosječne deformacije ispune u smjeru dijagonala, te stanje pukotina u ispuni tijekom vremena.



a) Vremenski zapis ubrzanja



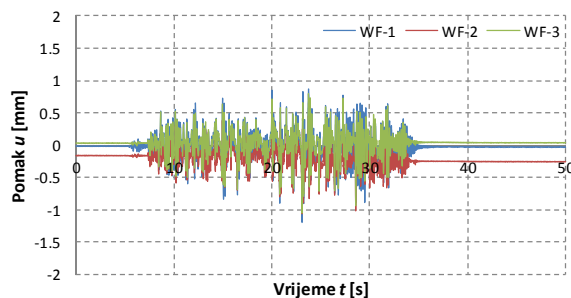
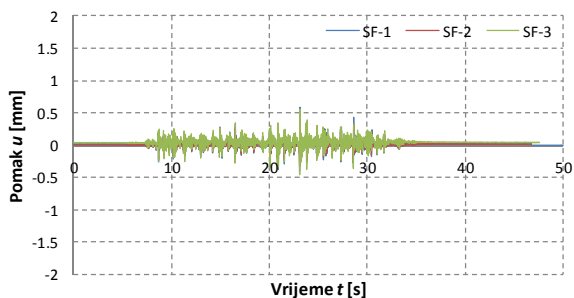
b) Elastični spektar odgovora (5% prigušenje)

Slika 4. Prikaz umjetnog akcelerograma AA1

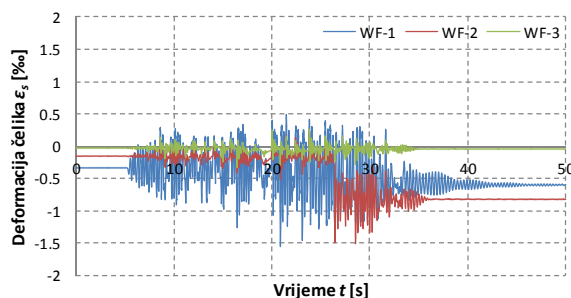
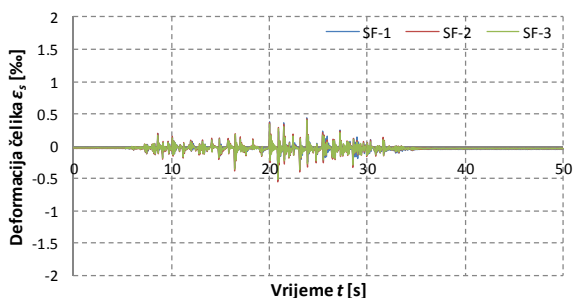


Slika 5. Prikaz uzoraka prije ispitivanja na potresnom stolu

U nastavku su prikazani neki rezultati za umjetni akcelerogram. Istovremeno su prikazani rezultati za kruti i meki okvir, kao i za sve tri varijante ispune.



Slika 6. Pomak vrha okvira za umjetni akcelerogram AA1 s maksimalnim ubrzanjem PGA = 0.4 g



Slika 7. Deformacija čelika pri dnu stupa za umjetni akcelerogram AA1 s maksimalnim ubrzanjem PGA = 0.8 g

Temeljem provedenih eksperimentalnih ispitivanja analiziran je utjecaj više parametara (krutost okvira, ojačanje pomoću žbuke, armatura žbuke, amplituda i tip potresa, itd.) na ponašanje ovakvih konstrukcija pri potresu. Ispitivanja su pokazala da žbuka može značajno doprinijeti čvrstoći i nosivosti zida, a samim time čvrstoći i nosivosti okvira sa zidanom ispunom. Ovakva rješenja su racionalna i efektivna i mogu uspješno poslužiti u sanaciji i poboljšanju seizmičke nosivosti zidanih konstrukcija.

#### Literatura

- [1] Baloević, G.: Eksperimentalno ispitivanje i numeričko modeliranje betonskih i čeličnih okvira sa zidanom ispunom pod statičkim i dinamičkim opterećenjem, disertacija, Sveučilište u Splitu, FGAG, Split, 2015.
- [2] SIMQKE (software), Conditioned Earthquake Ground Motion Simulator, Department of Civil Engineering and Operations Research, Princeton University, 1997, <http://nisee.berkeley.edu/elibrary/>

## PANELI OD SLAME - EKOLOŠKI I ODRŽIVI MATERIJAL ZA PRIMJENU U PASIVNOJ GRADNJI

**Krunoslav Čosić (kcosic@gfos.hr)**

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

Ekološki građevinski materijali su oni koji ne utječu na zdravlje korisnika i okoline, minimaliziraju korištenje neobnovljivih resursa i minimaliziraju emisiju štetnih supstanci tijekom cijelog svog životnog ciklusa. Prema istraživanju „The Materials in Green Buildings“, tvrtke Navigant Research, predviđa se da će globalno tržište zelenih materijala porasti sa dosadašnjih 116 milijardi dolara na 254 milijarde dolara do 2020. godine [1]. Obzirom na sve veće iskorištavanje resursa i negativni utjecaj na okoliš, prirodni ekološki materijali se sve više nameću kao alternativno rješenje problema [2].

Proizvodni proces građevinskih materijala treba biti ugodan za čovjeka i za okoliš, bez štetnih utjecaja, te se u posljednje vrijeme sve više upotrebljavaju prirodni toplinsko izolacijski građevinski materijali, među kojima se slama ističe kao materijal koji se sve češće pojavljuje u upotrebi [3]. Slama u širem smislu predstavlja suhe stabljike svih ratarskih kultura, dok u strogom smislu samo osušene stabljike žitarica kao što su pšenica, raž, ječam i drugo. Slama je poljoprivredni višak međutim predstavlja vrijednu kombinaciju izolacijskih i statičkih svojstava te je odličan izolacijski materijal, ne sadrži štetne tvari kao što je primjerice formaldehid koji isparava iz suvremenih građevinskih materijala. Osnovne prednosti slame kao građevinskog materijala su toplinska i zvučna izolacija (koeficijent toplinske provodljivosti iznosi  $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$  za zid od slame debljine 45 cm), otpornost na požar, relativno dobra čvrstoća, otpornost na potres, otpornost prema nametnicima, svjež zrak u prostorijama, dostupnost i niska cijena slame kao sirovine te jednostavnost arhitektonskog oblikovanja [4].

U građevinarstvu se slama koristila tisućama godina te u zadnje vrijeme sve više dobiva na popularnosti. Slama se može koristiti kao osnovni građevni element ili se može primjenjivati u kombinaciji sa drugim nosivim konstrukcijama, kao što je izgradnja lagane drvene konstrukcije sa ispunom od slame. Ukoliko se upotrebljava kao osnovni građevinski materijal, zidovi se grade od bala slame te potom žbukaju, dok kod primjene kao izolacije gotovih zidova na tržištu postoje gotovi izolacijski paneli od slame (slika 1). Paneli od slame osiguravaju nadprosječna zvučna i toplinsko izolacijska svojstva, paropropusni su, ne provode vibracije i gibanja osnovne konstrukcije što ih čini idealnim za pasivne kuće. Izrađeni su 100 % u skladu s prirodom, u potpunosti se mogu reciklirati te se proizvode iz obnovljivih materijala bez upotrebe veziva i boja. Proizvode se na način da se slama spaja pod pritiskom i visokom temperaturom pri čemu dolazi do ispuštanja lignina – prirodnog ljepila koje veže slamu u tvrdi ploču te se jezgra panela prekriva sa recikliranim kartonom [5].



Slika 1. Paneli od slame

Slama je obnovljivi resurs koji se može uzgajati svake godine, obzirom da energija potrebna za njenu proizvodnju dolazi od sunca. Ne sadrži pelud te ne uzrokuje alergije, njenim korištenjem se ne narušava ravnoteža okoliša, energetski je učinkovita, njenom upotrebom smanjujemo troškove grijanja i hlađenja te emisiju  $\text{CO}_2$  u atmosferu [6]. Globalna istraživanja su orijentirana na emisiju ugljičnog dioksida, koji je jedan od glavnih problema s kojima se čovječanstvo trenutno suočava. Većina zgrada emitira velike količine ugljičnog dioksida, što je posljedica upotrebe materijala koji ispuštaju u atmosferu ugljikov dioksid ne samo u fazi upotrebe zgrade, već i u fazi proizvodnje, tijekom transporta sirovina i sl. Upotrebom materijala kao što je pšenična slama, dolazi do pozitivnog učinka na emisiju ugljičnog dioksida. Slama raste iz zemlje, ne zahtjeva proizvodne procese (ili u manjoj mjeri) i kao svaka biljka i drveće održava ravnotežu kisika i ugljikovog dioksida u atmosferi na način da zadržava (koristi) ugljikov dioksid i otpušta kisik [7]. Wihan je

istraživao slamu te došao do zaključka kako bala slame težine 16 kg zadržava 32 kg ugljičnog dioksida, što je oko 11 tona zadržanog ugljičnog dioksida pri izgradnji tri tipične kuće za koje je potrebno oko 350 bala slame [8].

Proizvodnja slame je ekološki ugodna, energetski štedljiva, nema otpadaka te se može u cijelosti upotrijebiti. Prinos slame je između 4 i 5 tona slame po hektaru što slamu čini lako dostupnim materijalom [9]. Nakon branja usjeva, ostaju velike količine slame, što stvara veliku količinu otpada. Procjenjuje se da je količina slame veća od same količine usjeva te svjetska godišnja proizvodnja iznosi oko 709 milijuna tona slame [10]. Pri intenzivnom uzgoju žitarica može se računati da po jednom hektaru ostaje 4- 5 tona slame, što ovisi o sorti i godini. Omjer između prinosa zrna i uroda slame je otprilike 50 : 50 [4]. Prema Statističkom ljetopisu Republike Hrvatske 2014., u 2013. godini u Hrvatskoj je požnjevena površina pšenice iznosila 204.506 ha i ječma 53.796 ha, što je otprilike 260.000 ha za 2013. godinu [11]. Ukoliko računamo sa donjom vrijednošću, da po hektaru ostane 4 tona slame, dolazimo do brojke od 1.040.000 tona slame. Općenito se jedna trećina slame upotrebljava kao stelja za stoku (ležaj za stoku od slame), trećina se podorava, dok je jedna trećina raspoloživa kao građevinski materijal i za ostale namjene. Trećina slame od pšenice i ječma u Hrvatskoj na raspolaganju za izgradnju iznosi 345.000 tona i ukoliko se iskoristi 50 % tog potencijala, godišnje bi se moglo izgraditi više od 17.000 pasivnih kuća površine 150 m<sup>2</sup> (potrebno je oko 10 tona slame po jednoj pasivnoj kući površine 150 m<sup>2</sup>), iz čega slijedi da je iskoristivost slame jako velika. Primjer takve moderne kuće od slame u blizini Zagreba je prikazan na slici 2.



Slika 2. Kuća od slame

Slama je jedan od najboljih ekoloških građevinskih materijala, obnovljivi materijal koji se uzgaja svake godine. Proizvodnja slame je energetski štedljiva, ekološki ugodna, nema otpadaka te se po završetku ciklusa građevine može kompostirati što ne dovodi do emisije ugljičnog dioksida ukoliko se spaljuje kao poljoprivredni otpad na poljima. U Hrvatskoj je godišnje na raspolaganju više od 340.000 tona slame od pšenice i ječma, što dovodi do ogromne moguće iskoristivosti ovog prirodnog materijala, poglavito u Slavoniji i Baranji gdje je ona najzastupljenija. Na tržištu već postoje proizvodi od slame, međutim bilo bi zanimljivo istražiti primjenu slame u kombinaciji sa usitnjenim drvom kako bi dobili u potpunosti ekološki materijal visokih svojstava koji je istovremeno ekonomski isplativ.

#### Literatura

- [1] Navigant Research, URL: <http://www.navigantresearch.com/newsroom/green-building-materials-will-reach-254-billion-in-annual-market-value-by-2020> . (09.05.2015.).
- [2] Palumboa, M., Avellaneda, J., Lacastaa, A.M.: Availability of crop by-products in Spain: New raw materials for natural thermal insulation, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 99, 2015., pp. 1-6.
- [3] Vrančić, T.: Toplinsko izolacijski materijali od prirodnih sirovina, *Građevinar*, Vol. 59, No. 9, 2007., pp. 835-837.
- [4] Glasnović, Z., Horvat, J., Omahić, D.: Slama kao superiorni građevinski materijal, *Tehnoeko*, Vol. 3, 2008., pp:14-7
- [5] Zelena Gradnja, URL: <http://www.zelena-gradnja.hr/proizvodi/pregradni-zid/ekopanel-od-slame> . (12.06.2015.).
- [6] Ekocentar, URL: <http://www.ekocentar.hr/eko-izgradnja/eko-toplinske-izolacije-slama-celuloza-ovcjavuna/slama-građevinski-materijal.html> . (21.05.2015.).



- [7] Andres, D.M.C, Manea, D.L.: Innovative Building materials using agricultural waste, *Procedia Technology*, Vol. 19, 2015., pp. 456-462.
- [8] Wihan, J.: Humidity in straw bale walls and its effect on the decomposition of straw, MSc Thesis, 2007.
- [9] Vrančić, T.: Prirodni izolacijski materijali, *Građevinar*, Vol. 63, No. 5, 2011., pp. 503-505.
- [10] Bonjean, A.P., Angus, W.J.: *The World Wheat Book: a history of wheat*, Paris, 2001.
- [11] DZS: Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2014, Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, Zagreb, 2014.





# EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE BETONSKIH NOSAČA RAZLIČITIH STUPNJEVA PREDNAPINJANJA

**Dragan Čubela** (*dragan.cubela@tel.net.ba*)

*Sveučilište u Mostaru; Građevinski fakultet; Katedra za mehaniku, materijale i konstrukcije*

Beton je i danas neusporedivo najzastupljenije gradivo za nosive konstrukcije, a primjena prednapetog betona je sve šira. Njime se intenzivno bave istraživači već gotovo stotinu godina. Današnje spoznaje u području armiranog i prednapetog betona su na dosta visokoj razini. Do sada su izvršena mnogobrojna eksperimentalna i numerička istraživanja u području prednapetog betona. Ipak, i pored svih do sada provedenih istraživanja, još uvijek su potrebna daljnja eksperimentalna i numerička istraživanja ponašanja prednapetih betonskih konstrukcija. Ta se potreba osobito odnosi na eksperimentalna i numerička istraživanja ponašanja djelomično prednapetih nosača, odnosno betonskih nosača s različitim odnosima klasične i prednapete armature. Istraživanja su važna za bolje poznavanje ponašanja nosača, kako sa stanovišta graničnog stanja nosivosti tako osobito sa stanovišta graničnih stanja uporabe. Prednapeta betonska konstrukcija je složena kompozitna struktura, sastavljena od gradiva različitih mehaničkih karakteristika. Njeno stvarno ponašanje je složenije od pretpostavki klasičnih proračuna i tekućih numeričkih modela. Ovisno o odnosu prednapete i klasične armature, betonske konstrukcije imaju različito ponašanje pod opterećenjem. Međudjelovanje prednapete armature, vlačne i tlačne klasične armature i betona još uvijek nije dovoljno eksperimentalno i numerički istraženo.

U tu svrhu izvršeno je niz eksperimentalnih ispitivanja ponašanja betonskih nosača. Cilj ovog eksperimenta je bio doprinos boljem poznavanju stvarnog ponašanja armirano betonskih nosača s različitim odnosima klasične i prednapete armature (s različitim stupnjem prednapinjanja) za kratkotrajna statička opterećenja sve do sloma, a poslužio je kao podloga je za izradu doktorskih disertacija [1] i [2].

Ispitana su 23 nosača, i to:

- 4 (četiri) međukatne II ploče (nosača) dužine 800 cm i visine 50 cm, od betona C40/50
- 5 (pet) ošupljenih međukatnih ploča (nosača) dužine 600 cm i visine 15 cm, od betona C40/50
- 5 (pet) krovnih (etažnih) T nosača dužine 1000 cm i visine 50 cm, od betona C40/50
- 5 (pet) međukatnih obrnutih T nosača dužine 1000 cm i visine 50 cm, od betona C90/105
- 4 (četiri) krovna T nosača (podrožnice) dužine 800 cm i visine 50 cm, od betona C90/105

Radi pouzdanosti rezultata, za ispitivanje su odabrani nosači realnih izmjera. Kod toga je svaki tip nosača imao različita podvarijantna rješenja armiranja, s različitim odnosima prednapete i klasične armature. Za svaki tip nosača istraženo je njegovo ponašanje za slučajeve samo sa prednapetom armaturom, samo sa klasičnom armaturom (betonski čelik), te s 2 ili tri različita odnosa prednapete i klasične armature. Kod toga, je svaki podvarijantni nosač imao podjednaku graničnu nosivost, kako bi bila moguća usporedba rezultata. Korištene su dvije vrste betona: obični C40/50 i beton visoke čvrstoće C90/105. Za svaki tip nosača uzimano je 6 uzoraka betona prilikom betoniranja, na kojima je utvrđivana: tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća i modul elastičnosti. Također su uzimani uzorci klasične i prednapete armature, na kojima je određena njihova vlačna čvrstoća i modul elastičnosti.

Za svaki ispitani nosač pratilo se njegovo ponašanje pod monotono rastućom statičkom silom u polovini raspona. Mjerna oprema, uređaji i softveri koji su korišteni pri ispitivanju omogućili su uspostavljanje veze između aplicirane sile i mjerenih veličina u bilo kojoj fazi ispitivanja.

Za sve ispitane nosače, mjereno je sljedeće:

- veličina aplicirane sile
- deformacije betona na donjem i gornjem pojasu u sredini raspona,
- deformacije izabranih profila klasične armature u donjoj i gornjoj zoni u sredini raspona,
- deformacije izabranih prednapetih kabela u sredini raspona,
- pomaci nosača u sredini raspona,
- globalno ponašanje nosača tijekom ispitivanja,
- pukotinska slika nosača (širina, razmak i propagacija pukotina).

Za mjerenje aplicirane sile, deformacija u betonu i armaturi i mjerenje pomaka korišten je HBM-ov 48-kanalni mjerni uređaj MGCplus. Korištena je sljedeća oprema:

- davač (pretvarač) sile C6A, opsega 200÷5000 kN, klase 0.5 (preciznosti 0,5%), za mjerenje aplicirane
- mjerne trake (elektrootporni tenzometri) za mjerenje deformacija (baza različitih za mjerenje deformacije na čeliku i betonu, otpora 120  $\Omega$ , max. izduženja  $\pm 5\%$  ( $\pm 50000\mu\text{m/m}$ ), i to:
  - o mjerne trake K-LY41...6/120 (baza 6mm) za mjerenje deformacija u prednapetim kablovima i mekoj armaturi,
  - o mjerne trake K-LY41...100/120 (baza 100mm) za mjerenje deformacija u betonu,
- induktivni davač pomaka WA/100mm-L (opseg mjerenja 100 mm, klasa 0.2) za mjerenje pomaka

Očitavanje i obrada rezultata urađeno je podrškom programskog paketa CATMAN (licenciran od tvrtke HBM). Ovaj softver omogućava istovremeno praćenje mjerenih vrijednosti u izabranim vremenskim intervalima i prikaz međusobnih veza mjerenih veličina.

S druge strane, da bi se pratilo ukupno ponašanje nosača tijekom ispitivanja, pratilo pukotinsko stanje (raspucavanje) nosača pod rastućim opterećenjem, registrirala pojava prve pukotine, propagacija pukotina do sloma, procjenjivale širine i razmaci pukotina, korištena je digitalna fotografska oprema visoke rezolucije.

Za mjerenje (ocjenjivanje) širine pukotina u nosačima korišteni su šubleri za mjerenje pukotina preciznosti 0,05 mm.

Za mjerenje pomaka nosača u sredini raspona korištena je i mjerna skala s milimetarskom podjelom (metar), kako bi se mjerili pomaci nosača iznad opsega mjerenja induktivnih davača pomaka. Očitavanja sa šublera za pukotine i mjerne skale vršena su sa snimljenih digitalnih fotografija.

U radu [1] eksperimentalni rezultati poslužili su za donošenje zaključaka i inženjerskih preporuka za pravilan odabir načina armiranja prednapetih nosača, tj. odabir optimalnog odnosa prednapete i klasične armature, kao i za svojstva takvih nosača vezana za progibe i širine pukotina u betonu i poboljšanje postojećeg modela za beton [5] u uvjetima posmika.

U radu [2], koji je u izradi, eksperimentalni rezultati bi trebali poslužiti i za provjeru razvijenih numeričkih modela za nelinearnu statičku analizu i proračun širina pukotina klasično armiranih prostornih štapnih konstrukcija [3],[4],[6] i proširenje razvijenih modela na simulaciju širina pukotina djelomično prednapetih štapnih betonskih elemenata.

#### Literatura

- [1] Markić R.: Utjecaj odnosa prednapete i klasične armature na ponašanje betonskih nosača, disertacija, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2012.
- [2] Čubela D.: Uporabna svojstva betonskih konstrukcija ovisno o stupnju prednapinjanja, disertacija u izradi, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru
- [3] Radnić J., Markota L., Harapin A.: Raspucavanje betona, Udžbenici Sveučilišta u Splitu, Split 2005.
- [4] Markić R., Mucić S., Radnić J., Harapin A., Grgić N.: Numerical model for the nonlinear analysis of spatial framework systems, International Scientific Symposium Modeling of Structures, Eds. Ivo Čolak, Mostar, 2008., pp 345-366
- [5] Markić R.: Doprinos numeričkom modeliranju ponašanja štapnih betonskih konstrukcija, Magistarski rad, Građevinsko arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split 2009.
- [6] Harapin A., Radnić J., Markić R., Baloević G.: Numerički model za nelinearnu statičku analizu betonskih okvira, 3. Int. Naučno-Stručni Skup: Građevinarstvo – Nauka I praksa, Eds. Duško Lučić, Žabljak, Crna Gora, 2010., 33. 63-68

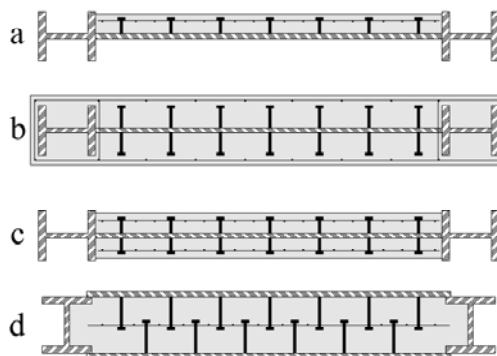
# STANJE PODRUČJA PONAŠANJA I PRORAČUNA SUSTAVA VERTIKALNE STABILIZACIJE KOJI KORISTE SPREGNUTI ISPUN

**Ivan Ćurković (icurkovic@grad.hr)**

*Sveučilište u Zagrebu; Građevinski Fakultet; Katedra za metalne konstrukcije*

Primjena sustava vertikalne stabilizacije sastavljenih od okvira s umetnutim ispunom sve više nalazi mjesta u današnjim građevinama, prvenstveno iz razloga velike otpornosti kao i dobrog ponašanja uslijed značajnijih potresnih djelovanja. Umetnuti ispun može biti izveden od opeke (zidani), od armiranog betona, od čeličnih ploča ili pak, u novije vrijeme, sprežanjem čeličnih ploča s armiranobetonskim panelima (tzv. spregnuti ispun) koji će i biti predmet istraživanja. Prednost takvih sustava ogleda se u iskorištavanju pozitivnih karakteristika pojedinih materijala (čelika i betona) od kojih se spregnuti panel izvodi. S obzirom da se za ispun primjenjuju tanke čelične ploče, to će se dodavanjem armiranobetonskih panela one ukrutiti te će se omogućiti doseganje tečenja čelika prije samog izbočivanja čeličnog panela, dok će se s druge strane odgoditi pojava pukotina u betonu u vlačnim dijagonalama. Takvo stabilno ponašanje komponenti omogućava da ovakvi sustavi, za istu geometriju komponenata, također imaju veću krutost, nosivost kao i sposobnost trošenja energije u odnosu na sustave kod kojih se ispuni izvode od jednog materijala (čelični ili armiranobetonski ispun). Time se povoljno utječe na težinu konstrukcije što rezultira manjim horizontalnim opterećenjem koje se javlja uslijed seizmičke pobude, omogućava se više korisnog prostora, a i smanjuju se troškovi temeljenja objekta. Ujedno zbog stabilnog ponašanja kod malih intenziteta potresa (s kraćim povratnim periodom) spregnuti ispuni neće zahtijevati sanacije koje mogu uzrokovati prekide korištenja objekta koji također predstavljaju određene ekonomske gubitke.

U vodećim svjetskim normama (američkoj AISC 341[1] i europskoj EN 1998-1 [2]) pod spregnutim ispunom podrazumijeva se čelična ploča s armiranobetonskom pločom koja se može postaviti s jedne ili obje strane čeličnog lima, pri čemu se ispun umeće u okvir izveden s čeličnim ili spregnutim elementima. Proširenje definicije za spregnuti ispun koji se izvodi od dvije paralelno postavljene čelične ploče unutar okvira gdje se između njih izvodi AB ispun dano je samo u [1]. Primjeri sustava sa spregnutim ispunima dani su na slici 1 [1, 3].



**Slika 1.** Primjeri sustava sa spregnutim ispunom

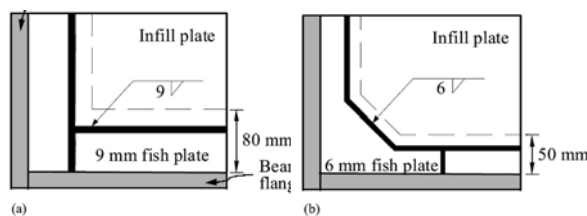
Smjernice dane u normama za proračun i oblikovanje ovih sustava prilično su šture upravo iz razloga nedovoljne istraženosti istih. Stoga se uglavnom one vežu na smjernice za čiste čelične ispune čime se u većini slučajeva osigurava određena veća sigurnost, što ujedno može voditi neekonomičnosti izvedbe samog sustava. U skladu s pretpostavkom da spregnuti ispun treba biti u mogućnosti preuzeti sva horizontalna djelovanja na konstrukciju, te pritom većinu energije tog djelovanja potrošiti u vidu neelastične deformacije unutar samog panela ili onih dijelova konstrukcije u kojima se to dopušta logično je, pri projektiranju ovog sustava vertikalne stabilizacije, pristupiti problemu upravo od samog spregnutog panela. Dimenzioniranje spregnutog ispuna (debljina čeličnog lima, armiranobetonske ploče, razmak moždanika) temelji se na teoriji izbočivanja ploča na način da se osigura tečenje čelične ploče prije njenog izbočivanja. Pri tome se spregnuti panel promatra kao ukružena ploča, gdje se beton svodi na ekvivalente čelične ukrute na mjestima gdje postoje sredstva za međusobno sprežanje obaju panela [3]. Uz ovu provjeru, taksativno se navodi još čitav niz uvjeta koji moraju biti zadovoljeni, a koji nisu teoretski obrazloženi već su posljedica ograničenog broja provedenih ispitivanja (npr. minimalna debljina čelične i armiranobetonske ploče, itd.).

Dimenzioniranje ostalih elemenata sustava (horizontalnih i vertikalnih elemenata okvira) u potpunosti odgovara postupku za čiste čelične ispune. Naime, kod sustava s čeličnim ispunom pretpostavka je da se

trošenje energije događa u ispunu preko vlačnog polja koje se formira pri vrlo malim seizmičkim djelovanjima. U tom slučaju potrebno je osigurati dostatnu stabilnost elemenata okvira kako bi se omogućilo formiranje vlačne dijagonale, kao i trošenje energije preko neelastičnog ponašanja materijala u istoj. Promatrajući sustav sa spregnutim ispunom, u kojem se očekuje tečenje ploče u posmiku prije njenog izbočivanja jasno je vidljivo da posmična djelovanja koja se prenose u elemente okvira u njima izazivaju samo pojavu uzdužne sile. Stoga bi opravdano bilo istražiti opravdanost potrebe zadovoljenja minimalno potrebnih krutosti elemenata okvira sa spregnutim ispunom koje su proizašle iz sustava koji koriste različiti princip horizontalne stabilizacije okvira.

Pitanje priključaka prečke na stup isto pokazuje nedostatak prikladnih eksperimentalnih istraživanja koja bi omogućila bolji uvid u ponašanje istih. Stoga američka AISC norma [1] predviđa isključivo primjenu nepopustljivih priključaka pune otpornosti, dok su takve smjernice u potpunosti izostavljene iz europske norme [2]. Projektiranje, a pogotovo izvedba takvih priključaka može imati priličan utjecaj na cijenu same konstrukcije. Astaneh-Asl [3], Alinia i dr. [4], Dubina i Dinu [5] provode ispitivanja priključaka u sustavima s čeličnim ispunom te navode da postojanje ispuna može značajno smanjiti rotacijske zahtjeve na priključak, kao i doprinijeti povećanju nosivosti okvira što može opravdati primjenu djelomično nepopustljivih priključaka djelomične otpornosti. Povoljno djelovanje ispuna zadržava se i kod njegovog znatnog oštećenja tako da priključci ni tada nisu izloženi velikim rotacijama. Uz ova ispitivanja Hadzhiyaneva i Belev [6] proveli su ispitivanja na sustavima sa spregnutim ispunom, te kao zaključak naveli mogućnost primjene spregnutih ispuna u okvirima koji posjeduju i zglobne priključke nosača na stup.

Spajanje čeličnog dijela ispuna na elemente okvira u normi [1, 2] je predviđeno po njegovom čitavom opsegu. Sva do danas provedena ispitivanja sustava sa spregnutim ispunom držala su se tih smjernica u manjoj ili većoj mjeri. Ukoliko se usporede rezultati tih istraživanja može se uočiti da je vrlo često gubitak potpune stabilnosti konstrukcije vezan upravo uz stvaranje pukotine u kutu čeličnog ispuna čije je širenje duž vanjske konture ispuna dovelo do znatnog odvajanja ispuna od elementa okvira, te onemogućilo njihovo daljnje međudjelovanje. Ovaj problem pokušao se eliminirati varijacijom upravo tih kutnih spojeva u [6, 7] kako je prikazano na slici 2, čime je izbjegnuta pojava koncentracije napona uz same priključke okvira. Zanimljivo bi bilo istražiti mogućnost potpunog izbjegavanja spoja ispune i okvira u području priključka okvira, te u kolikoj bi mjeri isto bilo učinkovito iz aspekta pojave nepovoljnih koncentracija naprezanja u ploči, a koliko iz aspekta smanjenja rotacijskih zahtjeva na sam priključak.



Slika 2. Varijante spajanja ispuna na okvir [6, 7]

### Literatura

- [1] AISC. *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction. Chicago, IL, 2010.
- [2] CEN. *Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2004.
- [3] Astaneh-Asl, A. *Seismic Behavior and Design of Composite Steel Plate Shear Walls*, *Steel TIPS Report*, Structural Steel Educational Council, Moraga, CA, 2002.
- [4] Alinia, M. M.; Jamshidi, A. H.; Habashi, H.R. The Gusset Plate Effect in Steel Plate Shear Wall Systems, *Proceedings of 3rd International Conference on Integrity, Reliability and Failure*, Porto, Portugal, 2009.
- [5] Dubina, D.; Dinu, F. Experimental evaluation of dual frame structures with thin-walled steel panels, *Thin-Walled Structures*, 78(2014), pp. 57-69.
- [6] Choi, I. R.; Park, H. G. Ductility and Energy Dissipation Capacity of Shear-Dominated Steel Plate Walls, *Journal of Structural Engineering*, 134, 9(2008), pp. 1495-1507.
- [7] Park, H. G.; Kwack, J. H.; Jeon, S. W.; Kim, W. K.; Choi, I. R. Framed steel plate wall behavior under cyclic lateral loading, *Journal of Structural Engineering*, 133, 3(2007), pp. 378-388.

# 3D MODEL PONAŠANJA PREDNAPETIH KONSTRUKCIJA SA UKLJUČENIM DUGOTRAJNIM EFEKTIMA

*Ante Džolan (a.dzolan@yahoo.com)*

*Sveučilište u Mostaru; Građevinski fakultet; Katedra za mehaniku, materijale i konstrukcije*

Beton, armirani i prednapeti, u posljednjih stotinjak godina postao je vodeći konstruktivni materijal u svijetu. Unatoč sve intenzivnijem razvoju novih materijala, beton i dalje ostaje vodeći materijal u klasičnom građevinarstvu. Razlog tome je svakako i pojava novih betonskih smjesa kojima se ublažavaju ili potpuno eliminiraju loša svojstva betona, kao što su mala vlačna čvrstoća, krtost i sl. Kako je armiranje bilo prvi korak u uspješnom praktičnom korištenju betona kao gradivnog materijala, prednapinjanje predstavlja daljnji korak u razvoju betonskih konstrukcija, a specijalni betoni treći korak u tom razvoju.

Korištenjem prednapinjanja betonom se mogu savladavati veliki rasponi koji su nekada bili rezervirani samo za čelik (mostovi, hale, izložbene i sportske dvorane). Također, prednapeti beton se intenzivno koristi kod konstrukcija kod kojih tijekom eksploatacije ne smije doći do otvaranja pukotina uslijed prekoračenja tlačne čvrstoće betona (npr. rezervoari).

Sve veća uporaba prednapetih konstrukcija te potreba za praćenjem ponašanja konstrukcije u različitim fazama izvedbe kao i tijekom eksploatacije utjecala je na razvoj numeričkih modela koji mogu vrlo vjerno opisati materijalne i geometrijske karakteristike betona i čelika, uvesti silu prednapinjanja i uključiti njezine gubitke te pratiti ponašanje konstrukcije tijekom vremena. U početku su numerički modeli bili namijenjeni linearno elastičnoj analizi, jer se realno materijal pri eksploataciji i nalazi uglavnom u linearno-elastičnom stanju. Međutim, potreba za sve smjelijim konstrukcijama uvjetovala je da su i pri uporabnim stanjima opterećenja naprezanja iznad granice do koje se materijal ponaša linearno elastično.

Veza između naprezanja i deformacija u betonu u velikoj mjeri ovisi o nastajanju i širenju mikropukotina. One u betonu postoje i prije nanošenja opterećenja, a s nanošenjem opterećenja se šire i nastaju nove. I u tlačnom području u kojem pri višim razinama opterećenja dolazi do plastičnog tečenja, imamo naglašenu nelinearnost [1].

Također je poznato da se kablovi prednapinju do visokih razina naprezanja da bi nakon djelovanja opterećenja mogli preuzeti dodatna naprezanja. Zbog toga, ukupna naprezanja u prednapetoj armaturi dosežu vrijednosti blizu granice popuštanja. Uvođenjem djelomično prednapetih konstrukcija za potpuno opterećenje u eksploataciji dopušta se nastajanje pukotina ograničenih širina, koje se nakon prestanka djelovanja opterećenja zatvaraju [1-3].

Pri prednapinjanju, također, nastaje niz popratnih efekata smanjenja sile prednapinjanja, od kojih je najvažniji efekt smanjenja sile zbog puzanja i skupljanja betona. Puzanje betona, kao reološka pojava povećanja deformacija bez povećanja naprezanja pri dugotrajnim opterećenjima, još uvijek nije u potpunosti objašnjeno. Postoji niz teorija i matematičkih modela, od kojih ni jedan ne daje potpunu sliku stvarnog ponašanja [3-5].

Cilj ovog rada je daljnji razvoj numeričkog modela za opis prednapetih elemenata i konstrukcija. Rad se nastavlja na prethodno razvijeni model za simulaciju prednapetih konstrukcija [6], koji se temelji na osnovnim parametrima materijala, a kao glavni doprinos rada bilo bi uvođenje puzanja, što je dominantni uzrok pada sile od prednapinjanja. Složeno nelinearno ponašanje prednapetih konstrukcija modeliralo bi se u osnovi jednostavnim i efikasnim, ali za inženjersku uporabu dovoljno točnim modelom. Model, za sada, omogućava simuliranje nelinearnog ponašanja samih materijala, kao i simuliranje pada sile prednapinjanja od elastičnog skraćivanja betona i trenja.

Armirana i prednapeta betonska konstrukcija diskretizirana je trodimenzionalnim elementima u koje je ukomponiran jednodimenzionalni element za opis armature (kabela). Model omogućava zadavanje armature odvojeno od mreže 3D elemenata za beton. Omogućena je simulacija ravne armature, paralelne ili pod proizvoljnim kutom u odnosu na lokalni koordinatni sustav te zakrivljene armature proizvoljno položene u 3D element betona. Ovako definirani jednodimenzionalni krivocrtni elementi omogućavaju jednostavno uvođenje sile prednapinjanja odnosno modeliranje prednapetih kablova i konstrukcija [6]. (Slika 1)

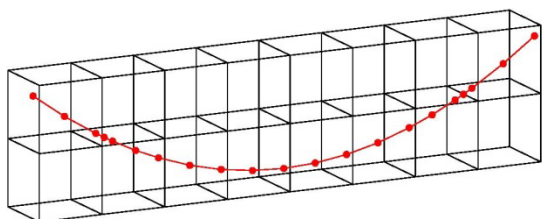
Kod betonskih konstrukcija razvijenim modelom moguće je simulirati najvažnije nelinearne efekte ponašanja betona: popuštanje betona u tlaku, raspucavanje betona u vlaklu (otvaranje i zatvaranje pukotina kod dinamičkog opterećenja), vlačnu i posmičnu krutost raspucalog betona, kao i armature u betonu: popuštanje čelika te utjecaj brzine deformacije na mehaničke karakteristike betona i čelika. Načelno, razvijenim

modelom također je moguće simulirati nelinearno ponašanje i drugih konstrukcijskih materijala, npr. konstrukcijskog čelika (tečenje u tlaku i vlaku), drva, stakla, itd.

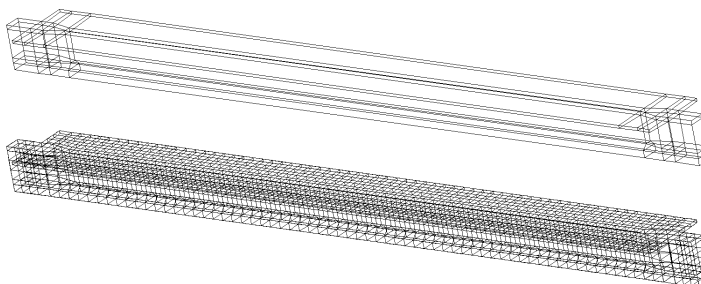
U trenutnoj fazi istraživanja vrši se detaljna analiza postojećeg modela usporedbom sa rezultatima dobivenim na eksperimentalno ispitanoj nosaču koji je opterećivan kratkotrajnim statičkim opterećenjem sve do sloma [7]. Tokom testiranja mjereni su progibi nosača, položaj, razmak i širina pukotina u betonu, deformacije betona na gornjem i donjem pojasu nosača, deformacije klasične tlačne i vlačne armature u polovini raspona (gornja i donja zona), te deformacije prednapete užadi u sredini raspona.

Istovremeno se razvija predprocesor kojim će biti omogućeno zadavanje složene geometrije preko AutoCAD-a [8]. (Slike 1, 2)

Konačni cilj rada je razviti jedan jednostavan i efikasan model za numeričku simulaciju armirano betonskih i prednapetih konstrukcija. Takvi numerički modeli mogli poslužiti u ocjeni nosivosti kako novo projektiranih tako i postojećih konstrukcija, i time doprinijeti njihovoj kvaliteti i boljem poznavanju, čime se izbjegavaju mnogo skuplji stvarni pokusi.



**Slika 1.** Generirana mreža konačnih elemenata betona i zakrivljene armaturne šipke za element pravokutnog poprečnog presjeka



**Slika 2.** Prikaz mostovskog prednapetog nosača: zadana mreža i generirana mreža

#### Literatura

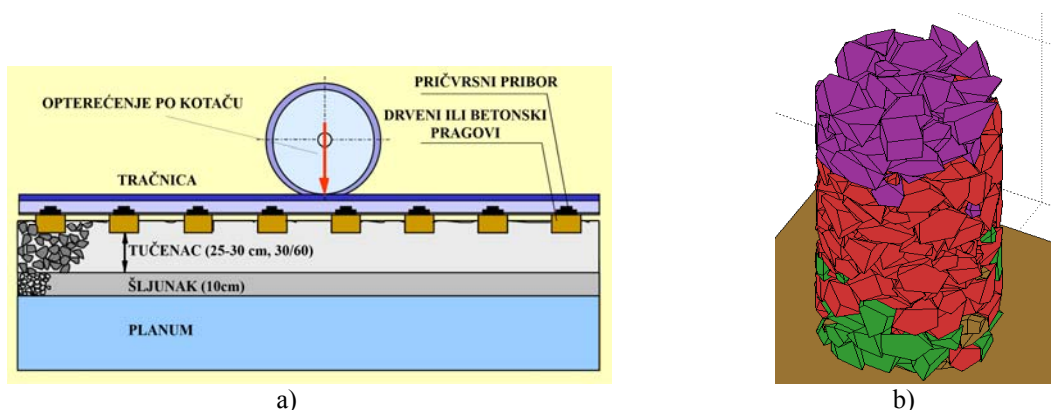
- [1] Damjanić F.: A finite element technique for analysis of reinforced concrete structures, Finite Element Methods for Nonlinear Problems, Eds. Bergan P. at all. Springer, pp. 623-637, 1986.
- [2] Figueiras J.A. and Povoas R.H.C.F.: Modelling of prestress in non-linear analysis of concrete structures, Computers and Structures, Vol. 53, pp. 173-187, 1994.
- [3] Bangash, M.Y.H.: Manual of numerical methods in concrete, Modelling and applications validated by experimental and site-monitoring data, Thomas Telford Publishing, London, 2001.
- [4] Tomičić I.: Betonske konstrukcije, Odabrana poglavlja, 2. izmijenjeno izdanje, usklađeno s EC2 i EC8, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 1996.
- [5] Matešan, D.: Vremenska analiza prednapetih betonskih ljsaka, doktorska disertacija, Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Split, 2007.
- [6] Galić M.: Razvoj nelinearnog 3D numeričkog modela armiranih i prednapetih betonskih konstrukcija, doktorska disertacija, Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Split, 2006.
- [7] Markić R.: Utjecaj odnosa prednapete i klasične armature na ponašanje betonskih nosača, disertacija, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2012.
- [8] Perišić N.: Generiranje mreže konačnih elemenata za prostorne (3D) probleme, diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2014.

# NUMERIČKO MODELIRANJE ZASTORNE PRIZME ŽELJEZNIČKIH KOLOSIJEKA

**Viktorija Grgić (vgrgic@grad.hr)**

*Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet; Katedra za željeznice*

Konstrukcija gornjeg ustroja pruga uobičajeno se sastoji od tračnica, elastičnog pričvrstnog pribora, elastične podloške tračnica te, u pravilu, poprečnih betonskih pragova koji mogu biti položeni u zastornu prizmu od tucaničkog materijala ili pričvršćeni za neki tip čvrste podloge (slika 1a). Osnovni zahtjev koji se postavlja na svaki od navedenih elemenata gornjeg ustroja jest što ravnomjerniji i elastičniji prijenos opterećenja vozila od tračnica na planum donjeg ustroja kolosijeka uz minimalne troškove izgradnje i održavanja. Prilikom prijenosa opterećenja dolazi do postupnog smanjenja intenziteta napreznja budući da se opterećenje prenosi na sve veću površinu pojedinog nižeg sloja konstrukcije [1], [2].



Slika 1. a) Uzdužni presjek konstrukcije, [1]; b) Tucanički materijal u kolosiječnoj konstrukciji, [3]

Klasična kolosiječna konstrukcija na tucaničkoj zastornoj prizmi najraširenija je vrsta kolosiječne konstrukcije. Njezina najčešća primjena, u usporedbi s kolosiječnim konstrukcijama na čvrstoj podlozi, može se objasniti jednostavnošću te relativno niskim troškovima ugradnje, održavanja i zamjene tucaničkog materijala. Klasična kolosiječna konstrukcija danas se uobičajeno upotrebljava za brzine do 160 km/h, dok se za veće brzine koriste kolosijeci na čvrstoj podlozi. Glavni zadatak kolosiječnoga zastora kod klasičnih kolosijeka jest osigurati vertikalnu i horizontalnu stabilnost kolosiječne rešetke koja se kontinuirano narušava djelovanjem dinamičkog opterećenja zbog tračničkih vozila te napreznja uzrokovanih temperaturnim promjenama [4].

Zastorna prizma važan je dio kolosiječne konstrukcije, a vibracije unutar nje uzrokuju slijeganje i promjene u geometriji kolosijeka, time utječu i na troškove održavanja, [5]. Tučenac se upotrebljava u kolosiječnom zastoru zbog svojih povoljnih mehaničkih svojstava te osigurava stabilnost svih elemenata konstrukcije od djelovanja statičkih i dinamičkih sila koje se javljaju u kolosijeku. Zrna tučenca veličine su od 35 do 63 mm, oštrobriđnih su rubova te je potrebno osigurati uklještenost zrna kako bi se postigla stabilnost cijele zastorne prizme. Također je potrebno osigurati slobodno otjecanje vode iz zastorne prizme kako ne bi došlo do oštećenja.

Ponašanje zrna tučenca u zastornoj prizmi tijekom uporabe u stvarnim uvjetima i djelovanjima okoline (temperatura, vjetar, voda, potres, itd.) vrlo je složeno. Razumijevanje prijenosnih mehanizama sila i posljedičnih deformacija u kolosijeku ključni je element za sigurno i ekonomično projektiranje i optimalne procese održavanja, [6]. Uobičajene analitičke metode obično se temelje na linearno elastičnom pristupu, a u novije vrijeme u pojedinim načinima modeliranja uzima se u obzir i nelinearnost elemenata, čime se bolje prikazuje stvarno stanje tucaničkog materijala u kojemu uslijed dugotrajnih opterećenja dolazi i do trajnih deformacija, [7]. Novija istraživanja opisuju ovisnost oštećenja elemenata tučenca i razmaka na kut trenja unutar zastorne prizme, [7], [8]. Uz uzimanje u obzir utjecaja drobljenja elemenata, rezultati dobiveni numeričkim modeliranjem bliži su onima dobivenima eksperimentalnim ispitivanjima, [9].

Prema dosadašnjim radovima, [10], oblik zrna tučenca ima iznimno važan utjecaj na rezultantno ponašanje i uklještenje zrna. Stvarna zrna u zrnatom materijalu imaju obično vrlo složenu geometriju te bi bilo potrebno, ukoliko želimo što preciznije prikazati njihovo stvarno ponašanje, uzeti u obzir što realističnije elemente. Ponekad se to postiže elementima koji su modelirani kao nakupine (grumeni) načinjene od kuglastih elemenata (*eng. clumps*). Prednost takvog modeliranja elemenata je jednostavnost i brzina provedbe

proračuna na računalu, dok je značajan nedostatak nemogućnost preciznog zadavanja stvarne zakrivljenosti i uglatosti čestica što može utjecati na određivanje kontaktnih sila među česticama, a time i na ukupan odgovor konstrukcije. Drugi pristup uključuje direktno uvođenje nekuglastih (poliedarskih) elemenata (slika 1b). Takvim elementima mogu se prilično dobro prikazati složeni geometrijski oblici, osobito kod dvodimenzionalnih modela. Poliedarski elementi mogu se zadati kao nepravilna tijela, s određenim brojem ploha, rubova i vrhova. Međutim, u tom slučaju potrebno je razviti algoritme koji su posebno definirani za određivanje kontaktnih sila jer ima više vrsta kontakta između čestica (vrh-ploha, ploha-ploha, vrh-vrh), a te vrste različito doprinose prijenosu sila i anizotropiji materijala, [11]. Za modeliranje zrna tučenca upotrebljava se i metoda koja se temelji na elipsama i elipsoidima, pri čemu se stvarni element tučenca aproksimira elipsastim dijelovima koji su jednake površine kao i stranice elementa te se na njima provodi ispitivanje, [12]. Prisutne su i metode koje se temelje na direktnom prijenosu slikovnih zapisa u elemente tučenca, [3].

Potrebno je nakon računalne simulacije provesti validaciju kako bi se dobiveni rezultati povezali s eksperimentalnim rezultatima. Eksperimentalno (dinamičko) ispitivanje može se provesti tako da se akcelerometri postave na dubinu od 150 mm u zastornoj prizmi, od donjeg ruba praga, te se njima bilježi odziv u zastoru uslijed prolaza vlaka, [5]. Kako bi se postigli što bolji rezultati, provode se i laboratorijska ispitivanja. Nedostatak ovakvog načina ispitivanja je nemogućnost ispitivanja u većini standardnih uređaja, zbog veličine zrna. Stoga se izrađuju umanjeni uzorci materijala te se nastoji uspostaviti određeni odnos s materijalom stvarne veličine, pri čemu se osobita pažnja obraća na oblik, krutost i čvrstoću materijala, [12]. Ipak, ponašanje malih čestica tučenca nije uvijek prikladno koristiti kako bi se predvidjelo ponašanje velikih čestica jer svojstva cjelokupnog tucaničkog materijala značajno ovise o veličini zrna, [6]. Pri tome manja zrna statistički imaju veću čvrstoću. Stoga tradicionalno primjenjivana ispitivanja nisu prikladna te je potrebno ispitivati tučenac na uzorcima koji sadržavaju zrna stvarne veličine [6]. Postoje i laboratorijski uređaji posebno izrađeni za troaksijano ispitivanje zastornog materijala, sa zrnima realne veličine, koji daju preciznije podatke o svojstvima čvrstoće i deformacijama, no izrada takvih uređaja te samo ispitivanje predstavljaju značajne materijalne troškove, te su dugotrajni, [8].

Modeli koji su obrađeni, a u kojima se nastoji što vjernije prikazati ponašanje tučenca u eksploatacijskim uvjetima, imaju mnoge razlike (upotrijebljena metoda, način pojednostavljenja elemenata, rubni uvjeti, načini proračuna, itd.), a ovisno o računalnim mogućnostima, potrebnoj preciznosti i točnosti, nalaze svoju primjenu u praksi. Svrha ovog rada je predstaviti neka osnovna načela i mogućnosti primjene numeričkog modeliranja pri što vjernijem predviđanju ponašanja zrna tučenca (promjene pomaka, deformacije i drobljenje) unutar zastorne prizme.

#### Literatura

- [1] Esveld, C.: *Modern Railway Track*, Second Edition, MRT-Productions, Zaltbommel, 2001.
- [2] Lakušić, S., Ahac, M.: *Betonski pragovi s elastičnim podloškama*, Prometnice - nove tehnologije i materijali, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za prometnice, pp. 579-616., 2010.
- [3] Huang, H.: *Discrete Element Modeling of Railroad Ballast using Image-based Aggregate Morphology Characterization*, disertacija, Sveučilište Illinois, Građevinski fakultet, Champaign, 2009.
- [4] Lakušić, S., Vajdić, M.: *Pregled suvremenih kolosiječnih konstrukcija na čvrstim podlogama*, Građevinar, Vol. 63, No. 2, 2011., pp. 126.
- [5] Zhai, W. M., Wang, K. Y., Lin, J. H.: *Modelling and experiment of railway ballast vibrations*, J. Sound Vib., Vol. 270, 2004., pp. 673–683.
- [6] Lim, W.L.: *Mechanics of railway ballast behaviour*, disertacija, Sveučilište u Nottinghamu, Nottingham, 2010.
- [7] Indraratna, B., Nimbalkar, S.: *Implications of ballast breakage on ballasted railway track based on numerical modeling*, Int. Conf. Int. Assoc. Comput. Methods Adv. Geomech., 2011., pp. 1085 – 1092.
- [8] Salim, W., Indraratna, B.: *Modelling of particle breakage of coarse aggregates incorporating strength and dilatancy*, Proc. ICE - Geotech. Eng., Vol. 155, No. 4, 2002., pp. 243–252.
- [9] Eliáš, J.: *Simulation of railway ballast using crushable polyhedral particles*, Powder Technol., Vol. 264, 2014., pp. 458–465.
- [10] Estrada, N., Azéma, E., Radjai, F., Taboada, A.: *Identification of rolling resistance as a shape parameter in sheared granular media*, Phys. Rev. E - Stat. Nonlinear, Soft Matter Phys., Vol. 84, 2011.
- [11] Azéma, E., Radjai, F., Saussine, G.: *Quasistatic rheology, force transmission and fabric properties of a packing of irregular polyhedral particles*, Mech. Mater., Vol. 41, No. 6, 2009., pp. 729–741.
- [12] Le Pen, L. M., Powrie, W., Zervos, A., Ahmed, S., Aingaran, S.: *Dependence of shape on particle size for a crushed rock railway ballast*, Granul. Matter, Vol. 15, 2013., pp. 849–861.



# ANALIZA POUZDANOSTI HORIZONTALNE NOSIVOSTI ARMIRANO–BETONSKOG OKVIRA SA ZIDANIM ISPUNOM PRIMJENOM METODE KONAČNIH ELEMENATA

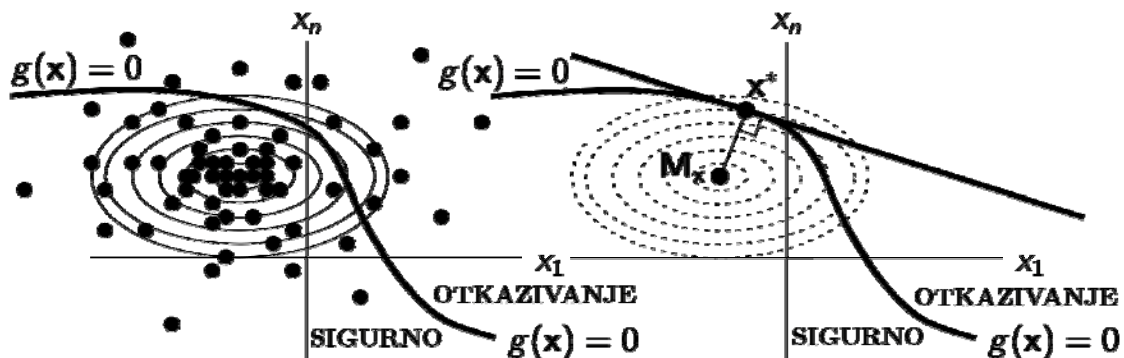
*Marin Grubišić, Vladimir Sigmund (marin.grubisic@gfos.hr, sigmund@gfos.hr)*

*Sveučilište u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek, Zavod / Katedra za tehničku mehaniku*

Najveći izazov prilikom modeliranja ovakvih sustava je adekvatno simulirati njegovo ponašanje koje bitno ovisi o interakciji osnovnog okvira i ispuna kao najčešće dviju zasebnih komponenata. U pristupu modeliranju razlikujemo prvenstveno *mikro* i *makro* modele. Za ovu studiju usvojen je *makro* model konstruiran programom *OpenSees* (*Open System for Earthquake Engineering Simulation*, PEER, Berkeley) [1] koji ima izvrsne mogućnosti opisivanja globalnog i lokalnog ponašanja sustava, te je u isto vrijeme robusan, fleksibilan i nudi detaljan uvid u prirodu ponašanja uz razuman broj potrebnih parametara za opisivanje modela materijala.

Analiza pouzdanosti je provedena na temelju nelinearnog numeričkog modela, na kojem je moguće analizirati statička i dinamička opterećenja. Ovakav pristup ima prednost ponajprije u mogućnosti reduciranja nesigurnosti koje su inače prisutne kod analitičkog definiranja jednadžbe graničnog stanja, čiji se oblik znatno komplicira uzevši u obzir nelinearnost i statičku neodređenost modela. Za procjenu pouzdanosti horizontalne nosivosti, u domeni potresnog inženjerstva, dovoljno je definirati jednadžbu graničnog stanja ograničavanjem međukatnog pomaka, što se pokazala najbolja mjera štete konstruktivnih elemenata [2, 3]. Niža razina dokaza pouzdanosti (*FORM*) koja je operativnija u praksi provodi se s pomoću operativne vrijednosti vjerojatnosti otkazivanja  $p_f$  koja se naziva indeks pouzdanosti  $\beta$  i obrnuto je proporcionalna vjerojatnosti otkazivanja  $p_f$ .

Cilj ovog rada je prvenstveno procijeniti pouzdanost horizontalne nosivosti nelinearnog modela statičkom metodom postupnog guranja (engl. *static pushover*), tako da je provedena *FORM* analiza i *Monte Carlo* simulacije (slika 1.) metodom konačnih elemenata, te je uspoređena vrijednost vjerojatnosti otkazivanja  $p_f$ . Numerički *makro* model je kalibriran na temelju prethodno provedenim eksperimentima statičkim cikličkim opterećivanjem u ravnini [4], pri čemu su ispitane i karakteristike sastavnih materijala iz kojih su definirane slučajne varijable za beton, armaturni čelik i zide, dok je varijacija razine vertikalnog opterećenja također definirana eksperimentom.



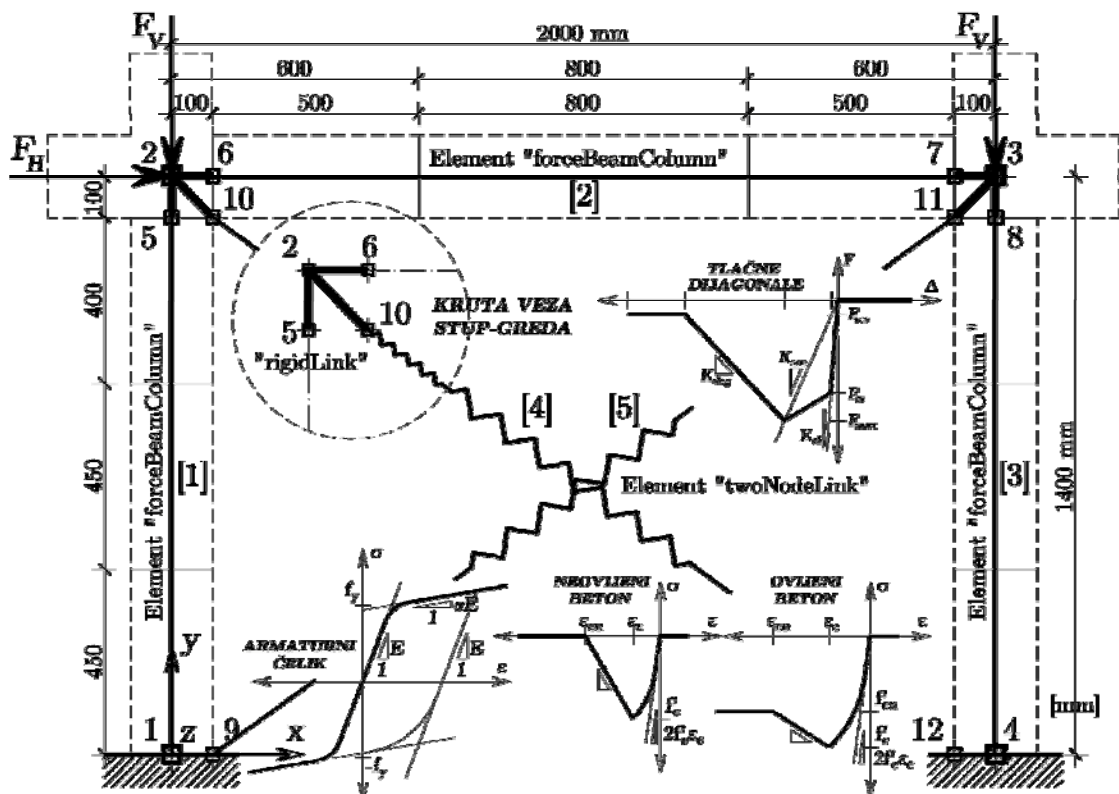
Slika 1. Grafička reprezentacija *Monte Carlo* simulacije generiranjem  $N$  slučajnih ishoda, te linearizacija plohe otkazivanja nosivosti za procjenu pouzdanosti (*FORM*)

Iskazivanje vrijednosti vjerojatnosti otkazivanja  $p_f$  putem *Monte Carlo* simulacije generiranje  $N$  slučajnih ishoda izračunava se slijedećim izrazom (1), pri čemu je nužan veliki broj simulacija, odnosno  $N \geq 10^5$ , za preciznu procjenu pouzdanosti.

$$p_f \approx \frac{\sum_{i=1}^N \left( g(\mathbf{x}^{(i)}) \leq 0 \right)}{N} \quad (1)$$

Numerički model predstavlja armirano–betonski okvir jednog raspona i jedne visine, originalno konstruiran u mjerilu 1:2.5, te se sastoji od linijskih konačnih elemenata za stupove, gredu i pojednostavljene tlačne dijagonale za reprezentaciju zidanog ispuna [5]. Shematski prikaz modela sa popratnim dimenzijama, oznakama čvorova i elemenata, te korištenim modelima materijala vidljiv je na slici 2. Stupovi i greda modelirani su *Force-Based* elementom [6, 7] s pridruženim *Fiber* presjekom i definiranom duljinom

plastičnih zglobova, dok je zidani ispun modeliran sustavom tlačnih opruga. Horizontalno opterećenje je nanošeno u 20 koraka do 100% iznosa koje je definirano kao maksimalna nosivost temeljem eksperimenta, te se pratio vršni pomak ravnine grede koji je ograničen jednadžbom graničnog stanja, pripadajućim iznosom pomaka pri vršnoj nosivosti.



Slika 2. Pojednostavljen nelinearni numerički model armirano-betonskog okvira sa zidanim ispunom

Za najrealnije opisivanje ponašanja konstrukcija u potresnom inženjerstvu nelinearnom dinamičkom analizom daleko su najveći izvor nesigurnosti zapisi ubrzanja temeljnog tla [8], uz koji nije zanemariv i izvor nesigurnosti povezan s karakteristikama materijala. Rezultati *FORM* analize su usporedivi s *Monte Carlo* simulacijama, te je dobivena optimalna kombinacija parametara materijala za doseganje ciljanog pomaka definiranog jednadžbom graničnog stanja. Ovakav pristup analizi pouzdanosti daje neograničene mogućnosti u području potresnog inženjerstva te cjelokupnu implementaciju nesigurnosti unutar jednog modela, što je neophodno za procjenu rizika od kolapsa ili procjenu gubitaka unutar okvira *PEER PBEE* metodologije.

#### Literatura

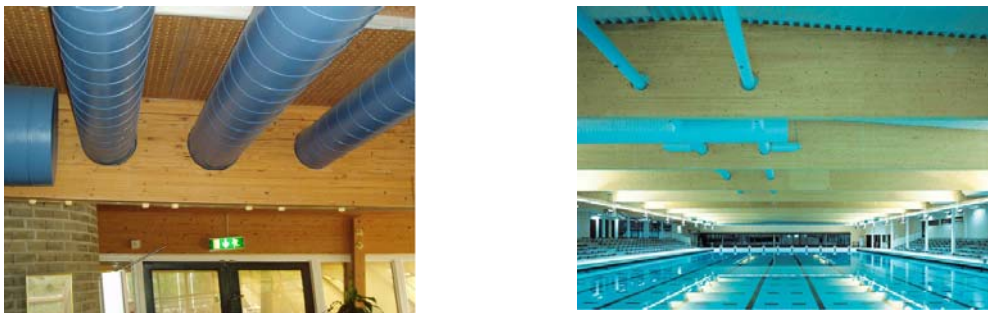
- [1] McKenna, F., Fenves, G.L., Scott, M.H., Mazzoni, S., Jeremić, B. (2000). *OpenSees – Open System for Earthquake Engineering Simulation*, Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER, University of California, Berkeley, CA. [opensees.berkeley.edu](http://opensees.berkeley.edu)
- [2] Haukaas, T., Kiureghian, A.D. (2004). *Finite Element Reliability and Sensitivity Methods for Performance-Based Earthquake Engineering*, PEER Report 2003/14, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, April 2004
- [3] Bozorgnia, Y., Bertero, V.V. (2004). *Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering*, CRC Press, ICC (International Code Council), March 2004
- [4] Grubišić, M., Sigmund, V. (2014). *Comparison of Different Strengthening Techniques of Damaged and Weak Reinforced-Concrete Frames*, Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (2ECEES), Istanbul: EAEE, 143–150
- [5] Fardis, M.N., Panagiotakos, T. B. (1997). *Seismic Design and Response Of Bare and Masonry-Inflled Reinforced Concrete Buildings. Part II: Inflled Structures*. Journal of Earthquake Engineering 1:475–503.
- [6] Scott, M.H. (2013). *Response Sensitivity of Geometrically Nonlinear Force-Based Frame Elements*, Journal of Structural Engineering, ASCE, 139, 1963–1972, November 2013
- [7] Scott, M.H., Fenves, G.L. (2006). *Plastic Hinge Integration Methods for Force-Based Beam-Column Elements*, Journal of Structural Engineering, ASCE, 132(2), 244–252, February 2006
- [8] Faggella, M., Barbosa, A.R., Conte, J.P., Spacone, E., Restrepo, J.I. (2013). *Probabilistic Seismic Response Analysis of a 3-D Reinforced Concrete Building*, Structural Safety, 44, 11–27, September 2013

# UTJECAJ OTVORA KOD LIJEPLJENIH LAMELIRANIH NOSAČA

**Mario Jeleč (mjelec@gfos.hr)**

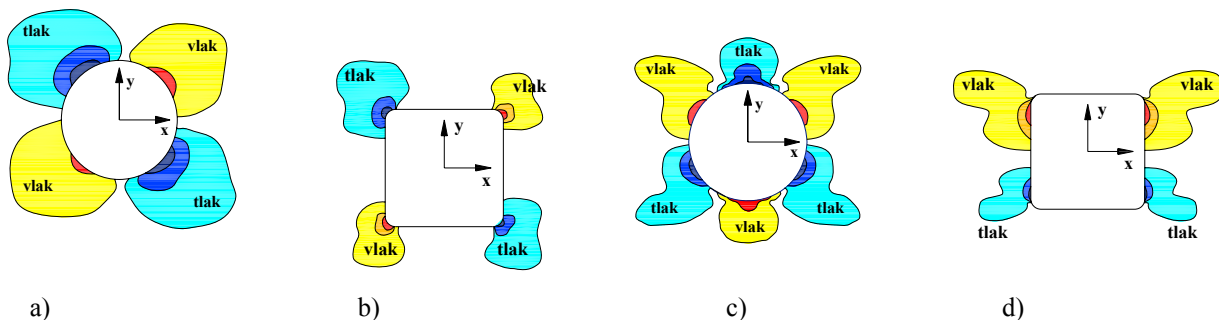
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku; Građevinski fakultet Osijek; Katedra za zidane, drvene i metalne konstrukcije

Otvori u krovnim ili međukatnim lijepljenim lameliranim nosačima često su posljedica strojarskih, instalaterskih ili arhitektonskih zahtjeva (Slika 1). Izvođenje otvora značajno oslabljuje presjek nosača, stanje naprezanja oko otvora postaje složeno i za posljedicu ima veliko smanjenje nosivosti. Raspored naprezanja oko otvora je takav da se naizmjenično pojavljuju tlačna i vlačna naprezanja okomita na pravac vlakana koja zajedno u interakciji s posmičnim naprezanjima djeluju krajnje nepovoljno. Naime, drvo kao anizotropni nehomogeni materijal ima nisku posmičnu i izrazito nisku vlačnu čvrstoću okomito na pravac vlakana [1], a obzirom da je otkazivanje nosivosti doseganjem navedenih čvrstoća krtoeg karaktera, ovakvi nosači moraju se pažljivo proračunati, a svako naknadno oslabljenje koje nije predviđeno projektom je vrlo opasno po sigurnost konstrukcije.



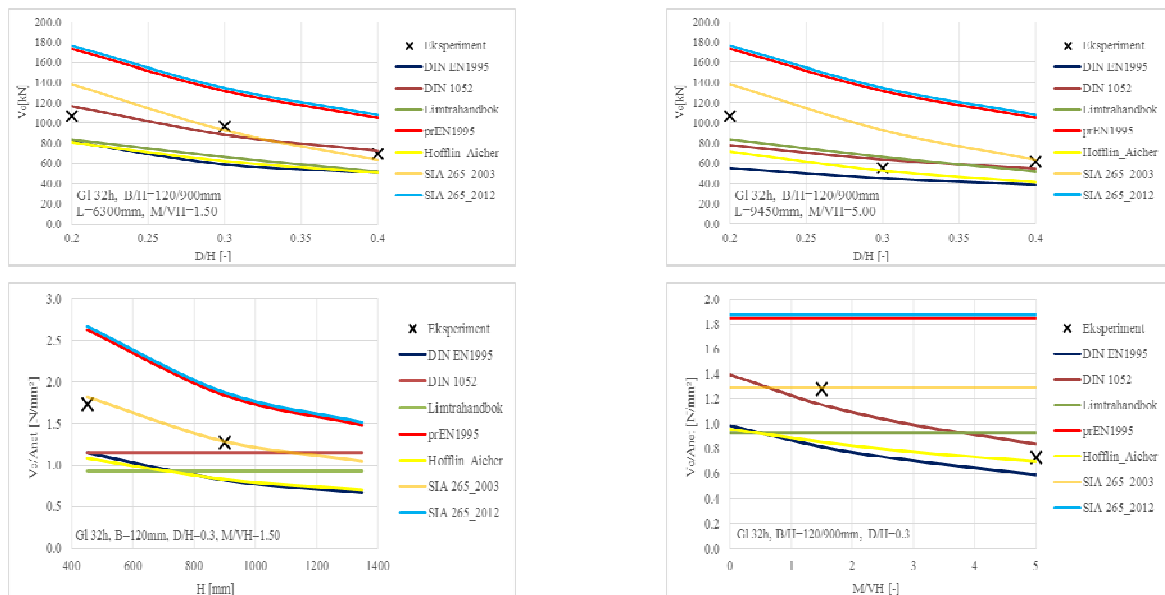
Slika 1. Primjeri lijepljenih lameliranih nosača s otvorima

Raspodjela naprezanja oko otvora nosača ovisi ponajviše o njegovom položaju u nosaču. Kod otvora smještenih u zoni čistog savijanja maksimalna vlačna naprezanja se javljaju oko oba gornja ruba otvora [2], dok se kod otvora u području interakcije posmika i savijanja maksimalna vlačna naprezanja pojavljuju na dva dijagonalna suprotna ruba otvora [3] kako je prikazano na slici 2. Na tim mjestima se otvaraju i prve pukotine pri slomu nosača. Najveći iznos naprezanja javlja se neposredno uz rub otvora i eksponencijalno opada udaljavanjem od njega. Prema ranijem istraživanju [4] nekoliko je utjecajnih faktora koji definiraju veličinu naprezanja oko otvora od koji su najvažniji oblik i veličina otvora, stanje naprezanja definirano odnosom momenta savijanja i poprečne sile (koeficijent  $M/VH$ ), odnos visine otvora i visine nosača ( $D/H$ ) te položaj otvora prema neutralnoj osi nosača.



Slika 2. Raspodjela tlačnih i vlačnih naprezanja okomitih na pravac vlakana oko kružnih i kvadratnih otvora smještenih u području: a) i b) interakcije posmika i savijanja; c) i d) čistog savijanja

Zbog složenog stanja naprezanja i brojnih utjecajnih parametara otvori u lijepljenim lameliranim nosačima različito se tretiraju u postojećim normama za drvene konstrukcije. Problem je time veći što europska norma EN 1995-1-1 ne daje nikakve smjernice za proračun. Naime, u literaturi postoji dosta provedenih ispitivanja na malim uzorcima, međutim zaključci iz tih provedenih ispitivanja se mogu dovesti pod znak pitanja obzirom da je kod drveta kao nehomogenog materijala uvijek prisutan veliki utjecaj veličine uzorka, tzv. „size effect“ [5]. Malo je rezultata eksperimentalnog ispitivanja velikih uzoraka pa su u sklopu ovog rada preuzeti dostupni iz literature [4,6] i uspoređeni sa računskim vrijednostima nekoliko različitih normi i propisa što je prikazano slikom 3. Kako se različite norme koncipiraju na različitim proračunskim postupcima, mogu se uočiti i velika odstupanja u izlaznim rezultatima među njima.



Slika 3. Usporedba eksperimentalnih vrijednosti s vrijednostima različitih normi i propisa

Numeričke metode kod analize otvora u nosačima mogu se podijeliti u determinističke i stohastičke ovisno o tome usvoje li se svojstva drveta kao homogena ili heterogena. Podjela bi se mogla napraviti i prema ponašanju modela pri slomu pa tako razlikujemo idealno krto od duktilnog ponašanja. Obzirom da otvori u lijepljenim lameliranim nosačima izazivaju koncentracije naprezanja i da je slom kao posljedica otvaranja pukotina krto karakter, linearno elastična mehanika loma ima široku primjenu [7]. Metoda je deterministička i njome se ne može odrediti očekivano mjesto otvaranja pukotine nego hoće li se postojeća pukotina razviti ili ne. Stohastička metoda proračuna prema Weibull-u [8] pokazala se dobrom kod procjene nosivosti u trenutku otvaranja prve pukotine, međutim ne i za konačnu nosivost pri slomu nosača. Kombinacijom linearno elastične mehanike loma i stohastičke metode prema Weibull-u razvijena je probabilistička metoda mehanike loma [9]. Ova numerička metoda je dobro predviđjela nosivost uzoraka s izuzetkom malih nosača čija je nosivost bila precijenjena. Od nelinearnih metoda u primjeni je nelinearna mehanika loma [10] koja daje dobru procjenu nosivosti većine uzoraka, međutim zbog same kompleksnosti metoda je nepraktična inženjerima u praksi.

Obzirom na složenost problema i činjenicu da postojeći propisi i norme pokazuju fundamentalne razlike kod izlaznih rezultata proračuna, kao i to da europska norma za drvene konstrukcije u potpunosti izostavlja taj problem, puno je još utjecajnih parametara koji nisu pokriveni kako eksperimentalnim tako niti numeričkim ispitivanjem što ostavlja prostor daljnjem istraživanju ovog problema.

#### Literatura

- [1] Porteous, J., Kermani, A.: *Structural timber design to Eurocode 5*, Blackwell Publishing, Oxford, U.K., 2007.
- [2] Aicher, S., Höfflin, L.: Verifizierung versagenrelevanter Dehnungsverteilungen im Bereich runder Durchbrüche in Brettschichtholzträgern, *Bautechnik*, Vol. 80, No. 8, 2003., pp. 523-533.
- [3] Aicher, S., Höfflin, L.: New design model for round holes in glulam beams – Proceedings of 8th World Conference on Timber Engineering, Lahti, Finland, 2004., pp. 67-72.
- [4] Höfflin, L.: Runde Durchbrüche in Brettschichtholzträger – Experimentelle und theoretische Untersuchungen, Dissertation, MPA Otto-Graf-Institute, University of Stuttgart, 2005.
- [5] Danielsson, H.: Strength tests on glulam beams with quadratic holes-Test report, Report TVSM-3068, Division of structural mechanics, Lund University, 2008. URL: <https://lup.lub.lu.se/search/publication/1513936> (01.06.2015.).
- [6] Aicher, S., Höfflin, L., Reinhard, H.W.: Runde Durchbrüche in Biegeträgern aus Brettschichtholz – Teil 2: Tragfähigkeit und Bemessung, *Bautechnik*, Vol. 84, No. 12, 2007., pp. 867-880.
- [7] Riipola, K.: Timber beams with holes: Fracture mechanics approach, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 121, No. 2, pp. 225-239.
- [8] Höfflin, L., Aicher, S.: Weibull based design approach of round holes in glulam – CIB-W18/36-12-2, Colorado, USA, 2003.
- [9] Danielsson, H., Gustafsson, P.J.: A probabilistic fracture mechanics method and strength analysis of glulam beams with holes, *European Journal of Wood and Wood Products*, Vol. 69, No. 3, 2010., pp. 407-419.
- [10] Danielsson, H., Gustafsson, P.J.: Fracture analysis of glued laminated timber beams with a hole using a 3D cohesive zone model, *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 124-125, 2014., pp. 182-195.

## TABLICA URAVNOTEŽENIH REZULTATA U GRAĐEVINSKIM PROJEKTIMA

**Dragan Katić** (*dragan.katic@gfmo.ba*)

*Sveučilište u Mostaru; Građevinski fakultet; Katedra za prometnice i organizaciju i tehnologiju građenja*

Građevinarstvo generalno ima loš rejting zbog neefikasnog izvršenja projekata pa se javlja potreba za uspostavljanjem efikasnog sustava mjerenja izvršenja kojim bi se poboljšala uspješnost projekata a time i uspješnost poslovanja građevinskih poduzeća.

U razvoju alata za upravljanje izvršenjem razvijena je tablica uravnoteženih rezultata (Balanced scorecard - BSC) kojom se izvršenje promatra kroz širi spektar perspektiva sa uravnoteženim skupom mjera kojim se kontroliraju ključni procesi poslovanja. BSC omogućuje upravi pogled na poslovanje kroz četiri važne perspektive (dimenzije) koje daju odgovor na četiri osnovna pitanja [1]:

- kako nas vide naši klijenti/korisnici (perspektiva klijenata),
- u čemu moramo biti izvrsni (perspektiva unutarnjih procesa),
- možemo li se kontinuirano poboljšavati i kreirati novu vrijednost (perspektiva inovacija i učenja),
- kako nas vide naši dioničari (financijska perspektiva).

BSC predstavlja unificirani model praćenja izvršenja koji uključuje financijske i nefinancijske pokazatelje poslovanja. BSC se fokusira na strategiju i predstavlja robustan alat baziran na odnosu uzroka i posljedica. BSC prepoznaje odnose između ciljeva, aktivnosti i rezultata te ih integrira u proces menadžmenta. Uspostavlja se uravnotežen skup pokazatelja (financijskih i nefinancijskih) izvršenja koji omogućuju transformaciju strategije poduzeća u projekte i procese poduzeća.

Financijski pokazatelji uspjeha izvršenja nisu dovoljni jer prikazuju rezultate odluka donesenih u prošlosti, nemaju utjecaj na poboljšanje trenutnih izvršenja i ne pokazuju uzroke takvih rezultata. Vrlo je važno vidjeti kako se organizacijsko izvršenje mjeri, koliko ima utjecaja na tržišni udio, kako to može biti prihvaćeno od potencijalnih investitora, zaposlenika i klijenata [2]. Ono što je potrebno jeste sustav koji uravnotežuje povijesnu točnost financijskih brojeva s pokretačima budućeg učinka, istodobno usmjeravajući snagu nematerijalne imovine i pomažući organizacijama u provođenju različitih strategija.

Mjerenje izvršenja opisuje se kao proces ocjenjivanja napretka u postizanju postavljenih ciljeva uključujući informacije o efikasnosti korištenja resursa u dobra i usluge, o kvaliteti rezultata i efektivnosti organizacijskih operacija i njihovom doprinosu u postizanju organizacijskih ciljeva. S druge strane upravljanje izvršenjem predstavlja korištenje informacija od mjerenja izvršenja kako bi se djelovalo pozitivno na promjene u organizacijskoj kulturi, sustavima i procesima, pomažući uspostaviti set ciljeva izvršenja, alociranje i određivanje prioriteta među resursima, informiranje menadžera o potvrdi ili izmjeni važeće politike ili uputa u postizanju ciljeva, i dijeleći rezultate izvršenja u provedbi ciljeva [3].

Tablica uravnoteženih rezultata (BSC) pomaže organizacijama u svladavanju djelotvornog mjerenja organizacijskog učinka, povećanja nematerijalne imovine i provedbi strategije. Tablica uravnoteženih rezultata (BSC) može se opisati kao skup mjera dobivenih iz strategije organizacije koje se mogu kvantificirati. Uspostavlja se uravnotežen skup pokazatelja izvršenja koji omogućuju transformaciju strategije u projekte i poslovne procese poduzeća kojima se mjeri uspjeh realizacije. Mjere učinka koje su smještene unutar balanced scorecarda nadziru kurs, omogućujući nam da budemo sigurni da ostajemo na pravom putu.

Investitori, projektanti, konzultanti, izvođači, podizvođači imaju svoje vlastite ciljeve i kriterije mjerenja uspjeha. Tradicionalni pokazatelji izvršenja građevinskih projekata (vrijeme, troškovi i kvaliteta) nisu dovoljni za uravnotežen pogled na izvršenje (uspjeh ili neuspjeh) projekta. Oni predstavljaju rezultat implementacije a ne pokretačke indikatore izvršenja građevinskih projekata i ne daju odgovore na neka od sljedećih pitanja:

- kako financijeri projekta vide projekt?
- kako izvodimo naše ključne procese?
- kako nas vide naši sadašnji i budući klijenti?

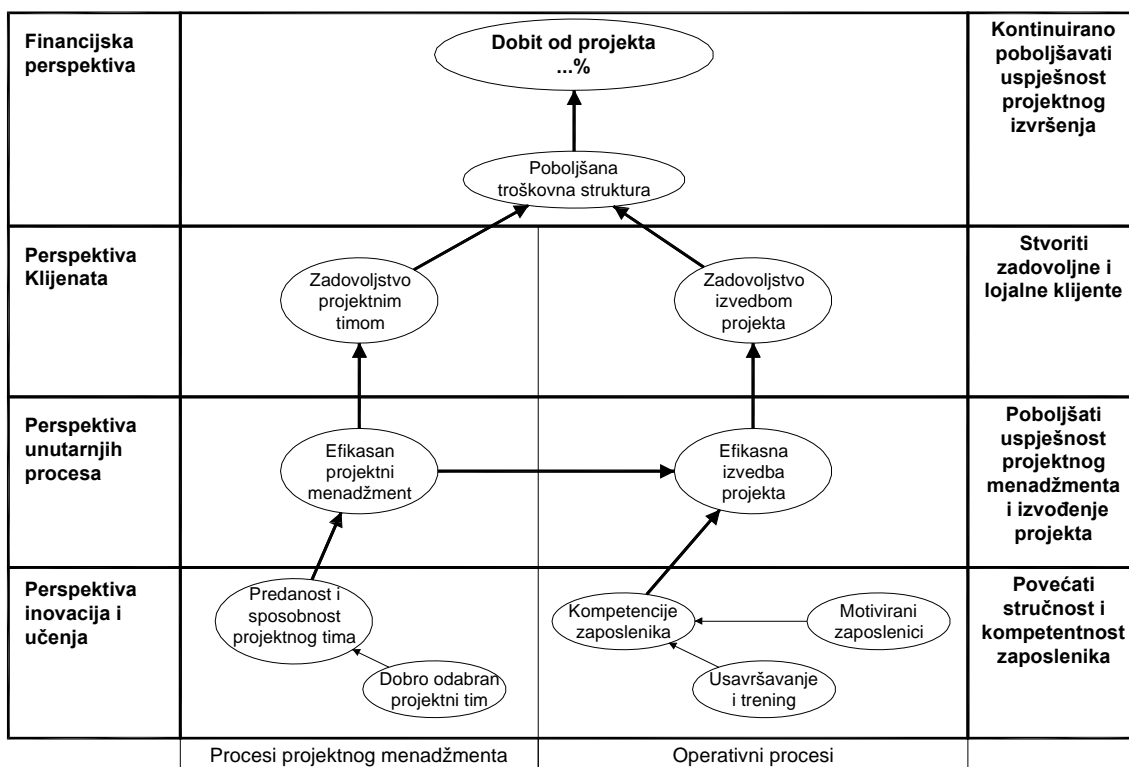
Definiranjem tablice uravnoteženih rezultata (BSC) sa ciljevima i mjerama na razini građevinskog poduzeća postavlja se temelj razvijanja individualnih BSC-a na razini projekata. Tako se razvija tablica rezultata projekta (project scorecard - PSC) koja predstavlja način upravljanja i realizacije projekta kroz sagledavanje svih faza i procesa u realizaciji projekta i integralni je dio tablice uravnoteženih rezultata (BSC) poduzeća. Uravnotežena tablica rezultata projekta (PSC) predstavlja metodologiju transformacije plana i ciljeva projekta u kriterije uspjeha zajedno sa njihovim vrijednostima kroz sustav mjerenja izvršenja putem financijskih i nefinancijskih pokazatelja.

Na projektnoj razini projektni menadžment koji je zadužen za vođenje i izvođenje ugovorenih projekata poduzeća. Ciljevi i mjere sadržani u BSC-u poduzeća spuštaju se (kaskadiraju) na razinu projektnog menadžmenta. Projektni menadžment je zadužen i odgovoran za izradu BSC-a na projektnoj razini, odnosno tablice uravnoteženih rezultata projekata (Project scorecard PSC). Odabrane mjere PSC-a proizlaze iz projektne strategije ili plana projekta i trebaju podržavati poslovnu strategiju poduzeća. Ovjeru, odnosno potvrdu PSC daje mentor projekta, odnosno osoba ispred uprave poduzeća zadužena za usklađivanje ukupnih procesa.

U olakšavanju veza između četiri perspektive BSC-a koristi se strateška mapa koja predstavlja vizualnu prezentaciju povezanih komponenti organizacijske strategije kao veliki uvid u izvršenje BSC-a. Strateška mapa je grafički prikaz onoga što moramo raditi dobro u svakoj od četiriju perspektiva kako bi uspješno proveli svoju strategiju.

Za izbor perspektiva unutar PSC-a i stratešku mapu ključno obuhvaćanje ključnih zainteresiranih grupa koje pridonose uspjehu projekta. Ovo uključuje upravu poduzeća koja dodjeljuje projektnoj organizaciji realizaciju projekta i očekuje između ostalog i dobit od projekta. Zatim, tu su klijenti (investitori) unutar građevinske industrije koji žele da projekti budu izvedeni na vrijeme, unutar proračuna, bez kvarova ili popravaka, efektivno i efikasno i prema specifikacijama [4].

Na temelju ciljeva za svaku od perspektiva PSC-a na slici 1 prikazuje se strateška mapa građevinskog projekta koja pokazuje uzročno-posljedične veze između ciljeva perspektiva PSC-a putem kojih ciljana poboljšanja rezultiraju željenim rezultatima.



Slika 8. Strateška mapa PSC-a

Zbog specifičnosti graditeljske proizvodnje i unikatnosti svakog građevinskog projekta potrebno je naglasiti kako je potrebno za svaki projekt izabrati one pokazatelje koji na najbolji način mogu mjeriti izvršenje postavljenih ciljeva. Svako građevinsko poduzeće treba razvijati nove i prilagođavati postojeće pokazatelje izvršenja kako bi provodili svoju postavljenu strategiju.

Izbom odgovarajućih pokazatelja za svaki konkretni projekt formira se tablica uravnoteženih rezultata (slika 2.). U njoj se pokazuje izvršenje pojedinih pokazatelja, ukupno izvršenje po pojedinim perspektivama i ukupno izvršenje građevinskog projekta na temelju kojeg se ocjenjuje uspjeh projekta. Uprava poduzeća može u sustavu ocjene izvršenja građevinskih projekata formirati ligu projekata koja tabelira projektna izvršenja prema određenim vrstama projekata i sukladno tome razvijati stimulativne sustave plaća i nagrađivanja.

TABLICA URAVNOTEŽENIH REZULTATA GRAĐEVINSKOG PROJEKTA					
Perspektive i pokazatelji	Opis	Težinski koeficijent	Izvršenje	Ciljana vrijednost	Inicijative
Financijska perspektiva		$W_F$			
Pokazatelj $PF_1$		$W_{F1}$	$I_{F1}$		
Pokazatelj $PF_2$		$W_{F2}$	$I_{F2}$		
Pokazatelj $PF_n$		$W_{Fn}$	$I_{Fn}$		
Izvršenje financijske perspektive $I_F$					
Perspektiva klijenata		$W_K$			
Pokazatelj $PK_1$		$W_{K1}$	$I_{K1}$		
Pokazatelj $PK_2$		$W_{K2}$	$I_{K2}$		
Pokazatelj $PK_n$		$W_{Kn}$	$I_{Kn}$		
Izvršenje perspektive klijenata $I_K$					
Perspektiva unutarnjih procesa		$W_P$			
Pokazatelj $PP_1$		$W_{P1}$	$I_{P1}$		
Pokazatelj $PP_2$		$W_{P2}$	$I_{P2}$		
Pokazatelj $PP_n$		$W_{Pn}$	$I_{Pn}$		
Izvršenje perspektive unutarnjih procesa $I_P$					
Perspektiva inovacija i učenja		$W_I$			
Pokazatelj $PI_1$		$W_{I1}$	$I_{I1}$		
Pokazatelj $PI_2$		$W_{I2}$	$I_{I2}$		
Pokazatelj $PI_n$		$W_{In}$	$I_{In}$		
Izvršenje perspektive inovacija i učenja $I_I$					
Izvršenje građevinskog projekta $P$					

Slika 9. Tablica uravnoteženih rezultata građevinskog projekta

Pokazuje se da mjerenje izvršenja pomaže voditelju projekta proaktivnom upravljanju izvedbom projekta. Pokazatelji izvršenja na temelju ostvarenog izvršenja ukazuju na stupanj postizanja postavljenih ciljeva i pravovremeno daju informaciju o statusu izvedbe projektnih procesa u svezi s upravljanjem projekta i operativnih procesa. Na temelju takvih pokazatelja rade se analize kojima se definiraju mjere za poboljšanje uočenih negativnih procesa. Primjena tablice uravnoteženih rezultata projekta (PSC) pomaže poboljšanju izvršenja projekata a time i poboljšanju poslovanja građevinskih poduzeća kroz efikasniju provedbu svojih strategija.

#### Literatura

- [1] Kaplan, R. S.; Norton, D. P.; The Balanced scorecard – measures that drive performance, Harvard Business Review, 1992., pp.134-147.
- [2] Kagioglou, M., Cooper, R., Aouad, G.; Performance management in construction: a conceptual framework, Construction Management and Economics, 2001., 19, pp. 85-95.
- [3] Amaratunga, D., Baldry, D., Sarshar, M.; Process improvement through performance measurement: the balanced scorecard methodology, An International Journal, Vol. 50, No. 5, 2001., pp. 179-188.
- [4] Vukomanović, M.; Ključni pokazatelji izvršenja u projektno orijentiranom građevinskom sustavu, Magistarski znanstveni rad, Zagreb, 2006.





# MODELIRANJE NA GIS-U UTEMELJENOM SUSTAVU ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU ZA UPRAVLJANJE URBANIM JAVNIM PROJEKTIMA

*Jelena Kilić (jkilic@gradst.hr)*

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

Geografski informacijski sustav (GIS) je jedan od računalnih informacijskih sustava sposobnih za integraciju podataka iz različitih izvora koji će pružiti potrebne informacije za učinkovito donošenje odluka u urbanom planiranju. Ostali informacijski sustavi za planiranje u urbanim sredinama uključuju sustave za upravljanje bazom podataka (DBMS), sustave za podršku u odlučivanju (DSS) i ekspertne sustave. GIS služi ujedno kao baza podataka i kao alat za planiranje u urbanim sredinama. Kombinacijom podataka iz GIS baze podataka s drugim tabličnim bazama podataka ili posebno provedenim istraživanjima, geografske informacije mogu služiti kao podloga za donošenje učinkovitih odluka u urbanom prostornom planiranju. Upravljanje bazom podataka, vizualizacija, prostorna analiza i prostorno modeliranje najvažnije su uporabe GIS-a u planiranju u urbanim sredinama [1]. Odbor za standarde Instituta za projektni menadžment (Project Management Institute – PMI) definira upravljanje projektima kao „primjenu znanja, vještina, alata i tehnika za projektne aktivnosti koje bi zadovoljile i premašile potrebe i očekivanja dionika“ [2]. U upravljanju zemljištem, sukobi među dionicima koji se pojavljuju su česti i problematični. Iz tih razloga je svaki projekt koji je vezan uz planiranje zemljišta teško provesti. Funkcija prostornog planiranja u urbanim sredinama se može svrstati u cjeline administracije, kontrole razvoja, izrade plana projekta i strateškog planiranja. Administracija i kontrola razvoja su relativno rutinske aktivnosti, dok se izrada plana projekta i strateško planiranje još uvijek prilikom urbanog planiranja primjenjuju u manjoj mjeri [1].

Istraživanjem problematike upravljanja projektima, poglavito onim dijelom koji se odnosi na njegove prostorne aspekte u urbanim sredinama, uočen je niz nedostataka. Ovo istraživanje će se usmjeriti na istraživanje problema brojnosti i nestrukturiranosti prostornih podataka potrebnih za upravljanje i odlučivanje projektom te mogućnosti i načina obrade tih podataka u cilju stvaranja kvalitetnije podloge za odlučivanje. Pretvaranje prostornih podataka u informacije o prostornim aspektima stvorit će se podloga u cilju podrške upravljanju projektom. Cilj je modelirati na GIS-u utemeljen sustav za podršku odlučivanju za upravljanje javnim projektima kojim će se unaprijediti kvaliteta procesa donošenja odluka te će se predočiti organizacija (strukturiranje) i uporaba prostornih podataka u svrhu unaprjeđenja procesa u menadžerskog odlučivanja. Samim modeliranim sustavom će se unaprijediti upravljanje velikim javnim projektima.

Ovim istraživanjem će se iskazati važnost analiziranja prostornih podataka za procese odlučivanja tijekom planiranja velikih javnih projekata. Organizirano korištenje informacija dobivenih iz provedenih analiza prostornih podataka zasnovano će biti na konceptu sustava za podršku odlučivanju (SPO). Sustavi za podršku odlučivanju, kao interaktivni sustavi, pomažu donositeljima odluka korištenje podataka i modela u cilju rješavanja nestrukturiranih zadataka. SPO su se razvili iz tehnika operacijskih istraživanja i upravljačkih informacijskih sustava i koriste se za donošenje brojnih i raznovrsnih odluka. Raznovrsnost odluka utemeljenih na analizama prostornih podataka javlja se zbog različitih potreba donositelja odluka. Prije svega radi se o korisnicima na različitim razinama odlučivanja (u smislu hijerarhije upravljanja projektima) kao i o različitim područjima prostorne problematike unutar upravljanja projektima na koja se odluke odnose. Navedeno upućuje na različite oblike podataka kako po mjernim jedinicama u kojima se iskazuju tako i po načinu njihova iskazivanja tj. jesu li iskazani numerički ili opisno. Navedeno je posljedica potrebe sagledavanja više različitih aspekata prostornih karakteristika problema upravljanja nekim projektom. Dakle, možemo govoriti o različitim često naoko neusporedivim kriterijima s pomoću kojih je potrebno vrednovati varijantna rješenja datog problema. Radi navedenog, u bazi modela kao adekvatni modeli pojavit će se višekriterijalne metode odlučivanja. Višekriterijalne metode (AHP, PROMETHEE I, II, V, GAIA) angažirat će prostorne podatke za provođenje analiza vrednovanja varijantnih rješenja projektno-planerskih problema. Višekriterijalna analiza koristit će se kao osnovni pristup generiranju varijantnih rješenja i generiranju ciljeva. Sve navedeno biti će uklopljeno u novi i jedinstveni SPO koji se kao i svaki drugi SPO sastoji od tri osnovna podsustava [3]: podaci, modeli i modul dijaloga.

U centru ovog istraživanja je podsustav za upravljanje podacima ili još preciznije njegov dio kojeg nazivamo baza podataka. Naime, podsustav za upravljanje podacima osim baze podataka uključuje i sustav upravljanja bazom podataka, katalog svih podataka u bazi podataka i pretraživač. Baza podataka je skup međusobno povezanih podataka koja strukturno odgovara potrebama određenih organizacija. Sustav upravljanja bazom

podataka (SBMS) provodi tri osnovne funkcije: spremanje (pohranjivanje podataka u bazu podataka), pozivanje (povlačenje podataka iz baze podataka) te kontrolu baze podataka. Za ostvarivanje potpune potpore menadžerskom odlučivanju potrebno je ostvariti integraciju strukturirane baze podataka i sustava za njeno upravljanje sa modelima baze. Baza modela sadrži rutinske i specijalizirane kvantitativne modele koji osiguravaju analitičke sposobnosti sustava podrške odlučivanju. Modeli unutar baze modela mogu biti raspodijeljeni u četiri glavne kategorije: strateške, taktičke, operativne, i dodatne modele i subrutine. Strateški modeli se koriste za potporu strateških odluka. Taktički modeli se koriste na srednjim razinama odlučivanja kao pomoć pri odlučivanju o alokaciji i kontroli resursa određene organizacije. Operativni modeli odnose se na najnižu razinu odlučivanja te se koriste u rješavanju svakodnevnih problema s kojima se susreću donositelji odluka na toj razini [4]. Kao podrška odlučivanju za upravljanje urbanim javnim projektima određuje se za:

- **operativnu razinu** – prikupljanje podataka (kao što su prostorni atributi zemljišnih čestica obuhvaćenih projektom, pitanja vlasništva, dostupne dokumentacije i sl.) i njihova operativna obrada (provođenje prostornih analiza korištenjem alata geografskih informacijskih sustava) u svrhu operativnog odlučivanja ili pripreme podloga za taktičko odlučivanje (pripreme podataka u formi koja je prikladna njihovoj obradi na taktičkoj razini),
- **taktičku razinu** – na temelju podataka s operativne razine i odrednica koje izvire iz podataka s više strateške razine provode se analize radi donošenja upravljačkih odluka kojima se može povećavati njihova efikasnost te efektivnost realizacije projekta (npr. mogu se donositi odluke u svrhu unaprjeđenja funkcionalnosti korištenja prostora obuhvaćenog projektom kako u pojedinim projektnim fazama tako i kada je projekt u potpunosti realiziran, ali i kasnije tijekom cijelog životnog vijeka projekta),
- **stratešku razinu** – planiranje izgradnje urbanog javnog projekta (odnosi se na planiranje faznosti realizacije projekta, ali i na njegovo uklapanje tj. interakciju s okolnim prostorom i njegovim funkcionalnostima) kojeg je zbog njegova opsega i volumena vrlo rijetko moguće odjednom realizirati (u jednom investicijskom ili upravljačkom ciklusu).

Područje istraživanja obuhvaća identifikaciju geodetskih podataka relevantnih za upravljanje projektima te definiciju dionika u procesu odlučivanja s njihovim ciljeva i željama.

Sustav podrške odlučivanju prostornim cjelinama (SDSS) je interaktivan sustav dizajniran da pomogne u donošenju odluka i rješavanju strukturiranih prostornih rješenja [5]. Osmišljen je da pomogne donositelju odluka prilikom prostornog planiranja korištenja zemljišta. SDSS se sastoji od sustava za podršku odlučivanju (DSS) i geografskog informacijskog sustava (GIS). To podrazumijeva upotrebu sustava za upravljanje bazom podataka, koja ima i obrađuje prostorne podatke. SDSS obično postoji u obliku računalnog modela ili više međusobno povezanih računalnih modela. Iako postoje razne tehnike za simuliranje dinamike korištenja zemljišta, dvije vrste su posebno pogodne za SDSS: *cellular automata (CA) based models* i *Agent Based Models (ABM)* [6]. SDSS obično koristi razne prostorne i neprostorne informacije, kao i podatke o korištenju zemljišta, prijevozu, vodoprivredi, demografiji, poljoprivredi, klimi, upravljanju resursima, itd. Korištenjem dvije ili više atributne točke u prošlosti modeli mogu biti kalibrirani, a zatim i projicirani za analiziranje budućih različitih prostornih opcija. Koristeći ove tehnike prostorni planeri mogu istražiti učinke različitih scenarija te na temelju njih pružiti najoptimalnija rješenja donositeljima odluka.

#### Literatura

- [1] Yeh, A.G.O.: Urban planning and GIS. Geographical information system, second edition. 2005. URL: [http://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis\\_book\\_abridged/files/ch62.pdf](http://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/files/ch62.pdf) (10.06.2015.)
- [2] Cambell, J., Shin, M.: Essentials of Geographic Information Systems, v. 1.0, 2015. URL: [https://saylordotorg.github.io/text\\_essentials-of-geographic-information-systems/s14-gis-project-management.html](https://saylordotorg.github.io/text_essentials-of-geographic-information-systems/s14-gis-project-management.html) (10.06.2015.)
- [3] Turban, E.: Decision Support and Expert System: Managment Support system, Macmillan Publishing Company, New York, 1993, p. 91
- [4] Jajac, N.: Modeliranje sustava za podršku odlučivanju o razvoju i doržavanju urbane cestovne infrastrukture, Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet, Split, 2010
- [5] Sprague, R. H., Carlson, E. D.: Building effective Decision Support Systems. Englewood Cliffs. 1982. URL: <http://diuf.unifr.ch/ds/courses/dss2002/pdf/DSS.pdf>
- [6] White, R., Engelen, G.: High-resolution integrated modeling of spatial dynamics of urban and regional systems. 2000. URL: [http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/referencias/white\\_urban\\_dynamics.pdf](http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/referencias/white_urban_dynamics.pdf)

# OCJENA OŠTEĆENJA ŠTAPNIH ELEMENATA PREKO ZAKRIVLJENOSTI MODALNIH OBLIKA

**Janko Koščak (jkoscak@grad.hr)**

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

Svaka se konstrukcija pod utjecajem ambijentalnih vibracija pobuđuje i oscilira u linearnoj kombinaciji svojih osnovnih modalnih oblika. Modalni oblici, a i ostali dinamički parametri konstrukcije (vlastite frekvencije i koeficijenti prigušenja) mijenjaju se s promjenom krutosti i/ili mase konstrukcije. Pri određivanju oštećenja građevinskih konstrukcija promjenu mase najčešće možemo zanemariti [1]. Ako nema promjene rubnih uvjeta, promjena dinamičkih parametara ovisi isključivo o promjeni krutosti konstrukcije.

Određivanje oštećenja primjenom dinamičkih parametara znanstveno je područje koje se razvojem računala sve više istražuje, a kao produkt istraživanja proizlaze dinamički monitorinzi (*eng. Structural Health Monitoring – SHM*) koji su danas od iznimne važnosti za upravljanje građevinama. Prva istraživanja na ovu temu vezana su uz promjenu vlastitih frekvencija. Oštećenje na konstrukciji uzrokuje smanjenje krutosti što ujedno smanjuje i iznose vlastitih frekvencija [2]. Mana određivanja oštećenja na temelju samo vlastitih frekvencija jest nemogućnost preciznog određivanja lokacije oštećenja u konstrukciji. Nadalje, razvijaju se novije metode za detekciju oštećenja bazirane na promjeni prigušenja [3]; promjeni u matrici krutosti [4]; promjeni modalne fleksibilnosti [5] itd.

Ocjena oštećenja preko zakrivljenosti modalnih oblika, koja je predmet ovog istraživanja, dio je metode za detekciju oštećenja usporedbom modalnih oblika. Uspoređujući modalne oblike, promatrana varijabla može biti modalni pomak [6] ili zakrivljenost modalnog oblika. Za razliku od funkcije modalnog pomaka koja se za realna oštećenja gotovo ne mijenja, funkcija modalne zakrivljenosti mnogo je osjetljivija zbog čega je moguće u ranoj fazi detektirati oštećenje [7]. Poznato je da su zakrivljenost i relativna deformacija od savijanja izravno povezani preko izraza:

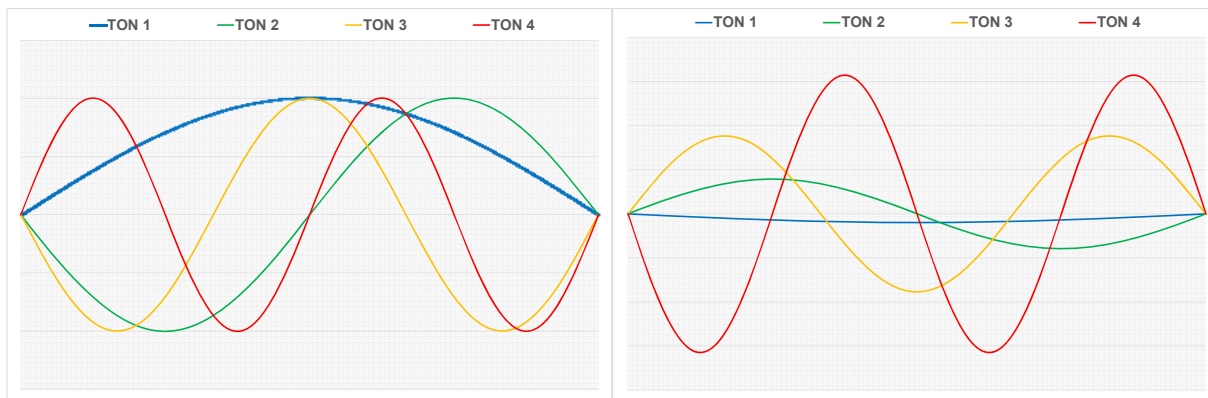
$$\varepsilon = \frac{y}{R} \quad (1)$$

gdje je  $\varepsilon$  relativna deformacija,  $1/R$  zakrivljenost, a  $y$  udaljenost promatrane točke od neutralne osi. Određivanje modalne zakrivljenosti moguće je provesti na dva načina: izračunom preko izmjerenih modalnih pomaka ili mjerenjem relativnih deformacija preko kojih dobivamo modalnu zakrivljenost (1). Prva istraživanja na području detekcije oštećenja preko zakrivljenosti modalnih oblika provode Pandey, Biswas i Samman 1991. godine [8]. Navedeni istraživači računaju iznose zakrivljenosti preko modalnih pomaka koristeći aproksimaciju centralnom razlikom (druga derivacija funkcije modalnog pomaka):

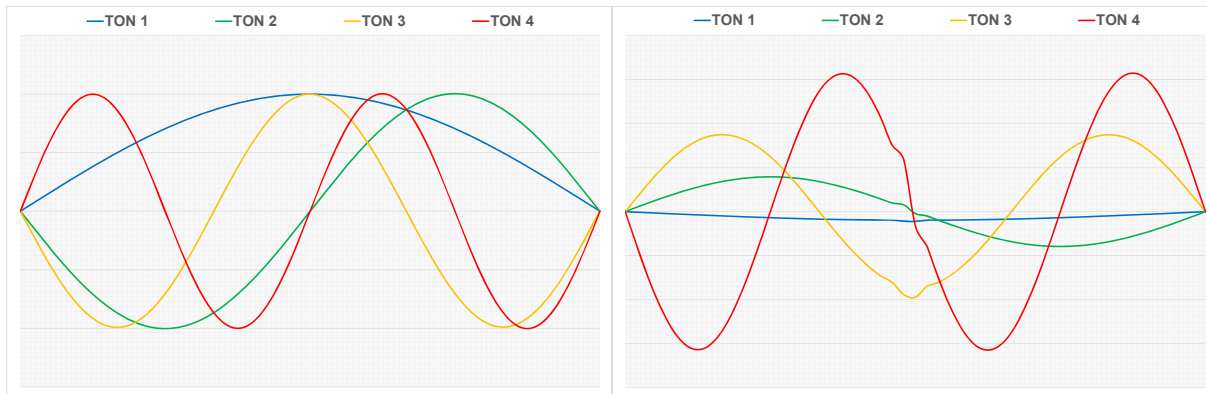
$$v'' = \frac{v_{i+1} - 2v_i + v_{i-1}}{h^2} \quad (2)$$

gdje je  $h$  razmak između dviju mjerenih lokacija, a  $v$  je vektor modalnog oblika. Ovu je metodu proširio istraživač Ratcliffe, koji proučava funkciju zakrivljenosti modalnog oblika oštećenog nosača bez poznavanja dinamičkih parametara neoštećenog nosača [9]. Istraživanje je pokazalo kako je metoda učinkovita za jače izražena oštećenja (pad krutosti oko 10%). Za manje izražena oštećenja potrebno je provoditi post procesnu analizu kako bi se detektirala oštećenja.

U okviru ovog rada je, preliminarno planiranom istraživanju, testirana metoda traženja oštećenja preko funkcije modalne zakrivljenosti. Za potrebe testiranja izrađen je numerički model na bazi konačnih elemenata (*eng. Finite Element Method – FEM*) slobodno oslonjene čelične grede raspona 5 m. Za poprečni presjek grede odabran je profil HE100B, kako bi se prva vlastita frekvencija nalazila između 10 i 20 Hz. U programskom paketu SAP2000 v15.2 provedena je modalna analiza, a rezultati u vidu modalnih pomaka za prva četiri oblika osciliranja neoštećene grede prikazani su na slici 1a. Iz modalnih pomaka preko izraza (2) dobivene su zakrivljenosti modalnih oblika (slika 1b). Nakon provedene modalne analize, na istom je numeričkom modelu simulirano oštećenje na način da je u sredini nosača (na duljini od 10 cm) smanjena krutost na savijanje u iznosu od  $0,8EI$  u odnosu na početno stanje. Dobiveni modalni oblici i zakrivljenosti modalnih oblika prikazani su na slici 2. Na slici 3a prikazan je kvadrat razlike vektora modalnih pomaka oštećenog nosača u odnosu na vektore modalnih pomaka neoštećenog nosača, dobiven prema izrazu (3). Isti je postupak proveden za zakrivljenosti modalnih oblika, a dobivena razlika prikazana je na slici 3b.



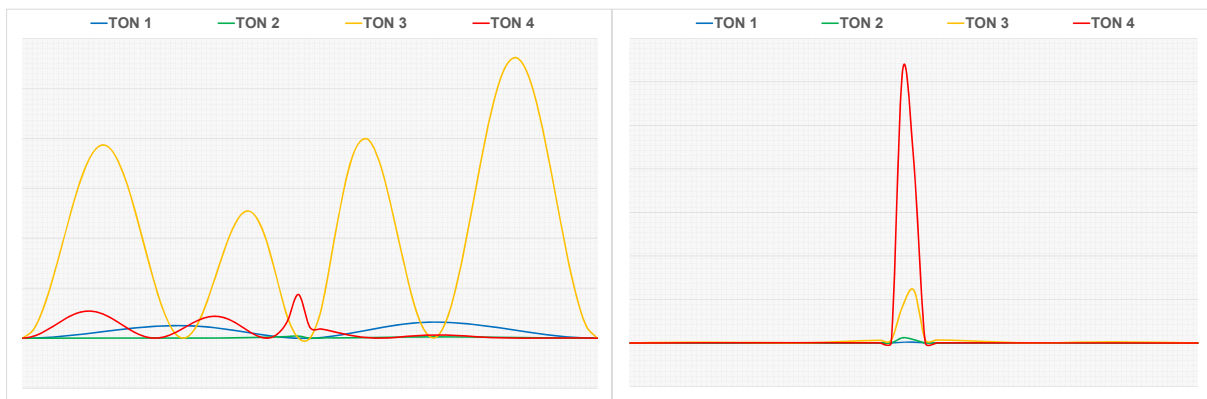
Slika 1. Modalni oblici za neoštećenu gredu: (a) modalni pomaci i (b) zakrivljenost modalnih oblika



Slika 2. Modalni oblici za oštećenu gredu: (a) modalni pomaci i (b) zakrivljenost modalnih oblika

$$\Delta_i = (v_i^* - v_i)^2 \tag{3}$$

U prethodnom izrazu (3),  $\Delta_i$  označava kvadrat razlike modalnih pomaka/zakrivljenosti između oštećenog i neoštećenog stanja,  $v_i^*$  označava vektor pomaka/vrijednost zakrivljenosti i-te točke oštećenog nosača, a  $v_i$  je vektor pomaka/vrijednost zakrivljenosti i-te točke neoštećenog nosača.



Slika 3. Kvadrat razlike u (a) modalnim pomacima i (b) zakrivljenostima modalnih oblika između oštećenog i neoštećenog nosača

Usporedbom *slike 1a* i *slike 2a* vidimo kako gotovo ne postoji razlika u funkcijama modalnog pomaka između oštećenog i neoštećenog stanja (razlika bi postala vidljiva s povećanjem oštećenja). Promatrajući samo *sliku 2a* vidimo kako iz funkcija modalnih pomaka nije moguće detektirati oštećenje bez poznavanja modalnih pomaka neoštećene konstrukcije, dok na *slici 2b* (iz funkcije zakrivljenosti) uočavamo oštećenje i bez poznavanja parametara neoštećene konstrukcije. Usporedbom oštećenog i neoštećenog stanja (*slika 3*) vidimo da samo pojedini tonovi modalnih pomaka detektiraju oštećenje, dok je iz funkcija zakrivljenosti oštećenje jasno vidljivo.

Mana ove metode je njezina visoka osjetljivost na šum koji se javlja prilikom mjerenja na realnim modelima zbog čega funkcija zakrivljenosti često ima skokove na mjestima gdje oštećenje ne postoji. Međutim, novija istraživanja na ovu temu usmjerena su na filtriranje šumova uzrokovanih greškom u mjerenju te je već predloženo nekoliko matematičkih modela za provođenje tog postupka [7].

Na temelju pregleda stanja područja i provedenih numeričkih simulacija, u okviru budućeg istraživanja cilj je testirati postojeće, ali i predložiti nove modele filtriranja šuma iz funkcija zakrivljenosti modalnih oblika. Nadalje, modeli će se testirati numerički i eksperimentalno, a uspješnost ove metode planira se ispitati i na realnim konstrukcijama.

#### Literatura

- [1] Duvnjak, I.: *Ocjena oštećenja plošnih konstrukcija primjenom dinamičkih parametara*, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2015.
- [2] Salawu, O.S.: *Detection of structural damage through changes in frequency: a review*, *Eng. Struct.*, vol. 19, no. 9, pp. 718–723, 1997.
- [3] Rytter, A.: *Vibrational based inspection of civil engineering structures*, Department of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University, 1993.
- [4] Zimmerman, D.C., Kaouk, M.: *Structural Damage Detection Using a Minimum Rank Update Theory*, *J. Vib. Acoust.*, vol. 116, no. 2, p. 222, 1994.
- [5] Pandey, K., Biswas, M.: *Damage Detection in Structures Using Changes in Flexibility*, *J. Sound Vib.*, vol. 169, no. 1, pp. 3–17, 1994.
- [6] Fayyadh, M.M., Razak, H.A.: *Detection of damage location using mode shape deviation: Numerical study*, *Int. J. Phys. Sci.*, vol. 6, no. 24, pp. 5688–5698, 2011.
- [7] Maeck, J.: *Damage assessment of civil engineering structures by vibration monitoring*, Katholieke Universiteit Leuven, Faculteit Toegepaste Wetenschappen, Leuven, 2003.
- [8] Pandey, K., Biswas, M., Samman, M.M.: *Damage detection from changes in curvature mode shapes*, *J. Sound Vib.*, vol. 145, no. 2, pp. 321–332, 1991.
- [9] Ratcliffe, C.P.: *Damage Detection Using A Modified Laplacian Operator On Mode Shape Data*, *J. Sound Vib.*, vol. 204, pp. 505–517, 1997.



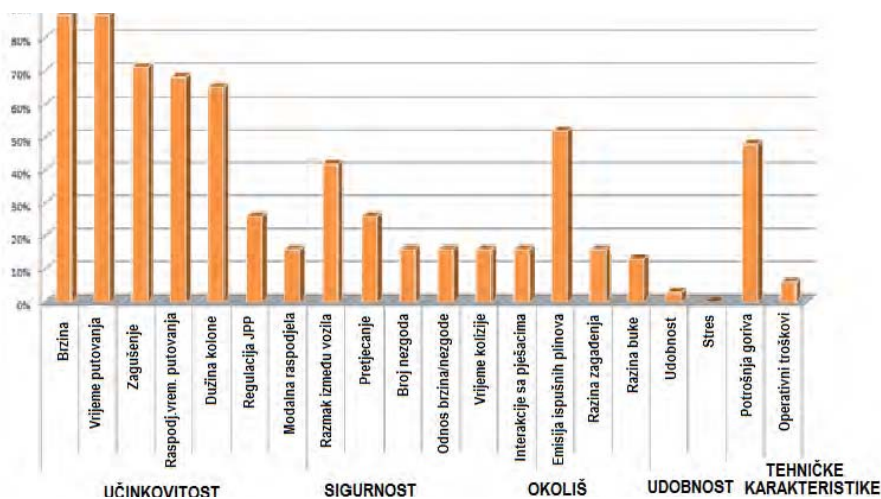
# MIKROSIMULACIJSKI MODELI KRUŽNIH RASKRIŽJA

**Danijela Maslač (danijela.maslach@gmail.com)**

*Sveučilište u Mostaru; Građevinski fakultet; Katedra za prometnice*

Detaljnija istraživanja kružnih raskrižja koja se sprovede u svijetu, dovode do njihova unaprijeđenja, uvođenja alternativnih tipova kružnih, semaforizacije kružnih raskrižja i slično. U našem okruženju ta istraživanja su vrlo rijetka. Svjetska literatura kao pravce daljeg istraživanja ovog područja nudi: alternativne tipove kružnih raskrižja, kapacitet alternativnih tipova, semaforizirana kružna raskrižja, utjecaj kružnih raskrižja na okoliš, pravila vožnje za bicikliste u kružnim raskrižjima, osjetljivi korisnici i pješaci te slijepe osobe na kružnim raskrižjima.

Ovaj rad se bavi kalibracijom kružnih raskrižja u BiH, nakon čega slijedi detaljnija razrada rezultata.. Kalibracija se sprovodi primjenom mikrosimulacijskog alata VISSIM. Rezultati mikrosimulacija mogu se podijeliti prema pokazateljima za prometnu učinkovitost, sigurnost, okoliš, udobnost i tehničke karakteristike, kao što prikazuje slika 1. Većina modela obrađuje prometnu učinkovitost kao rezultat mikrosimulacija odnosno: brzinu, trajanje putovanja, zasićenje, dužine kolona vozila itd. Kroz ovo istraživanje detaljnije će se analizirati ključni rezultati poput brzine putovanja, vremena čekanja, emisije plinova i potrošnje goriva, kao i interakcija s pješacima, odnosno utjecaj položaja pješackog prelaza na vrijeme čekanja.



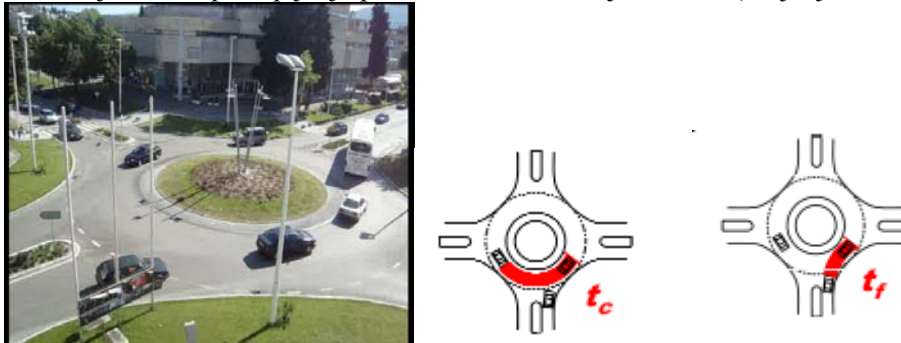
**Slika 1.** Izlazni rezultati mikrosimulacijskih modela

VISSIM je mikroskopski simulacijski računalni program koji se temelji na simulaciji prometnih tokova, s naglaskom na analizi prometnih tokova. Pomoću modeliranja realnih prometnih uvjeta može se vrlo dobro, s relativno visokim stupnjem sličnosti između realnih i modeliranih prometnih tokova, obuhvatiti kompleksnost uvjeta u prometu. Osnova svakog prometnog simulacijskog programa je matematički model pomoću kojeg definiramo osnovne fizikalne zakonitosti prometa.



**Slika 2.** Mikrosimulacijski model u VISSIM-u

U prvoj fazi istraživanja vrši se prikupljanje podataka za kalibraciju modela (brojanje i snimanje prometa).



Slika 3. Primjer snimanja prometa, s parametrima koji se mjere

Iz tih podataka potrebno je mjeriti osnovne parametre za kalibraciju:  $t_c$ -kritičnu vremensku prazninu (critical headway) i  $t_f$ -vrijeme slijeda (follow-up headway).

Hrvatska i BiH nemaju mjerene vrijednosti, nego obično koriste vrijednosti drugih zemalja, tablica 1.

Tablica 1. Dosadašnja istraživanja o kritičnoj praznini i vremenu slijeda u svijetu

Country	Critical headway, $t_c$ (s)	Follow-up time, $t_f$ (s)	Observations
AUSTRALIA			
1-lane	1.4 – 4.9 (2.9)	1.8 – 2.7	Model based on conflicting flow, number of lanes, diameter, and entry width [27] (cited in [9])
2-lane (dominant lane)	1.6 – 4.1 (2.9)	1.8 – 2.2	
2-lane (subdominant lane)	--	2.2 – 4.0	
DENMARK			
1-lane, urban	5.1	3.0	Parameters estimated by regression [28]
1-lane, rural	4.7	3.0	
2-lane, rural	4.0	2.6	
GERMANY			
[1/2] $40 \leq DCI \leq 60$ m	5.6	2.5	[x/y]: number of lanes: entry/circle; In the original only final capacity formulas are provided. These are the parameters that provide the best fit using Sieglösch's capacity formula [29]
[2/2] compact $40 \leq DCI \leq 60$ m	5.2	2.2	
2/2 large $DCI > 60$ m	4.4	2.9	
ISRAEL			
1-lane, urban/sub-urban	4.0		Logit method with waiting time as independent variable. Value for a 10s waiting time [20]
POLAND			
Medium 2-lane (L)	4.3	3.3	Parameters estimated by regression [30]
Medium 2-lane (R)	4.6	3.6	
Large 2-lane (L)	3.8	2.6	
Large 2-lane (R)	4.2	2.9	
Semi 2-lane	4.7	2.6	
SLOVENIA	4.8	2.9	Data collected from Seven single-lane roundabouts across the country [31]
PORTUGAL	3.2 – 3.7	2.1 – 2.3	Maximum Likelihood, Raff, other methods (from current limited observations)
SPAIN	3.3 – 3.5	$\approx t_c / 2$	[32]
SWEDEN			
2-lane roundabouts (L)	4.4 – 4.6		Maximum Likelihood method generalized for multilane roundabouts [17]
2-lane roundabouts (R)	4.0 – 4.3		
UNITED STATES			
HCM 2000	4.1 – 4.6	2.6 – 3.1	(*) Maximum Likelihood method [9]
NCHRP 572 (*)			
1-lane roundabouts	4.2 – 5.9	2.6 – 4.3	
2-lane roundabouts (L)	4.2 – 5.5	3.1 – 4.7	
2-lane roundabouts (R)	3.4 – 4.9	2.7 – 4.4	

Iz analize rezultata mikrosimulacijskih modela kružnih raskrižja mogući su krajnji rezultati u cilju smanjenja emisije plinova u urbanim zonama, poput određivanja optimalnog položaja pješačkog prelaza a u cilju smanjenja vremena čekanja vozila na sporednom toku.

#### Literatura

- [1] *Highway Capacity Manual 2010*, Washington 2010
- [2] Bill AR. Calibration of VISSIM Roundabout Model: A Critical Gap and Follow-up Headway Approach, *TRB 92nd Annual Meeting in Washington, D.C., January 13-17, 2013*.
- [3] Coelho MC, Farias TL, Roupail NM. Effect of roundabout operations on pollutant emissions. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 2006; 11(5):333-343. 2006.
- [4] Corriere F, Guerrieri M, Ticali D, Messineo a. Estimation of Air Pollutant Emissions in Flower Roundabouts and in Conventional Roundabouts. *Arch. Civ. Eng. Vol. 59*, 229–246, 2013



## OD POLEMIKA K REALIZACIJAMA: PRONALAZENJE FORMULE RACIONALNE STANOGRADNJE U SPLITU 1956.-1959.

*Sanja Matijević Barčot (sanja.matijevic@gradst.hr)*

*Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije; Katedra za arhitektonsko projektiranje*

Nakon Drugog svjetskog rata, stambena kriza pitanje stanogradnje postavlja u centar društvene i političke pažnje. Tada se, na državnoj razini, osmišljavaju kompleksi mjera s ciljem da omoguće i potaknu masovnu izgradnju stanova. Grad Split u tom smislu predstavlja vrlo značajan primjer: u Splitu je već do sredine šezdesetih godina izgrađeno gotovo 14,000 stanova; svaka druga obitelj uselila je u novi stan. [1] U radu se istražuje splitski arhitektonski doprinos temi racionalne stanogradnje. Analiziraju se ideje i strategije koje su dovele do prvog "koncentričnog" gradilišta u Splitu - stambenog naselja uz tadašnju Ulicu XX. dalmatinske divizije (danas Osječku ulicu). [2] Tom naselju pripada značajno mjesto unutar splitske graditeljske historiografije 20. stoljeća, jer se tu pronalazi i testira formula racionalne stanogradnje: koncentriranje izgradnje na velikim gradilištima, upotreba tipskih projekata, donošenje stambenih normativa, razvijanje tehnologije građenja. Naselje uz nekadašnju Ulicu XX. dalmatinske divizije označava inicijaciju modela društveno organizirane stanogradnje koji će, kroz veće ili manje varijacije, biti primjenjivan i razvijan sve do kraja osamdesetih godina i promjene političkog sistema. Osim toga, ono predstavlja i urbanističko-arhitektonski predložak po kojem će se u slijedećem desetljeću provoditi strategija ekstenzivne stambene izgradnje, a također je značajno i za analizu uloge koju su u razvijanju masovne stanogradnje imali izvođači. [3]



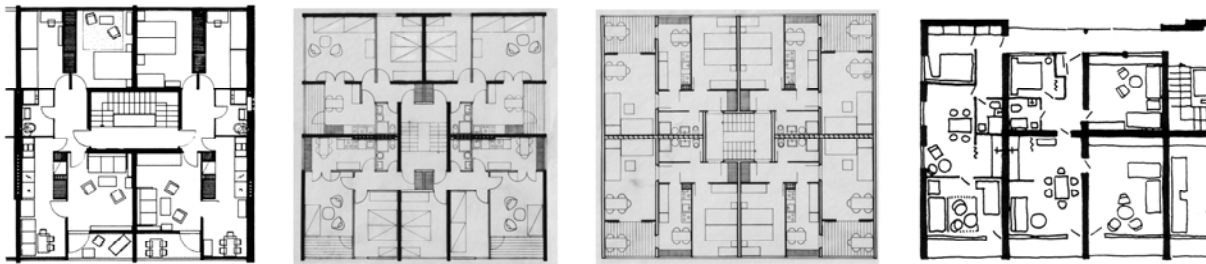
Slika 1. Stambeno naselje uz nekadašnju Ulicu XX. dalmatinske divizije, današnju Osječku ulicu, 1958.

*Izvor: Državni arhiv u Splitu*

Sredinom pedesetih godina dotadašnja stambena izgradnja postaje predmetom oficijelne kritike jer ne zadovoljava proklamiranu brzinu, količinu i ekonomičnost izgradnje. Period 1956.-1959. godine, stoga, s jedne strane obilježava stvaranje ekonomskih, zakonskih i institucionalnih mehanizama stanogradnje; ti mehanizmi definirati će okvir djelovanja za investitore, projektante i izvođače. S druge strane, paralelno s tim procesima, razvija se intenzivan arhitektonski stručni i javni diskurs; pokušavaju se pronaći arhitektonski odgovori zahtjevu racionalne stanogradnje. U radu se analizira, za splitsku stanogradnju, vrlo značajna polemika između arhitekata Vuke Bombardellija i Lovre Perkovića, u kojoj se, osim problematike stanovanja, propituje i pozicija arhitekta. [4] Osim teorijske potke, analiziraju se arhitektonske materijalizacije novih ideja: Perkovićeve tipski projekti URBS-4 i URBS-5, Bombardelijeve tip E-57, tipski projekt URBS-1 arhitekta Josipa Vojnovića te tipski projekt arhitekta Zlatibora Lukšića. Neki od tih projekata bit će realizirani unutar naselja uz nekadašnju Ulicu XX. dalmatinske divizije.

Osim arhitektonskog aspekta u radu se ispituju formativni elementi društveno organiziranih modela stanogradnje koji se nalaze izvan arhitektonskog diskursa, a na njega imaju posredan utjecaj. Rad stoga uključuje i detekciju ključnih zakonskih akata i institucionalnih mehanizama, te analizu uzročno posljedične

veze između njih i arhitektonskog djelovanja. Kao jedan od ključnih zakonskih akata rad prepoznaje *Zakon o doprinosu za stambenu izgradnju* koji je, omogućivši akumulaciju te stabilan i siguran dotok sredstava, stvorio čvrstu financijsku bazu za kontinuirano i planirano rješenje stambenog problema. Sigurna financijska baza potiče: definiranje jasne stambene politike, uspostavljanje fondova za kreditiranje stambene izgradnje te osnivanje specijaliziranih lokalnih organizacija, poput splitskog *Zavoda za stambenu izgradnju* (kasnije *Općinskog fonda za stambenu izgradnju*), koje se bave upravljanjem svim procesima vezanim uz stambenu izgradnju. Nadalje, dugoročnije planiranje i organizacije izgradnje potiče izvođače na ulaganja u nove tehnologije (kranske dizalice, betonare, katna oplata, modularna koordinacija, prefabrikacija), omogućuje se primjena suvremenih urbanističkih koncepata te cjelovito rješavanje većih gradskih prostora (što je i dodatno olakšao u međuvremenu donesen *Zakon o nacionalizaciji najamnih zgrada i građevinskog zemljišta*). [5]



Slika 2. Tipске osnove stanova (s lijeva na desno): URBS-1, URBS-4, URBS-5, E-57.

Izvor: Tušek D. et al.: *Split: Arhitektura 20. stoljeća*, Sveučilište u Splitu Građevinsko-arhitektonski fakultet, Split, 2011., pp. 77-79.

U desetljeću koje će uslijediti gradi se tzv. *Split 2*. Izgradnju *Splita 2* karakterizira izgradnja stambenih naselja projektiranih prema karakterističnom urbanističkom obrascu *CIAM-ovske* matrice, koja jedno po jedno niču na slobodnim kasetama gradskih površina, unutar zacrtane mreže glavnih gradskih prometnica. [6] Arhitektura, u pravilu tipskih stambenih objekata, najčešće, pak nastaje u projektiranim biroima u okviru građevinskih poduzeća. U takvom kontekstu, prva premisa arhitektonskog projektiranja postaje tehnologija izgradnje (kranske dizalice, katna oplata, tehnologije obrade vanjskih zidova....) dok drugu projektantsku premisu predstavljaju programski normativi stanova u vidu *Tehničko-financijskih smjernica standardnog stana*, koje je, pod vodstvom Josipa Vojnovića, izdao *Općinski fond za stambenu izgradnju*. [7]

Iako stambena naselja *Splita 2* nedvojbeno ispunjavaju sve funkcionalističke zahtjeve kvalitetnog stanovanja, predmetom kritike postat će njihova monofunkcionalnost, arhitektonska uniformnost, te shematizam u preuzimanju formalnih recepata modernističke urbanističke matrice. Ipak, danas, nakon iskustva izgradnje nekih naselja iz osamdesetih godina (Mertojak, Pujanke) njihove kvalitete, u smislu gustoće, visine objekata i mikroklimatskih vrijednosti stanovanja u zelenilu, dobivaju novu vrijednost.

#### Literatura

- [1] Svaka druga obitelj u novom stanu, *Slobodna Dalmacija*, 19. studenog 1965., pp. 6.
- [2] Tušek D. et al.: *Split: Arhitektura 20. stoljeća*, Sveučilište u Splitu Građevinsko-arhitektonski fakultet, Split, 2011.
- [3] Vojnović, J.: Racionalizacija i evolucija stambeno-komunalne izgradnje u procesima planiranja, organizacije i programiranja, disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet, Zagreb, 1978.
- [4] Matijević Barčot, S., Grgić, A., Tušek, D.: Redefining the Position: Architect's Role in the Society of Socialist Croatia in the Context of State Housing Strategies 1955- 1965, SGEM Arts, Performing Arts, Architecture and Design Conference Proceedings, Editor: Cristea, L. et al., Sofija, 2014., pp. 931-937.
- [5] Matijević Barčot S.: Utjecaj društveno organiziranih modela na arhitekturu Splita 1945.-1968., disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet, Zagreb, 2014.
- [6] Tušek, D.: *Arhitektonski natječaji u Splitu 1945-1995*, Split: Društvo arhitekata Splita i Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 1966.
- [7] Grgić, A., Matijević Barčot, S.: Tri primjera javnih prostora stambenih naselja Splita iz druge polovice 20. stoljeća, *Prostor*, Vol. 21, No. 1(45), 2013., pp. 68-79.

# GEOGRAPHIC TRANSFERABILITY OF ACTIVITY-BASED MODELS: A FLANDERS – SLOVENIA CASE STUDY

**Beno Mesarec** ([beno.mesarec@um.si](mailto:beno.mesarec@um.si))

*University of Maribor, Faculty of Civil Engineering, Chair of Traffic Engineering and Safety in Traffic*

Activity-based transport models are based on the assumption that the need for travel is derived from the human desire to participate in activities which are spread within space (location) and time. Therefore travel decisions should be considered as a part of a broader activity scheduling process based on modelling the demand for activities rather than merely trips [1]. With activity-based transport models we are able to predict which activities (type of activity) are conducted, when (time of activity), where (location), for how long (duration), with whom, and the transport mode involved. Additionally, numerous constraints are also incorporated in activity-based models, such as: situational, temporal, spatial, spatial-temporal and institutional ones [2]. All used input parameters are to some extent in correlation with cultural and societal characteristics of the region where transport model is implemented.

Activity-based models identify and describe human behaviour on the individual level. Such modelled behaviour is characterized by activity-travel schedules that are constructed during simulation. It must be taken in account that socio-economic characteristics play an important role in the resulting behaviour of each individual [3].

Calibration of activity-based models requires not just the aforementioned socio-economic characteristics of the individuals but also activity-travel diaries which are collected from respondents. As the collection of this kind of data is quite time consuming and expensive [4], the question arises to which extent the requirement for collecting these data can be alleviated. If proof is found that activity-travel behaviour shows some invariants throughout different populations, the need for costly data collections could be eliminated or at least significantly reduced by combining these invariants with socio-economic information.

The main goal of the research therefore is to investigate the (dis-)similarities of the transportation behaviour between two regions with different cultural and societal characteristics (Flanders and Slovenia) as it can teach us about transferability and data requirements when implementing an activity-based model in a new geographic area.

In order to prove (dis-)similarities in traffic behaviour between Flanders and Slovenia (in search of travel invariants over both areas), a substantial description and inventory of the socio-economic and cultural (dis-)similarities was done. The analysis of travel behaviour at this level was performed in terms of descriptive statistics of the travel (demand) surveys available for both study areas:

- ‘Onderzoek Verplaatsingsgedrag Vlaanderen’ – (September 2008-September 2013)
- ‘Raziskava potovalnih navad prebivalcev ljubljanske regije’ (2003)
- ‘Potovalne navade prebivalcev v Mestni občini Ljubljana in Ljubljanski urbani regiji’ (2013)

In order to test the transferability of activity-based transport models from Flanders to Slovenia (i.e. to perform a microscopic simulation of the behaviour of the Slovenian population based on activity-travel behaviour identified in Flemish datasets) it was indispensable to implement such a model in Slovenia (Picture 1). This microsimulation required the availability of a representative synthetic population for Slovenia with attributes which adhere to marginal values which are typically known of the population level (Census 2002, Census 2011):

- for persons (e.g. age, gender, work status, possession of driving license, etc.),
- for households (e.g. household composition, socio-economic status, number of cars owned by household, etc.).

For this purpose the technique of Iterative Proportional Updating (IPU) was used [5]. Based on the simulation of the Slovene population (with attributes estimated using IPU) using a model trained using Flemish behavioural data, transferability will be further investigated by validating the model outputs against independent measurements in Slovenia (e.g. screenline counts).

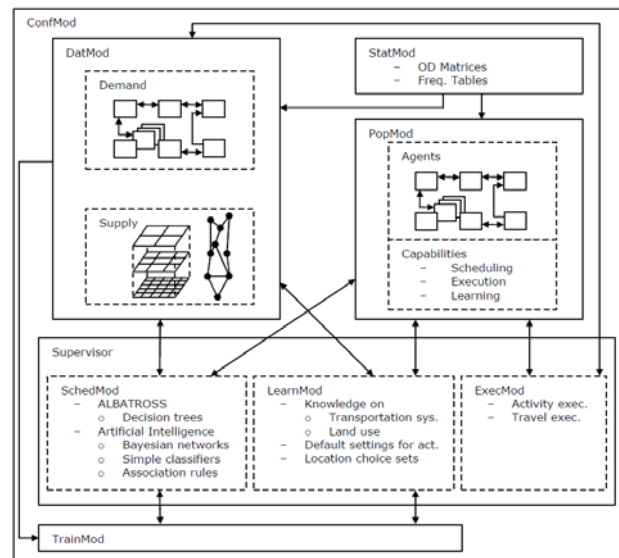


Figure 1. A schematic overview of the activity-based FEATHERS model [6].

Finally, the same procedure will be used once more – but in the opposite direction (implementation/simulation of Slovene behaviour in the context of Flanders followed by a validation of the accuracy of such a model using independent Flemish datasets). An investigation of the results should show us the (dis-)similarities of the transportation behaviour between Flanders and Slovenia, which will teach us about the transferability of activity-based transport models and data requirements when implementing a model in a new geographic area.

Besides testing the straightforward transfer of the models between both study areas, an investigation will be performed on the level of the submodels (e.g. the model for the inclusion of activities, modal choice, location choice, etc.) that are obtained after calibrating the model for each area independently (the Slovene model will be trained on Slovene survey data and the Flemish model on Flemish data). Investigation of the submodels of the activity-based models for Flanders and Slovenia will yield information on whether the same significant variables are emerging and whether the same branching occurs in the decision trees of the decision tree-based model.

A sensitivity analysis will be performed on both the Flemish and Slovene models that were trained in previous step. This sensitivity analysis is performed in order to investigate (dis-)similarities in the responses of both models to identical travel demand measures such as e.g. pricing of fuel, LOS public transportation, travel cost of public transportation, etc. A detailed analysis of both models and their outputs will be performed in order to explain where the differences in response (sensitivities) come from. This will enable us to assess whether different responses to similar measures result from different socio-economic characteristics, from different activity-travel behaviour, or from a combination of both.

#### Literature

- [1] Ben-Elia, E., Shiftan, Y.: Understanding behavioural change: An international perspective on sustainable travel behaviours and their motivations, *Transport Policy*, Vol. 26, 2013., pp. 1–3.
- [2] Rasouli, S., Timmermans, H.: Effects of travel time delay on multi-faceted activity scheduling under space-time constraints: A simulation study, *Travel Behaviour and Society*, Vol. 1, 2014., pp. 31–35.
- [3] Schwanen, T., Banister, D., Anable, J.: Rethinking habits and their role in behaviour change: the case of low-carbon mobility, *Journal of Transport Geography*, Vol. 24, 2012., pp. 522–532.
- [4] Carrasco, J.A., Hogan, B., Wellman, B., Miller, E.J.: Collecting social network data to study social activity-travel behavior: an egocentric approach, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 35, 2008, 961–980.
- [5] Abeda, O., Bellemans, T., Cho, S., Janssens, G.K., Janssens, D., Wets, G.: A bottom up approach to estimate production-consumption matrices from a synthetic firm population generated by iterative proportional updating, *Transportation Research Procedia*, Vol. 1, 2014., pp 49–56.
- [6] Kochan, B.: Implementation, validation and application of an activity-based transportation model for Flanders, doctoraatsproefschrift, Hasselt Universiteit, Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen, Hasselt, 2012.

# PREDNOSTI ANALIZE NESTACIONARNIH HIDROLOŠKIH VREMENSKIH SERIJAMETODOM VALIČNE TRANSFORMACIJE

**Kristina Potočki (kpotocki@grad.hr)**

*Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku*

Posljednjih 50 godina u hidrološkoj praksi su najraširenije metode za analizu hidroloških vremenskih serija koje se temelje na dvije temeljne pretpostavke o serijama: linearnosti i stacionarnosti. Općenito, stacionarnost podrazumijeva nepromjenjivost u vremenu statističkih karakteristika vremenskih serija. Međutim, u većini hidroloških vremenskih serija javljaju se nagle i postupene promjene u vremenu koje su najčešće uvjetovane klimatskim i antropogenim utjecajima. Potrebno je identificirati nestacionarnosti kako bi ih se pokušalo dovesti u vezu s mogućim uzrocima. Promjena u vremenskim serijama se može analizirati kroz promjenu periodičkih komponenti u vremenskoj i/ili frekvencijskoj domeni, te analizom trenda. Metode za analizu trenda u vremenskoj domeni su raširene i uobičajene. No, isto tako se trend može promatrati i kao periodička promjena u frekvencijskoj domeni s velikim povratnim periodom van razdoblja mjerenih podataka, koja unutar mjerenja prikazuje dio rastućeg i/ili padajućeg ciklusa.

Tradicionalno se za analizu periodičkih komponenti serija koristi npr. analiza serijskih korelacija u vremenskoj domeni ili metoda spektralne analize, kao što je Fourierova analiza, u frekvencijskoj domeni. Međutim, kod nestacionarnih vremenskih serija upotreba tih metoda je ograničena. Prikaz nestacionarnosti u hidrološkim vremenskim serijama omogućuje valična analiza koja je temeljena na valičnoj transformaciji i omogućuje prikaz serije u vremensko-frekvencijskom prostoru. Valična analiza je zbog tog svojstva moćan alat u analizi hidroloških i klimatskih vremenskih serija [1]. U literaturi je dostupan pregled primjene metode za hidrološke i klimatske vremenske serije [2] [3], te je metoda korištena za prikaz i analizu promjena varijabilnosti serija na različitim slivovima u svijetu [4] [5] [6] i u Hrvatskoj [7].

Potreba za primjenom takve metode očituje se sve učestalijim izmjenama hidroloških i meteoroloških ekstrema posljednjih godina. U ovom radu se objašnjavaju prednosti i nedostaci primjene metode valične transformacije u analizi hidroloških vremenskih serija te prikazuje primjer analize mjesečnih vremenskih serija protoka i pronosa nanosa na jednoj vodomjernoj stanici (VS) na rijeci Savi. Cilj je identifikacija periodičkih komponenti serija i njihovih promjena kroz vrijeme te njihova usporedba s periodičkim komponentama globalnih klimatskih indikatora: El Niño južne oscilacije (ENSO) i Sjevernoatlantske oscilacije (NAO).

Analiza valičnih spektrara je provedena na podacima kontinuiranih mjesečnih mjerenja protoka i pronosa nanosa na VS Podsused na srednjem toku rijeke Save te su serije dodatno uspoređene s mjesečnim serijama ENSO i NAO za isto razdoblje od 1979. do 2012. godine. Korištena je metoda kontinuirane valične transformacije (CWT) s Morletovom valičnom funkcijom i njihov prikaz pomoću valičnog spektra (WPS), globalnog valičnog spektra (GWS) i valične koherencije (WTC).

Rezultat analize je prikaz hidroloških vremenskih serija pomoću mape kontura (engl. *contour map*) valičnih koeficijenta CWT. Njihova varijacija, tj. promjena snage valičnog spektra u odnosu na vrijeme i skalu, ukazuje nam na izmjenu sušnih i vlažnih razdoblja: pozitivne vrijednosti predstavljaju vlažna razdoblja, a negativne sušna. Rezultati obrade mjesečnih vremenskih serija protoka na VS Podsused pokazuju unutar godišnju i višegodišnju izmjenu velikih i malih voda, što se onda može usporediti sa izmjenama velikih i malih pronosa nanosa te sa izmjenama globalnim indikatorima klimatskih indikatora ENSO i NAO.

Analiza srednjih i maksimalnih protoka i pronosa nanosa za 34-godišnje razdoblje mjerenja na VS Podsused pokazala je prisutne 6-, 12-, 24- i 56 –mjesečne periode, od čega je 12-mjesečni period statistički značajan za sve analizirane nizove (Tablica 1). Za to isto vremensko razdoblje uočena je lokalizacija značajnih 6-, 12- i 24-48 mjesečnih perioda za NAO te 16-32-mjesečnih za ENSO. Pomoću valične koherencije (WTC) ispitana je potencijalna povezanost srednjeg protoka na VS Podsused s globalnim klimatskim indikatorima: ENSO i NAO. Statistički značajna veza između signala protoka i ENSO dobivena je za skale 16-32 mjeseca, koje se izmjenjuju svakih 7-12 godina, što su ujedno očekivane periodičke izmjene El Niño i La Niña faze. Statistički značajna veza protoka s NAO uočena je u WTC u kraćim i nepravilnijim vremenskim razmacima za kratke skale 2-12 mjeseci. Zbog male duljine niza, ove povezanosti treba dodatno provjeriti i uzeti s rezervom. Osim duljinom niza, analiza je ograničena situacijom kada je prisutno mnogo šuma (tj. mnogo slučajnih varijacija) u hidrološkim vremenskim serijama.

**Tablica 2.** Pregled perioda prisutnih vrhova (+) u globalnom valičnom spektru (GWS) za mjesečne protoke (Qmj); b) srednji mjesečni pronos nanosa (QSSmj); c) maksimalni mjesečni protok (QmjMAX); d) maksimalni mjesečni pronos nanosa (QSSmjMAX) na VS Podsused za razdoblje 1979-2012. Zvezdicom su označeni statistički značajni periodi.

Period (mjeseci)	Qmj	QSSmj	QmjMAX	QSSmjMAX
6	+	+	+	+
12	+	+	+	+
24-28	+	+	+	+
56	+	+	+	-

Primjena predložene valične analize omogućuju detekciju nestacionarnosti u vremenskim serijama, otvara mogućnost istraživanja utjecaja klimatskih i antropogenih promjena na protok i pronos nanosa te time omogućava dodatne informacije za bolje gospodarenje slivovima.

#### Literatura

- [1] Sang, Y.-F. A review on the applications of wavelet transform in hydrology time series analysis. *Atmospheric Research*, 122, 2013., pp. 8-15.
- [2] Torrence, C., Compo, G.P.: A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79,1998.,pp. 61-78.
- [3] Grinsted, A., Moore, J, Jevrejeva, S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11, 2004., pp. 561-566.
- [4] White, M. A., Schmidt, J. C, Topping, D. J. Application of wavelet analysis for monitoring the hydrologic effects of dam operation: Glen Canyon Dam and the Colorado River at Lees Ferry, Arizona. *River research and applications*, 21, 2005., pp.551-565.
- [5] Keener, V., Feyereisen, G., Lall, U., Jones, J., Bosch, D. & Lowrance, R. El-Niño/Southern Oscillation (ENSO) influences on monthly NO<sub>3</sub> load and concentration, stream flow and precipitation in the Little River Watershed, Tifton, Georgia (GA). *Journal of Hydrology*, 381, 2010., pp. 352-363.
- [6] Zhang, Q., Xu, C. Y., Chen, X., & Lu, X. Abrupt changes in the discharge and sediment load of the Pearl River, China. *Hydrological Processes*, 26(10), 2012., pp. 1495-1508.
- [7] Potočki, K.: Primjena valične transformacije u analizi hidroloških vremenskih serija, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2014.

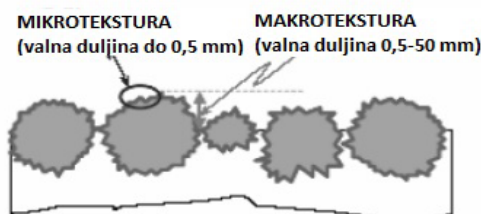
# PRELIMINARNA ISTRAŽIVANJA SVOJSTAVA HVATLJIVOSTI KOLNIČKE POVRŠINE MJERNIM UREĐAJIMA LABORATORIJA ZA PROMETNICE GRAĐEVINSKOG FAKULTETA U RIJECI

*Ivana Pranjić (ivana.pranjic@uniri.hr)*

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

Hvatljivost kolnih površina važna je karakteristika prometnica i značajno utječe na sigurnost prometa uz ostale projektne elemente koji prometnicu čine sigurnom i udobnom za vožnju. Problem nedovoljnog koeficijenta trenja odnosno otpora klizanju na prometnoj površini nerijetko je uzrok prometnih nesreća, najčešće u kombinaciji sa lošim uvjetima vožnje i nepravovremenom reakcijom vozača[1]. Identifikacija segmenata prometnica na kojima je hvatljivost između prometne površine i pneumatika vozila smanjena neophodan je korak u procesu istraživanja uzroka smanjenja hvatljivosti, te u iznalaženju mogućih rješenja ovog bitnog problema u cestogradnji.

Koeficijent trenja predstavlja omjer dviju sila koje se javljaju prilikom kretanja tijela po podlozi, sile trenja u smjeru suprotnom od smjera kretanja te vertikalne sile koja odgovara težini tijela koje se kreće[2]. Važnu ulogu u realizaciji koeficijenta trenja na kolniku ima velik broj čimbenika, koji se mogu svrstati u četiri osnovne skupine: svojstva površine kolnika, uvjeti vožnje, svojstva pneumatika i okolišni uvjeti[3]. Svojstva površine kolnika definirana su teksturom površine. Teksturu kolne površine karakteriziraju neravnosti različitih dimenzija prema kojima se razlikuju tri različita tipa teksture: mikrotekstura, makrotekstura i megatekstura[3]. Svojstva hvatljivosti kolničke površine uglavnom se karakteriziraju vrijednostima koje ovise o mikrotekturi odnosno makrotekturi (Slika 1.) Mikrotekstura je odgovorna za pojavu trenja između površine kolnika i pneumatika vozila pri malim brzinama, dok je makrotekstura odgovorna za trenje na velikim brzinama kao i za redukciju pojave hidroplaniranja[3]. Tekstura uvelike ovisi o svojstvima materijala kolne površine te načinu ugradnje. Kod asfaltnih površina koje su najčešće u primjeni na cestama u Republici Hrvatskoj, tekstura će tako ovisiti o svojstvima agregata (tipu agregata i maksimalnom zrnu), svojstvima veziva i svojstvima same asfaltnje mješavine koja se ugrađuje.



**Slika 2.** Shematski prikaz mikrotekture i makrotekture, preuzeto iz [3]

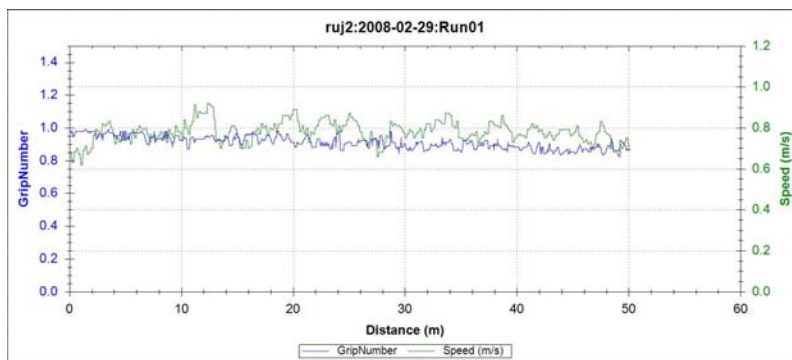
Laboratorij za prometnice Građevinskog fakulteta u Rijeci opremljen je različitim uređajima kojima je na izravan ili neizravan način moguće odrediti koliki se koeficijent trenja manifestira na ispitanoj prometnoj površini. Radi se o jednom statičkom uređaju za određivanje otpora klizanju - Skid Resistance Tester klatnu (SRT), dinamičkom uređaju za mjerenje otpora klizanju – Micro GripTesteru, te laserskom profilometru koji je dio opreme mjernog vozila a koji registrira makrotekturu samog kolnika. Svi navedeni uređaji nabavljeni su u sklopu europskog projekta „Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci“. Uređaji se međusobno razlikuju prema principu mjerenja određene veličine koja karakterizira hvatljivost površine kolnika, a koja se u konačnici može interpretirati na način da se iz rezultata istraživanja može jasno definirati u kakvom je stanju ispitani površinski sloj kolnika.

Preliminarna istraživanja provedena u siječnju i lipnju ove godine na nasumično odabranim dionicama prometnica različitih kategorija u Rijeci poslužila su za bolje razumijevanje načina na koji oprema funkcionira i mogućnosti usporedbe rezultata mjerenja u svrhu stvaranja korelacije između navedenih mjernih uređaja i što bolje interpretacije dobivenih rezultata.

Mjerenja u siječnju izvedena su na tri dionice prometnice Ž5025 (Rujevica-Marišćina) koja je u potpunosti izgrađena ali je u različitim fazama korištenja. Uz mjerne uređaje Laboratorija za prometnice, u mjerenju je sudjelovala i tvrtka Signalinea d.o.o. sa mjernim vozilom SAAB Friction Tester koji također registrira otpor klizanju na površini kolnika[4]. Oba mjerna uređaja Laboratorija za prometnice detektiraju otpor klizanju koji se pri određenoj brzini javlja na površini kolnika u mokrim uvjetima, SRT – broj i GN – broj (Slika 2).

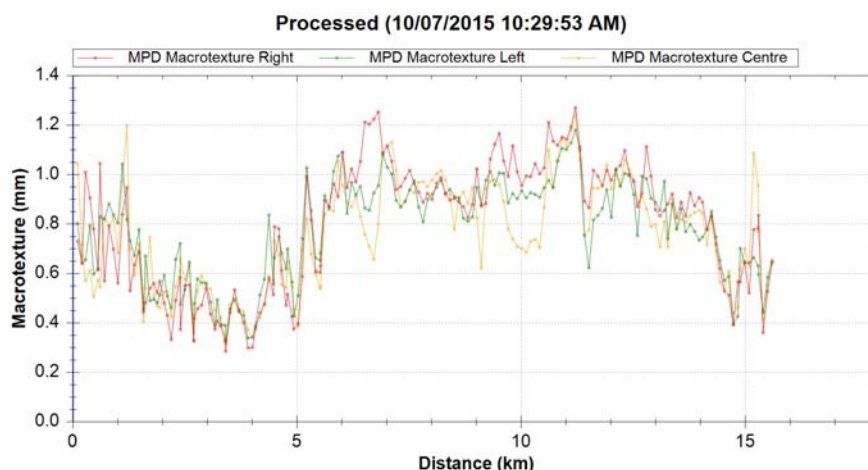
Oba navedena uređaja navedene rezultate daju na temelju izmjerenih vrijednosti mikroteksture, pošto se radi o uređajima kojima se mjerenje provodi pri malim brzinama.

Iz rezultata pokusnih mjerenja uočeno je da je moguće napraviti usporedbu između korištenih mjernih uređaja s obzirom na očekivane rezultate ovisno o karakteristikama svake od dionica ispitane prometnice. Dobiveni rezultati poslužili su samo kao orijentir te je potrebno provesti i dodatna mjerenja dionica kako bi se mogla uspostaviti jasno definirana korelacija između dobivenih rezultata.



**Slika 2.** Grafički prikaz rezultata mjerenja Micro Griptesterom, softver GripTester Run Viewer

Mjerenja u lipnju provedena su laserskim profilometrom na nekoliko prometnica različitih kategorija u Rijeci, uključujući i glavnu ulicu u strogom centru grada, riječku obilaznicu, prometnice oko Sveučilišnog Kampusu i druge. Rezultati mjerenja makroteksture interpretirani su kao Mean Profile Depth (MPD) vrijednost koja predstavlja indirektan podatak o koeficijentu trenja na površini kolnika putem registriranih vrijednosti makroteksture, pošto se mjerenje provodi pri većim brzinama (Slika 3.).



**Slika 3.** Grafički prikaz rezultata mjerenja makroteksture laserskim profilometrom; softver Hawkeye Processing Toolkit

Pokusna mjerenja daju uvid u mogućnosti ispitivanja postojećeg stanja kolne površine i međusobno povezivanje dobivenih rezultata u svrhu što cjelovitijeg opisa svojstava hvatljivosti postojećih prometnih površina. Buduća istraživanja tako bi obuhvatila sustavno mjerenje svojstava hvatljivosti na odabranim dionicama, koje bi uz praćenje drugih utjecajnih uvjeta prethodno navedenih u tekstu, kao i poznavanja svojstava ugrađenog asfalta, mogla doprinijeti razvoju i konkretizaciji modela trenja u lokalnim uvjetima.

#### Literatura

- [1] Wallman, C.G., Astrom, H.: *Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety*, A literature review; VTI meddelande 911A, Swedish National Road and Transport Research Institute, 2001.
- [2] Babić, B.: *Projektiranje kolničkih konstrukcija*, HDGI, Zagreb, 1997.
- [3] NCHRP Web-Only document 108: *Guide for Pavement Friction*, grupa autora, veljača 2009.
- [4] Krajina, M.: *Mjerenje koeficijenta trenja prije i nakon ohrapavljanja površine kolnika*, interni dokument Signalinea d.o.o., Rijeka, 2014.



# MJEŠOVITE METODE U ISTRAŽIVANJU SLOŽENOSTI U GRAĐEVINSKOJ INDUSTRIJI

*Josip Sertić (jsertic@grad.hr)*

*Sveučilište u Zagrebu; Građevinski fakultet; Zavod za organizaciju i ekonomku građenja*

U ovom radu prikazan je metodološki dizajn istraživanja složenosti u poslovanju građevinskih poduzeća (1). U istraživanju se koristi kombinacija kvantitativnih i kvalitativnih metode kako bi se odgovorila istraživačka pitanja. Takav pristup literatura prepoznaje kao mješovite metode (2, 3). Istraživanje se opisuje u svojoj provedbenoj fazi odnosno prikupljanju i obradi podataka.

Istraživanje složenosti u građevinarstvu interdisciplinarno je područje obzirom da je tu susreću teorija složenosti, upravljanja projektima, teorija organizacije i teorija resursa. Na temelju dosadašnje teorije složenosti razvijena je istraživačka matrica koja se koristi za kvalitativno prikupljanje podataka a uzima u obzir teorijske odlike složenosti i komponente sustava proizvodnje u građevinarstvu. To je također eksplorativni dio istraživanja obzirom da se varijable prikupljaju na organski način na uzorku od petnaest poduzeća i to šest poduzeća koja posluju na tržištu industrijske gradnje a devet koja posluju na tržištu niskogradnje. U ovom istraživanju, definiranje uzorka zahtijevalo je odabir objekata na način da uzorak omogućuje generalizaciju odnosno pouzdanost dok pripadnost poduzeća pojedinom tržištu predstavlja nezavisnu varijablu. Dinamična priroda razvoja poduzeća, te specifični institucionalni kontekst u kojem poduzeća posluju zahtijevalo je odabir poduzeća koja nadilaze institucionalne granice. Također, promjenjivost industrije i pripadni investicijski ciklusi uzrokovali su nestalnu ponudu poduzeća odnosno de facto poduzeća neprestano mijenjaju tržišta. Iz tog razloga potrebno je osigurati poduzeća sa stalnom aktivnosti na određenom tržištu kako bi se osvarila stabilnost uzorka. Na posljepku, presjek dvaju prethodnih skupova predstavlja izazov za istraživanje jer predmetna poduzeća nisu lako dostupna obzirom na geografsku lokaciju i kontakte istraživača. Dakle, legitimno je kao treći kriterij za odabir poduzeća u uzorku definirati dostupnost poduzeća. Prema navedenim kriterijima empirijski uzorak obuhvaća petnaest poduzeća i Austrije, Hrvatske, Nizozemske, Sjedinjenih Država, Francuske, Turske i Ujedinjenog Kraljevstva.

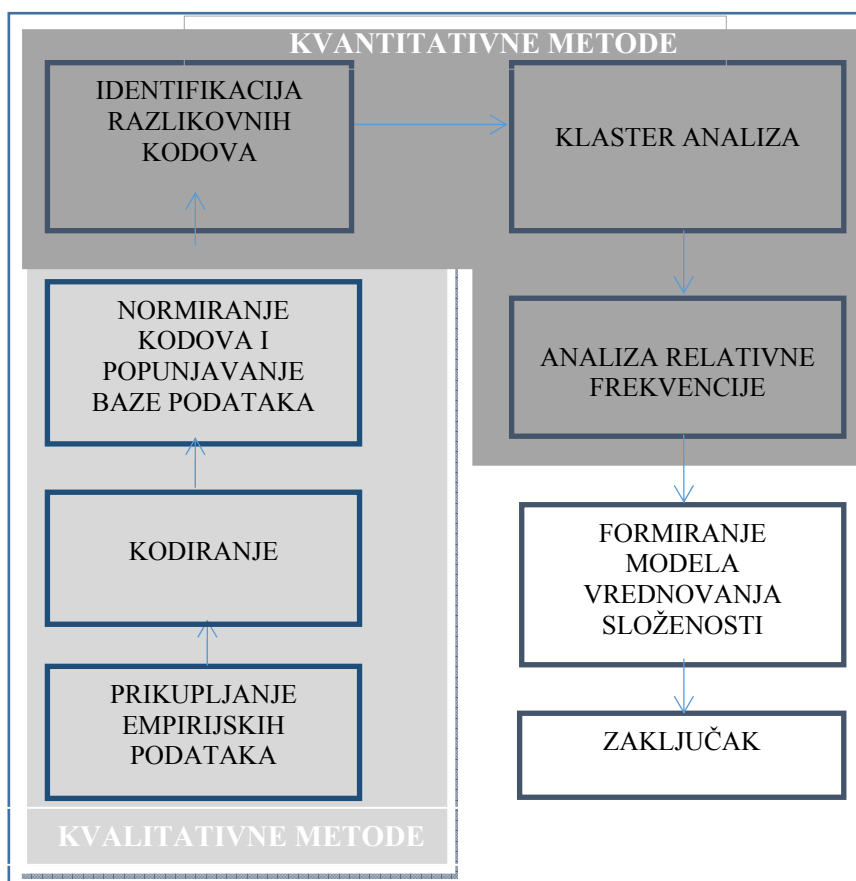
Prvi korak u realizaciji istraživanja je testno prikupljanje i obrada podataka. Na temelju testnog prikupljanja podataka, istraživač testira kvalitativne i kvantitativne metode te prilagođava empirijsku bazu analitičkim metodama. Također, u ovoj fazi pri izboru analitičkih metoda bitno je dobro testirati kompatibilnost podataka i analitičkog alata što je u ovom slučaju programskom paket Express Scribe i R. U ovom istraživanju vrši se tranzicija kvalitativnih podataka u kvantitativne kako bi se putem programskog paketa R moglo usprediti više objekata iz uzorka. Pri tome se koraci i kriteriji za tranziciju jasno opisuju kako bi istraživanje zadržalo validnost. Na temelju testnog prikupljanja podatak provodi se simulacija tranzicije kvalitativnih podataka u kvantitativne te se u plan istraživanja unose svi koraci potrebni za unificirani pristup obradi podataka.

Postupak prikupljanja podataka provodi otvorenim upitnikom temeljenom na istraživačkoj matrici. Podaci se prikupljaju direktnim kontaktom sa poduzećem koji se realizira kroz suradnju sa jednim ili više predstavnika poduzeća. Na temelju istraživačke matrice provodi se direktno prikupljanje podataka u poslovnom prostoru poduzeća. Prikupljanje i obrada podataka provodi se sistematično. Upitnik sa popratnim pitanjima poslan je ispitanicima najmanje 30 dana prije sastanka kako bi se ispitanici mogli pripremiti i prikupiti za istraživanje relevantne materijale i informacije. Ispitanici su odabrani prema kompetentnosti koja se zasniva na položaju u poduzeću i trajanju zaposlenja tj. poznavanju poduzeća, njegove organizacije, strategija, procedura, smjernica i problema na koje poduzeće nailazi u svome poslovanju u dužemu periodu. Istraživač i pojedinačni ispitanik zasebno prolaze kroz popis elemenata matrice i popratna pitanja. Pri tome se ispitanika ni vremenski ni tematski ne ograničava već istraživač pomaže utvrditi da li je ispitanik odgovorio na svaki element matrice ili razjašnjava eventualne nejasnoće. Samo prikupljanje podataka traje u prosjeku 180 minuta a koje se prikupljanje vrši zvučnim zapisom i popratnim pisanim materijalom.

Rezultat prikupljanja podataka opisanog u prethodnom poglavlju je 33 sata zvučnog zapisa te različite organizacijske sheme, pravilnici, smjernice, formulari i izvještaji u papirnatom obliku. Kako bi se provelo istraživanje nužno je empirijske podatke prilagoditi metodama analize. Prvi korak pri tome je postupak transkripcije koji rezultira sa ukupno 630 stranica teksta. Kvaliteta zvučnog zapisa omogućila je kvalitetan postupak izrade transkripta. Za izradu transkripta koristio se programski paket Express Scribe. Rezultat ovog postupka je baza nestrukturiranih i rasutih podataka. Sami mehanizma kontekstualiziran je za specifično

poduzeće u uzorku te je nerijetko više puta spomenut unutar samog transkripta. Na nestrukturiranim i rasutim podacima proveden je postupak ontološkog kodiranja<sup>1</sup>.

Po prikupljanju podataka provodi se kvalitativna metoda obrade podataka tzv ontološko kodiranje u kojem se izdvajaju varijable i.e. procesi, politike, prakse i rutine u poduzećima koje su relevantni za složenost poslovanja. Kodiranje se provodi tako da istraživač uočava i označava procese, politike ili rutine (organizacijske mehanizme nižega reda) koje odgovaraju elementima istraživačke matrice. Suština tog postupka je izdvajanje organizacijskih mehanizama iz transkripta te pridruživanje određenog koda istom mehanizmu. Kako bi mogli krenuti u analizu prikupljenih empirijskih podataka potrebno je ostvariti cjelovitu bazu sa informacijama o svim mehanizmima u svim poduzećima. To se postiže postupkom standardizacije i popunjavanja. Prvi po redu se provodi postupak standardizacije. U postupku kodiranja mnogi kodovi koji proizlaze iz različitih poduzeća se odnose na iste mehanizme. Prema tome, bitno je provesti standardizaciju odnosno uvesti standardni kod i pripadni standardni opis mehanizma. Tom se kodu pridodaju vrijednosti svih kodova iz cijelog uzorka. Validnost ovog koraka ostvaruje se u suradnji sa ispitanicima te se mjeri Cohenova Kappa kojom se vrednuje interna validnost kodiranja a koja u ovom istraživanju iznosi 0,78. Postupak standardizacije slijedi postupak popunjavanja baze. Pri prikupljanju podataka, poduzeće je, zbog otvorenoga načina prikupljanja podataka prikazalo vlastite mehanizme u odnosu na istraživačku matricu međutim izostali su mehanizmi koje je definiralo drugo poduzeća što je u bazi stvorilo nedostatak podataka. Stoga se u suradnji sa ispitanicima provodi popunjavanje podatkovnih rupa. Time je okončano prikupljanje i kvalitativna obrada empirijskih podataka.



**Slika 1.** Hodogram istraživanja u kojem se koriste mješovite metode

Da bi se ostvario cilj ovoga istraživanja i provela analiza prikupljenih podataka, kao najprikladnija se pokazala binarna baza. Stoga se baza transformira tako da se umjesto samog koda u bazu opisuje vrijednost 1 ukoliko je mehanizam prisutan ili 0 ukoliko mehanizam nije prisutan u određenom poduzeću. Dakle, kodovi (kao metapodaci) se u bazi pretvaraju u binarni oblik. Pri tome se gubi poveznica s samom lokacijom koda iz transkripta a zadržava se veza mehanizma sa poduzećem. U ovom trenutku istraživanje iz kvalitativnog prelazi u kvantitativno.

<sup>1</sup> Ontološko kodiranje odnosi se na postupak bilježenja postojanja određenih mehanizama na temelju transkripta i ostalih prikupljenih dokaza.

U analizi empirijskih kodova provedena je analiza učestalosti svakog koda pojedinačno. Kodovi koji su se u uzorku od 15 poduzeća pojavljuju 12 ili više puta, tj. u više od 80% uzorka nazivaju se općim kodovima. Mehanizme takvih kodova zovemo općim mehanizmima složenosti jer su značajno prisutni u uzroku bez obzira na orijentaciju poduzeća prema određenom tržištu. S druge strane kodovi koji se pojavljuju u uzorku 3 ili manje puta, odnosno manje od 20 % uzorka, nazivaju se slabim kodovima. Učestalost tih kodova povezana je s jedinstvenošću svakoga poduzeća u uzorku, no njihova statistička važnost je mala i zbog toga nisu adekvatni za korištenje u daljnjoj analizi. Kodovi između 20 i 80% pojave u uzorku zovemo razlikovnim kodovima.

Obzirom da je empirijska baza skup nepovezanih varijabli koje karakteriziraju poduzeća u uzorku, za daljnju analizu je odabrana i u sljedećem poglavlju opisana klaster analiza. Klaster-analiza statistička je metoda kojom se u uzorku odvajaju objekti na temelju više varijabli (Hair et al., 2010.) odnosno provodi grupiranje objekata na temelju njihovih svojstava. Dakle, predmet klaster-analize u ovom slučaju su poduzeća kao statistički objekti, njihova pripadnost klasteru predstavlja zavisnu varijablu, a njihova se svojstva definiraju poliktikama procesim i smjernicama kao čimbenicima zavisne varijablame. Svojstva objekata u klaster-analizi su varijable koje ne moraju biti u odnosu jedna s drugom. Upravo takav pristup omogućuje robusnost u metodološkome pristupanju problemu složenosti u kojemu mehanizmi složenosti posjeduju različite funkcije te imaju različitu postojanost i opseg djelovanja u poduzeću. Na temelju nepovezanih varijabli nastoji se uzorak (populacija poduzeća) odvojiti tako da se istakne ukupna međusobna sličnost odnosno različitost objekata.

Kako bi ostvarili kvalitetnu analizu baze klaster analizom bitno je provesti precizan odabir podataka s obzirom na to da uključivanje nebitnih podataka može segmentaciju učiniti nekvalitetnom. Upravo se zato radi strukturiranja baze, kako bi u klaster analizu usli podaci koji su relevantni za istraživanje te koji neće dati krivu sliku stanja stvari. Prema tome kodovi koji se pojavljuju između 20 % i 80 % razlikovni su kodovi te se na njima provodi daljnja analiza. To se ostvaruje tako da se kao nezavisna varijabla vrednuje orijentacija određenom tržištu odnosno pripadnost grupi industrijske gradnje ili niskogradnje. To je u skladu s metodom klaster analize u kojoj istraživač sam odabire bitne varijable za koje smatra da će dobro odvojiti bazu podataka. Time se smanjuje broj varijabli u analizi te je veća vjerojatnost jasnijeg rezultata, skupine su stabilnije, a time je uspješnost klaster-analize veća.

Kako bi se postigao cilj istraživanja, koriste se metode koje omogućuju analizu empirijske baze od 151 varijable. Pri tome se, kao što je istaknuto u prethodnom odlomku koriste samo razlikovni kodovi. Također, bitno je naglasiti da predmet analize nije međusoban odnos varijabli unutar sebe već poduzeća kao statističkih objekata u populaciji. Klaster analizom 151 varijable na robustan način se testiraju hipoteze. Daljnjom analizom relativne frekvencije organizacijskih mehanizama testiraju se preostale hipoteze te se razvija model vrednovanja složenosti kao osnovni cilj ovog istraživanja.

U ovom radu prikazana je metodološka logika korištenja mješovitih metoda pomoću koje je istražen fenomen složenosti u poslovanju poduzeća u građevinarstvu.

#### *Literatura*

- [1] Sertić, J.: Model vrednovanja tehnološke organizacijske i institucionalne složenosti u građevinarstvu, disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2015.
- [2] Brewer, J., & Hunter, A. (2006). Foundations of multimethod research: Synthesizing styles. Thousand Oaks, CA: Sage.
- [3] Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2011). Designing and conducting mixed methods research. Los Angeles, CA: Sage.



# CEMENT STABILIZATION IMPACT ON UNCONFINED COMPRESSION STRENGTH OF SANDY SOIL

**Bojan Susinov (susinov@gf.ukim.edu.mk)**

*Ss. Cyril and Methodius University - Skopje; Faculty of civil Engineering; Department for geotechnics*

Before every design process begins, site investigations take place in order to understand characteristics of subsoil. Soil stabilization and modification is widely used technique to improve soils which should meet the requirements for engineering constructions. Several materials can be used as soil stabilizing additives such as: cement, lime, fly ash and their mixtures. Not only the physical and mechanical properties, but also strength and resilient properties can be improved through chemical stabilization.

This investigation shows the benefits of cement stabilization as a method for soil improvement to stabilize sandy soils (Susinov, 2014). The main goal is to determine the improvements for cement in varying percentages and different curing periods. The laboratory tests of both treated and untreated soil are focused mainly on the strength parameters through unconfined compression strength (UCS) tests. Before that, the laboratory investigations for optimum moisture and cement content, preparing and curing samples under controlled conditions were carried out.

The natural soil was collected from stored material from excavation and delivered to laboratory. The soil samples were subjected to laboratory testing to obtain the grain size distribution, compaction and strength characteristics according to domestic standards. A summary of physical and mechanical properties of the tested natural soil is presented in table 1. Based on the Unified Soil Classification System (USCS) the soil is gravely sand with silt (SF), and soil group A-2-4 (0) according to the AASHTO classification system.

**Table 1.** Physical properties of natural soil

Property	Values, description	Property	Values, description
Natural Colour	Yellowish brown	OMC $\omega_{opt}$ [%]	9.0
Sand content [%]	54.0	MDD $\gamma_{d,max}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20.1
Silt content	18.0	CBR [%]	20.0
Clay content ( $d < 2\mu\text{m}$ ) [%]	2.0	AASHTO Class. System (GI)	A-2-4 (0)
Plasticity Index $I_p$ [%]	2.0	USCS	SF

According to AASHTO classification system and their recommendation for Portland cement content depending on soil group, the stabilized samples were prepared with cement content from 5 to 9% with respect to dry weight of soil (Office of geotechnical engineering – Indianapolis, 2008). AASHTO recommended minimum amount of 4%, but the engineers always adopt higher amount due to wind losses.

To determine the reactivity and the strength of the soil for the cement stabilization, specimens with dimensions of  $D/H=72/143$  (Figure 1) are prepared at the optimum moisture content and maximum dry density. Specimens were divided into two sets, each consist of two with same cement content and cured for 7 days at constant temperature (23°C) in the laboratory and then tested to obtain the UCS. Additionally, an identical set of replicate samples is tested with capillary soak to evaluate the effect of moisture conditioning. After the preparation and before the testing procedures, the weight of the samples is measured in order to obtain moisture loss data during the curing and/or soaking period. Also, all the specimens exposed to soaking were monitored to evaluate the swelling potential.



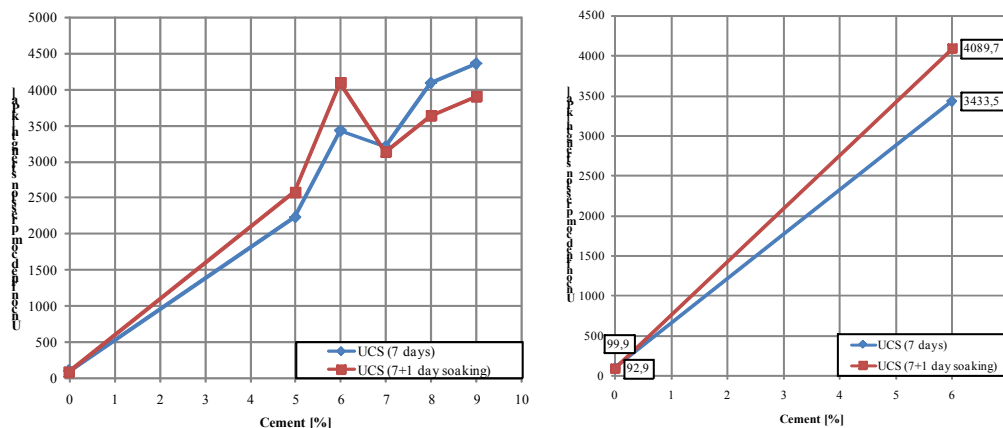
**Figure 1.** Specimens preparation, curing, soaking and testing

Most of the specimens are tested with the apparatus for triaxial soil testing without cell pressure. Also, some of them are tested with compression machine (deformation is not measured – „/“ in table 2) to observe the differences from the testing equipment and methods. All the specimens were tested to failure to obtain the maximal normal stress and deformation.

**Table 2.** Physical properties of natural soil

Sample Name (cement content/No. of sample/curing period/soaking period)	Maximal Normal Stress $\sigma_{max}$ [kPa]	Maximal Deformatio n $\epsilon$ [%]	Sample Name (cement content/No. of sample/curing period/soaking period)	Maximal Normal Stress $\sigma_{max}$ [kPa]	Maximal Deformatio n $\epsilon$ [%]
0.1.7	105.0	2.31	7.1.7	3221.8	1.15
0.2.7	94.7	2.52	7.2.7	3200.3	1.15
0.1.7+1	97.7	2.03	7.1.7+1	3074.4	1.75
0.2.7+1	88.0	2.24	7.2.7+1	3200.0	/
5.1.7	2247.4	1.96	8.1.7	4119.6	1.19
5.2.7	2213.6	1.68	8.2.7	4059.8	0.94
5.1.7+1	2259.8	1.15	8.1.7+1	3924.8	1.15
5.2.7+1	2900.0	/	8.2.7+1	3338.9	0.98
6.1.7	3551.8	1.54	9.1.7	4221.3	1.36
6.2.7	3315.2	1.29	9.2.7	4500.0	/
6.1.7+1	4119.6	1.19	9.1.7+1	4004.3	1.06
6.2.7+1	4059.8	0.94	9.2.7+1	3800.0	/

The results from this investigation and monitoring show that the unstabilized specimens change (increase) their volume in the first third of the high when they are exposed to soaking. No change in volume is registered for stabilized specimens. An average value from two identical specimens for UCS and deformation is adopted for analysis and presented in Figure 2.

**Figure 2.** Effect of cement content on UCS for different conditions

By comparing UCS of soil – cement specimens cured 7 days at 23°C, it is seen that UCS increases as the cement content increases. As the cement content increases from 6 to 7 %, the UCS decreases (6.9%). In general, the further addition of cement does not affect the UCS drastically.

When the specimens with 5 and 6 % cement are exposed to soaking, the UCS increases for 15.6 and 19.1% respectively. This means that specimens exposed to soaking for 24 hours have higher UCS, so additional wetting during the curing period is recommended. In such case, the specimens with 7,8 and 9% cement show lower UCS in comparison with the specimens which are not exposed to soaking (2.3%, 12.6% and 11.7% respectively). Additional comparison is made for specimens with 0 and 6 % cement to obtain the improvement between these samples. The results presented in Figure 2 show significant improvements.

Having in mind the findings from the laboratory testing on UCS, it is seen that only 5 % of cement is enough to stabilize such type of soil. But because of cement loss due to wind and by taking into account the eventual inadequate mixing and curing field condition, it is recommended to adopt higher cement content.

#### Literature

- [1] Susinov, B.: Report from performed laboratory testing and investigation to obtain the optimal cement content for soil stabilization in the industrial zone of Veles, Faculty of civil engineering, Skopje, 2014.
- [2] Design procedures for soil modification or stabilization, Production division, Office of geotechnical Engineering, Indianapolis, 2008.

# LEVENBERG-MARQUARDT ALGORITAM ZA TRENIRANJE UMJETNIH NEURONSKIH MREŽA

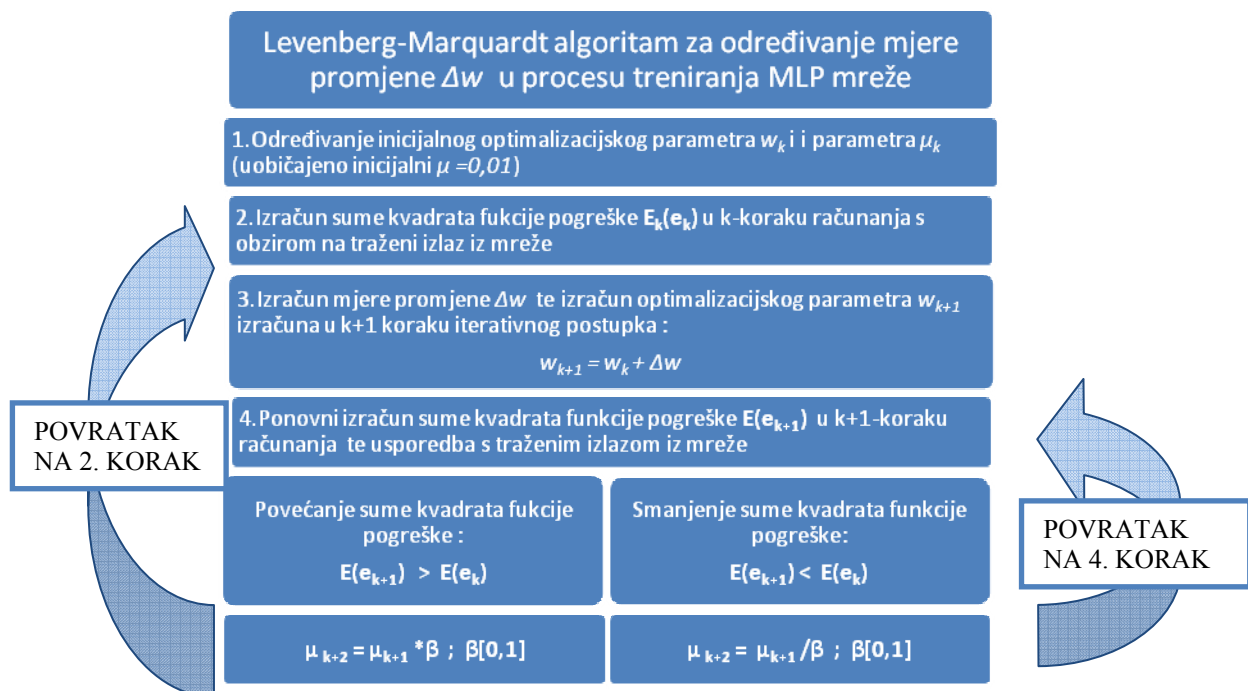
Ivana Sušanj (e-mail)

Sveučilište u Rijeci; Građevinski fakultet; Katedra za hidrotehniku

Unutar ovog rada biti će opisan Levenberg-Marquardt (LM) algoritam za rješavanje nelinearnog problema najmanjih kvadrata koja svoju primjenu ima pri treniranju umjetnih neuronskih mreža. Spomenuta metoda kombinacija je Gauss-Newton (GN) algoritma te algoritma greške unatrag (error backpropagation, BP).

LM algoritam je posebno razvijen za potrebe treniranja umjetnih neuronskih mreža kao što je višeslojni perceptron (Multti Layered Perceptron, MLP) te je njegova primjena u različitim strukama vrlo raširena. Primjena ovoga algoritma unutar Hidrologije je poznata no ne i široko korištena vjerojatno zbog njegove kompleksnosti te težnje većine znanstvenika prema detaljnom matematičkom opisu hidroloških procesa prilikom čega se neuronske mreže, koje su u naravi modeli takozvane crne kutije, u pravilu zaobilaze zbog nedostatka terenskih mjerenja.

Treniranje neuronskih mreža može se opisati kao korekcija parametara neuronske mreže kako bi kroz odgovarajući broj iteracija dala željeni odziv. Korekcijski parametri predstavljaju pragove odlučivanja svakog neurona te težinske koeficijente koji predstavljaju jačinu neuronskih veza. Postupak treniranja mreže može se dakle opisati kao iterativni postupak podešavanja parametara mreže koji se odvijaju prema određenom algoritmu pritom minimalizirajući pogrešku prema odzivu. Algoritmi za optimalizaciju parametara mreže su dio iterativnog postupka a proces treniranja samog LM algoritma može se ilustrirati kroz korake postupka koji je prikazan na Slici 1.



Slika 1. Koraci postupka primjene LM algoritma u treniranju MLP mreže

LM algoritam prema izrazu (1) temelji se na Gauss-Newton-ovoj (GN) metodi, odnosno njezin je poseban slučaj a nastajekada u Gauss-Newton-ovoj metodizamijenimo Hessian matricus Jakobijan matricom koja se sastoji od prvih derivacija vektora pogreške po podesivim parametrima mreže te dodavanjem parametra  $\mu$  koji upravlja povećanjem ili smanjenjem sume kvadrata funkcije pogreške  $E(e)$ .

$$w_{k+1} = w_k - (J^T * J + \mu * I)^{-1} * J^T * e$$

(1)

Gdje je:

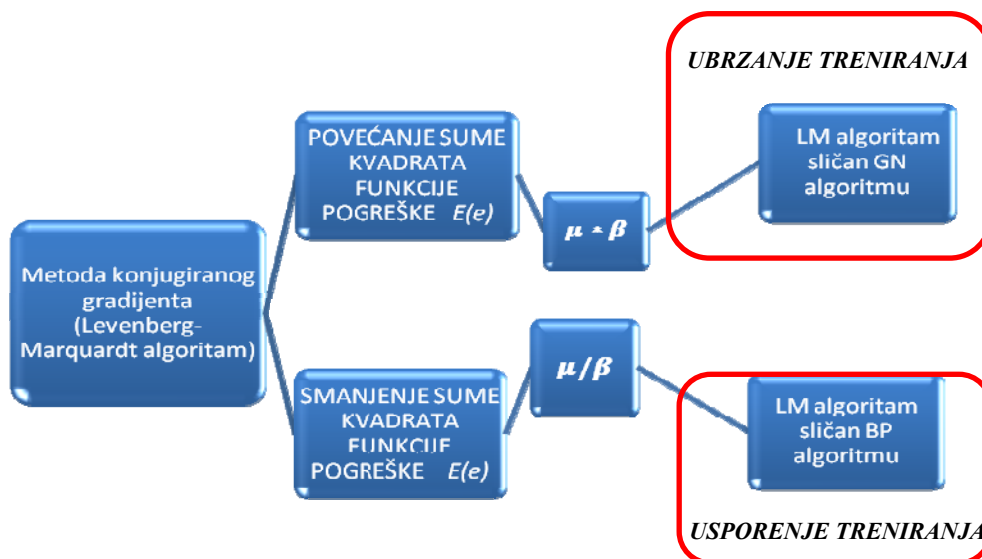
- $w_{k+1}$  – Optimalizacijski parametar u  $k + 1$  koraku iterativnog postupka  
 $w_k$  – Optimalizacijski parametar u  $k$  – tom koraku iterativnog postupka  
 $J^T$  – Transponirana Jakobijeva matrica  
 $J$  – Prva derivacija vektora pogreške po podestviti parametrima mreže  
 $\mu$  – Parametar povećanja ili smanjenja funkcije pogreške  
 $I$  – Jedinичna matrica  
 $e$  – Vektor pogreške

Kako bi se upravljalo povećanjem ili smanjenjem sume kvadrata funkcije pogreške  $E(e)$  prikazanim u izrazu (2) parametar  $\mu$  se množi odnosno dijeli s faktorom konstantnog iznosa (na primjer  $\beta$  u granicama  $[0,1]$ ) dok samo povećanje ili smanjenje parametra  $\mu$  definira i promjenu LM algoritma prema BP algoritmu ili prema GN algoritmu [5]. Tako za smanjenje parametra  $\mu$  LM algoritam postaje sve sličniji Gauss-Newton-ovom algoritmu, dok pri rastu parametra postaje sve sličniji algoritmu propagacije unatrag. Promjena LM algoritma ovisno o parametru  $\mu$  prikazana je na Slici 2.

$$E(e) = \sum_{k=1}^n (e_k)^2 \quad (2)$$

Gdje je:

- $E(e)$  – Suma kvadrata funkcije pogreške  
 $e_k$  – Pogreška MLP mreže u  $k$  – tom koraku



Slika 2. Promjena LM algoritma s obzirom na promjenu parametra  $\mu$

Mogućnosti LM algoritma su vrlo velike s obzirom na njegovu točnost i mogućnost konvergencije različitim nelinearnim problemima. S obzirom na druge algoritme koji se koriste za treniranje umjetnih neuronskih mreža, LM algoritam zobilazi računanje Hessian matrice upotrebom Jacobijan matrice koja uvelike olakšava računanje parametara treniranja unutar neuronske mreže što dovodi do strahovitog ubrzanja rada neuronske mreže, odnosno ubrzanja procesa učenja. Ubrzanje procesa učenja umjetne neuronske mreže i njene mogućnosti dakako otvaraju mogućnosti ka širokoj primjeni neuralnih mreža na području hidrologije.

#### Literatura

- [1] Haykin, S.: *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Pearson Education INC., Singapur, Singapur, 1999.
- [2] Matić, P.: *Kratkoročno predviđanje hidrološkog dotoka pomoću umjetne neuronske mreže*, disertacija, Sveučilište u Splitu, Fakultet Elektrotehnike strojarstva i brodogradnje, Split, 2014.
- [3] Abraham, R.J., Kneale, P.E., See, L.M.: *Neural networks for hydrological modelling*, Taylor & Francis Group plc, London, U.K.: 2004.

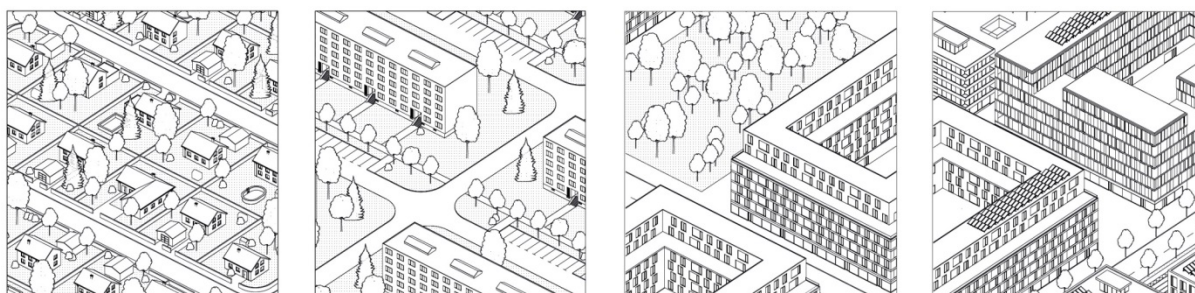


# INSOLATION OF THE BUILDING ENVELOPE AS A CRITERION OF ENERGY EFFICIENT HOUSING DEVELOPMENT

**Nataša Šprah** ([natasa.sprah@um.si](mailto:natasa.sprah@um.si))

University of Maribor; Faculty of Civil Engineering, Transportation Engineering and Architecture; Chair of Architecture

The requirements for reducing energy consumption and enhancing the use of renewable energy resources lead to conflicting tendencies in the planning of sustainable forms of housing. On the one hand, high densities of the built area enable the preservation of green spaces, the reduction of energy consumption due to shorter journeys and a reduction in the amount of necessary infrastructure. On the other hand, high densities cause a reduction in solar incidence on the buildings' envelopes as a consequence of mutual shading, thereby reducing access to the most universally accessible energy source – the sun (Figure 1).



**Figure 1.** Building density and insolation (image Jernej Borko)

Source: [online] URL: <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=47502&lang=slv> (accessed 20th June 2015).

Insolation of buildings has always been an important part of urban planning. The requirement of introducing direct sunlight into living quarters originated from sanitary requirements and the need for light and warmth. At the beginning of the 20<sup>th</sup> century, research of insolation focused on street profiles. Later, modern urban design with its linear building blocks introduced building density as one of the more important criteria. In Slovenia, the influence of modernistic urban design principles regarding housing design was prominent until the 1980s. Since 1988, insolation has been regulated by the *Obligatory instructions on minimum sanitary and technical requirements*. These encouraged the rule of good practice in the form of a minimum required duration of insolation within living spaces [1]. In 2010, the new Slovenian Rules on efficient usage of energy in buildings [2], supported by the Technical Guidelines, TSG-1-004:2010 — Efficient energy use [3], were introduced as a consequence of an EU 2007 20–20–20% energy package [4] that targets 20–20–20% reduction of energy consumption and greenhouse gas emissions, and increased share of renewables by 2020. They are intended for introducing more Passive Solar Architecture features as well as PV and SC systems into existing building practice in order to approach EU goals. TSG4 requires that the “collecting area” of a building (1m above the ground) has to be insolated for a minimum of two hours on the 21st December (winter solstice), for at least four hours on the equinoxes on the 21st March and 21st September and a minimum of six hours on the 21st June (summer solstice). The difficulty is that compliance with the requirements of TSG4 is not verified when building permits are issued, thereby leaving the decision of fulfilling them in the hands of the architect. The research shows that some high density developments – mostly new ones – do not fulfil them [1].

Research into building insolation and density started with modern architecture and has continued ever since. Computer tools were first used for them in the 1970s – Lionel March [5] used them to calculate insolation of buildings in a variety of urban forms. In the 1980s, the ‘shadow footprints’ method was used to assist with site layout, where isocontours corresponding to direct solar energy transmission loss through vertical façades are drawn around different block shapes and sizes. At the Faculty of Civil and Geodetic Engineering, University of Ljubljana, a software named *Shadow* that automatically calculates ground contours, expressed as percentages relative to unobstructed values, was developed by Krainer and Kunič [6]. Today, there are a variety of computer programs that perform parametric analyses of building insolation and enable a comparison of different building forms and urban layouts in the early stages of planning and energy gains in the later ones: Ecotect, Radiance, Polysun, PVSol, DAYSIM... [7]. In research, 3D CAD models are still widely used in the first stage of estimating the solar potentials of smaller areas and hypothetical building configurations [8], [9], [10].

Our research explores the relationship between the insolation of a residential building's envelope, the building's shape and the housing development's density and layout. It is still at the initial stage – we are as yet exploring a variety of indicators for building density and other parameters that have an influence on the optimal insolation of buildings according to their shapes and the group's layout. We will create a list of criteria and choose different housing developments for the analytical part of the research by them. The analysis will include calculating the insolation of the buildings' envelope that will be conducted with the help of 3D models – first of the chosen existing housing developments and later of optimised hypothetical ones, in which we will try to enhance the insolation by changing different parameters. The goal of our research is to create a system of indicators for determining and controlling the densities and morphologies of the grouping layouts and the shapes and envelopes of the building. This system could be directly used by architects and urban planners and thus represent a tool for planning energy-efficient and self-sufficient housing developments.

*References:*

- [1] Košir, M., Guedi Capeluto, I., Krainer, A., Kristl, Ž.: Solar potential in existing urban layouts – Critical overview of the existing building stock in Slovenian context, *Energy Policy*, Vol. 69, 2014., pp. 443-456.
- [2] PURES 2010, Rules on efficient use of energy in buildings, *Off. J. Republ. Slovenia*, No.52/2010.
- [3] TSG4: Technical Guidelines, TSG-1-004:2010—Efficient Energy Use. *Ministry of the Environment and Spatial Planning*, Republic of Slovenia, 2010.
- [4] LGCC: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Limiting Global Climate Change to 2 °C, *The Way Ahead for 2020 and Beyond*, COM (2007) 2 final, 2007.
- [5] Martin, L. (ed.), March, L. (ed.): *Urban Space and Structures*, Cambridge, Cambridge University Press, 1972.
- [6] Kunič, R.: Računalniški program za analizo osonečenja objektov in naravne osvetlitve prostorov, Master's thesis. University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, 1990.
- [7] Kanters, J., Horvat, M., Dubois, M. C.: Tools and methods used by architects for solar design, *Energy and Buildings*, Vol. 68, 2014., pp. 721-731.
- [8] Cheng, V., Steemers, K., Montavon, M., Compagnon, R.: Urban form, density and solar potential – Proceedings of the 23rd Conference on PLEA, Geneva, Switzerland, 2006., pp. 701-706.
- [9] Hachem, C., Athienitis, A., Fazio, P.: Investigation of solar potential of housing units in different neighborhood designs, *Energy and Buildings*, Vol. 43, 2011., pp. 2262-2273.
- [10] Kanters, J., Horvat, M.: Solar energy as a design parameter in urban planning, *Energy Procedia*, Vol. 30, 2012., pp. 1143-1152.

# **ZELENA INFRASTRUKRA – ALTERNATIVNI NAČIN ZBRINJAVANJA OBORINSKIH VODA KAO ALAT U SMANJENJU VISOKIH TEMPERATURA URBANIH PODRUČJA**

**Željko Šreng** ([zsreng@gfos.hr](mailto:zsreng@gfos.hr))

*Sveučilište J.J.Strossmayer, Osijek; Građevinski fakultet; Hidrotehnika*

Opće je poznato da je konvencionalni način projektiranja odvodnje ponajviše uvjetovan oborinskom vodom, tj. veličinom maksimalnog otjecanja s promatranog sliva.

Pretpostavke i pojednostavljenja realnih uvjeta, kao što je uprosječivanje intenziteta kiše kod dimenzioniranja, nikako ne idu u prilog determinističkom načinu rješavanja problema kojem stručnjaci trebaju težiti. No, najveći problem leži u tome što se izgradnjom komunalne infrastrukture te skupljanjem vode na jednom mjestu i ispuštanjem na drugom, u vidu točkastog izvora, utječe na vodnu bilancu promatranog sliva mijenjajući tako njegove ekološke i hidrološke uvjete.

Sve češća plavljenja kanalizacijskih sustava uzrokovana poddimenzioniranjem, neodržavanjem i konačno dotrajalošću samih sustava ukazuju na potrebu za novim, alternativnim rješenjima u procesu upravljanja oborinskim vodama.

Iz tog se razloga razvio pristup zbrinjavanju i odvodnji oborinskih voda usmjeren na ekološki prihvatljiv i održiv način. Australski „Water Sensitive Urban Design“, američki „Low Impact Development“ i „Sustainable Urban Drainage System“ porijeklom iz Ujedinjenog Kraljevstva predstavljaju mehanizme za provođenje planova, radnji i ciljeva zbrinjavanja oborinskih voda i očuvanja prirodnih značajki krajolika. Temelj svake od njih je adaptacija prikladnih najboljih praksi planiranja i najboljih upravljačkih praksi, uz čiju će se pomoć ostvariti cilj, a to je vraćanje i održavanje pred-razvojnih uvjeta na slivu te utjecaj na ugodnost življenja i održivost.

Tehnike korištene u adaptaciji ovih mehanizama koje ujedno predstavljaju i najbolje upravljačke prakse su između ostalog pješčani filtri, umjetne močvare, bioretencijski bazeni, infiltracijski sistemi, propusni kolnici, sedimentni bazeni, zeleni krovovi i vrtovi. Sve one utječu na smanjenje volumena i maksimuma otjecanja bilo kroz retenciranje, infiltraciju ili smanjenje brzine otjecanja.

Ovakva filozofija zbrinjavanja oborinskih voda predstavlja veliki doprinos održivom razvoju. Pitka voda i njena dostupnost predstavlja sve veću prepreku u razvoju mnogih zemalja. Detaljnom analizom demografskih, geomehaničkih, hidroloških i klimatskih podloga analiziranog područja, te uz pomoć ranijih istraživanja i literature moguće je zadovoljiti zahtjevima potrošnje pitke vode. Skupljanje oborinske vode i njeno ponovno korištenje, npr. za potrebe navodnjavanja, može uvelike utjecati na smanjenje eksploatacijskih količina vode.

Osim kvantitativnih, utjecaj je velikih i na kvalitativne vrijednosti. Adaptacija najboljih upravljačkih praksi povlači za sobom neminovan utjecaj na okoliš.

Tako se javlja još jedan doprinos ovog alternativnog načina zbrinjavanja oborinskih voda, a to je utjecaj na mikroklimu analiziranog područja, koji u vremenu okarakteriziranom brojnim društvenim, socijalnim, ali i klimatskim promjenama, predstavlja koristan alat prilikom prilagodbe na njih, jednostavno nazvan Zelena infrastruktura.

Vezom Zelene infrastrukture i klime cijela priča dobiva puno veći značaj, a pred znanstvenike, inženjere, hidrologe, hidrauličare, arhitekta, geologe, agronome i javnost stavlja odgovornost istraživanja i adaptacije spomenutih mehanizama.

Trenutno se u svijetu provode istraživanja o utjecaju Zelene infrasturke na tzv. ljudsku toplinsku ugodnost (engl. Human Thermal Comfort).

Cilj ovog rada je analizirati i prikazati metodologiju planiranja i adaptiranja Zelene infrastrukture, njene mogućnosti i potencijal, ali i rizik u održanju pred-razvojnih uvjeta na slivu i utjecaju na smanjenje prizemne temperature na razini mikroklimе.

**Ključne riječi:** Zelena infrastruktura, oborinska voda, otjecanje, najbolje upravljačke prakse, temperatura, ljudska toplinska ugodnost (HTC)



# PRIMJENA EKSPERIMENTALNE METODE ODREĐIVANJA KOEFICIJENTA PROLASKA TOPLINE

*Mihaela Teni (mteni@gfos.hr)*

*Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku; Građevinski fakultet Osijek; Katedra za organizaciju i tehnologiju građenja*

Sektor zgradarstva koji čini oko 40 % ukupne potrošnje energije u Europskoj Uniji i koji se neprestano širi predstavlja veliki potencijal za povećanje energetske učinkovitosti [1]. Jedna od mjera povećanja učinkovite potrošnje energije postojećih zgrada koje troše navedenu količinu energije jest obnova odnosno rekonstrukcija postojećih zgrada zadovoljavanjem minimalnih zahtjeva energetske učinkovitosti određenih Propisom [2]. Kod postojećih građevina, a posebno kod povijesnih građevina se međutim javlja sljedeći problem – toplinska svojstva se vrednuju istim kriterijima i metodama koje se koriste i za nove zgrade - zbog ograničenih informacija o primijenjenim materijalima i načinima izvedbe postojećih zgrada [3]. Upravo zbog navedenog istraživanje je usmjereno na razvoj i nadogradnju postojećih metodologija vrednovanja toplinskih svojstava postojećih zgrada nerazornim metodama ispitivanja toplinskih svojstava kako bi se s jedne strane omogućila troškovno učinkovita obnova, a s druge strane ostvarili propisani uvjeti prilikom rekonstrukcije.

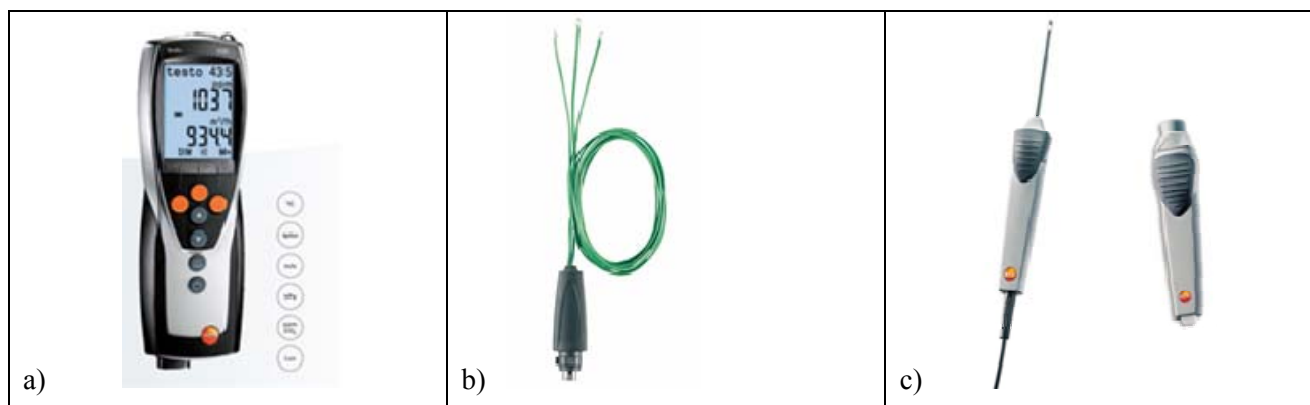
Najvažniji čimbenik koji se koristi za opisivanje toplinskih svojstava zgrada, a time i ukupne energetske učinkovitosti neke zgrade je koeficijent prolaska topline ( $U$  vrijednost) [3]. Veličina koeficijenta prolaska topline građevnih dijelova može se utvrditi osim proračunskom metodom korištenjem nerazornih metoda ispitivanja. Najčešće korištene nerazorne metode ispitivanja koeficijenta prolaska topline su infracrvena termografija i in situ mjerenje koeficijenta prolaska topline. Ove se metode koriste naročito kada nema podataka o toplinskim svojstvima građevnih dijelova, njihovim slojevima i debljinama pojedinih slojeva [4]. Kako bi se uspostavila veza postojećih eksperimentalnih metoda i proračunskih metoda za određivanje koeficijenta prolaska topline ( $U$  vrijednosti) napravljena je usporedba rezultata dobivenih proračunskom metodom i in situ mjerenjem za dva zida poznatih slojeva i njihovih debljina. Karakteristike analiziranih zidova prikazane su u Tablici 1.

**Tablica 1.** Karakteristike mjerenih zidova

Oznaka	Slojevi zida	Debljina pojedinog sloja [cm]	Ukupna debljina zida [cm]
ZID 1	Akrilna žbuka	1,00	31,00
	Šuplja blok opeka	29,00	
	Vapneno cementna žbuka	1,00	
ZID 2	Vapneno cementna žbuka	2,00	33,00
	Puna opeka	29,00	
	Vapneno cementna žbuka	2,00	

Proračunske vrijednosti koeficijenta prolaska topline određene su prema normi HRN EN ISO 6946:2008 na temelju poznatih debljina slojeva te koeficijenta toplinske provodljivosti očitanih iz Priloga C Propisa [2]. Kako za analizirane zidove nije poznata gustoća šuplje blok opeke i pune opeke izračunate su proračunske vrijednosti za sve navedene gustoće materijala definirane u Prilogu C Propisa [2].

In situ mjerenje provedeno je multifunkcionalnim mjernim uređajem Testo 435-4 s temperaturnom sondom koji omogućava određivanje toplinskih svojstava na licu mjesta, Slika 1. Karakteristike temperaturne sonde korištene za mjerenje temperature zida prikazane su u Tablici 2. Prema normi HRN EN 15603:2008 in situ mjerenje  $U$ -vrijednosti ovojnice zgrade opisano je normom HRN ISO 9869:1998, Toplinska izolacija - Građevinski elementi - Mjerenje toplinskog otpora i toplinske prohodnosti in situ, kojom su definirani stabilni meteorološki uvjeti prilikom mjerenja. Kako je ove uvjete teško postići preporučuju se dugotrajna mjerenja čime se na neki način simuliraju stabilni meteorološki uvjeti [5]. Mjerenje je provedeno u trajanju od 24 h za oba zida. Koeficijent prolaska topline ( $U$  vrijednost) određen je na temelju tri izmjerene temperature odnosno temperature površine zida, unutarnje i vanjske temperature zraka. Temperatura zida izmjerena je pomoću sonde koja se sastoji od trostrukog sustava senzora dok je unutarnja temperatura izmjerena pomoću senzora na priključku sonde prikazanog na Slici 1. Vanjska temperatura određena je pomoću bežične sonde koja služi za prijenos očitavanja putem radija na uređaj postavljen u prostoriji, Slika 1. Prilikom mjerenja zadovoljena je temperaturna razlika unutarnjeg i vanjskog zraka od 15 °C, a temperaturne sonde su pričvršćene na zid pomoću gline za modeliranje na međusobnoj udaljenosti od 10 cm.



Slika 1. a) Uređaj Testo 435-4, b) Sonda sa trostrukim sustavom senzora za mjerenje temperature površine zida c) Bežična sonda za određivanje temperature zraka

Tablica 2. Karakteristike temperaturne sonde sa trostrukim sustavom senzora za mjerenje temperature zida

Karakteristike	Temperaturna sonda sa trostrukim sustavom senzora
Temperaturni raspon mjerenja	-20 °C do + 70 °C
Točnost	$\pm 0.1 \pm 2\%$

Usporedba veličina koeficijenta prolaska topline dobivenih proračunskim i eksperimentalnim putem (in situ mjerenjem) dana je u Tablici 3. za oba promatrana zida. Analizom rezultata pokazalo se kako je za sve četiri gustoće šuplje blok opeke proračunska vrijednost veća od izmjerene vrijednosti te da se ta razlika kreće od 5,11% do 23,77% od niže prema višoj gustoći. Isto vrijedi i za zid od pune opeke gdje su također proračunske vrijednosti koeficijenta prolaska topline veće od izmjerenih te je za gustoću opeke od 1800 kg/m<sup>3</sup> razlika proračunske i izmjerene vrijednosti 23,77%, a za gustoću opeke od 1600 kg/m<sup>3</sup> ta razlika 10,14%. Slična istraživanja provedena su i od drugih autora koji su također zaključili kako postoje razlike između proračunskih i izmjerenih vrijednosti koeficijenta prolaska topline [3, 5].

Tablica 3. Usporedba veličina koeficijenta prolaska topline (U vrijednost) dobivenih proračunskom i eksperimentalnom metodom za oba zida

ZID 1					ZID 2		
Gustoća šuplje blok opeke [kg/m <sup>3</sup> ]	1100	1000	900	800	Gustoća pune opeke od gline [kg/m <sup>3</sup> ]	1800	1600
Koeficijent toplinske provodljivosti [W/mK]	0,48	0,45	0,42	0,39	Koeficijent toplinske provodljivosti [W/mK]	0,81	0,68
Proračunska U vrijednost [W/m <sup>2</sup> K]	1,26	1,2	1,13	1,07	Proračunska U vrijednost [W/m <sup>2</sup> K]	1,76	1,57
Srednja izmjerena U vrijednost [W/m <sup>2</sup> K]	1,018	1,018	1,018	1,018	Srednja izmjerena U vrijednost [W/m <sup>2</sup> K]	1,422	1,422
Razlika između izmjerene i izračunate U vrijednosti [%]	23,77%	17,88%	11,00%	5,11%	Razlika između izmjerene i izračunate U vrijednosti [%]	23,77%	10,14%

Koeficijent prolaska topline kao najvažniji čimbenik za opisivanje toplinskih svojstava zgrada koristi se prilikom proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje zgrade na temelju koje se utvrđuje energetska razred zgrade prilikom procesa energetske certificiranja. Energetski certifikat daje i prijedlog mjera za povećanje energetske učinkovitosti zgrade te za svaku od predloženih mjera izračunava se jednostavni povratni period investicije kao omjer novčanih ulaganja i ušteda koje se mogu ostvariti predloženim mjerama, a koje direktno ovise o količini potrebne energije zgrade. Kako se prilikom proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje zgrade koriste proračunske vrijednosti koeficijenta prolaska topline čija razlika od stvarne mjerene vrijednosti može odstupati prema rezultatima mjerenja za postojeće stare zgrade u ovom istraživanju i do oko 24% za zidove od opeke može se zaključiti kako su Propisom dane vrijednosti precijenjene. Daljnje istraživanje i vrednovanje eksperimentalnih metoda stoga ima bitnu ulogu u kontekstu povećanja energetske učinkovitosti i racionalnog korištenja energije u postojećim zgradama kao posljedica sve strožih minimalnih zahtjeva energetske učinkovitosti zgrada.



### *Literatura*

- [1] Directive 2010/31 EU of the European Parliament and the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings, Official Journal of the European Communities, 2010. **L 153/21-2**.
- [2] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (Translation: Technical regulation for rational use of energy and thermal insulation of buildings). „Narodne novine“ broj 97/14; Available from: [http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014\\_08\\_97\\_1938.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_08_97_1938.html).
- [3] Adhikari, R.S., Lucchi, E., Pracchi, V.: Experimental Measurements on Thermal Transmittance of the Opaque Vertical Walls in The Historical Buildings, in PLEA2012 - 28th Conference 2012: Lima, Peru.
- [4] Baker, P.: U-values and traditional buildings, Glasgow Caledonian University, 2011.
- [5] Albatici, R., Tonelli, A.M., Chiogna, M.: A comprehensive experimental approach for the validation of quantitative infrared thermography in the evaluation of building thermal transmittance, Applied Energy, 2015. **141(0)**: p. 218-228.





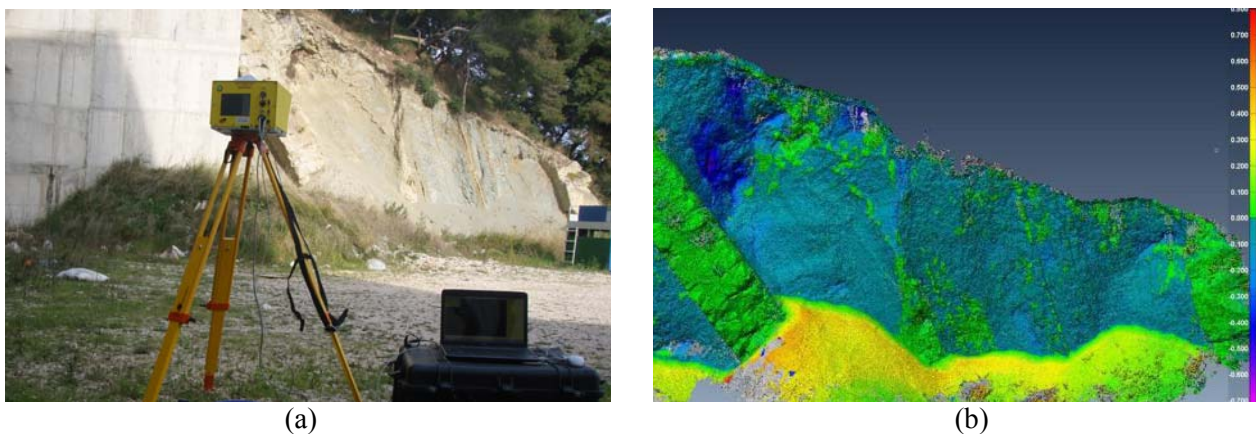
## MODELIRANJE EROZIJE ZASJEKA U MEKOJ STIJENI

**Goran Vlastelica** ([goran.vlastelica@gradst.hr](mailto:goran.vlastelica@gradst.hr))

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

U ovom radu prikazani su rezultati terenskih opažanja promjene geometrije zasjeka u mekoj stijeni uslijed kombiniranog utjecaja rastrošbe i erozije. Terenska opažanja vršena su na pilot lokaciji Žnjan od izrade zasjeka (2002.) te su dovršena trogodišnjim opažanjem terestičkim laserskim skeniranjem. Kao glavni cilj provedenog opažanja postavlja se određivanje količine erodiranog materijala (odnosno brzine napredovanja erozije), međutim kao ne manje važan specifični cilj nameće se i definiranje parametra stalne rastresitosti stijenskog materijala, kao osnovnog parametra kod svih poznatih matematičkih modela definiranja profila zasjeka uslijed erozije istih u vremenu.

LiDAR tehnologija se razvila u nezaobilazni alat za izradu digitalnih elevacijskih modela (engl. digital elevation model - DEM), ali i za niz primjena u agronomiji, arheologiji, geologiji, rudarstvu, meteorologiji, itd [2]. Razvojem prijenosnih varijanti „terestičkih laserskih skenera“, pristupačnijoj cijeni i sve većoj preciznosti, u posljednje vrijeme pronalaze svoju upotrebu i u praćenju napredovanja erozije kosina koje nisu bile dostupne iz zračnih snimaka [3-5]. Na slici 1.a. prikazan je prijenosni terestički laserski skener (TLS) ILRIS-3D-ER korišten u ovom radu, kao i primjer rezultata usporedbe dvaju snimaka zasjeka (Slika 1.b.) s vremenskim odmakom od jedne godine. Upotrebom ovih tehnologija moguće je pristupiti analizama trajnosti, ne samo kroz klasične laboratorijske tehnike, već i „in-situ“ na konkretnim primjerima pritom vrednujući stvarne promjene.



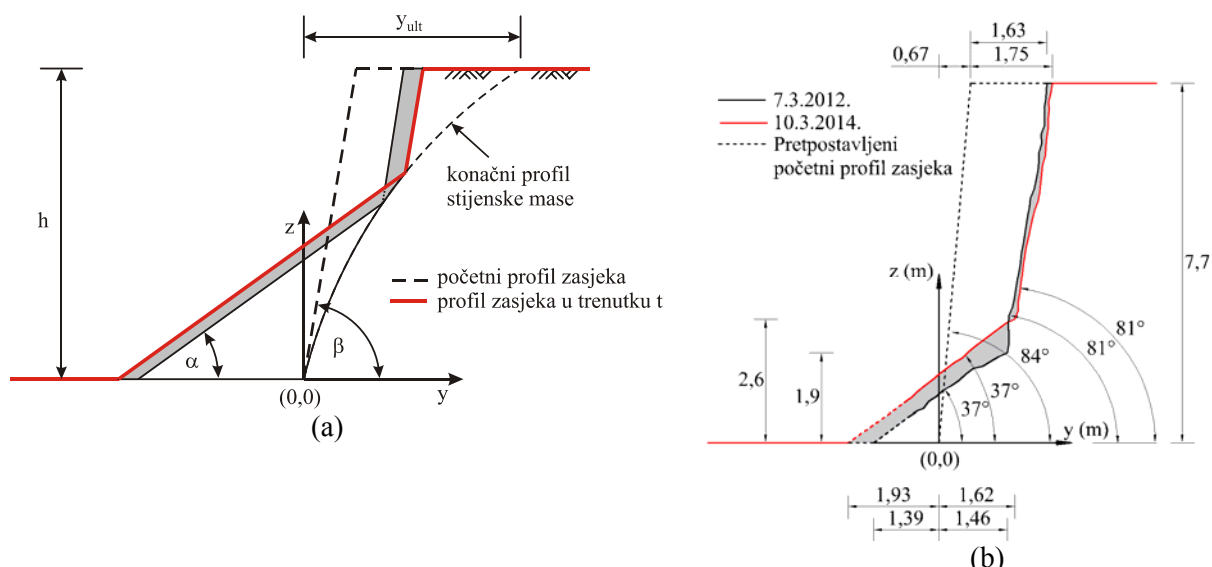
**Slika 1.** a) Terestički laserski skener ILRIS-3D-ER; b) Usporedba dvaju snimaka zasjeka s vremenskim odmakom od jedne godine.

U ovom radu izvršen je niz opažanja zasjeka na 14 pilot lokacija koristeći TLS za kreiranje 3D modela morfologije zasjeka. Istraživanje je provedeno za različite vremenske korake i broj opažanja, pritom omogućujući definiranje prosječnih stopa erozije zasjeka u ovom tipu građiva, kao osnove za izradu prognoznih i povratnih analiza.

Na temelju izvršenih opažanja, provjerena su dva najučestalija matematička modela razvoja erozije zasjeka: Bakker–Le Heuxov i Fisher–Lehmannov. Usporednom analizom utvrđeno je da Fisher–Lehmannov model (1), prikazan na slici 2.a., najbolje opisuje eroziju na odabranim pilot lokacijama u području Dalmacije (Primjer rezultata prikazan na slici 2.b.).

$$y = k \cdot (l + m) \cdot \ln \left[ \frac{m}{(m - z)} \right] - k \cdot z \quad (1)$$

gdje su:  $m = h / c$ ;  $k = (a - ac - b) / c$ ;  $l = b \cdot h / (a - ac - b)$ ;  $a = ctg\alpha$ ;  $b = ctg\beta$ ; te  $h$  - visina zasjeka,  $\alpha$  - nagib stabilnog pokosa sipara i  $\beta$  - početni nagib zasjeka, određeni na slici 5.6. Parametar  $c$  je konstanta potrebna za egzaktnu derivaciju, koja predstavlja mjeru stalne rastresitosti rastrošenog građiva.



**Slika 2.** a) Fisher–Lehmannov model erozije uspravnog zasjeka; b) Karakteristični poprečni presjek za epohe OT<sub>0</sub> i OT<sub>4</sub> (7.3.2012. i 10.3.2014.) na pilot lokaciji Žnjan.

Bakker–Le Heuxov model moguće je primjeniti u kombinaciji s Fisher–Lehmannovim za simulaciju početnog rasterećenja kod izvedbe strmijih zasjeka ili se koristi bilinerarni kriterij prema autoru (2).

$$y(t) = \begin{cases} h \cdot ctg\beta & \text{za } t = 0 \\ h \cdot ctg\beta + n \cdot R_{y,s} & \text{ako je } 0 < t < t_1 \\ h \cdot ctg\beta + R_{y,s} & \text{ako je } t_1 < t < (y_{ult} - h \cdot ctg\beta) / R_{y,s} \\ y_{ult} & \text{ako je } t \geq t_{ult} = (y_{ult} - h \cdot ctg\beta) / R_{y,s} \end{cases} \quad (2)$$

gdje su:  $y$  - pomak vrha zasjeka,  $t$  - vrijeme,  $h$  - visina zasjeka,  $\beta$  - početni nagib zasjeka,  $n$  - koeficijent utjecaja početne relaksacije zasjeka;  $t_1$  - vrijeme unutar kojeg se manifestiraju učinci početne relaksacije zasjeka,  $y_{ult}$  - konačni pomak vrha zasjeka,  $R_{y,s}$  - prosječna godišnja erozija.

Količinu erodiranog i odloženog materijala na zasjecima i strmim pokosima dosad nije bilo moguće jednostavno niti precizno odrediti. Upotrebom TLS-a omogućena je naknadna detaljna analiza opaženih zasjeka te odabiranje jednog ili više reprezentativnih profila za geotehničku analizu. Zabilježeni nagibi slobodnog pokosa zasjeka u ovom radu kreću se u rasponu od oko 70° do 80°, osim u slučajevima kada pri izvedbi odabran blaži pokos. Nagib sipara u rasponu od 35° do 38°, bez obzira na tip gradiva ili odnos udjela mekših i čvršćih slojeva, ukoliko je riječ o flišnom slijedu.

Iako nije ključna za ovu studiju, u tijeku analize podataka uočena je još jedna prednost velike količine podataka koja se pribavlja TLS-om. TLS-om je moguće unaprijed utvrditi pojavu lokalnih nestabilnosti, kojima prethodi pomak koji je u redu veličine točnosti instrumenta. Iako je u ovom slučaju u žarištu gradivo koje je zbog svoje izražene heterogenosti (fliš) podložno diferencijalnim pomacima, sama mogućnost uočavanja malih pomaka (reda veličine 1-2 cm) na udaljenostima većim od 200 m ohrabruje za nastavak daljinskih istraživanja fenomena odrona na padinama.

#### Literatura

- [1] Vlastelica, G.: Utjecaj rastrošbe na trajnost zasjeka u mekoj stijeni, disertacija Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split, 2015.
- [2] NOAA Coastal Services Center: Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications. Revised. Charleston, SC: NOAA Coastal Services Center, 2012.
- [3] Lim, M., Rosser, N. J., Allison, R. J., Petley, D. N.: Erosional processes in the hard rock coastal cliffs at Staithes, North Yorkshire. *Geomorphology*, 114(1–2), 2009., 12–21.
- [4] Dewez, T., Gebayel, D., Lhomme, D., Robin, Y.: Quantifying morphological changes of sandy coasts by photogrammetry and cliff coasts by lasergrammetry. *La Houille Blanche*, 1, 2009., 32–37.
- [5] Perroy, R.L., Bookhagen, B., Asner, G.P., Chadwick, O.A.: Comparison of gully erosion estimates using airborne and ground-based LiDAR on Santa Cruz Island, California. *Geomorphology* 118, 2010., 288–300.

# DISCRETE MATHEMATICS AND ITS APPLICATIONS IN NETWORK ANALYSIS

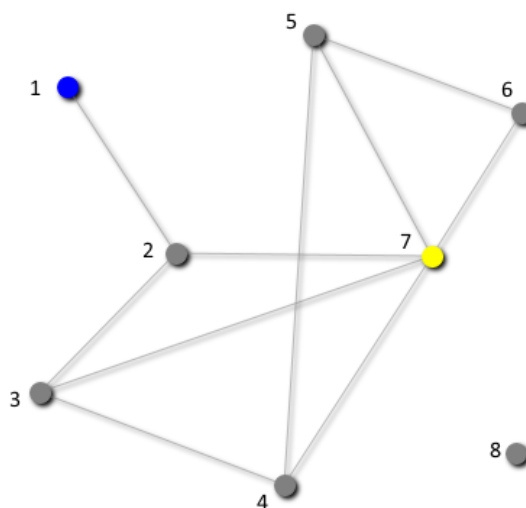
**Anton Vrdoljak** ([anton.vrdoljak@gfmo.ba](mailto:anton.vrdoljak@gfmo.ba))

*University of Mostar; Faculty of Civil Engineering; Department of Mathematics*

In this article we will give a small introduction to the discrete mathematics and its application in network analysis. Because of limitations regarding this article (extended summary) and because we are aware that the scientific study of networks, such as computer networks, biological networks, and social networks, is an interdisciplinary field that combines ideas from mathematics, physics, biology, computer science, the social sciences, and many other areas, we will try to describe some basic types of networks studied by present-day science as well as some techniques used to determine their structure.

A network is, in its simplest form, a collection of points joined together in pairs by lines. Networks are thus a general yet powerful means of representing patterns of connections or interactions between the parts of a system. In the jargon of the field the points are referred to as *vertices* or *nodes* and the lines are referred to as *edges*. Many objects of interest in the physical, chemical, biological and social sciences can be thought of as networks and thinking of them in this way can often lead to new and useful insights [1].

Scientists in a wide variety of fields have, over the years, developed an extensive set of tools – mathematical, computational, and statistical – for analyzing, modeling and understanding networks. Many of these tools start from a simple network representation, a set of vertices and edges, and after suitable calculations tell you something about the network that might be useful for you: which is the best connected vertex, say, or the length of a path from one vertex to another. Other tools take the form of network models that can make mathematical predictions about processes taking place on networks, such as the way traffic will flow over Internet or the way a disease will spread through a community. Because they work with network in their abstract form, these tools can in theory be applied to almost any system represented as network. Thus if there is a system you are interested in, and it can usefully be represented as a network, then there are hundreds of different tools out there, already developed and well understood, that you can immediately apply to the analysis of your system. Certainly not all of them will give useful results – which measurements or calculations are useful for a particular system depends on what the system is and does and on what specific questions you are trying to answer about it.



**Slika 1.** A small network composed of eight vertices and ten edges

In this article we introduce the basic theoretical tools used to describe and analyze networks, most of which come from graph theory or better to say from discrete mathematics, the branch of mathematics that deals with networks. To begin at the beginning, a *network* – also called a *graph* in the mathematical literature – is, as we have said, a collection of vertices joined by edges. Vertices and edges are also called *nodes* and *links* in computer science, *sites* and *bonds* in physics, and *actors* and *ties* in sociology. Table 1 gives some examples of vertices and edges in particular networks [1], [2].

**Tablica 1.** Vertices and edges in networks

Network	Vertex	Edge
Internet	Computer or router	Cable or wireless data connection
World Wide Web	Web page	Hyperlink
Citation Network	Article, patent or legal case	Citation
Power grid	Generating station substation	Transmission line
Friendship network	Person	Friendship
Metabolic network	Metabolite	Metabolic reaction
Neural network	Neuron	Synapse
Food web	Species	Predation

Throughout this article we will normally denote the number of vertices in a network by  $n$  and the number of edges by  $m$ , which is common notation in the mathematical literature. There are a number of different ways to represent a network mathematically. A usual representation of a network for present purposes is the *adjacency matrix*. The adjacency matrix  $\mathbf{A}$  of a simple graph is the matrix with elements  $A_{ij}$  such that

$$A_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if there is an edge between vertices } i \text{ and } j, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\}. \quad (1)$$

For example, the adjacency matrix of the network on Fig. 1 is

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Two points to notice about the adjacency matrix are that, first, for a network with no self-edges such as this one the diagonal matrix elements are all zero, and second that it is symmetric, since if there is an edge between  $i$  and  $j$  then there is an edge between  $j$  and  $i$ .

Many of the networks in science and theory have edges that form simple on/off connections between vertices. Either they are there or they are not. In some situations, however, it is useful to represent edges as having a strength, weight, or value to them, usually a real number. Thus in the Internet edges might have weights representing the amount of data flowing along them or their bandwidth. In a food web predator-prey interactions might have weights measuring total energy flow between prey and predator. In a social network connections might have weights representing frequency of contact between actors. Such *weighted* or *valued networks* can be represented by giving the elements of the adjacency matrix values equal to the weights of the corresponding connections. Thus the adjacency matrix

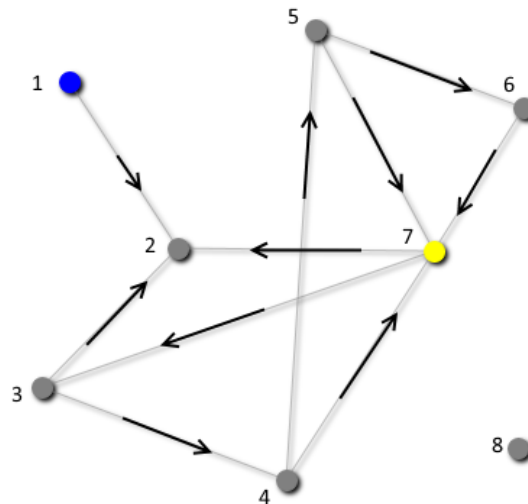
$$A = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 0.5 \\ 1 & 0.5 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

represents a weighted network in which the connection between vertices 1 and 2 is twice as strong as that between 1 and 3, which in turn is twice as strong as that between 2 and 3.

Last application of discrete mathematics regarding network analysis in this article will be a *directed networks*. A directed network or *directed graph*, also called a *digraph* for short, is a network in which each edge has a direction, pointing *from* one vertex *to* another. Such edges are themselves called *directed edges*, and can be represented by lines with arrows on them – see Fig. 2. Some of examples of directed networks are

World Wide Web, in which hyperlinks run in one direction from one web page to another, food webs, in which energy flows from prey to predators, and citation networks, in which citations point from one paper to another. The adjacency matrix of a directed network has matrix elements

$$A_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if there is an edge from } j \text{ to } i, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\}. \quad (4)$$



Slika 2. A directed network

Notice the direction of the edge here – it runs *from* the second index *to* the first. This is slightly counter-intuitive, but it turns out to be convenient mathematically and it is the convention we adopt in this article. Next, note that this matrix is not symmetric. In general the adjacency matrix of directed network is asymmetric.

There are many systems of interest to scientists that are composed of individual parts or components linked together in some way. Examples include the Internet, a collection of computers linked by data connections, and human societies, which are collections of people linked by acquaintance or social interaction. Many aspects of these systems are worthy to study. The pattern of connections in a given system can be represented as a network, the components of the system being the network vertices and the connections the edges. Upon reflection it should come as no surprise that the structure of such networks, the particular pattern of interactions, can have a big effect on the behavior of the system [1]. The pattern of connections between computers on the Internet, for instance, affects the routes that data take over the network and the efficiency with which the network transports those data. The connections in a social network affect how people learn, from opinions, and gather news, as well as affecting other less obvious phenomena, such as the spread of disease. Unless we know something about the structure of these networks, we cannot hope to understand fully how the corresponding system works.

The final aim of our work is to develop a new/unique and efficient tool dedicated to the analysis and visualization of community structure in small networks of various kinds, with an accent on biological and social networks. In this moment a simple version of our tool (ViSOC) existing. ViSOC is a free tool to share, and it is made in Microsoft Visual Studio (C#). You can freely copy, distribute, transmit, and use this tool for scientific and non-commercial purposes. But no modification of the contents is allowed. Next, under the same terms of above licence, it is possible to share your ideas or remarks with our team, and so contribute them to our tool. Our goal is to help researchers to create exciting, interactive, engaging and rich visualization to test or analyze their examples regarding real-world networks.

#### Literatura

- [1] Newman, M. E. J.: *Networks, An Introduction*, University press, Oxford, 2010.
- [2] Broder, A., Kumar, R., Maghoul, F., Raghavan, P., Rajagopalan, S., Stata, R., Tomkins, A., and Wiener, J.: Graph structure in the web, *Comput. Netw.*, Vol. 33, 2000., pp. 309-320.
- [3] Fernholz, D., and Ramachandran, V.: The diameter of sparse random graphs, *Random Struct.*, Vol. 31, 2009., pp. 482-516.



# ONE APPROACH FOR EXTRAPOLATION OF ROCK MASS PARAMETERS IN TUNNELING

Zlatko Zafirovski (zafirovski@gf.ukim.edu.mk)

Ss. Cyril and Methodius University - Skopje; Faculty of civil Engineering; Department for railways

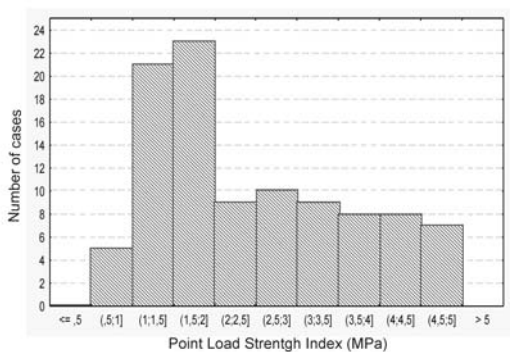
The problem for extrapolation in tunneling and geotechnics is one of the key problems and basis for successful geotechnical and numerical modelling in the past few decades. The main goal of this problem is how to extrapolate the parameter from zone of testing to the whole area (volume) that is of interest for interaction analyses along tunnel whole length. This article describes a methodology that shows how it is possible to integrate all these approaches in a problem for extrapolation of the parameters in tunnelling. The proposed methodology is based on combination of empirical classification rock mass methods, geophysical measurements and direct deformability testing on a field. The analyses are given based on the results from investigations of several tunnels in the Republic of Macedonia, mainly in rocks with poor to fair rock mass quality.

Improving this methodology, herein the basics of Empirical–Static–Dynamic (ESD) methodology of extrapolation are given. All known methods for defining of deformability and shear strength of rock masses can be used and combined for extrapolation of parameters for the whole area and length of structures. The prerequisite for using this methodology is following:

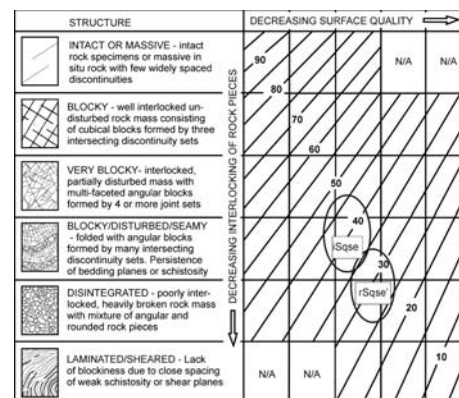
1. To have enough data for reliable rock mass classification.
2. To have enough testing data for deformability with static tests.
3. Whole interaction of the structure (in this case tunnel) to be covered with geophysical seismic tests.

Such testing must be performed in a manner that will insure reliable data for geotechnical modeling of the natural geological environment of the whole area along the tunnel. Having in mind that too many properties are needed to characterise certain rock mass completely, it is easy to conclude that the claim for uniformity of all or most of the properties cannot be achieved. So, before some areas are selected, we choose one or few properties for which the uniformity of one area is demanded. We call these areas quasi-homogenous zones and they represent the basic and constitutive elements of geological model.

Inside such zone some conditions or properties are the same in every point, and very different outside it. Each and every zone is determined by space limits and consists, in some way, properties which are important for the study.



**Figure 1.** Statistical analyses of Point Load Strength index for schist’s formations in Macedonia



**Figure 2.** Range of GSI values for different zones of quartz sericitic shists for “Preseka” tunnel

To illustrate the methodology, in this article, some practical experiences gathered during investigations and design of several tunnels in Republic of Macedonia are presented. The following steps in investigations is used:

1. Collection of data for rock massif test results, particularly laboratory and field test results of strength, deformation, discontinuities and other parameters.
2. Specific laboratory and field testing .

3. Statistical analysis and comparison of data collected from the literature and data collected through research and tests performed for purposes of this article.

Collected data are usually analysed statistically. Only one example for a case of Point Load Strength index parameter, is presented in Figure 1.

Using all results from geological, geotechnical and geophysical investigations, rock mass quality is defined for all quasihomogenous zones using Rock Mass Rating, Quality index (Q) as well as Geological Strength Index using Hoek GSI classification (Figure 2).

It must be noted, that because of tectonic influences, usually, rock masses in Republic of Macedonia are with poor to fair quality. Some statistical analyses are given in Figure 3 and Figure 4.

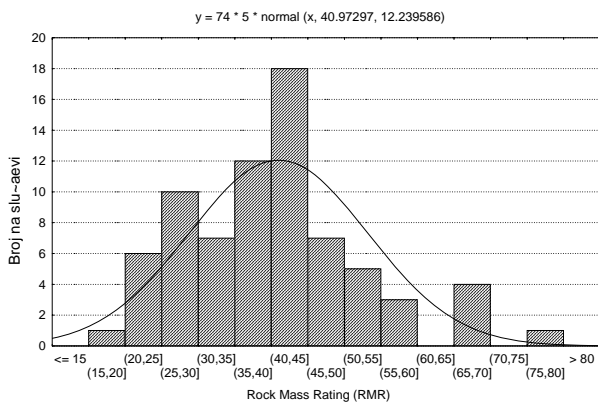


Figure 3. Range of values for Rock Mass Rating

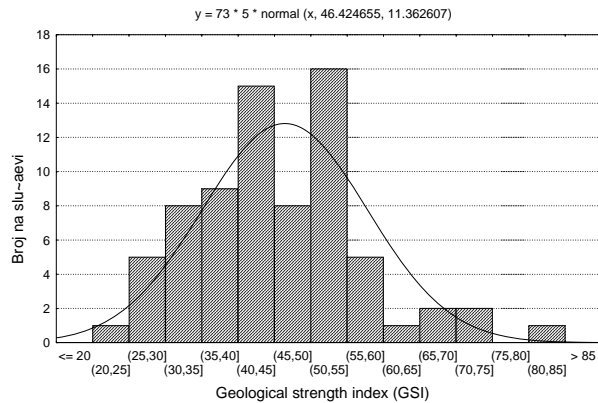


Figure 4. Range of values for Geological Strength Index

RMR and GSI values were used in order to predict shear strength and deformability parameters of rock massif with a help of Hoek, Carranza-Torres and Corkum, 2002 and Hoek and Diederichs's, 2006 methods.

Beside this, correlations between the quality of rock massif (RMR, GSI and Q indexes), dynamic ( $V_p$  and  $E_{dyn}$ ) and static properties ( $D$  and  $E$ ) of rock masses are expressed using results from the detailed classification of the rock massif around the measuring point with dilatometer testing's. One regression line established for tunnel "Preseka" is presented in Figure 5 and Figure 6.

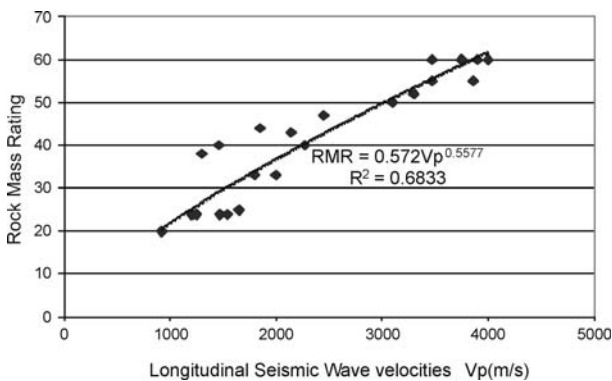


Figure 5. Correlation between (RMR) and longitudinal and seismic wave velocities for tunnel "Preseka"

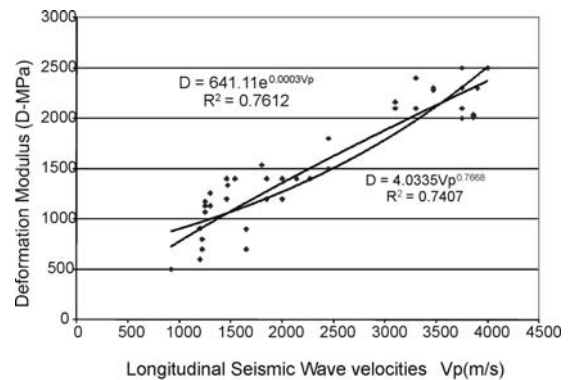


Figure 6. Correlation between Deformation Modulus longitudinal seismic wave velocities for tunnel "Preseka"

The presented Empirical–Static–Dynamic method for data extrapolation can be very useful tool in preparation of geotechnical models for further analyses in tunneling. Because of its verification, the suggested methodology must be critically re-examined meanwhile in terms of possibilities to apply it in other locations and other facilities in different geological media. However, it will open doors and possibilities for further researches, considering that it is practically impossible to exhaust this scientific theme with only one paper. Analytical models for prognosis of possible intervals of deformation modulus  $D$  are useful as input data in numerical analysis for relatively shallow tunnels.

References

[1] Zafirovski Z. Probabilistic approach for defining rock mass properties in stress – strain analysis in tunneling, Doctoral dissertation, Skopje 2014.  
 [2] Jovanovski, M. Prilog kon metodologija na istraživanje na karpestite masi kako rabotna sredina, Doktorska disertacija, Skopje 2001.



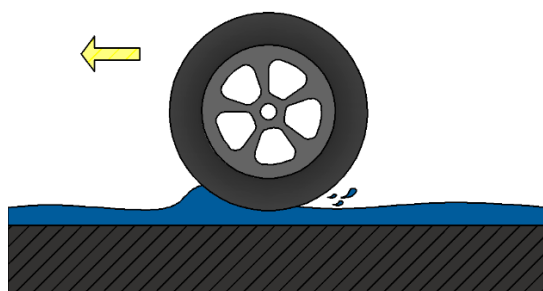
## AKVAPLANIRANJE – UZROCI I MJERE ZA SMANJENJE POJAVA

**Martina Zagvozda (mzagvozda@gfos.hr)**

*Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku; Građevinski Fakultet Osijek; Katedra za prometnice i geodeziju*

Pravilna i dostatna odvodnja prometnice vrlo je važan faktor za osiguranje sigurne vožnje. Voda na površini kolnika stvara opasne uvjete za vožnju jer smanjuje trenje na dodiru kotača i kolnika. Akumuliranjem vode na kolniku stvara se film vode koji može uzrokovati akvaplaniranje. Također, vozilo svojim prolaskom preko vode uzrokuje prskanje i zapljuskivanje koje smanjuje vidljivost.

Akvaplaniranje je pojava odizanja kotača od površine kolnika uslijed stvaranja vodenog klina, pri čemu se gubi kontrola nad vozilom (slika 1.). Kada se sposobnost dreniranja površine kolnika i površine gume kotača prekorači prilikom prolaska vozila, voda na kolniku se počinje nakupljati ispred gume. Na taj način stvara se vodeni klin te njime i hidrodinamički pritisak toliki da odize gumu od površine kolnika. Guma se počinje kretati po površini vode, bez direktnog kontakta sa površinom kolnika, pri čemu je koeficijent trenja približno jednak nuli. Vozač gubi kontrolu nad vozilom što vrlo često rezultira prometnom nesrećom [1,2].



Slika 1. Gubitak kontakta guma/kolnik

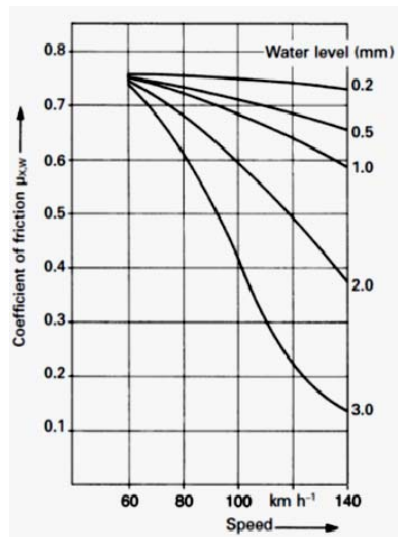
Brzina akvaplaniranja predstavlja najveću brzinu koju vozilo može dostići uslijed koje će nastupiti pojava akvaplaniranja [3]. Prva istraživanja ove pojave, sa ciljem određivanja izraza za proračun brzine akvaplaniranja provedena su 1960-ih godina. NASA je provedbom eksperimentalnih istraživanja utvrdila izraz koji je imao široku primjenu u području avijacije, automobilske industrije te području kolničkih konstrukcija:

$$v_p = 6,35 \cdot \sqrt{p}$$

gdje je  $v_p$  kritična brzina akvaplaniranja u km/h, a  $p$  inflacijski tlak guma u kPa [4].

Unaprijeđenje ovog izraza izvedeno je uvođenjem omjera širine i duljine kontaktne površine guma/kolnik kao faktora koji utječe na pojavu akvaplaniranja te posebnim oblikovanjem izraza za teška vozila sa istrošenim gumama [3]. No, daljnjim istraživanjima utvrđeno je da pojavu akvaplaniranja nije moguće jednoznačno utvrditi samo inflacijskim tlakom guma. Do te pojave dolazi uslijed kombinacije različitih faktora: dubine vode na kolničkoj površini, brzine vozila, geometrije ceste, stanja površine kolnika i njegove teksture, dizajna guma i inflacijskog tlaka, opterećenja [3, 5]. Stoga se i danas u svijetu razvijaju izrazi i modeli kojima je cilj što bolje shvatiti, opisati i predvidjeti mogućnost nastanka ove pojave.

Povećanjem dubine filma vode na kolniku dolazi do disproporcionalnog povećanja mogućnosti pojave akvaplaniranja. U slučaju nižih dubina vode veliku ulogu ima tekstura kolnika koja treba zaprimiti vodu i izvesti je s kolnika. Veće dubine utora na gumama te smanjenje inflacijskog tlaka rezultiraju smanjenjem potencijala za akvaplaniranje. No, sama brzina vozila je jedan od najvažnijih faktora koji dovode do akvaplaniranja jer o brzini ovisi hoće li sposobnost odvodnje gume i kolnika biti prekoračena te hoće li se stvarati vodeni klin. Pokazalo se da mogućnost akvaplaniranja postoji već pri brzini od 72 km/h kada film vode debljine iznosi 2,5mm ili pri brzini 89 km/h sa filmom vode od 2 mm [6]. Ovisnost iznosa koeficijenta trenja na dodiru guma/kolnik o brzini vožnje i dubini vode, za gume sa utorima dubine 8mm, vidljiva je iz dijagrama na slici 2.[7]. Može se primijetiti da pri malim brzinama nema utjecaja na smanjenje koeficijenta trenja jer se voda uspijeva dostatno drenirati. Kod velikih brzina dolazi do značajnog smanjenja koeficijenta trenja što je dobra indikacija mogućnosti akvaplaniranja.



Slika 2. Utjecaj brzine i debljine filma vode na smanjenje koeficijenta trenja

Dijelovi ceste najpodložniji pojavi akvaplaniranja su oni na kojima se prirodno zadržava veća količina vode poput uleknuća i kolotruga, područja vitoperenja sa poprečnim nagibom od 0% ili dijelova gdje je onemogućeno otjecanje loše projektiranim sustavom odvodnje [2]. Kako bi se smanjila mogućnost ove pojave može se djelovati kroz standarde za projektiranje i održavanje cesta, kroz oblikovanje ceste te kroz regulativu koja se odnosi na proizvodnju i primjenu automobilskih guma [6].

Građevinske mjere koje se mogu primijeniti kako bi se smanjila mogućnost pojave akvaplaniranja su dizajn prometnice koji rezultira kratkim duljinama otjecanja, povećanje dubine teksture kolnika, primjenom poroznih završnih slojeva kolnika te primjerenim projektiranjem elemenata za odvodnju [5].

#### Literatura:

- [1] ODOT:, Appendix A- Pavement Drainage, Hydraulics Manual, 2014. URL: [http://www.oregon.gov/ODOT/HWY/GEOENVIRONMENTAL/docs/Hydraulics/Hydraulics%20Manual/Chapter\\_13\\_appendix\\_A.pdf](http://www.oregon.gov/ODOT/HWY/GEOENVIRONMENTAL/docs/Hydraulics/Hydraulics%20Manual/Chapter_13_appendix_A.pdf) (10.06.2015.)
- [2] Aycock, E.: The hydrology of road defects, URL: [http://alluringmedia.net/AES/HydrologyRoadDefects\\_AIH.pdf](http://alluringmedia.net/AES/HydrologyRoadDefects_AIH.pdf) (10.06.2015.)
- [3] Cerezo, V., Menissier, M., Gibrat, T.: Hydroplaning speed and infrastructure characteristics, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, SAGE Publication, 2010., 224, pp. 891-898.
- [4] Guo, X., Zhang, C., Cui, B., Wang, D., Tsai, J.: Analysis of Impact of Transverse Slope on Hydroplaning Risk Level, Proceedings of the 13th COTA International Conference of Transportation Professionals, Editor: Zhang, L., Shenzhen 2013., pp. 2310-2319.
- [5] WSDOT, Drainage of Highway Pavements, Hydraulics Manual, 2010. pp.5-26.
- [6] Chaithoo, D.B., Allopi, D.: A software tool approach to re-evaluating superelevation in relation to drainage requirements and vehicle dynamics – a case study, Proceedings of the 31st Southern African Transport Conference, Pretoria, 2012., pp. 432-444.
- [7] Reimpell, J., Stoll, H., Betzler, J.W.: *The Automotive Chassis*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001.

# EXPERIMENTAL ANALYSIS OF LOAD BEARING TIMBER-GLASS I-BEAMS WITH SILICONE ADHESIVE

*Mateja Zlatinek (mateja.zlatinek@um.si)*

*University of Maribor, Faculty of Civil Engineering, Transportation Engineering and Architecture;  
Department of Building Structures*

In the last few decades several projects focused on combining glass with other material have been started. Glass composite I-beam have been studied in present work because it is believed that this structural bonding system could be the best way of enhancing the performance of the two very different elements in a unitary set. There are many ways of improving the strength of glass. Research at the Faculty of Civil Engineering, University of Maribor, focuses on the development of composite I-beam structures, with glass web and with flanges made of timber. The paper present results of the first stage of ongoing research project including experimental test on timber-glass composite beam.

## Glass in timber buildings

Natural lighting is one of the most important factors in our lives. This was the main reason for the increased use of glass as a structural material in timber buildings. The basic problem of glass is its unpredictable and brittle failure behavior. It is strong in compression, but weak in tension. Upon overloading, the glass will crack, but proliferation will be limited due to dissipation of fracture energy by deformation of the timber flanges. Glass failure should never lead to complete collapse of the structure. Timber is natural material, which structure, characteristics and properties are more complex as concrete or steel, because its properties vary in different directions. The main idea was to connect these two materials together to provide the best properties of the composite. The main characteristic of this composite system is that timber provides ductility and glass offers resistance and stiffness (Cruz and Pequeno [1]). The bonding system is also very important, because the adhesive brings together strength and flexibility. When glass cracks, the adhesive bonding transfers the tensile force. The adhesive has to service under all conditions and for a significant period of time.

## Experimental studies

Beams were designed with a cross section according to the drawing shown in Figure 1. All composite beams were 4800 mm long and 240 mm high. The glass web were 220 mm high, the edges were polished to avoid influence of edge quality. Two types of glass were used: annealed float glass and fully tempered glass, according to the European standard EN-572, with a thickness of 8 mm. For timber flanges a spruce C24–finger joint was applied, because for this type of composite it is obvious to use the wood of good quality, without any defects – especially knots. The timber flanges have a cross section 30/45 mm. For the connection we use silicone SikaSil SG-500 [2]. This is a two-component silicone sealant. One of the main applications of this adhesive is structural glazing.

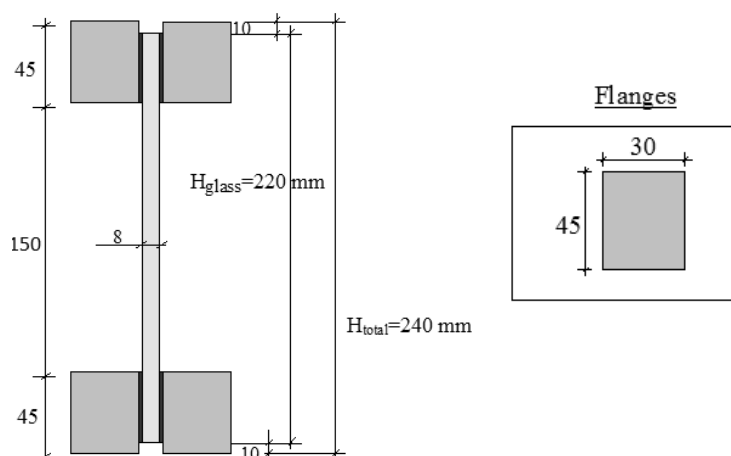


Figure 1. Cross section of beam and flanges types

## Testing procedure

Bending tests were performed as four-point tests, with symmetric set-up. According to EN 408 the distance between the supports should be 18 h (4320 mm) and the loading points should be positioned at one third of the span (Figure 2).

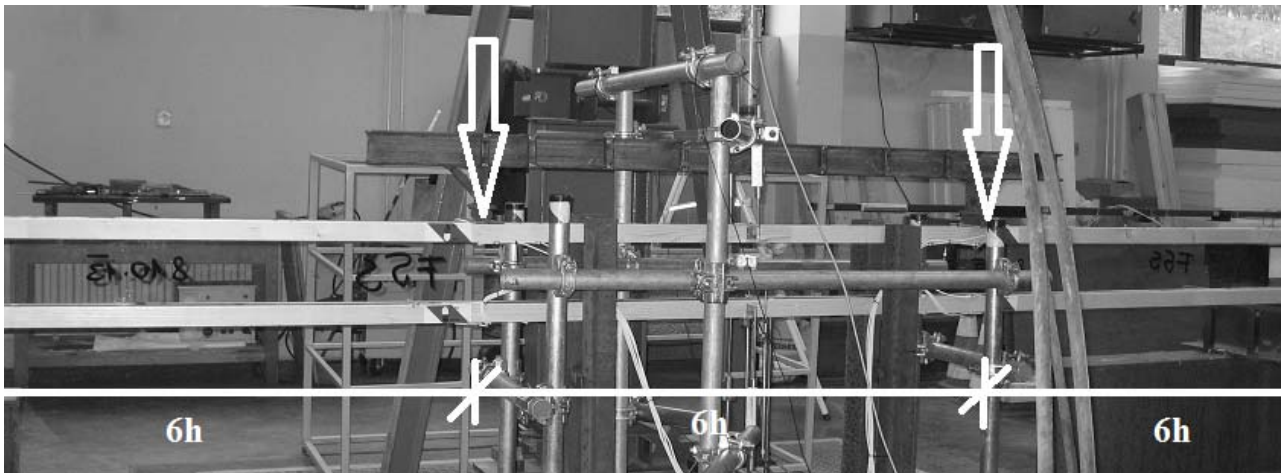


Figure 2. Test set up and testing

On the first of 6 samples strains on glass web and wooden flanges as well as vertical and relative displacements between glass and wood were simultaneously measured.

The specimens have been tested within three weeks after production. They were loaded at constant rate of 1 kN per 100 s. Loading was continued until total destruction. The bending stiffness, EI, can be calculated on the basis of test results.

## Results and discussion

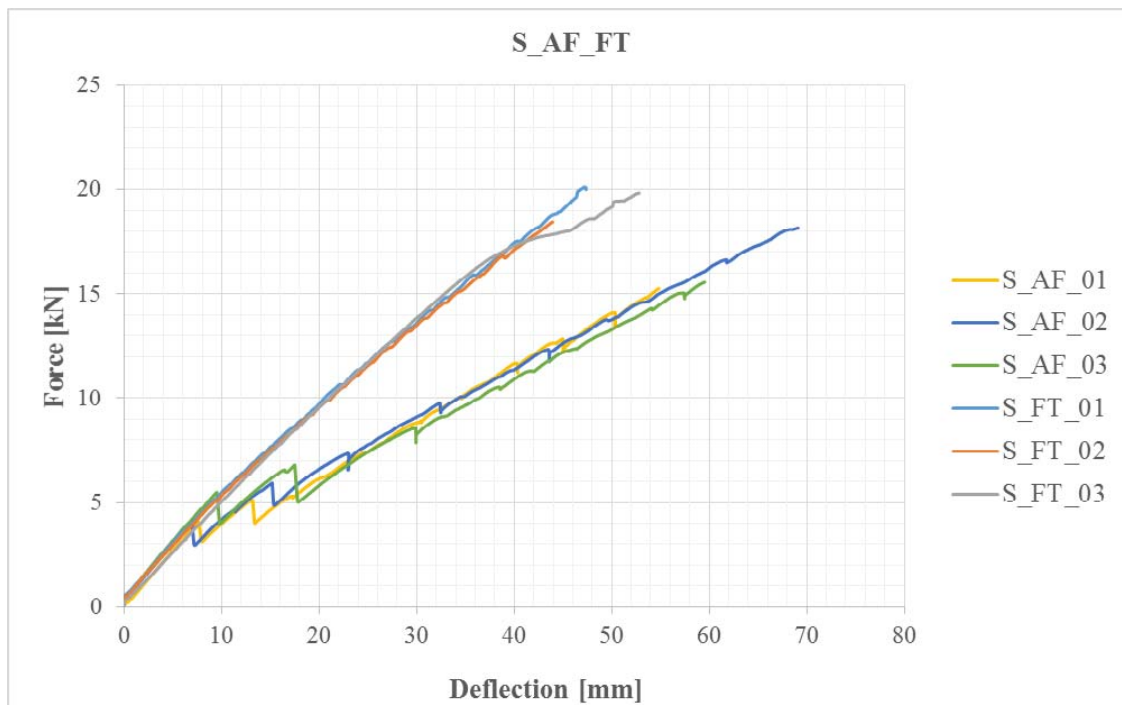


Figure 3. Force versus absolute value of average vertical glass displacement

Table 1. Results

Annealed float glass			
Specimen	Load at first crack [kN]	Maximal load [kN]	Deflection [mm]
S_AF_01	4,6	15,3	54,8
S_AF_02	4,1	18,2	69,11
S_AF_03	5,3	15,6	59,5
Mean values	<b>4,7</b>	<b>16,4</b>	<b>61,1</b>
Fully tempered glass			
Specimen		Maximal load [kN]	Deflection [mm]
S_FT_01	/	20,01	47,4
S_FT_02	/	18,5	43,9
S_FT_03	/	19,8	52,8
Mean values	/	<b>12,2</b>	<b>185</b>

In Fig. 3 the relationship between the load and vertical displacement for annealed float glass and fully tempered glass are presented. For all specimens of AF glass the stiffness was linear until the first crack occurred. This was followed by a sudden change of bending stiffness and increase of vertical displacement. This is most evident on silicone specimens. After glass failure bottom flange acted as a crack bridge which together with an uncracked compression zone of the web and top flange allowed the beam to continue of carrying the load. In the next stage the existing crack grew and new crack formed in another part of the web. The existing cracks start to propagate horizontally and start to grow towards each other. Bending stiffness slightly decreases gradually until final failure occurred. This is a typical pattern for the annealed float glass. Very surprising are the results of the increasing of ultimate loads than the loads at first cracking.

Beam with FT glass fail immediately, but with higher total load in comparison to beams with annealed float glass.

### Conclusions and future work

Glass in such composites behaves as a structural reinforcement. Timber provides ductility and glass offers resistance and stiffness. It can be seen that this timber-glass beam with only 240 mm height could carry quite high loading. The next stage of ongoing research project will be developing analytical as well as numerical models for this type of beams.

### References

- [1] Cruz P.; J. Pequeno J.: *Timber-Glass Composite Beams: Mechanical Behaviour & Architectural Solutions*. Challenging Glass Conference 1, Delft University of Technology, Netherlands, 2008.
- [2] Sika Slovenija. Product Data Sheet, SikaSil SG-500, 11 2013
- [3] Blyberg L.; Serrano E.; *Timber/Glass Adhesively Bonded I-beams*. Glass Performance Days, Tampere, Finland, 2011.
- [4] Hulimka J.; Kozłowski M.: Mechanism of failure and post-breakage strength of hybrid timber-glass beams. 10th International Conference on New Trends in Statics and Dynamics of Buildings, Faculty of Civil Engineering STU Bratislava, 2012.
- [5] Erikson J. & Ludvigsson; Dorn M.; Enquist B.; Serrano E.: *Load Bearing timber glass composites – A WoodWisdom-Net Project for innovative building system*. COST Action TU0905, Mid-term Conference on Structural Glass, Poreč, 2013.
- [6] Louter C.; Bos F.; Veer F.A.: et al.; *Reinforced Glass, Cantilever Beams*. Glass Processing Days, Tampere, Finland, 2005.
- [7] Belis J.; Louter C.; Verfaillie K. et al.: *The Effect of Post-Tensioning On the Buckling Behaviour of a Glass T-beam*. Proceedings ISAAG 2006 Conference, Munich, 2006.
- [8] Hoffman K.: *An Introduction to Measurements using Strain Gages*. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, Germany, 1989.





## POPIS AUTORA

	A		P	
Abazi, Sead	3	POTOČKI, Kristina	43	
Alagušić, Marina	5	PRANJIĆ, Ivana	45	
	B		S	
Baloević, Goran	9	SERTIĆ, Josip	47	
	Ć	SIGMUND, Vladimir	23	
Ćosić, Krunoslav	11	SUSINOV, Bojan	51	
Ćubela, Dragan	15	SUŠANJ, Ivana	53	
Ćurković, Ivan	17		Š	
	DŽ	ŠPRAH, Nataša	55	
DŽOLAN, Ante	19	ŠRENG, Željko	57	
	G		T	
GRGIĆ, Viktorija	21	TENI, Mihaela	59	
GRUBIŠIĆ, Marin	23		V	
	J	VLASTELICA, Goran	63	
JELEČ, Mario	25	VRDOLJAK, Anton	65	
	K		Z	
KATIĆ, Dragan	27	ZAFIROVSKI, Zlatko	69	
KILIĆ, Jelena	31	ZAGVOZDA, Martina	71	
KOŠČAK, Janko	33	ZLATINEK, Mateja	73	
	M			
MASLAĆ, Danijela	37			
MATIJEVIĆ BARČOT, Sanja	39			
MESAREC, Beno	41			









ISBN: 978-953-58711-0-1 [usb izdanje]  
978-953-58711-1-8 [internet izdanje]