



2014.
GODINA
LVII

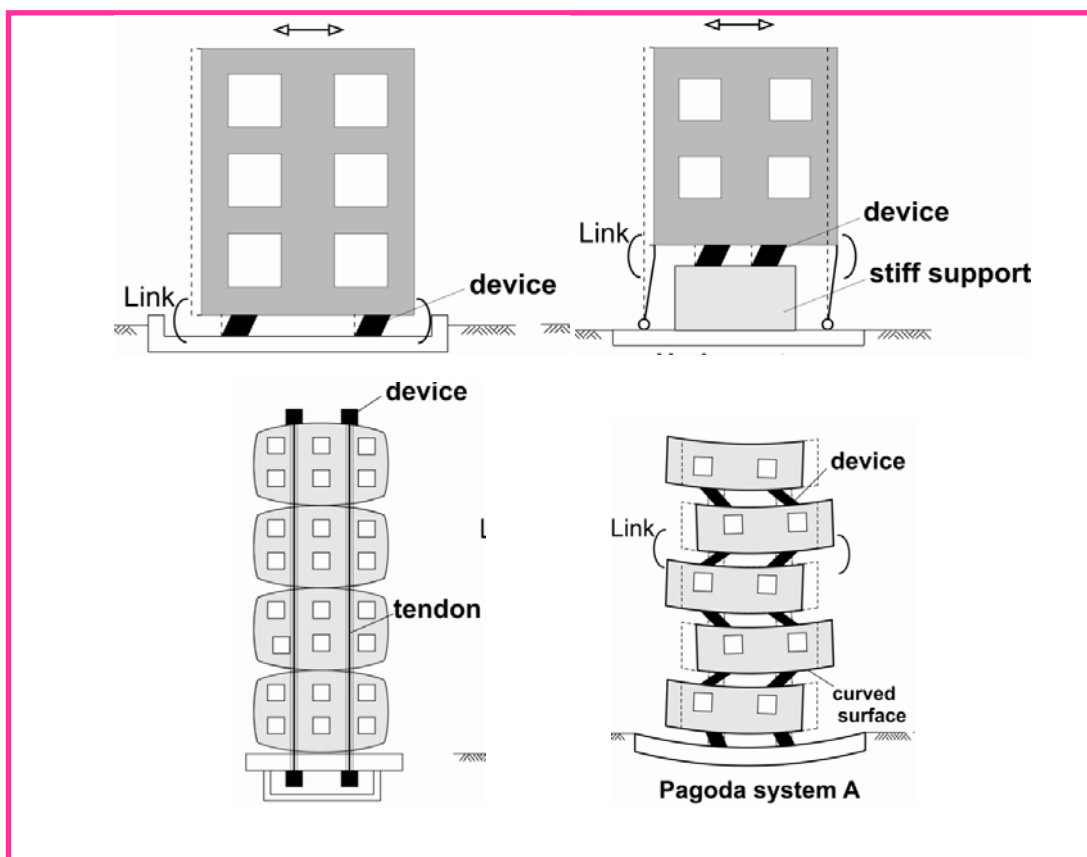


GRAĐEVINSKI MATERIJALI I KONSTRUKCIJE

4

BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES

ČASOPIS ZA ISTRAŽIVANJA U OBLASTI MATERIJALA I KONSTRUKCIJA
JOURNAL FOR RESEARCH OF MATERIALS AND STRUCTURES



GRAĐEVINSKI MATERIJALI I KONSTRUKCIJE

BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES

ČASOPIS ZA ISTRAŽIVANJA U OBLASTI MATERIJALA I KONSTRUKCIJA
JOURNAL FOR RESEARCH IN THE FIELD OF MATERIALS AND STRUCTURES

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Professor **Radimir Folić**, Editor in-Chief
Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Serbia
Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
e-mail: folic@uns.ac.rs

Professor **Mirjana Malešev**, Deputy editor
Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad,
Serbia
Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
e-mail: miram@uns.ac.rs

Dr **Ksenija Janković**
Institute for Testing Materials, Belgrade, Serbia
Institut za ispitivanje materijala, Beograd, Srbija

Dr **Jose Adam, ICITECH**
Department of Construction Engineering, Valencia,
Spain.

Professor **Radu Banchila**
Dep. of Civil Eng. „Politehnica“ University of
Timisoara, Romania

Professor **Dubravka Bjegović**
Civil Engineering Institute of Croatia, Zagreb, Croatia

Assoc. professor **Meri Cvetkovska**
Faculty of Civil Eng. University "St Kiril and Metodij",
Skopje, Macedonia

Professor **Michael Forde**
University of Edinburgh, Dep. of Environmental Eng.
UK

Dr **Vladimir Gocevski**
Hydro-Quebec, Montreal, Canada

Acad. Professor **Yachko Ivanov**
Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

Dr. Habil. **Miklos M. Ivanyi**
UVATERV, Budapest, Hungary

Professor **Asterios Liolios**
Democritus University of Thrace, Faculty of Civil
Eng., Greece

Professor **Doncho Partov**
University of Construction and Architecture - VSU
"L.J.Karavelov" Sofia, Bulgaria

Predrag Popović
Wiss, Janney, Elstner Associates, Northbrook,
Illinois, USA.

Professor **Tom Schanz**
Ruhr University of Bochum, Germany

Professor **Valeriu Stoin**
Dep. of Civil Eng. „Poloitehnica“ University of
Timisoara, Romania

Acad. Professor **Miha Tomažević**, SNB and CEI,
Slovenian Academy of Sciences and Arts,

Professor **Mihailo Trifunac**, Civil Eng.
Department University of Southern California, Los
Angeles, USA

Lektori za srpski jezik: Dr **Miloš Zubac**, profesor
Aleksandra Borojev, profesor
Proofreader: Prof. **Jelisaveta Šafranj**, Ph D
Technical editor: Stoja Todorovic, e-mail: saska@imk.grf.bg.ac.rs

PUBLISHER

Society for Materials and Structures Testing of Serbia, 11000 Belgrade, Kneza Milosa 9
Telephone: 381 11/3242-589; e-mail: dimk@ptt.rs, veb sajt: www.dimk.rs

REVIEWERS: All papers were reviewed

COVER: Koncepti seizmičke zaštite konstrukcija
Concepts of seismic control of structures

Financial supports: Ministry of Scientific and Technological Development of the Republic of Serbia

GRAĐEVINSKI MATERIJALI I KONSTRUKCIJE

BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES

ČASOPIS ZA ISTRAŽIVANJA U OBLASTI MATERIJALA I KONSTRUKCIJA
JOURNAL FOR RESEARCH IN THE FIELD OF MATERIALS AND STRUCTURES

SADRŽAJ

Izveštaj o radu Društva za za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije u periodu od 2011. do 2014. godine (prof. Z. Grdić).....	3
Izveštaj o radu na uređivanju časopisa Građevinski materijali i konstrukcije (prof. R. Folić)	7
Uwe E. DORKA SEIZMIČKO UPRAVLJANJE IZDIGNUTIM PUTEVIMA - NADVOŽNJACIMA Originalni naučni rad	9
Miljan KOVAČEVIĆ Ljubo MARKOVIĆ Lidija BABIĆ STATISTIČKO MODELIRANJE EKSTREMNIH VREDNOSTI: PRIMENA NA PRORAČUN EKSTREMNIH PROTOKA NA RECI RASINI Stručni rad	21
Dubravka BJEGOVIĆ Marijana SERDAR Marija JELČIĆ RUKAVINA Ana BARIČEVIĆ Martina PEZER MOGUĆNOSTI PRIBLIŽAVANJA BETONSKE INDUSTRIJE CIRKULARNOM MODELU KROZ INDUSTRIJSKU SIMBIOZU Originalni naučni rad	31
Zvonimir ŽAGAR NASELJENI MOSTOVI: UMJETNOST I ZNANOST (boje li se arhitekti dizajna mostova) Pregledni rad - teze za diskusiju	43
Radimir Folić Nenad Šušić Ludvik Trauner In MEMORIAM Prof. dr MILAN MAKSIMOVIĆ (1941-2014)	59
Informacija o održanom XXVI Kongresu i međunarodnom simpozijumu DIMK SRBIJE 2014.	61
Uputstvo autorima	62

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

620.1

GRAĐEVINSKI materijali i konstrukcije :
časopis za istraživanja u oblasti materijala
i konstrukcija = Building Materials and
Structures : journal for research of
materials and structures / editor-in-chief
Radimir Folić. - God. 54, br. 1 (2011)-
- Beograd (Kneza Miloša 9) : Društvo za
ispitivanje i istraživanje materijala i
konstrukcija Srbije, 2011- (Novi Beograd :
Hektor print). - 30 cm

Tromesečno. - Je nastavak: Materijali i
konstrukcije = ISSN 0543-0798
ISSN 2217-8139 = Građevinski materijali i
konstrukcije
COBISS.SR-ID 188695820

CONTENTS

Uwe E. DORKA SEISMIC CONTROL FOR ELEVATED ROADS Original scientific paper	9
Miljan KOVACEVIC Ljubo MARKOVIC Lidija BABIC STATISTICAL MODELLING OF EXTREME VALUES: APPLICATION TO CALCULATE EXTREME FLOW AT RIVER RASINA Professional paper	21
Dubravka BJEGOVIC Marijana SERDAR Marija JELCIC RUKAVINA Ana BARICEVIC Martina PEZER POSSIBILITIES IN CONCRETE INDUSTRY TOWARDS CIRCULAR ECONOMY THROUGH INDUSTRIAL SYMBIOSIS Original scientific paper	31
Zvonimir ZAGAR INHABITED BRIDGES: ART AND SCIENCE Are architects afraid of designing bridges? Review paper - thesis for discussion.....	43
Radimir Folic Nenad Susic Ludvik Trauner In MEMORIAM Prof. dr MILAN MAKSIMOVIC (1941-2014)	59
Preview report	62



IZVEŠTAJ O RADU

DRUŠTVA ZA ZA ISPITIVANJE I ISTRAŽIVANJE MATERIJALA I KONSTRUKCIJA SRBIJE U PERIODU OD 2011. DO 2014. GODINE

Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije (DIMK Srbije) je u periodu između XXV i XXVI Kongresa, tj. od novembra 2011. do novembra 2014. godine, realizovalo niz aktivnosti čiji je cilj bio dalje unapređenje rada Društva, afirmisanje istraživanja u oblasti materijala i konstrukcija, kao i građevinske struke u celini.

RAD DIMKS U 2011. GODINI

• Najvažnija aktivnost Društva u 2011. godini bila je organizacija i održavanje XXV Kongresa i Međunarodnog simpozijuma o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija. Kongres je održan na Tari u periodu od 19. do 21. oktobra 2011. godine. Organizator simpozijuma je bilo Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije (DIMKS) u saradnji sa Institutom za ispitivanje materijala IMS Beograd, pod pokroviteljstvom Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije. Odražavanje simpozijuma je finansijski potpomoglo Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije, kao i Inženjerska komora Srbije.

Svi radovi koji su prihvaćeni od strane organizacionog i programskog odbora štampani su u Zborniku radova CIP 624(082), 69(082), 666.7/9(082). Editor Zbornika radova je bio prof.dr. Vlastimir Radonjanin, dipl.inž.građ. Zbornik sadrži 64 radova od kojih je 7 štampano na srpskom i 57 na engleskom jeziku. Zbornik radova dat je kao prilog ovom izveštaju.

Radovi štampani u Zborniku su podeljeni u 7 tematskih celina:

- Istraživanja na području materijala i njihove primene (20 radova),
- Teorijska i eksperimentalna analiza konstrukcija (14 radova),
- Projektovanje i građenje objekata (7 radova),
- Aseizmicko projektovanje i građenje (3 rada),
- Održavanje i sanacija građevinskih objekata (9 radova),
- Materijali, konstrukcije i životna sredina (7 radova) i
- Energetska efikasnost građevinskih objekata (4 rada).

Rad simpozijuma se odvijao po utvrđenom dnevnom redu koji je dat u nastavku ovog izveštaja. Simpozijum je otvorio predsednik DIMK Srbije prof. dr Vlastimir Radonjanin, a zatim je uvodnu reč imao prof. emeritus dr Radomir Folić. Uvodno predavanje održala je doc. dr Gordana Topličić-Ćurčić kojoj je Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije dodelilo Plaketu za izuzetna ostvarenja u oblasti istraživanja materijala, za najbolju doktorsku disertaciju u periodu 2008. - 2011. godina.

Na simpozijumu su izloženi gotovo svi odštampani radovi. Posebnu vrednost izlaganjima su dale diskusije koje su se vodile na kraju svake sesije. Značajan broj prisutnih, njih oko 60, je učestvovao u diskusijama. Imajući u vidu teme izloženih radova može se uočiti značajan napredak u pogledu istraživanja materijala u odnosu na prethodni simpozijum održan pre tri godine. To pokazuje da se u značajnoj meri hvata korak ne samo sa savremenim trendovima u oblasti istraživanja materijala i konstrukcija zemalja u okruženju već i mnogo šire. Takođe, može se primetiti da je u istraživanjima korišćena raspoloživa savremena laboratorijska oprema. Ipak i dalje postoji opravdana potreba za nabavkom nedostajuće, kao i za zamenom stare i dotrajale laboratorijske opreme laboratorija fakulteta i instituta.

Na osnovu događanja na simpozijumu mogu se dati sledeći zaključci:

• Po prvi put Simpozijum DIMK Srbije je imao međunarodni karakter što je izuzetno važno za nauku na polju ispitivanja i istraživanja materijala i konstrukcija.

• Prisustvo učesnika na simpozijumu je bilo izuzetno zadovoljavajuće. Posebno je bilo značajno prisustvo učesnika kolega iz okruženja: Slovenije, Hrvatske, Makedonije, Crne Gore, Bosne i Hercegovine. Radovi su po tematici pokrivali širok spektar aktuelnih ispitivanja iz oblasti građevinskih materijala, konstrukcija, optimalizacije građenja.

• Za simpozijum je stigao značajan broj radova (64) koji su recenzirani i objavljeni u Zborniku radova. Sva izlaganja radova su na kraju sesije propraćena detaljnom diskusijom.

• Vidan je napredak u osvajanju novih tehnologija kada su građevinski materijali u pitanju, a sa posebnim akcentom na iskorišćenje recikliranog otpada. Isti su

proistekli iz međunarodnih i nacionalnih projekata koji su u toku ili su uspešno okončani.

- Po prvi put se u odnosu na prethodni trogodišnji period uočava značajan napredak u praćenju svetske naučne literature iz odgovarajućih naučnih grana koja je pretočena u domaća eksperimentalna istraživanja. Pored do sada uobičajenih ispitivanja fizičkih i mehaničkih svojstava materijala znan je napredak u analizi njihove mikrostrukture primenom savremenim metoda ispitivanja.

- Zaključuje se da učešće u međunarodnim i nacionalnim projektima kao i novi uslovi za izbore u viša zvanja na Univerzitetima u zemlji i okruženju daju značajan napredak u procesu istraživanja.

- Prisutan je veliki broj mladih istraživača - studenata doktorskih studija čiji su rezultati rada vidni na osnovu izloženih radova na skupu.

- Posebno važan zaključak koji se može izvesti je da Republika Srbija na polju naučnih oblasti koje su na ovom simpozijumu obrađene ne kasni sa naučnim dostignućima već ide u korak sa zemljama u svom okruženju, što je i najveći značaj ovog Kongresa.

RAD DIMKS U 2012. GODINI

- Centralno mesto u aktivnostima tokom 2012. godine zauzima Međunarodna konferencija „Istraživanja u oblasti materijala i konstrukcija“ koja je održana povodom obeležavanja 60 godina postojanja i rada Društva. Konferencija je održana u svečanjoj sali na Građevinskom fakultetu u Beogradu. Eminentni predavači po pozivu su dali pregled dotadašnjih istraživanja i predstavili dostignuća i rezultate najnovijih istraživanja u oblasti materijala i konstrukcija zemalja regiona – sa prostora bivše Jugoslavije. Na konferenciji su radove izlagala po dva predavača iz svake bivše jugoslovenske republike: Dr Miha Tomažević, akademik, Dr Roko Žarnič, red.prof., Dr Dubravka Bjegović, red.prof., Dr Alen Harapin, red.prof., Dr Radomir Folić, prof. Emeritus, Dr Mihajlo Muravljev, red.prof., Dr Svetlana Petkovska Ončevska, red.prof., Dr Dragan Ivanov, red.prof. u penziji, Dr Azra Kurtović, docent, Dr Damir Zenunović, v.prof., Dr Radenko Pejović, red.prof. i Dr Radomir Zejak, v.prof.

Povodom Konferencije štampan Zbornik radova na engleskom jeziku obima 276 strana u 150 primeraka. Konferencija je ocenjena kao izuzetno uspešna, realizovana po planu uz veliku posećenost, oko 150 učesnika. Svi predavači su se odazvali pozivu i predstavili svoje radove uz veliko zadovoljstvo što se posle toliko godina organizuje ovakav skup na području regiona. Profesori su ukazali na neophodnost ovakvog vida saradnje tako da se za sledeću godinu već najvaljuje Konferencija u Zagrebu, koja će pokušati da održi kontinuitet dalje zajedničke saradnje. Jubilej DIMK-e je dokazao da i pored svih prepreka koje su se proteklih godina pojavile, nauka nema granica.

- Društvo DIMK Srbije je zajedno sa Udruženjem savremene industrije glinenih proizvoda Srbije i Institutom IMS bilo suorganizator savetovanja „Primena proizvoda od gline u izgradnji energetski efikasnih zgrada“. Savetovanje je održano 26. aprila 2012. godine u svečanjoj sali Instituta IMS. Povodom ovog

savetovanja štampan je zbornik radova obima 135 strana u tiražu od 200 primeraka.

RAD DIMKS U 2013. GODINI

- DIMK Srbije u saradnji sa Institutom IMS i Inženjerskom komorom Srbije, a pod pokroviteljstvom Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja organizovalo je konferenciju pod nazivom „Fasade i krovovi u zgradarstvu – savremeni i tradicionalni materijali i sistemi u funkciji energetske efikasnosti, trajnosti i estetike“ kao doprinos unapređenju znanja iz navedenih oblasti. Pozvani su afirmisani stručnjaci i naučni radnici iz naše zemlje da domaćoj stručnoj i naučnoj javnosti približe aktuelna saznanja i rešenja iz domena problematike na koju se konferencija odnosi: prof. dr Mihailo Muravljev, prof. dr Boško Stevanović, prof. dr Dragica Jevtić, prof. dr Vlastimir Radonjanin, Goran Prolić, prof. dr Mirjana Malešev, Ivana Delić-Nikolić, Ljiljana Miličić, dr Zagorka Radojević, Anđelina Kuzmanović, Mirjana Sekulić, prof. dr Nađa Kurtović-Folić, Aleksandr Beronja, Darko Mijatović, Danijel Đurić, dr Zoran Bačkalić, doc. dr. Miomir Vasov, prof. dr Veliborka Bogdanović, prof. dr Zoran Grdić, doc. dr. Dragan Kostić, mr. Jelena Savić, Vuk Milošević.

Konferenciju su otvorili: prof. dr Aleksandar Gajić, državni sekretar Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, Jasminka Pavlović, načelnik Odeljenja za energetske efikasnost i građevinske proizvode Ministarstva građevine i urbanizma, prof.dr Vencislav Grabulov, direktor Instituta za spitivanje materijala, prof. dr Vlastimir Radonjanin, Inženjerska komora Srbije, prof. dr Zoran Grdić, predsednik DIMK Srbije.

Na Konferenciji su predavači po pozivu predstavili 11 radova u cilju prikazivanja izvođačima i projektantima savremenene i tradicionalne materijale i sisteme u funkciji energetske efikasnosti, trajnosti i estetike. U radovima na ovoj Konferenciji prikazani su delovi istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru tehnološkog projekta TR 36017, naučno istraživačkog projekata III 45008 i projekta integralnih i interdisciplinarnih istraživanja III 42012. Štampan je Zbornik radova u 200 primeraka.

- Na predlog prof. dr Dragice Jevtić i doc. dr Gordane Topličić-Čurčić o održavanju jednodnevnih skupova sa ciljem upoznavanja šire stručne javnosti sa usvojenim najnovijim standardima iz oblasti tehnologije betona i njihovom primenom u praksi Upravni odbor na sastanku od 06.03.2013. je doneo odluku o organizovanju Seminara u Nišu - GAF, Beogradu – IMS i Novom Sadu – FTN. Ideja je pored ostalog da to budu skupovi sa veoma malo troškova, dok bi se prihodi od kotizacija i participanata iz privrede iskoristili za poboljšanje materijalne situacije Društva. Prvi Seminar održan je 14.06.2013. u Sali GAF Niš, drugi 15.11.2013.godine u Sali Instituta za ispitivanje materijala u Beogradu. Oba Seminara su bila izuzetno posećena i dobro organizovana. Svojim radom za seminar izuzetan doprinos Društvu dali su prof. dr Dragica Jevtić, doc. dr Dimitrije Zakić, prof. dr Vlastimir Radonjanin, prof. dr Mirjana Malešev, dr Ksenija

Janković, mr Dragan Bojović, doc. dr Gordana Topličić-Ćirčić i prof. dr Zoran Grdić. Učesnicima su uručene potvrde o pohađanju Seminara, ukupno 132, a predavačima će biti urađene potvrde o vršenju obuke za polaznike. Velika posećenost i interaktivan rad je opravdao potrebu privrede i korist Društva.

RAD DIMKS U 2014. GODINI

- Glavni cilj Društva u 2014. godini bio je organizovanje XXVI Kongresa i Međunarodnog simpozijuma „Istraživanja i primena savremenih dostignuća u građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija“. Pozivu za učešće na Simpozijumu se odazvao veliki broj autora i koautora iz celog regiona, tako da je tim povodom štampan je Zbornik sa ukupno 54 rada.

- Društvo je tokom 2014. godine raspisalo Konkurs za dodelu priznanja najboljem doktoratu urađenom iz oblasti delatnosti Društva u periodu od 2012. do 2014. godine. Dodeljena su dva ravnopravna priznanja kolegama dr Ivanu Ignjatoviću sa Građevinskog fakulteta u Beogradu i Doc. dr Predragu Blagojeviću sa GAF Niš.

- Društvo je u prethodnim godinama radilo na jačanju časopisa „Građevinski materijali i konstrukcije“, obezbeđenja bolje vidljivosti i podrške DOI broja. Odlukom Upravnog odbora od 13.09.2013. pretplatili smo se na ASEESTANT - Servis za uređivanje časopisa, a od ove godine (2014.) časopis je prijavljen za praćenje kod Thomas Rojtersa. Detaljan izveštaj o časopisu „Građevinski materijali i konstrukcije“ podneće glavni urednik prof. Emeritus dr Radomir Folić. Značajno je naglasiti za ovaj Izveštaj da je od 2013. godine, svrstavljem časopisa u kategoriju M24, obezbeđeno

stalno sufinansiranje izdavanja časopisa od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja.

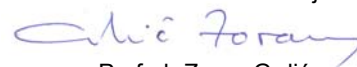
- Društvo DIMK Srbije je tokom 2014. godine obnovilo članstvo u RILEM-u sa ciljem daljeg unapređenja međunarodne saradnje.

- DIMK Srbije tesno saraduje sa Institutima i Fakultetima, kao i drugim organizacijama koje se bave ispitivanjem i istraživanjem materijala i konstrukcija sa prostora Republika bivše Jugoslavije. Posebno je uspešna saradnja sa Udruženim savremene industrije glinenih proizvoda Srbije, gde se kroz zajedničke simpozijume i savetovanja čine naponi da se unapredi primena proizvoda od pečene gline, kao i zidanih konstrukcija u celini.

- Svojim aktivnostima u oblasti istraživanja i primene materijala i konstrukcija u našem građevinarstvu, Društvo DIMK Srbije se nesumnjivo svrstalo u red najaktivnijih društava u okviru Saveza građevinskih inženjera Srbije.

- Zahvaljujući angažovanju članova Upravnog odbora i ostalih stručnjaka angažovanih po pozivu, svojim radom doprineli su stabilnom poslovanju DIMK u uslovima teške ekonomske krize. Izveštaj o finansijskom poslovanju biće prezentovan posebno.

Predsednik DIMK Srbije



Prof. dr Zoran Grdić

IZVEŠTAJ

O RADU NA UREĐIVANJU ČASOPISA "GRAĐEVINSKI MATERIJALI I KONSTRUKCIJE" ZA PERIOD OD OKTOBRA 2011. DO OKTOBRA 2014. GODINE

Oktoobra 2001. godine, održani su XXV kongres i Skupština Društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije (DIMK Srbije), gde sam – u svojstvu glavnog i odgovornog urednika časopisa „Građevinski materijali i konstrukcije” – podneo izveštaj o radu od oktobra 2008. do oktobra 2011. godine. Taj izveštaj, zajedno sa izveštajem predsednika prof. dr Vlastimira Radonjanina o radu DIMK Srbije u pomenutom periodu, objavljen je u časopisu broj 4 od 2011. godine. Isti broj časopisa, koji je štampan na 67 strana, sadrži još i pozdravnu reč predsednika DIMK Srbije na otvaranju kongresa, kao i četiri obimna rada. Dva rada odnose se na saobraćajnice, a jedan na geotehničke aspekte i njihov uticaj na oštećenja značajnog objekta. U jednom radu, čiji su autori s Tehničkog fakulteta iz Kosovske Mitrovice, razmatra se savremeni aspekt planiranja realizacije građevinskog projekta. Tri rada recenzenti su ocenili kao stručna, a jedan kao prethodno saopštenje. Jedan autor je iz BiH (Republike Srpske), dok su ostali autori iz Srbije.

Za razliku od ranijeg perioda, kada je veći broj radova publikovan u formi dvobroja, u ovom periodu štampana su po četiri broja godišnje, pa su s manjim brojem stranica.

U broju 1/2012. godine, objavljena su četiri rada na 65 strana. Jedan rad govori o dinamičkoj analizi kablova, a jedan o modelima tunela u eksperimentalnim istraživanjima. Preostala dva rada odnose se na tehnologiju betona i na geotehnička istraživanja. Autor prvog rada je iz Crne Gore, a ostali autori su iz Srbije. Jedan rad klasifikovan je kao stručan, dva kao originalni naučni rad, a jedan je iz kategorije – pregledni rad.

U broju 2/2012. godine, štampana su četiri rada, na 58 strana. Od toga, dva rada su iz kategorije originalni naučni rad, jedan je stručni, a jedan pregledni rad. Jedan rad govori o fizičkim modelima tunela u pogledu eksperimentalnih istraživanja, jedan o animacijama u građevinarstvu i arhitekturi. U jednom radu tretiran je problem upotrebe vatrostalnog veziva od otpadnih materijala. Aktuelni problem upotrebe neuronskih mreža za procenu betona i armature u višespratnim objektima. Svi autori su iz Srbije.

U broju 3/2012. godine, na 69 strana, objavljena su tri rada. Sva tri rada klasifikovana su kao originalni

naučni rad. Dva rada su napisali autori iz Makedonije, a jedan rad – autori iz Srbije. U jednom radu razmatraju se zamor i vremensko ponašanje štapa reološko-dinamičkim modelom. U radu o Lučnoj brani „Sveta Petka” u Makedoniji, analizirani su svi relevantni rezultati kompleksne analize, dok se jedan rad odnosi na veoma aktuelnu oblast „pametnih” materijala.

Broj 4/2012. godine štampan je na 46 strana, a sadrži tri rada. Jedan rad s naučnog skupa odnosi se na veoma aktuelne probleme zemljotresnog inženjerstva. Autori su iz Grčke. Jedan rad tretira poboljšanje hidrauličnih svojstava letećeg pepela, a jedan govori o metodama modeliranja u geotehnici. U jednom radu dva autora su iz Bosne i Hercegovine, a jedan iz Srbije. Jedan rad je klasifikovan kao originalni naučni rad, a jedan kao prethodno saopštenje.

U časopisu broj 1/2013. godine, na 54 strane, štampani su četiri rada i jedan prikaz monografije „Sto godina nastave AB na GF u Beogradu”. Prvi rad sadrži komparativnu analizu greda spravljenih od normalnog i lakoagregatnog betona. Drugi rad tretira laminirane tankozidne nosače (I deo). U trećem radu prikazana je potkonstrukcija fasade – studija slučaja. Četvrti rad je iz oblasti geodetskih merenja. Svi autori su iz Srbije.

Broj 2/2013. godine štampan je na 81 strani, i sadrži četiri rada. Od toga, dva rada su originalni naučni radovi, a dva su stručni radovi. Dva rada autora iz Slovenije odnose se na procenu i pojačavanje istorijskih objekata (jedan zidanih, a drugi drvenih konstrukcija). Jedan rad tretira metode analize pomeranja sidrenih dijafragmi, dok se u jednom radu razmatraju termički mostovi kod zgrada. Jedan rad delo je dva autora iz Bosne i Hercegovine.

Broj 3/2013. godine, na 51 strani, donosi tri rada. U prvom radu razmatra se primena konačnih traka u viskoelastičnoj analizi prednapregnutih nosača. U drugom radu se analizira uticaj dodatka reciklirane gume i stakla na brzinu ultrazvuka u betonu. Treći rad je drugi deo ranije publikovanog rada Laminirani tankozidni nosači. Autori su iz Srbije.

U broju 4/2013. godine, štampana su tri rada na 63 strane. Dva rada su klasifikovana kao stručni radovi, a jedan kao originalni naučni rad. Prvi rad tretira evropske norme za geotehniku, a autori su iz Makedonije i Srbije.

Drugi i treći rad napisali su autori iz Srbije. Drugi rad tretira nelinearnu statičku analizu jedne klase konstrukcija, a u trećem radu razmatra se problem planuma železničkih pruga.

Broj **1/2014.** godine sadrži **54 strane**, s tri rada, uz In Memoriam profesoru Miklošu Ivanjiju iz Mađarske, koji je bio član redakcije (autor prof. Radu Bančila iz Rumunije). U prvom radu razmatra se seizmičko dejstvo kod tunela i interakcija tunela i okolne sredine. U drugom radu analiziraju se evropske norme za železnice, a treći nam donosi statističku analizu rezultata ispitivanja betona. Jedan rad klasifikovan je kao pregledni rad, a dva su klasifikovana kao stručni radovi. U prvom radu jedan autor je iz Makedonije, a ostali autori su iz Srbije.

U broju **2/2014.** godine, štampana su četiri rada na **57 strana**. Tri rada klasifikovana su kao originalni naučni radovi, a jedan kao stručni rad. U prvom radu analizira se stabilnost i dinamika konstrukcija pri primeni kod specifične klase konstrukcije. Autor je iz Slovačke. Ostali autori su iz Srbije. Drugi rad odnosi se na mehaničko nastavljanje armature, a treći na otpornost na kiseline materijala na bazi metalurškog cementa. U trećem radu razmatra se flater u vremenskom i frekventnom domenu.

Broj **3/2014.** godine štampan je na **78 strana** i sadrži četiri rada. Svi radovi su iz kategorije originalni naučni rad. Prvi rad, autora iz Bugarske, tretira evropske norme 1998, uz predloge za primene u projektovanju konstrukcija. Drugi rad, autora iz Crne Gore, tretira puzanje meke stene, a treći rad razmatra primenu specijalne matematičke metode za višekriterijumske odluke u građevinarstvu. U četvrtom radu analiziraju se karakteristike tranzitne zone betona na bazi lakog agregata. Autori druga dva rada su iz Srbije.

Od 2013. godine, odlukom Matičnog odbora Ministarstva za obrazovanje, nauku i tehnološki razvoj, časopis se vrednuje kategorijom M24=3 poena. Za to je veoma zaslužan prof. Đorđe Vuksanović sa Građevinskog fakulteta iz Beograda. Pošto je časopis od ove godine prijavljen za praćenje kod Thomas Rojtersa, bitno je da se ne kasni s publikovanjem (a bilo je malo problema s tim u vezi), jer bismo imali diskontinuitet, tj. prekid praćenja. To se dogodilo pre štampanja broja 2 iz ove godine. Ipak, ličnim kontaktima, postignuto je to da odziv kolega iz susjednih zemalja bude pozitivan i problem je rešen.

U Novom Sadu, oktobra 2014. godine

Na osnovu datog pregleda radova, vidi se da je participacija autora iz susjednih država na zadovoljavajućem nivou i da obogaćuju tematiku časopisa. Potrebno je da se, kao i u ranijem periodu, angažuju svi građevinski fakulteti i instituti i da učestvuju sa što više radova. Nažalost, skoro redovno nastavnici fakulteta javljaju se samo pred izbore, kada im je važno da publikuju rad u najkraćem roku, a to nije dobro.

Zadovoljstvo mi je da saopštim da je u međuvremenu stiglo dovoljno radova za sledeća dva broja, tj. za broj 4/2014. i br. 1/2015.

Društvo je 23. novembra 2014. godine sklopilo ugovor s Centrom za evaluaciju u obrazovanju i nauci, koji zastupa prof. dr Pero Šipka, u vezi s korišćenjem servisa Aseestant, za elektronsko uređivanje časopisa „Građevinski materijali i konstrukcije”. Osnovni cilj pokretanja servisa jeste unapređivanje efikasnosti rada uredništva, poboljšanje kvaliteta i regularnosti recenzentskog postupka, zaštita od objavljivanja duplikata ili plagiranih radova, poboljšanje opremljenosti radova i – na osnovu svega toga – poboljšanje kvaliteta i uticajnosti časopisa, a time i baze SCI indeksa (Srpski citatni indeks) u celini. Zahvaljujući ovoj podršci, u mogućnosti smo da ostvarujemo stalni napredak u uticajnosti, kvalitetu i internacionalizaciji radova, časopisa i baze, uključujući napredak u poštovanju međunarodnih etičkih i publicističkih normi.

U radu na uređivanju časopisa srećem se s problemom nedostatka radova, što je bio slučaj i u prethodnom periodu. Takođe, tu je i veoma aktuelan problem recenziranja, kao i u prethodnom periodu, jer se to obavlja volonterski. Potrebno je u svim sredinama aktivirati članove Redakcionog odbora i DIMK Srbije da daju svoje autorske priloge za naš časopis. Takođe, potrebno je da autori više citiraju radove objavljene u našem časopisu, jer bi to povoljnije uticalo na njegovo vrednovanje. Predložiću i proširenje Redakcionog odbora za dva člana iz inostranstva.

Ipak, duži je spisak kolega koji su se odazvali mojim pozivima za pisanje radova za naš časopis, na čemu sam im veoma zahvalan. Takođe, zahvaljujem i kolegini Mirjani Malešev, tehničkom uredniku Stoji Todorović, kao i sekretaru DIMK Srbije Slavici Živković na pomoći i podršci.

Glavni i odgovorni urednik

Prof. dr Radomir Folić

SEISMIC CONTROL FOR ELEVATED ROADS

SEIZMIČKO UPRAVLJANJE IZDIGNUTIM PUTEVIMA – NADVOŽNJACIMA

Uwe E. DORKA

ORIGINALNI NAUČNI RAD
ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER
UDK: 625.745.12.042

1 INTRODUCTION

Especially the 1994 Northridge [1] and 1995 Hanshin-Awaji (Kobe) [2] earthquakes have demonstrated the vulnerability of deck bridges, which make up the bulk of modern bridge construction, especially for elevated road and railroad bridges. Dominant failure modes are: shear failure in piers (Fig. 1) due to horizontal over-loading and drop-off of deck sections due to excessive movements in bearings and piers (Fig. 2).

These failures caused zero functionality of one of the

most important infrastructure in this densely populated area for about 1 year! It severely curtailed relief and reconstruction efforts and caused huge direct and long-term economic losses. It is thus obvious, that the piers of elevated roads need special protection from over-loading and foundation failure, since one failed pier (and there are usually hundreds) already renders such a road useless and requires extensive and time-consuming repairs. For the same reason, it is also necessary to prevent drop-off due to bearing failure.



Figure 1. Shear failure of piers of the Hanshin Expressway in Kobe during the Hanshin-Awaji earthquake (from www.fhwa.dot.gov)

Uwe E. Dorka, Professor, Universität Kassel, Kurt-Wolters-
Str. 3, D-34125 Kassel, Germany, +49-561-8042667,
uwe.dorka@uni-kassel.de



Figure 2. Drop-off of a large steel section of the Hanshin Expressway during the Hanshin-Awaji earthquake (from www.washington.edu)

Conventional deck bridge systems obviously fail to provide such protection, and therefore, the situation has not substantially improved since the Kobe and Northridge events: We need to look into structural systems that provide this required “robustness”, in particular by introducing a physical limit to the forces on the piers, and provide enough motion capacity for superstructure even for extreme events that go beyond the design limit, like the Nankai Trough Worst Case Scenario [3], which is now considered for the Osaka highways.

In this context, the tight economic constraints under which such roads are built cannot be forgotten: Their bridges are mainly “mass products”. This means that any new structural system should not be more expensive than a conventional deck bridge and furthermore, it should preferably also provide retrofitting solutions for existing deck bridges. Such systems can be conceived through a “Seismic Control” approach.

2 A BRIEF INTRODUCTION TO “SEISMIC CONTROL”

There is a lot of misunderstanding even in the academic community about structural control and in particular: “Seismic Control”. The definition I use in my work is derived from control engineering: In this context, structural control is

the **control of selected response variables** of a structure subjected to dynamic loading.

Such variables may be *displacements* or their time derivatives (*velocities, accelerations*) and/or *forces*. *Full controllability* of a system is of course important, but cannot be achieved under all circumstances. Take a motor for example. It is an assemblage of rigid bodies (pistons, drive shaft etc.). Control over their motions is reduced, if the drive shaft experiences vibrations (e.g. due to a faulty bearing), which eventually will lead to the destruction of the engine. Such “spurious modes” are often a problem in controlled systems. Another example for this is a shaking table.

Besides these rigid body assemblages, vibrational modes also can be controlled. In fact, such control is now almost standard in high-end cars, where the suspension has active (usually hydraulic) components that react to the car’s motion and, using highly developed control algorithms, provide an incredibly smooth ride at different speeds and on different road surfaces.

These examples from control engineering show that, *full controllability* can be achieved in **mode control** and the *control of rigid body mechanisms*. For *mode control*, a structural system is needed that has clearly defined modes. For *rigid body control*, a structural system must consist of an assemblage of rigid bodies. Their motion can be controlled in connecting links using appropriate devices. For building structures, a number of structural concepts have been identified [6], which allow rigid body motion control (Fig. 3).

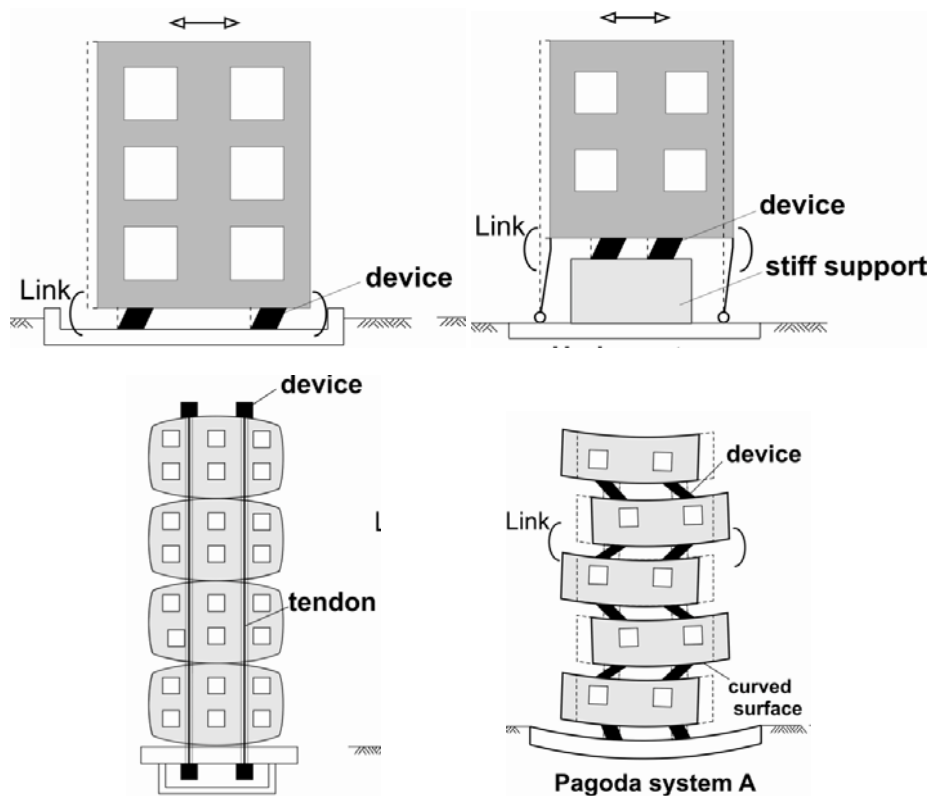


Figure 3. Structural concepts suitable for rigid body motion control and thus Seismic Control (clock-wise from top left): Base Isolation (BI), Hysteretic Device System (HDS, [4,5]), Tendon System (TS) and Pagoda System (PS) (adapted from [6]). HDS applies to deck bridges in particular

The four concepts shown in Fig 3 have been suggested for seismic control [6] because it is **rigid body control**, which is most suitable under earthquake loading. Rigid body motions avoid dynamic amplification and thus result in small kinetic and potential energies (Fig. 4), which in turn lead to reduced forces and displacements in the structure.

If a seismic control system is able to achieve the behavior given in Fig. 4 (right), the reduction in forces

and displacements already make for a much more economical structure. But it is the force-limiting feature in the seismic link of the control system, which provides the required robustness: No matter how strong the earthquake, the forces cannot get bigger than this controlled limit, which protects important structural elements, like piers. And larger motions in the link can usually be accommodated structurally without much difficulty.

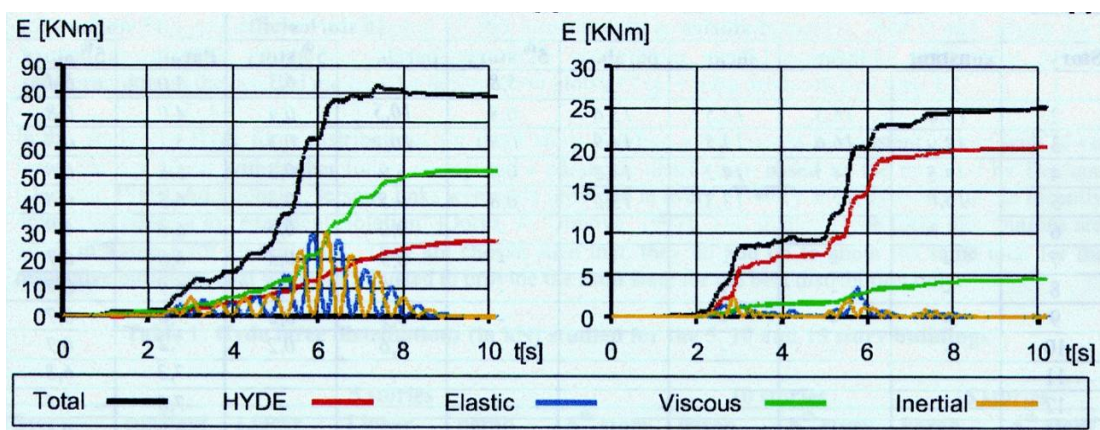


Figure 4. Typical energies during an earthquake in a conventional structure (left) and in a Seismic Control system (right), HYDE is the (hysteretic) energy dissipated in seismic mitigation devices distributed in conventional structures (added damping, left) or in the seismic link of the control system (right). Note the amplification of potential and kinetic energies in the conventional system, which does not happen under rigid body control. Also note the energy concentration in the link of the control system, where the devices are designed to take care of it.

In general, control devices used in these systems can be active, passive or semi-active (parameter controlled). With active devices in the links (such as hydraulic jacks), full controllability can be achieved in the systems of Fig 3, but for earthquake loading, the devices and their energy requirements become too large and too costly. Maintenance costs rise over the years for the system just to be ready for a 20 second event. And to make sure that the control system works, back-up must be provided especially for electronic components and sensors.

On the other hand, passive devices like lead-rubber bearings (LRBs) for BI or elastic-plastic devices like shear panels (SPDs) for HDS can only control force limits. But, since this is the most important aspect for Seismic Control, they are the devices of choice (Fig. 5).

The SPD in Fig. 5 (right) is a specimen used in pseudo-dynamic simulations of a half-scale 3-storey structure at the Joint Research Centre (JRC) of the European Union in Ispra, Italy, to provide proof-of-concept for the HDS. The HDS was created from a pure steel-frame, which had undergone previous extensive seismic testing and thus sustained some damage. It was converted into an HDS (Fig. 6) by bracing the upper

storeys (to make them a rigid body) and providing the required link in the ground floor with the SPD of Fig. 5 as control device.

This HDS was subjected to a series of severe earthquakes. It proved the HDS concept by confirming the desired development of energies according to Fig. 4, which resulted in small displacements and forces even under extreme events. It also confirmed the robustness of the SPD, which, during 50 simulations, developed some elastic-plastic buckling and minor cracks (Fig. 5, right), but retained a yield force of 92% and a full hysteretic loop (Fig. 6, right).

Semi-active devices like magneto-rheological devices or friction devices like the UHYDE-*fbr* (Fig. 7), which have been designed for bridge applications, can change their parameters according to the response of the structure and a control algorithm. Adjusting their parameters requires very little energy, but can improve controllability in comparison to passive devices and thus the response of the structure. They may also be used in controlling the response under other dynamic loading, such as wind and traffic, which may provide for future applications in cable bridges [7].

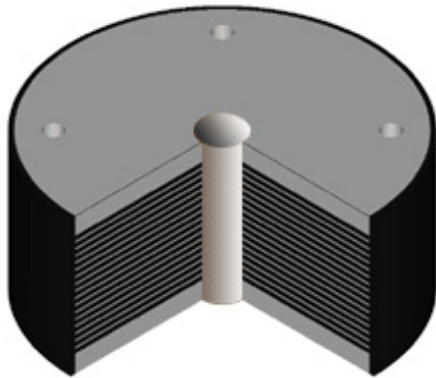


Figure 5. Lead-rubber bearings (LRBs, left) and Shear Panels made of mild steel (SPDs, right, specimen after pseudo-dynamic testing at the JRC Ispra) are usually the devices of choice for BI and HDS systems, respectively

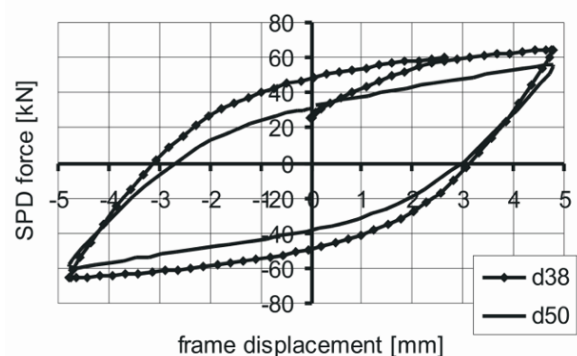


Figure 6. Half-scale steel frame at the JRC Ispra converted into a HDS by bracing the upper floors and providing a SPD as passive control device in the ground floor (white circle); and hysteresis loop of the SPD after 50 severe pseudo-dynamic earthquake simulations

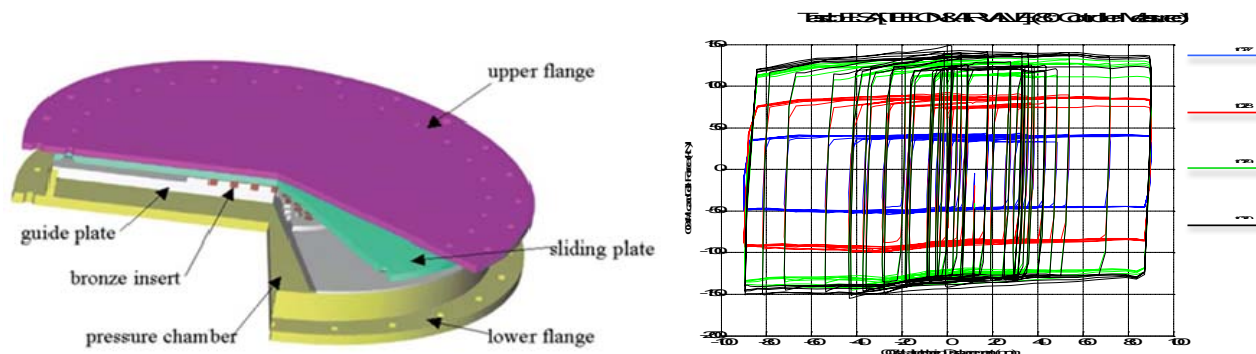


Figure 7. Bi-directional semi-active friction device UHYDE-fbr (US Patent No 546047) designed for bridge applications. Friction between the bronze inserts and sliding plate is controlled by air pressure. The specially designed bronze inserts provide very stable and repeatable behaviour under varying pressure levels (hysteresis loops during repeated testing with constant air pressure at the JRC Ispra, right)

It must be noted here that, distributing seismic mitigation devices in some manner throughout a conventional structure (Fig. 8) is **NOT** "Seismic Control" as defined here: These devices are unable to control any response variable. They provide an overall response reduction, but with a limited energy dissipation capacity (see Fig 4 left) and an additional price tag, since a large number of expensive devices are usually needed. There is no comparable benefit in robustness and economy when comparing such "added-damping" or added-damping-and-stiffness" systems to genuine Seismic Control [8].

3 SUITABLE "PASSIVE CONTROL" FOR DECK BRIDGES: THE ISU-BRIDGE TESTS

Deck bridges already have a natural affinity to Seismic Control: Often, they already provide rigid bodies (the deck and the piers) connected with a link where one usually finds conventional bearings. To use this link as

"seismic link" to control the rigid body motion with appropriate devices is almost self-evident. Looking at the seismic control concepts in Fig. 3, it appears that typical deck bridges lend themselves easily to an adoption of the HDS concept (Fig 9). This will provide the required control of the force limit, thus protecting the piers from over-loading, and by virtue of rigid body control, provide small link displacements. In many existing cases, the links are even sufficient for an easy retrofit.

Because most researchers and practicing engineers only have knowledge of BI, they tend to confuse BI with HDS, although BI is located at the base of a structure and the desired "isolation" is typically achieved with soft devices. HDS on the other hand has a link within the structure and therefore cannot "isolate" it from the ground motion, but it can control the forces in that link (and thus in the structure), which for this reason needs to be stiff with yielding or friction devices providing a physical force limit [9].

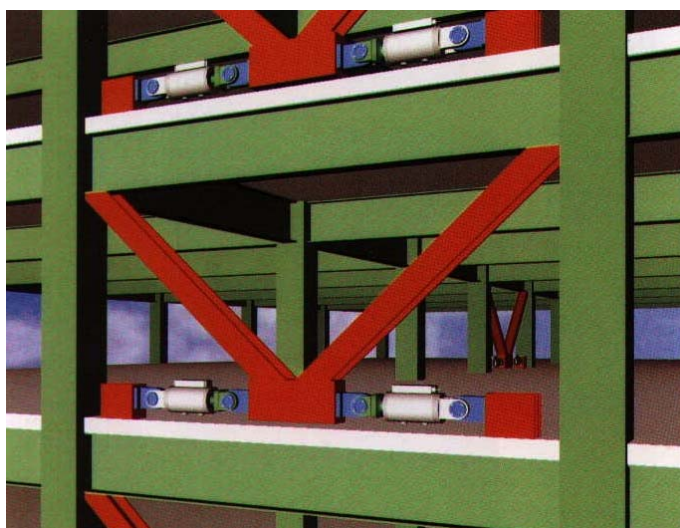


Figure 8. Distributing seismic mitigation devices, such as hydraulic dampers or even elastic-plastic or friction devices throughout a conventional structure without changing it into a genuine seismic control concept does not provide any controllability. Such "added-damping" or added-damping-and-stiffness" concepts are not "Seismic Control".

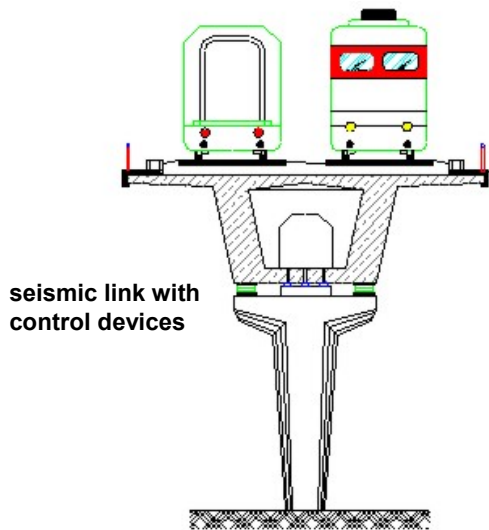


Figure 9. Seismic control of deck bridges using the (often existing) link between deck and piers. This automatically leads to an HDS-type concept (Fig. 3), but devices typical for the BI concept (e.g. LRBs) have been used, like in the reconstructed Hanshin Expressway in Kobe

Not only because of the confusion between BI and HDS, but also because of the easy and cheap availability of soft BI-type devices (like LRBs), devices designed for BI have been used also in HDS-type deck bridge structures, in one case even replacing elastic-plastic devices that actually did protect a deck bridge during the 1999 Kocaeli and Düzce earthquakes: The Bolu viaduct was subjected to excessive displacements

since the fault rupture ran right through it (Fig. 10) [10,11].



Figure 10. Bolu viaduct with large permanent offset due to fault rupture (from www.purdue.edu)

This was not considered in the initial design, so the elastic plastic devices over-extended (Fig. 11), but the bridge did not collapse! This makes the Bolu viaduct the first real-life proof of the robustness of the HDS concept for deck bridges. Because of the before mentioned confusion among the experts, this observation went largely unnoticed



Figure 11. Over-extended "moon shaped" elastic plastic device in the Bolu viaduct [11] due to permanent fault line displacement. These devices were replaced by LRBs

One of the goals of the NATO Science-for-Peace project "Seismic Upgrading of Bridges in South-East Europe by Innovative Technologies" (NATO-SfP project ISUbridge) was therefore to study the effectiveness of passive control concepts for seismic upgrading of regular deck bridges, in particular the HDS concept. In addition to the question, which kind of device is most suitable, the robustness of such a passive seismic control system was studied when it is subjected to unexpectedly large ground motions. A recent study on a steel-concrete composite frame retrofit using the HDS concept [12] showed for example that, the limit force in the link is the controlling factor for the resulting displacements and not the dissipation, which is the usual line of thought. Also, an older comparison of a deck

bridge using LRBs vs. stiff-ductile devices indicated a superior performance of the latter [13].

To investigate these issues, a 3-span model of a deck bridge was constructed within ISUbridge, which allows the placement of various devices between piers and deck and abutments and deck (Fig. 12). This model was placed diagonally on the large shaking table at IZiIS, Skopje, to induce a bi-directional ground motion when operating the table in its horizontal direction.

In order to study the effect of different devices on the response of the model under various base excitations, two controllable friction devices UHYDE-*fbr* (Fig. 7) were placed between deck and piers in parallel to elastomeric bearings (Fig. 13).

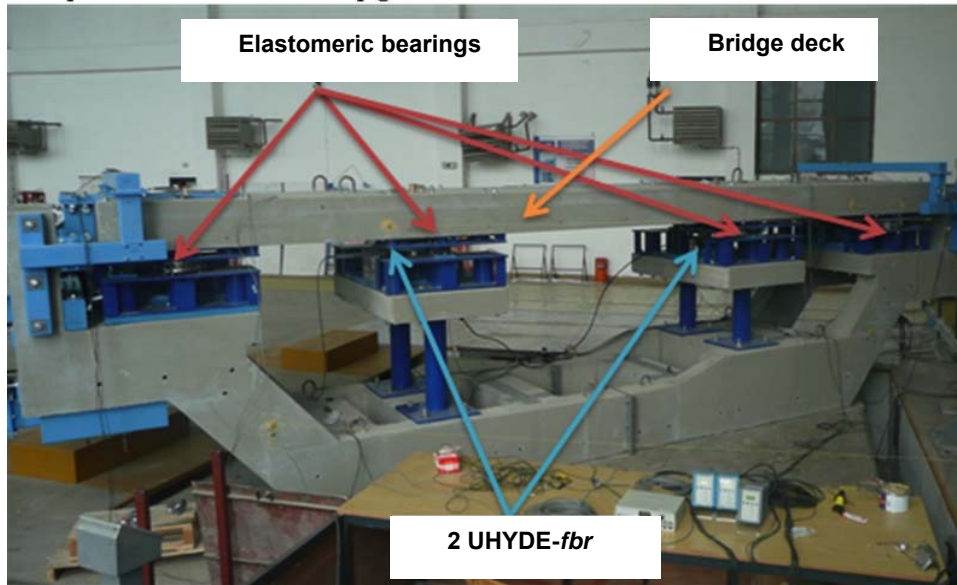


Figure 12. Three-span deck bridge model placed diagonally on the shaking table at IZiIS with the possibility to introduce seismic mitigation devices between deck and piers or deck and abutments in the manner of the HDS Seismic Control concept

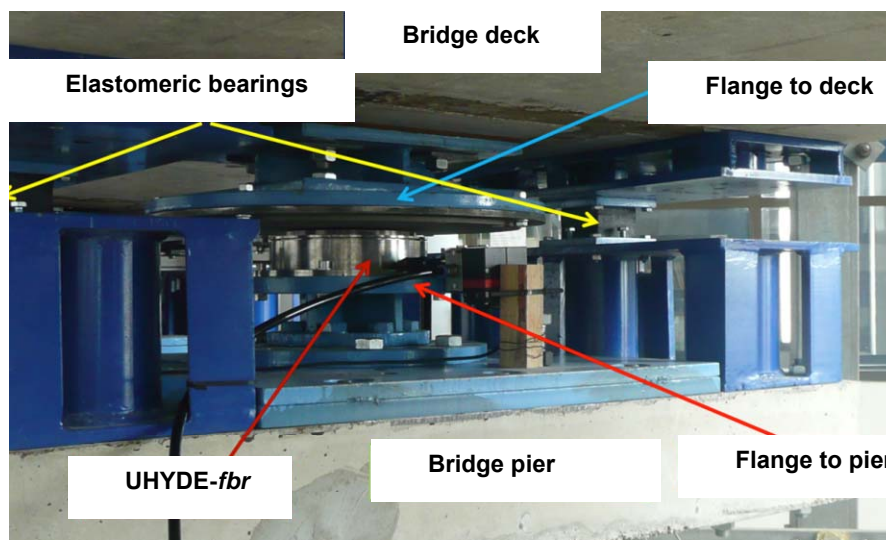


Figure 13. Placement of a UHYDE-*fbr* between pier and deck of the model bridge (via two flanges) in parallel to elastomeric bearings

The pressure control of the two UHYDE-*fbrs* required for the simulation of the behaviour of different passive devices, like LRBs (bi-linear hysteresis loop, Fig. 14 top) or viscous dampers (elliptic hysteresis loops, Fig 14 bottom), etc. was developed and tested at Universität

Kassel (UNIKA) using sine-sweep excitations (constant and variable frequency and amplitude). Figure 14 exemplifies the excellent response of the UHYDE-*fbr* in the pressure tests at UNIKA.

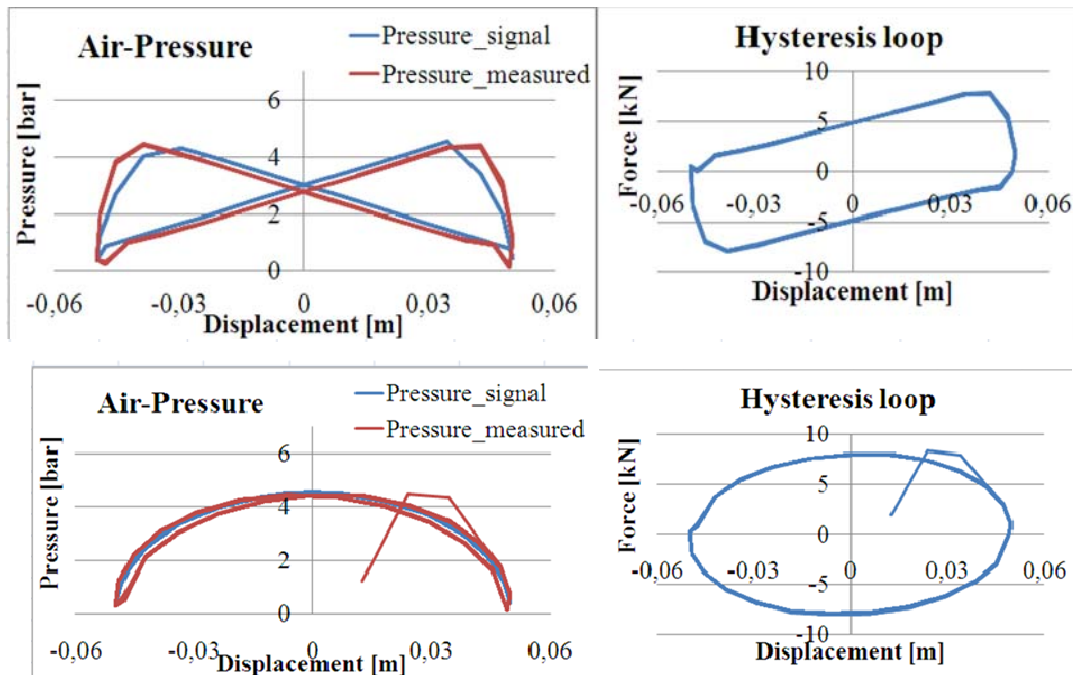


Figure 14. Examples of UHYDE-*fbr* air pressure control and resulting hysteresis loops: Top: bi-linear loop with post-yield stiffness representing an LRB. Bottom: velocity dependent loop representing a viscous damper. Test frequency: 2Hz

Table 1. Testing program with various hystereses generated by the UHYDE-*fbrs*. Each test no. represents several runs with increasing excitation

Simulated behaviour	device	Pressure control, UHYDE- <i>fbr</i> [bar]	Test No.		
			EI-Centro	Ulcinj-Albatros	Sine-sweep
Stiff-plastic, yield levels	different	0.0	1	14	27
		1.0	2	15	28
		3.0	3	16	29
		6.0	4	17	30
Bi-linear, negative post yield stiffness		3.0 - 150*d	5	18	31
		3.0 - 300*d	6	19	32
Bi-linear, positive post yield stiffness		3.0 + 150*d	7	20	33
		3.0 + 300*d	8	21	34
Viscous (velocity dependent)	(velocity dependent)	0.0 + 30*v	9	22	35
		0.0 + 60*v	10	23	36
Acceleration dependent		3.0 + 1.5*a	11	24	37
		3.0 + 3.0*a	12	25	38
Elastic-plastic failure	device	P=6.0, d < 2 mm	13	26	39
		P=3.0, d < 5 mm			
		P=1.0, d > 5 mm			

Table 1 summarizes the testing program for the shaking table tests on the model bridge at IZIS. Each color represents a different type of simulated device. Blue stands for stiff-ductile force limiting devices, such as friction or yielding devices. Green stands for bi-linear devices, with bi-linear positive post-yield stiffness representing devices used in Base Isolation, like LRBs. Orange is for viscous dampers and brown for the simulation of a failure in a stiff-ductile device after exceeding its design limit. Yellow is for acceleration dependent devices, which have not been invented yet, but the UHYDE-*fbrs* have no trouble simulating this.

The model bridge was subjected to a sine-sweep excitation as well as to the records from the Ulcinj-Albatros and EL-Centro earthquakes for each simulated device. Each test started small with increasing excitation for the following repeated runs. Thus, approximately 150 test runs were performed including large excitations. The performance of the UHYDE-*fbrs* was such that, not even the bronze inserts needed exchanging.

Figure 15 compares the results of tests no. 16 (stiff-plastic, 3.0 bar) and 26 (simulating device failure by dropping successively from 6.0 to 1.0 bar) in the time and frequency domains. A premature device failure is simulated here: Initial failure starts already at 7 seconds into the test, where the intensity of the ground motion is roughly at 30 %. Comparing the dotted red lines (failed device) with the solid black one (intact device) shows an increase in displacements of the deck, which is expected, but stays well below danger level, when the deck

would destroy the elastomeric bearings and would be in danger of slipping off the piers. This demonstrates the robustness of the HDS concept for deck bridges.

Figure 16 compares the maximum response of the deck (displacement and acceleration) for all simulated devices including device failure for all excitations (sine sweep and the two earthquake records). The same colour coding is used for the bars as in Table 1 to provide easy comparison. A clear trend independent of the excitation is visible with the most favourable performance provided by stiff-plastic (friction or yielding) devices, which allow adjustments of displacements and accelerations almost to any desired level.

The response of the model bridge allows for the following observations:

- With constant pressure (stiff-plastic devices), forces in the piers are under control and constant, thus effectively protecting the piers from over-load.
- In this case, the higher the pressure in the UHYDE-*fbr*, the lower the deck displacements and acceleration, both of which can be adjusted to almost any desired level. But forces increase, especially in the piers.
- Stiff-plastic control devices provide the best performance (friction or stiff yielding devices) followed by acceleration dependent (how to construct these is an open question, unless semi-active devices are used) and bi-linear devices (base isolation devices like LRBs). This confirms earlier numerical studies mentioned above [13].

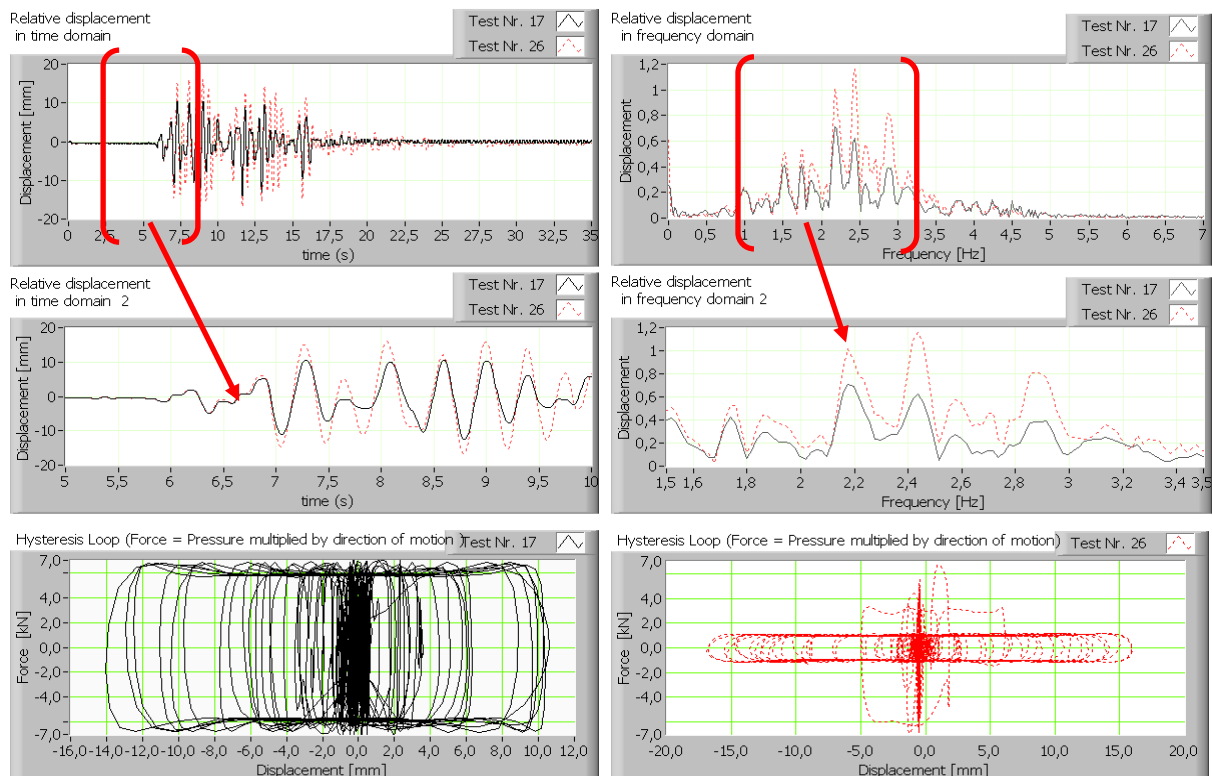


Figure 15. Comparison between constant pressure (solid line) and drop in pressure (dashed line). 1st row: deck displacement in the time and frequency domains. 2nd row: enlarged strong motion phase. 3rd row: Hysteresis generated by UHYDE-*fbr* devices during the shaking table tests.

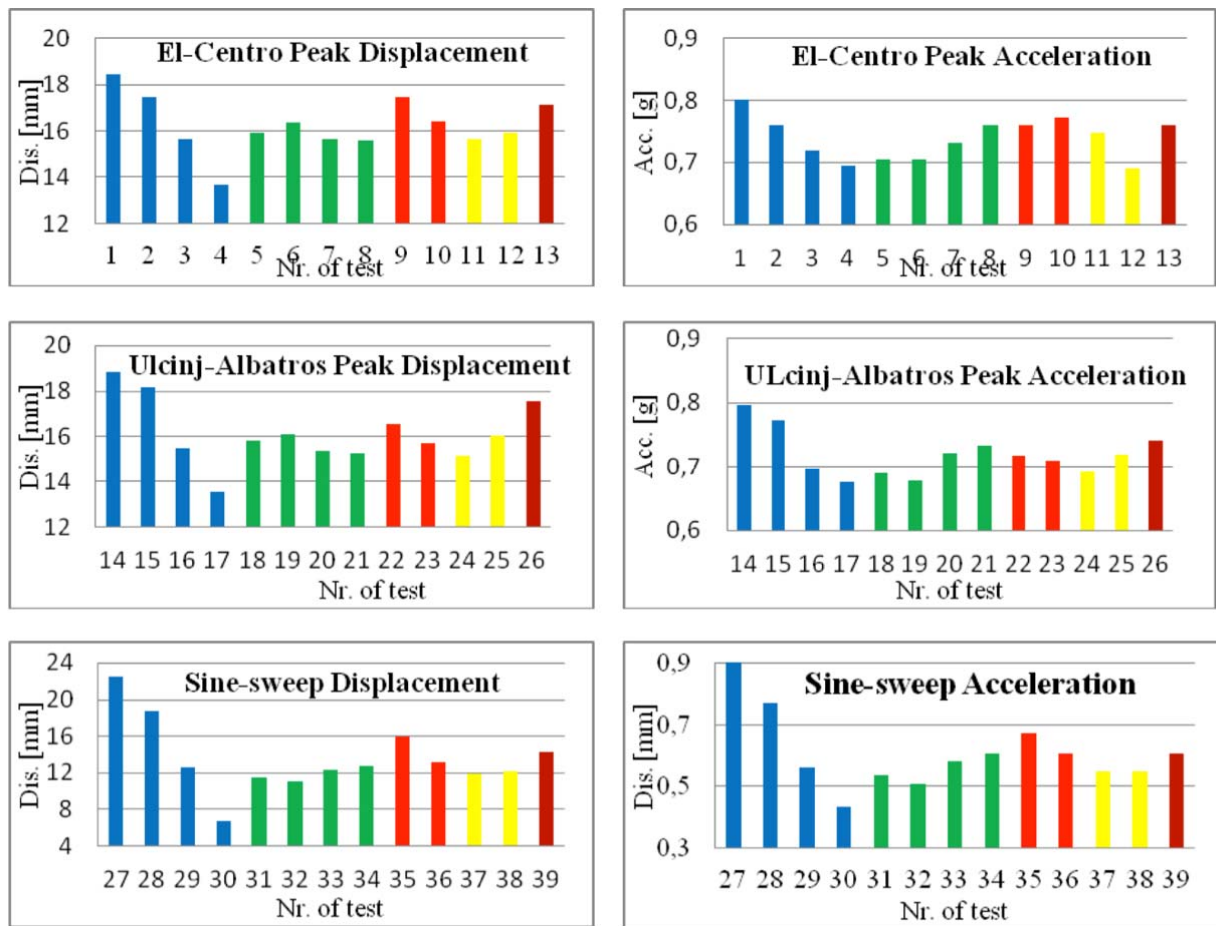


Figure 16. Maximum response of the model bridge under El-Centro, Ulcinj-Albatros and sine-sweep for various simulated passive devices: Blue: stiff-plastic. Green: bi-linear (LRBs). Red: viscous damper. Yellow: depending on acceleration. Brown: stiff-plastic device failure. Nr. of test refers to Table 1.

– Viscous dampers are favored today but do not perform well in comparison with stiff-plastic devices or even base isolation devices when used in deck bridges!

– The simulation of premature failure of stiff-plastic devices (sudden drop in pressure in UHYDE-fbrs) showed the expected increase in deck displacements (Fig. 15), which was not sufficient to cause substantial damage to the bridge. Forces on the piers naturally dropped, thus pier protection remained intact! This demonstrates the robustness of the HDS concept for deck bridges and corroborates the observations at the Bolu viaduct.

4 CONCLUSIONS

Common failures of deck bridges during earthquakes, like shear failure of columns and drop-off of girders should be avoided in the future even under extreme events not considered in the design since these „mass produced“ bridges are the backbone of all elevated roads in mayor urban areas in this world. Conventional structural concepts are failing to provide this requirement for robustness.

Seismic Control (as opposed to added-damping or added-damping-and-stiffness) provides robust and economic solutions through the control of rigid body motions. Among the four basic structural concepts utilizing rigid body control, the Hysteretic Device System (HDS) is most suitable for deck bridges. It is easily implemented into such bridges, even into existing ones, since the required „seismic link“ is already there and stocky piers together with horizontally rigid decks provide the easily controllable rigid body motion required by this concept.

A testing campaign on the IZIIS shaking table in Skopje using a model bridge within the SfP-project ISUbridge allowed the simulation of various passive devices in these links using the semi-active patented friction device UHYDE-fbr. The best performance and robustness was provided by stiff-plastic devices, which corroborated earlier numerical studies.

This also indicates that the elastic-plastic devices that „failed“ in the deck bridge in Bolu, Turkey under excessive displacements beyond their design limit most likely safed this bridge, which followed the HDS concept.

Because most experts do not differentiate between the BI and HDS concepts, soft BI devices are typically used today in deck bridges that are natural HDSs, which unfortunately reduces their performance and robustness.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported in part through the NATO Science for Peace program under the project ISUbridge (SfP grant no. 983828). Mr. Nasser Khanlou performed the experiments at IZiIS and processed the data. These tests would not have been possible without IZiIS's excellent lab team. These contributions are gratefully acknowledged.

5 REFERENCES

- [1] Hall, J.F. (Editor), Northridge Earthquake of January 17, 1994 reconnaissance report, Earthquake Spectra, supplement to Vol. 11, 1995
- [2] Comartin, C.D., Greene M., Tubbesing, S.K., The Hyogo-Ken Nanbu Earthquake, Great Hanshin Earthquake Disaster January 17, 1995, Preliminary Reconnaissance Report, EERI publication no. 95-04, 1995
- [3] Japan Cabinet Office, Nankai Trough Earthquake Damage Information. Available from: http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html, 2013
- [4] Dorka, U.E., Hysteretic device systems for earthquake protection of buildings, Proc. 5th US Conf. Earthquake Engineering, Chicago, USA, 775-785, 1994
- [5] Dorka, U.E., Bayer, V., Distribution of seismic links in Hysteretic Device Systems, Proc. 12th World Conf. Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000
- [6] Dorka, U.E., Erdbebensicherung durch Structural Control, Stahlbau Vol. 73, Heft 9, 2004
- [7] Abdel Raheem, S.E., Dorka, U.E., Hayashikawa, T., Friction based semi-active control of cable-stayed bridges. Journal of Structural Engineering Vol. 53A, 428-438, 2007
- [8] Schmidt, K., Dorka, U.E., Comparative studies of steel frame retrofitted with HYDE System and Added Damping System subjected to Near-Field Earthquakes, Proc. SE-40EE, Skopje, Mazedonien, 2003
- [9] Schmidt, K., Dorka U.E., Experimental verification of HYDE-System, Proc. 13th WCEE, paper No. 3163, 2004
- [10] Imbsen, R.A., Roblee, C.J., Yashinski, M., Berilgen, M.M., Toprak, S., Impact on highway structures, Chapter 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake reconnaissance report, Earthquake Spectra supplement to Vol. 16, 2000
- [11] Hamid, G., Bolu Viaduct: damage assessment and retrofit strategy, Federal Highway Administration, Turner-Fairbank Highway Research Center, Georgetown
- [12] Dorka, U.E., Khanlou, N., Self-centering Hyde System for seismic retrofit of composite frames, Proc. Composite Construction VII, Palm Cove, Australia (2013, publication pending).
- [13] Dorka, U.E., Flygare, E. Ji, A., Passive seismic control of bridges by Hysteretic Device Systems, 2nd World Conf. Structural Control, Kyoto, Japan, 1998

SUMMARY

SEISMIC CONTROL FOR ELEVATED ROADS

Uwe E. DORKA

Past earthquakes have demonstrated the vulnerability of deck bridges, which are the most common type in elevated roads. Especially over-loading of piers and drop-off of sections are a continuing concern. Seismic Control concepts, when correctly understood and applied, can provide the necessary physical force limits and reduced displacements even under loading beyond the design limit. The concept of choice here is the Hysteretic Device System since deck bridges usually provide a natural seismic link between piers and deck. To study the performance and robustness of this concept, shaking table tests were performed at IZIS, Skopje during the NATO-SfP project ISUbridge on a model deck bridge using controllable friction devices UHYDE-fbr to simulate the behavior of different passive devices including device failure. The tests showed that a stiff-ductile device in the link not only protects the piers from over-load, but also provides superior performance compared to viscous or soft base-isolation devices. Failure of such a device further reduced the demand on the piers but did not lead to excessive deck displacements or damage, thus confirming considerable seismic robustness for the HDS concept. This corroborates observations on the Bolu viaduct during the Kocaeli event. Unfortunately, HDS is often confused with Base-Isolation, which leads to the application of BI-devices, like LRBs and thus a reduction in performance and robustness. This is even more true for viscous devices, which are favored today.

Key words: seismic control, passive control devices, UHYDE-fbr, deck bridges, elevated roads, shaking table tests, Hyde System, seismic robustness.

REZIME

SEIZMIČKO UPRAVLJANJE IZDIGNUTIM PUTEVIMA - NADVOŽNJACIMA

Uwe E. DORKA

Zemljotresi iz prošlosti ukazali su na osetljivost kolovozne table mostova, koji predstavljaju i najčešći tip izdignutih puteva. Naročitu brigu predstavlja preopterećenje stubova i opadanje nosivosti preseka. Koncepti seizmičke zaštite, kada se korektno rezumeju na pravi način i primenjuju, mogu da obezbede neophodnu nosivosti i smanjena pomeranja čak i u slučaju opterećenja koje prevazilazi projektovanu nosivost. Izabrani koncept u ovom slučaju je Hysteretic Device System (HDS), tj. sistem histerezisnih uređaja, dok kolovozna tabla obično obezbeđuje prirodnu seizmičku vezu između nje i stuba. U cilju istraživanja performansi i robustnosti ovog koncepta, izveden je test na vibroplatformi u IZIS-u, u Skoplju, u okviru NATO-SfP projekta ISUbridge na modelu kolovozne table (raspanske konstrukcije) mosta pri čemu su korišćeni uređaji na bazi trenja UHYDE-fbr da bi se simuliralo ponašanje različitih pasivnih uređaja uključujući i otkaz uređaja. Testovi su pokazali da krut-duktilan uređaj na mestu spoja ne samo da štiti stub od preopterećenja, već i obezbeđuje mnogo bolje ponašanje u poređenju sa viskoznim uređajima ili onim baziranim na mekoj izolaciji. Otkaz takvog uređaja smanjio je zahteve nosivosti stubova ali nije doveo do povećanja pomeranja ili oštećenja, čime je potvrđene značajne seizmičke performanse i robustnost HDS koncepta. Ovo je znatno tačnije za viskozni uređaj, kojima se danas daje prednost.

Ključne reči: seizmičko upravljanje, pasivni uređaji za upravljanje, UHYDE-fbr, most sa nosačima i kolovozom na gornjem pojasu, Ispitivanja na vibroplatformi, Hyde Sistem, seizmička robustnost

STATISTIČKO MODELIRANJE EKSTREMNIH VREDNOSTI: PRIMENA NA PRORAČUN EKSTREMNIH PROTOKA NA RECI RASINI

STATISTICAL MODELLING OF EXTREME VALUES: APPLICATION TO CALCULATE EXTREME FLOW AT RIVER RASINA

Miljan KOVAČEVIĆ
Ljubo MARKOVIĆ
Lidija BABIĆ

STRUČNI RAD
PROFESSIONAL PAPER
UDK: 556.535:519.2(497.11)

1 UVOD

Građevinski inženjeri često se bave prirodnim rizicima. Ekstremni događaji, kao što su poplave, uragani, zemljotresi, mogu odneti mnogo ljudskih života i izazvati štete od više milijardi dolara.

Paradoksalno, takođe je potrebno znati posledice i neuobičajeno niskih protoka, koji mogu da rezultuju visokim koncentracijama zagađivača. I pored toga, inženjeri moraju da projektuju građevinske konstrukcije tako da mogu da izdrže ekstremne poplave, jake vetrove, a konstrukcije na moru da izdrže neuobičajeno visoke talase. Opstanak datog sistema zavisice od sposobnosti da izdrže ove ekstremne uslove kojima su izloženi, a koji nisu uobičajene vrednosti [7].

Ciljevi ovoga rada jesu

(i) modeliranje godišnjeg maksimalnog protoka na reci Rasini, na jugu centralne Srbije, sa Gumbelovom, Frešetovom i GEV raspodelom,

(ii) upotreba Kolmogorov-Smirnov testa i Anderson-Darling testa prilikom testiranja i upoređivanja empirijskih i teorijskih funkcija raspodele koje predviđaju ove tri raspodele,

(iii) nalaženje potrebnih projektnih vrednosti za dati povratni period.

Miljan Kovačević, dipl.inž.građ., asistent, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Prištini, Kneza Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Srbija
miljankovacevic@yahoo.com
Doc.dr Ljubo Markovic, dipl.inž.građ., Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Prištini, Kneza Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Srbija
ljubo.markovic@pr.ac.rs
Mr Lidija Babić, dipl.inž.građ., asistent, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Prištini, Kneza Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Srbija, lidija.babic@pr.ac.rs

1 INTRODUCTION

Civil engineers are often concerned with natural hazards. Extreme events, such as floods, hurricanes, and earthquakes, can take many human lives and cause billions of dollars in damages.

Paradoxically, one also needs to address the consequences of unusually low streamflows, which can result in high pollutant concentrations. Additionally, engineers must design construction facilities to withstand extreme floods, high winds and maritime structures to cater for abnormally high sea waves. The survival of a given system depends on its capability to resist those extreme conditions it can be subject to - and not simply the typical values [7].

The objectives of this study are to

(i) model the annual maximum streamflows at river Rasina in south central Serbia with the Gumbel, Frechet and general extreme value distributions,

(ii) use the Kolmogorov-Smirnov and Anderson-Darling goodness-of-fit tests to compare the observed and theoretical cumulative frequencies as predicted by the three distributions,

(iii) obtain required design values for given return periods of exceedance.

Miljan Kovacevic, BCE., Research Assistant, Faculty of Technical Sciences, University of Pristina, Kneza Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Serbia
miljankovacevic@yahoo.com
Assistant Professor Ljubo Markovic, BCE, Faculty of Technical Sciences, University of Pristina, Kneza Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Serbia
ljubo.markovic@pr.ac.rs
Mr Lidija Babic, CE., Assistant professor, Faculty of Technical Sciences University of Prishtina, Kneza Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Serbia, lidija.babic@pr.ac.rs

Tok je dugačak 92 km kroz Rasinski region i uliva se u Zapadnu Moravu blizu grada Kruševca. Podaci za dvadeset sedam maksimalnih godišnjih protoka sumirani su u Tabeli 1.

The 92 km long river flows through the Rasina region, and flows into the Zapadna Morava near the city of Kruševac. The data of 27 annual maximum streamflows are summarized in Table 1.

Tabela 1. Maksimalni godišnji protok na reci Rasini Table 1. Annual maximum streamflow at river Rasina					
Year	m ³ /s	Year	m ³ /s	Year	m ³ /s
1966	57.30	1991	67.10	2000	30.10
1968	15.80	1992	82.00	2001	69.40
1969	108.00	1993	32.10	2002	50.30
1970	44.10	1994	55.50	2003	19.40
1985	40.00	1995	162.20	2004	22.50
1987	69.00	1996	52.40	2005	166.90
1988	53.00	1997	131.00	2006	82.60
1989	66.10	1998	99.10	2007	36.80
1990	23.80	1999	94.50	2008	34.80

2 FUNKCIJE RASPODELE EKSTREMNIH VREDNOSTI

Suština teorije ekstremnih vrednosti jesu proučavanja statističkog ponašanja slučajne veličine $X = \max\{X_1, \dots, X_n\}$, gde $\{X_1, \dots, X_n\}$ predstavlja niz slučajnih veličina koje imaju zajedničku funkciju raspodele F . Promenljive X obično predstavljaju vrednosti koje su izmerene u jednakim vremenskim intervalima. X je maksimum posmatranog procesa sastavljenog od n vremenskih jedinica [9]. Maksimalni godišnji protok predstavlja se obično Gumbelovom raspedelom [1]. Alternativa Gumbelovoj raspedeli jeste Frechet-ova raspedela [2] ili GEV raspedela (generalizovana raspedela ekstremnih vrednosti) [3], [4].

2.1 Gumbelova raspedela

Postoje tri tipa raspodele ekstremnih vrednosti. Tip I raspodele je intenzivno razvijan i u slučajevima poplavnih proticaja primenjivao ga je Gumbel; zbog toga je ova raspedela i poznata kao Gumbelova raspedela [3]. Funkcija raspodele za Gumbelovu raspedelu slučajne varijable X data je kao

$$F(x) = \exp[-e^{-(x-\beta)/\alpha}], \quad -\infty < x < \infty, \quad (1)$$

gde je β parametar lokacije i α je parametar razmere. Srednja vrednost i disperzija X date su respektivno izrazima

$$\mu = E[X] = \beta + \gamma_e \alpha, \quad -\infty < x < \infty, \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \text{Var}[X] = \frac{\pi^2 \alpha^2}{6} \quad (3)$$

gde γ_e označava Ojlerovu konstantu, približno jednaku 0.5772. Koeficijent asimetrije je 1.1629. Ako su prva dva

2 EXTREME VALUE DISTRIBUTIONS

The core of the extreme value theory is the study of the statistical behavior of $X = \max\{X_1, \dots, X_n\}$, where $\{X_1, \dots, X_n\}$ is a sequence of independent random variables having a common distribution function F . In applications, variables X usually represent values of a process measured on a regular time-scale. Then X is the maximum of the observed process over n time units [9]. The annual maximum streamflows is often represented by the Gumbel distribution [1]. An alternative to the Gumbel distribution is the Frechet distribution [2] or the general (generalized) extreme value (GEV) distribution [3], [4].

2.1 Gumbel Distribution

There are three types of extreme value distributions. The Type I distribution was extensively developed and applied to the flood flows by Gumbel; therefore, it is often referred to as the Gumbel distribution [3]. The cumulative distribution function of the Gumbel random variable X is given as

where β is the location parameter and α is the scale parameter. The mean and the variance of X are given respectively as

where γ_e denotes the Euler constant, approximately equal to 0.5772. The skewness coefficient is 1.1629. If

momenta slučajne promenljive X poznata, vrednost α i β mogu se odrediti metodom momenata na osnovu srednje vrednosti i standardne devijacije raspodele X. Iz gornjih dveju jednačina (2) i (3), možemo dobiti [7],

$$\alpha = \sqrt{\frac{6}{\pi\sigma}} \quad (4)$$

$$\beta = \mu - n_c \alpha \quad (5)$$

Ove dve jednačine mogu se koristiti da se ocene α i β ako imamo dostupan konačan uzorak varijable X, kao što je maksimalni protok za period od n godina.

the first two moments of X are known, the values of α and β can be determined by the method of moments from the mean and standard deviation σ of the distribution X. From the above two equations (2) and (3), one obtains [7],

The two equations can be used to estimate α and β if a finite sample of the values taken by X is available, such as the annual maximum streamflows for a period of n years.

2.2 Frechet-ova raspodela

Frechet-ova raspodela je posebna forma Tip II raspodele ekstremnih vrednosti. EV2 raspodelu je razvio i primenio Frechet (1927). Prvenstveno je razvijena i primenjena na poplavne protoke M.Frecheta [4]. Funkcija raspodele verovatnoće u M.Frechet raspodeli i data je kao

$$F(x) = \exp\left[-\left(\frac{x}{\eta}\right)^{\theta}\right], x > 0 \quad (6)$$

gde $\eta > 0$ predstavlja faktor razmere a $\theta > 0$ je parametar oblika. Moment r-tog reda dat je sledećim izrazom [7],

$$E[X]^r = \eta^r \Gamma\left(1 - \frac{r}{\theta}\right), r < \theta \quad (7)$$

Shodno tome iz (7) imamo

Consequently, from (7) we have

$$F(x) = \exp[-e^{\theta}(-(x - \beta)/\alpha)], -\infty < x < \infty, \quad (8)$$

$$\mu = E[X] = \eta \Gamma\left(1 - \frac{1}{\theta}\right), \theta > 1 \quad (9)$$

pošto

since

$$V^2 = \frac{\sigma^2}{\mu^2} = \frac{\Gamma\left(1 - \frac{2}{\theta}\right)}{\Gamma^2\left(1 - \frac{1}{\theta}\right)} - 1, \quad \theta > 2 \quad (10)$$

parametar oblika zavisi samo od koeficijenta varijacije.

Ako prva dva momenta od X postoje i ako su poznata, vrednost parametra x_0 i θ mogu se odrediti iz srednje vrednosti, μ , i disperzije σ^2 iz populacije ekstremnih vrednosti. Međutim, koristeći srednju vrednost i koeficijent varijacije vrlo je jednostavno naći, zato što jednačina (10) ukazuje na to da parametar oblika θ zavisi samo od V. Pošto je V određeno (kao količnik od uzoračke standardne devijacije i srednje vrednosti), jednačina (10) mora se rešiti numeričkim postupkom da bi se našlo θ . Onda, koristeći jednačinu (8),

the shape parameter only depends on the coefficient of variation.

If the first two moments of X exist and are known, the values of the parameters x_0 and θ can be determined from the mean, μ , and the variance, σ^2 , of the extreme value population. However, using the mean and the coefficient of variation V is relatively straightforward, because Eq. (10) indicates that the shape parameter θ depends only on V . After V is estimated (as the ratio of the sample standard deviation to the sample mean), Eq. (10) must be solved via numerical iteration to find θ . Then, using Eq. (8),

$$x_0 = \eta = \frac{\mu}{\Gamma\left(1 - \frac{1}{\theta}\right)}, \theta > 1 \quad (11)$$

možemo oceniti parametar razmere.

one can estimate the value of the scale parameter

2.3 GEV funkcija raspodele

Generalizovanu raspodelu ekstremnih vrednosti (GEV) uveo je od Jenkinson [1], [2] da bi se odredila frekvencija raspodele najvećih vrednosti meteoroloških podataka kada je granična forma ekstremnih vrednosti nepoznata. Funkcija raspodele GEV raspodele data je sa sledećim izrazom [5], [6] [9],

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1 + k\left(x - \frac{\varepsilon}{\alpha}\right)\right]^{-\frac{1}{k}}\right\}, \quad (12)$$

gde α predstavlja parametar razmere, ε je lokacijski parametar, a k je parametar oblika. Treba imati na umu da za $k < 0$, GEV raspodela predstavlja EV2 raspodelu i ona je definisana samo za $x > (\varepsilon + \alpha/k)$; za $k > 0$, ovaj model postaje EV3 raspodela, i ona je definisana samo za $x < (\varepsilon + \alpha/k)$; slučaj da je $k = 0$ odgovara Gumbelovoj raspodeli jednačina (1) s parametrom razmere α i parametrom lokacije β [7].

Srednja vrednost i disperzija dati su za GEV raspodelu sa

$$\mu = E[X] = \varepsilon + \left(\frac{\alpha}{k}\right) [\Gamma(1 - k) - 1], k < 1 \quad (13)$$

i

and

$$\sigma^2 = Var[X] = \left(\frac{\alpha}{k}\right)^2 [\Gamma(1 - 2k) - \Gamma^2(1 - k)], k < 0.5 \quad (14)$$

respektivno. Koeficijent asimetrije je dat sa

respectively. The coefficient of skewness is given by

$$\gamma = \text{sign}(k) \frac{-[\Gamma(1 - 3k) + 3\Gamma(1 - k)\Gamma(1 - 2k) + 2\Gamma^3(1 - k)]}{[\Gamma(1 - 2k) - \Gamma^2(1 - k)]^{\frac{3}{2}}}, k > \frac{1}{3}. \quad (15)$$

gde je znak $(k) = +1$ za $k > 0$ i znak $(k) = -1$ za $k < 0$, dok nije definisano za $k < -1/3$; dakle možemo primetiti da parametar oblika zavisi samo od koeficijenta asimetrije ako treći moment postoji. Ako prva tri momenta od X_{max} postoje i ako su poznati, ε , α , i k mogu se oceniti na osnovu srednje vrednosti, disperzije i koeficijenta zakrivljenosti podataka. Pošto jednačina (15) ukazuje na to da k samo zavisi od koeficijenta asimetrije za $k > -1/3$, možemo rešiti ovu jednačinu po k , zamenjujući uzorački koeficijent asimetrije [7]. Onda, na osnovu jednačine (14) možemo naći parametar razmere kao

where $\text{sign}(k) = +1$ for $k > 0$ and $\text{sign}(k) = -1$ for $k < 0$, while it is not defined for $k < -1/3$; therefore, one notes that the shape parameter only depends on the coefficient of skewness if the third moment exists. If the first three moments of X_{max} exist and are known, the values of the three parameters ε , α , and k can be determined from the mean, the variance, and the skewness coefficient of the data. Since Eq. (15) indicates that k only depends on the coefficient of skewness for $k > -1/3$, one can solve this equation in k by substituting the sampling skewness coefficient [7]. Then, from Eq. (14) the scale parameter is found as

$$\alpha = \sqrt{\frac{k^2 \sigma^2}{[\Gamma(1 - 2k) - \Gamma^2(1 - k)]}} \quad (16)$$

gde je uzoračka disperzija zamenjena $\sigma^2 = Var[X]$
Na kraju, lokacijski parametar može se izračunati iz

where the sample variance is substituted for $\sigma^2 = Var[X]$
Finally, the location parameter is computed from

$$\varepsilon = \mu - \left(\frac{k}{n}\right) [\Gamma(1-k) - 1] \quad (17)$$

gde je uzoračka srednja vrednost zamena za μ .

where the sample mean is substituted for μ .

3 TEST STATISTIČKIH HIPOTEZA KOLMOGOROV-SMIRNOVA

Kolmogorov-Smirnovljev test statističkih hipoteza jeste neparametarski test koji se odnosi češće na funkciju raspodele nego na funkciju gustine kontinualne varijable. Nije primenljiv na diskretne varijable. Test statistika, kod dvostranog testa, jeste maksimalna apsolutna vrednost razlike (što je obično vertikalno rastojanje) između empirijske i hipotetičke funkcije raspodele [8], [9].

Za kontinualnu varijablu X neka $x(1), x(2), \dots, x(n)$ predstavlja statistiku poretka veličine n , to su vrednosti poređane u rastućem poretku. Empirijska ili uzoračka funkcija $F_n(x)$ jeste step funkcija. Ovo će dati proporciju vrednosti koje ne prelaze x i definisana je kao

$$F_n(x) = \frac{k}{n}, x_{(k)} \leq x < x_{(k+1)} \quad (18)$$

$$F_n(x) = 0, x < x_{(1)} \quad (19)$$

$$F_n(x) = 1, x \geq x_{(n)} \quad (20)$$

Neka $F_0(x)$ predstavlja kompletno definisanu teorijsku funkciju raspodele CDF. Nulta hipoteza H_0 jeste da je prava funkcija raspodele CD od F_X ista kao i $F_0(x)$.

Kriterijumski test je maksimalna apsolutna vrednost razlike između $F_n(x)$ i $F_0(x)$, formalno definisana kao

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F_0(x)| \quad (21)$$

Gore navedena mera devijacije je za dvostrani test koji se uobičajeno koristi. Za velike vrednosti n , Smirnov (1948) daje granične vrednosti distribucije za $\sqrt{n}D_n$ [7] kao

$$\lim_{n \rightarrow \infty} [Pr[\sqrt{n}D_n \leq z]] = \left(\frac{\sqrt{2\pi}}{z}\right) \sum_{k=1}^{\infty} \exp\left[-(2k-1)^2 \frac{\pi^2}{(8z)^2}\right] \quad (22)$$

Dakle, može se izračunati da su kritične vrednosti za $D_{n,\alpha}$ za velike uzorke, recimo $n > 35$, su $1.3581\sqrt{\frac{1-\alpha}{n}}$ i $1.6276\sqrt{\frac{1-\alpha}{n}}$ za $\alpha = 0.05$ i 0.01 , a to je za verovatnoće od 0.95 i 0.99 u jednačini (22) respektivno. Za manje veličine uzoraka, kritične vrednosti za $D_{n,\alpha}$ date su u tabeli C.7, u apendixu C. [7].

4 ANDERSON-DARLINGOV TEST STATISTIČKIH HIPOTEZA

Anderson-Darlingov test osmišljen je da dodeli veću težinu repovima raspodele, gde su neočekivano velike ili male vrednosti, zvane izuzeci, ponekad locirane. Ovo je moguće ako se podeli razlika između empirijske funkcije

3 KOLMOGOROV-SMIRNOV GOODNESS OF FIT TEST

The Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test is a nonparametric test that relates to the cdf rather than the pdf of a continuous variables. It is not applicable to discrete variables. The test statistic, in a two-sided test, is the maximum absolute difference (that is, usually the vertical distance) between the empirical and hypothetical cdfs. [8], [9].

For a continuous variate X let $x(1), x(2), \dots, x(n)$ represent the order statistics of a sample of size n , that is, the values arranged in increasing order. The empirical or sample distribution function $F_n(x)$ is a step function. This gives the proportion of values not exceeding x and is defined as

Let $F_0(x)$ denote a completely specified theoretical continuous cdf. The null hypothesis H_0 is that the true cdf of X is the same as $F_0(x)$.

The test criterion is the maximum absolute difference between $F_n(x)$ and $F_0(x)$, formally defined as

The foregoing measure of deviation is for a two-sided test which is commonly used. For large values of n , Smirnov (1948) gives the limiting distribution of $\sqrt{n}D_n$, as [7],

Thus, one can compute that the critical values $D_{n,\alpha}$ for large samples, say, $n > 35$, are $1.3581\sqrt{\frac{1-\alpha}{n}}$ and $1.6276\sqrt{\frac{1-\alpha}{n}}$ for $\alpha = 0.05$ and 0.01 , that is, for probabilities of 0.95 and 0.99 in Eq. (22), respectively. For smaller sample sizes, critical values $D_{n,\alpha}$ are given in Table C.7, of Appendix C. [7].

4 ANDERSON-DARLING GOODNESS OF FIT TEST

The Anderson-Darling test is devised to give heavier weighting to the tails of a distribution where unexpectedly high or low values, called outliers are sometimes located. This is made possible if one divides

raspodele $F_n(x)$ i teorijske funkcije raspodele $F_0(x)$ [9], [10],

the difference between the empirical cdf $F_n(x)$ and theoretical cdf $F_0(x)$ by [9], [10],

$$\sqrt{(F_0(x)[1 - F_0(x)])} \quad (23)$$

Posle dizanja na kvadrat test statistika postaje

After squaring the test statistic becomes

$$\frac{\ln [F_0 [x_{(t)} + \ln \{1 - F_0 [x_{((n-t+1))}]\}]]}{n} \quad (24)$$

gde $x(1), x(2), \dots, x(n)$ predstavljaju osmatranja u rastućem poretku. Pošto su funkcije raspodele u rasponu 0-1, njihovi logaritmi su negativni, pa zbog toga imamo da je desna strana jednačine (24) negativna.

where $x(1), x(2), \dots, x(n)$ are the observations ordered in ascending order. Because the cdfs are in the range 0-1, their logarithms are negative and hence the summation on the righthand side of Eq. (24) is negative.

Apsolutna vrednost sume je takođe veća od n, pa sve to rezultuje pozitivnom vrednošću za A^2 . Za velike vrednosti test statistika A^2 , odbija se nulta hipoteza da $F_n(x)$ i $F_0(x)$ imaju istu funkciju raspodele [7]. Pretpostavimo da je distribucija u potpunosti poznata.

The absolute value of the summation is also greater than n, thus resulting in a positive value of A^2 . For large values of the test statistic A^2 , the null hypothesis that $F_n(x)$ and $F_0(x)$ have the same distribution is rejected [7]. Let us assume that the distribution is completely specified.

Shodno tome, kritične vrednosti A^2 za pet vrednosti značajnosti α , za gornji rep, jesu $A_{0.10}^2 = 1.933$, $A_{0.05}^2 = 2.492$, $A_{0.025}^2 = 3.070$, i $A_{0.01}^2 = 3.857$, respektivno [7].

Accordingly, critical values A^2 at five α levels of significance, at the upper tail, are $A_{0.10}^2 = 1.933$, $A_{0.05}^2 = 2.492$, $A_{0.025}^2 = 3.070$, and $A_{0.01}^2 = 3.857$, respectively [7].

Ove asimptotske vrednosti važe za aproksimativno $n > 10$. Mogu se koristiti za test bilo koje raspodele.

These asymptotic values hold approximately for $n > 10$. They apply to tests on any type of distribution.

Koristeći (1), (6), i (12), vrednosti povratnog perioda od T godina za Gumbelovu, Frechet, i GEV raspodelu date su respektivno kao [7],

Using (1), (6), and (12), the return level with return period of T years for the Gumbel, Frechet, and GEV models are respectively given as [7],

$$x(T) = b - d \ln \left[\frac{T}{T-1} \right] \quad (25)$$

$$x(T) = x_0 \left(\frac{\ln T}{T-1} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (26)$$

$$x(T) = s + \frac{\beta}{k \left[1 - \left(-\frac{\ln(T-1)}{T} \right)^k \right]} \quad (27)$$

5 NUMERIČKI REZULTATI

5 NUMERICAL RESULTS

Srednja vrednost, standardna devijacija, koeficijent varijacije i koeficijent asimetrije za maksimalnu godišnju vrednost protoka na reci Rasini, na mernoj stanici Ravni jesu 65.40 m³/s, 39.65 m³/s, 0.368, i 1.1629.

The mean, standard deviation, coefficient of variation, and coefficient of skewness for the annual maximum streamflow record at river Rasina, station Ravni are 65.40 m³/s, 39.65 m³/s, 0.368, and 1.1629.

Gumbelov model: Iz izraza (4), vrednost

Gumbel Model: From (4), the value

$$\hat{\alpha} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \hat{\sigma} = 0,780 \times 39,65 = 30,93 \text{ m}^3/\text{s}$$

ocenjen je parametar razmere Gumbelove distribucije metodom momenata. Iz izraza (5), parametar lokacije ocenjen je kao

is the estimated scale parameter of the Gumbel distribution by the method of moments. From (5), the location parameter is estimated as

$$\hat{\beta} = \hat{\mu} - n_c \hat{\alpha} = 65,40 - 0,5772 \times 30,927 = \frac{47,55 \text{ m}^3}{s}$$

Null hypothesis H_0 is that the annual maximum streamflow has a Gumbel distribution. The value of $\alpha = 0.05$ represents the level of significance which is applied. The critical region for the K-S test is [7],

$$D_n > 0.254$$

The observed value for D_n in (21) is $d_n = 0.0932$ and it is less than the critical value 0.254, and therefore the null hypothesis is **not rejected**.

The calculated value of A^2 in (24) for A-D test is 0.216, which is less than the critical value 2.492 and the null hypothesis is also **not rejected**.

In other words, the Gumbel distribution provides a reasonable good fit for the annual maximum streamflow.

Frechet-ov model: Using the method of moments, the estimate of shape parameter of the Frechet distribution can be obtained. From (10), we have

$$\frac{\Gamma\left(1 - \frac{2}{\hat{\theta}}\right)}{\Gamma^2\left(1 - \frac{1}{\hat{\theta}}\right)} = 1 + C_v^2 = 1 + \left(\frac{39.65}{65.40}\right)^2 = 1.368$$

The equation is solved numerically to obtain

$$\hat{\theta} = 3.19$$

Then, from (11) we obtain the estimate of η as

$$\hat{\eta} = \frac{\hat{\mu}}{\Gamma\left(1 - \frac{1}{\hat{\theta}}\right)} = \frac{65.40}{\Gamma\left(1 - \frac{1}{3.19}\right)} = 49.55$$

To test the null hypothesis H_0 that the annual maximum streamflow has a Frechet distribution as specified earlier with $\eta = 49.55$ and $\hat{\theta} = 3.19$, we compute the observed value of D_n and obtain $d_n = 0.2208$ for K-S test. The value of d_n is less than the critical value 0.254, and therefore the null hypothesis is not rejected. On the other hand, the calculated value of A^2 for A-D test is 9.504 which is more than the critical value of 2.492 and the null hypothesis is **rejected**.

GEV model: To estimate the shape parameter of the GEV distribution by the method of moments, the sample skewness of 1.1629 is substituted into (10) or (11), which is then solved for k by numerical iterations. Thus, the estimate of k is obtained as

$$k = -0.00385$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{k^2 \sigma^2}{[\Gamma(1+2k) - \Gamma^2(1+k)]}} = \sqrt{\frac{(-0.00385)^2 39.65^2}{[\Gamma(1-2 \cdot 0.00385) - \Gamma^2(1-0.00385)]}} = 30.76$$

$$\varepsilon = \mu - \left(\frac{\alpha}{k}\right) [1 - \Gamma(1+k)] = 65.40 - \frac{30.76}{-0.00385} [1 - \Gamma(1-0.00385)] = 47.53$$

Da bismo testirali nultu hipotezu H_0 da maksimalni godišnji protok ima GEV raspodelu kao što je specificirano ranije sa $\xi = 47.53$, $\alpha = 30.76$, i $k = -0.00385$, računamo posmatranu vrednost D_n i dobijeno je $d_n = 0.0921$ za K-S test. Vrednos $d_n = 0.0921$ manja je od kritične vrednosti 0.254 i zbog toga se nulta hipoteza **ne odbija**. S druge strane, uračunata vrednost za A^2 za A-D test je 0.2115, što je manje od kritične vrednosti 2.492 i zbog toga se nulta hipoteza **ne odbija**.

To test the null hypothesis H_0 that the annual maximum has a GEV distribution as specified earlier with $\xi = 47.53$, $\alpha = 30.76$, and $k = -0.00385$, we compute the observed value of D_n and obtain $d_n = 0.0921$ for K-S test. The value of $d_n = 0.0921$ is less than the critical value 0.254, and therefore the null hypothesis is **not rejected**. On the other hand, the calculated value of A^2 for A-D test is 0.2115 which is less than the critical value of 2.492 and the null hypothesis is **not rejected**.

Tabela 2. Povratni period za Gumbelovu i GEV funkciju raspodele
Table 2. Return period for Gumbel and GEV distribution

Povratni period Return period	Kvantil Quantile	Gumbelova funkcija raspodele Gumbel distribution	GEV funkcija raspodele GEV distribution
T	q	x(T)	x(T)
10,00	0,9000	117,1538614	117,0520306
20,00	0,9500	139,4181391	139,4175834
50,00	0,9800	168,2369627	168,4596899
100,00	0,9900	189,8326156	190,2910487
200,00	0,9950	211,3494696	212,1011913
1000,00	0,9990	261,1913993	262,847438

6 ZAKLJUČAK

Razmotrili smo tri modela maksimalnog godišnjeg protoka na reci Rasini: Gumbelov Model, Frechet model i GEV model.

Vrednosti za K-S test i A-D test u slučaju testiranja statističkih hipoteza za Frechet funkciju raspodele iznad su gornjih graničnih vrednosti i Frechet model je **odbijen**.

Gumbelov model i GEV model predstavljaju adekvatan model raspodele verovatnoće u ovoj praktičnoj situaciji.

Ovaj model korišćen je da se nađu projektne vrednosti koje bi predvidele povratne periode odgovarajućeg perioda. Na osnovu vrednosti za oba testa (K-S test i A-D test), GEV funkcija raspodele ima neznatno bolje slaganje sa empirijskim podacima za nivo značajnosti $\alpha=0,5$.

Analiza ekstremnih hidroloških događaja igra važnu ulogu u planiranju i analizi vodoprivrednih sistema, jer slučajne varijable koje opisuju poplave, olujne padavine, kao i niski protoci, predstavljaju merodavne projektne vrednosti u ovakvim inženjerskim projektima. Opšteprihvaćen je koncept da se životi i imovina moraju zaštititi od ekstremnih događaja. Primenjeni metod u ovom radu može se koristiti za analizu ekstremnih vrednosti različitih varijabli, kao što su, na primer, hidrološke, seizmičke, vulkanske, te vetar, nivo mora, saobraćajni protok na putevima, čvrstoće materijala i slično.

6 CONCLUSION

We consider three distributions to model the annual maximum streamflow at river Rasina: Gumbel Model, Frechet Model and GEV Model.

Values of K-S test and A-D goodness-of-fit test for the Frechet distribution are above the threshold values and Frechet model is **rejected**.

Gumbel model and GEV model are appropriate probability model in this practical situation.

We use this model to find required design values to predict the return level with certain return period. Based on the values of both tests (K-S and A-D test) GEV distribution has a slightly better fit with empirical data for level of significance $\alpha=0,5$.

Extreme value analysis of hydrological processes plays a relevant role in water resources planning and analysis, because random variables describing flood, storm rainfall and low flows are essential to predict design values in engineering projects. It is widely accepted that life and property need to be protected against the effects of extreme events. The applied method in this paper can be used for analyzing extreme values of different variables, such as for example hydrological, seismic, volcanic, wind, sea-level, traffic flow on highway, strength of material and other.

7 LITERATURA REFERENCES

- [1] A.F. Jenkinson, "Estimation of maximum floods," World Meteorological Organization, Technical Note, no. 98, ch. 5, pp. 183-257, 1969.
- [2] A. F. Jenkinson, "The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) value of meteorological elements," O. J. Royal Meteorol. Soc., vol. 81, pp. 158-171, 1955.
- [3] E. J. Gumbel, Statistics of Extreme, New York: Columbia University Press, 1958.
- [4] M. Frechet, "Sur la loi de probabilité de l'écart maximum," Annales de la Société Polonaise de Mathématique, vol. 6, pp. 93-117, 1927.
- [5] M. R. Rajabi and R. Modarres, "Extreme value frequency analysis of wind data from Isfahan, Iran," J. WindEng. Ind. Aerodyn., vol. 96, pp. 78-82, 2008.
- [6] N. I. Ramesh and A. C. Davison, "Local models for exploratory analysis of hydrological extremes," J. Hydrol., vol. 256, pp. 106-119, 2002.
- [7] N. T. Kottegodda and R. Rosso, Applied Statistics for Civil and Environmental Engineers, Blackwell Publishing Ltd. 2008, ch 7, pp 405-478.
- [8] N. V. Smirnov, "Tables for estimating the goodness of fit of empirical distributions," Annals of Mathematical Statistics, vol. 19, 279, 1948.
- [9] P. Chiou, W. Miao and T. C. Ho, The annual maximum wind speed at Pisa Airport in Italy, International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 3, No. 3, June 2012.
- [10] T. W. Anderson and D. A. Darling, "A test of goodness of fit," J. Am. Stat. Assoc., vol. 49, pp. 765-769, 1954.

REZIME

STATISTIČKO MODELIRANJE EKSTREMNIH VREDNOSTI: PRIMENA NA PRORAČUN EKSTREMNIH PROTOKA NA RECI RASINI

Miljan KOVAČEVIĆ
Ljubo MARKOVIĆ
Lidija BABIĆ

Inženjeri su upoznati s neizvesnošću koja je povezana s funkcijama raspodele prilikom prirodnih fenomena ili onih u koji su uključeni ljudi. Čak i ako je poznata matična distribucija, u hipotetičkom slučaju, ostaje problem njene funkcionalne prezentacije. Moguće je izabrati adekvatan probabilistički model u praktičnoj situaciji, razmatrajući podatke koji su dostupni, da bi se opisao fenomen koji nas interesuje, te potom procenili parametri i odgovarajući rizik. Podaci za dvadeset sedam vrednosti godišnjih maksimalnih protoka na reci Rasini, na jugu centralne Srbije, od 1966. do 2008, analizirani su i modelirani. Modeli ekstremnih vrednosti za podatke razmatrani su i upoređivani. Nakon toga, dobijena je projektna vrednost sa odgovarajućim povratnim periodom.

Cljučne reči: Anderson-Darling test, projektna vrednost, Frešet-ova raspodela, GEV distribucija, testiranje statističkih hipoteza, Gumbelova raspodela, Test Kolmogorov-Smirnova, povratni period

SUMMARY

STATISTICAL MODELLING OF EXTREME VALUES: APPLICATION TO CALCULATE EXTREME FLOW AT RIVER RASINA

Miljan KOVACEVIC
Ljubo MARKOVIC
Lidija BABIC

Engineers are aware of the uncertainties associated with the probability distributions of natural phenomena or those involving human beings. Even if one knows the parent distribution, in a hypothetical case, its functional representation remains a problem. One can select an appropriate probability model in a practical situation, considering the data available, to describe the phenomenon of interest, and then estimate the parameters and assess the risks involved. The data of 27 annual maximum streamflows at river Rasina in south central Serbia from 1966 to 2008 were analyzed and modeled. Three extreme value models for the data were considered and compared. Subsequently, the required design value with a given return period of exceedance was obtained.

Key words: Anderson-Darling test, design value, Frechet distribution, general extreme value distribution, goodness-of-fit, Gumbel distribution, Kolmogorov-Smirnov test, return period

MOGUĆNOSTI PRIBLIŽAVANJA BETONSKE INDUSTRIJE CIRKULARNOM MODELU KROZ INDUSTRIJSKU SIMBIOZU

POSSIBILITIES IN CONCRETE INDUSTRY TOWARDS CIRCULAR ECONOMY THROUGH INDUSTRIAL SYMBIOSIS

Dubravka BJEGOVIĆ
Marijana SERDAR
Marija JELČIĆ RUKAVINA
Ana BARIČEVIĆ
Martina PEZER

ORIGINALNI NAUČNI RAD
ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER
UDK: 624.012.4:666.982

1 UVOD

U skladu s porastom globalizacije i industrijalizacije, širom svijeta rastu i zahtjevi za čistim okolišem, očuvanjem izvora energije i zbrinjavanjem otpada. Zaštita okoliša i ušteda energije postaju ključni svjetski problemi u svim poljima tehnologije. Da bi se produžilo postojanje čistog okoliša, javlja se potreba za unaprjeđivanjem postojećih tehnologija, pretvarajući ih u održive i ekološki savjesne. Pojam održivosti 1992. godine na Earth Summitu u Rio de Janeiru definiran je kao gospodarstvena djelatnost koja je u skladu sa zemljinim ekosustavom [1]. Osnovni princip održivog razvoja je korištenje što manje prirodnih resursa i stvaranje što manje po Zemlju štetnih otpada.

Tradicionalna betonska industrija još uvijek se bazira na linearnom modelu, u kojem se za potrebe proizvodnje betona koristi velika količina prirodnih neobnovljivih resursa, emitira velika količina stakleničkih plinova, te proizvede velika količina otpada. Godišnje se u Europi

1 INTRODUCTION

Environmental protection and energy saving are crucial problems in all fields of human activities, especially in production and industry. Sustainable development has become one of the most evident solutions in order to prolong the existence of clean and healthy environment. The 1992 Earth Summit in Rio de Janeiro defined sustainable development as economic activity that is in harmony with the earth's ecosystem [1]. The best way to ensure sustainable development would be to reconcile human needs with the capacity of the planet to cope with the consequences of human activities, or, in other words, to take from the earth as little as possible natural resources and return to the earth as little as possible waste.

Traditional concrete industry is based on linear model, in which during production of concrete elements a large amount of non-renewable resources is utilised and significant air emissions caused, and at the end of the service life energy is used for demolition of structure

Prof. dr. sc. Dubravka Bjegović, redoviti profesor, Zavod za materijale, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

Dr. sc. Marijana Serdar, viši asistent znanstveni novak, Zavod za materijale, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

Dr. sc. Marija Jelčić Rukavina, asistent znanstveni novak, Zavod za materijale, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

Ana Baričević, asistent znanstveni novak, Zavod za materijale, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

Martina Pezer, stručni suradnik, Zavod za materijale, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

Dubravka Bjegovic, PhD, Professor, Department of materials, Faculty of Civil Engineering, Zagreb, Croatia
Marijana Serdar PhD, Higher assistant, Department of materials, Faculty of Civil Engineering, Zagreb, Croatia
Marija Jelcic Rukavina, PhD, Assistant, Department of materials, Faculty of Civil Engineering, Zagreb, Croatia
Ana Baričević, Assistant, Department of materials, Faculty of Civil Engineering, Zagreb, Croatia
Martina Pezer, Assistant, Department of materials, Faculty of Civil Engineering, Zagreb, Croatia

proizvede preko 750 milijuna m³ betona, što bi značilo da stanovnik Europe godišnje upotrijebi četiri tone betona [2]. Takva masovna proizvodnja i potrošnja svrstava betonsku industriju u jednog od najznačajnijih potrošača prirodnih resursa i proizvođača otpada. Istovremeno, betonska industrija ima velike potencijale za promjenu poslovanja prema održivijoj proizvodnji i smanjenju ekološkog otiska. Jedna od mogućih strategija jeste korištenje otpadnih materijala i nusproizvoda iz drugih industrija, kao vrijednih sirovina u betonskoj industriji, približavajući na taj način betonsku industriju što više kružnom modelu industrija. Ovakvo zatvaranje kruga moguće je samo ako se u obzir uzmu svojstva pojedinog otpadnog materijala, te se ta svojstva iskoriste kako bi se poboljšalo neko svojstvo betona ili ostvarila neka dodatna tehnička vrijednost betonskog proizvoda.

Temelji održivosti u industriji betona sastoje se od smanjenja emisije CO₂, očuvanja prirodnih resursa i gradnje trajnijih građevina. Svi navedeni temelji mogu biti obuhvaćeni pomicanjem betonske industrije prema kružnom modelu, putem opisane tzv. industrijske simbioze, u kojoj je otpad iz jedne industrije vrijedna sirovina za drugu industriju. Postoje mnoge industrije širom svijeta s kojima betonska industrija može stupiti u industrijsku simbiozu, jer tijekom svog proizvodnog procesa proizvode otpadne materijale koji bi se mogli koristiti u betonskoj industriji. Neki od takvih otpadnih materijala jesu pepeli i muljevi iz termoelektrana, željezne industrije, aluminijske industrije, sustava pročišćivača otpadnih voda, jednako kao i samo otpadno staklo ili otpadne automobilske gume. Navedeni materijali imaju ili zanimljiv kemijski sastav, poželjan u betonu, ili pojedina svojstva, koja bi betonskim proizvodima moli osigurati dodatne funkcionalne vrijednosti.

U ovom radu prikazane su neke od mogućnosti upotrebe otpadnih materijala iz drugih industrija za pripremu betonskih proizvoda specifičnih svojstava, čime takvi betonski proizvodi postaju zanimljiva alternativa klasičnom betonu. Prikazani su rezultati izvornih znanstvenih istraživanja provedenih na Zavodu za materijale, Građevinskog fakulteta u Zagrebu, ali i ideje za primjenu takvih ekoloških betona u građevinskoj praksi.

2 SIMBIOZA S DRUGIM INDUSTRIJAMA

2.1 Metalna industrija

U današnje vrijeme, svjetska potrošnja cementa iznosi preko dve i po milijarde tona godišnje [1], a s ubrzanim razvojem nerazvijenih zemalja, očekuje se da će ta brojka u budućnosti još rasti. U Hrvatskoj emisija stakleničkih plinova još je u porastu. 2006. godine specifična emisija CO₂ procijenjena je na 850 kg CO₂/t klinkera, odnosno 700 kg CO₂/t cementa. Dakle, u Hrvatskoj cementna industrija proizvodi oko 8–9 % ukupne emisije CO₂ [3]. Zamjena klinkera drugim cementnim materijalima predstavlja obećavajuću strategiju, s obzirom na to što je ekonomski povoljnija za sve sudionike u cementnoj industriji, a još uvijek nije iskorištena do svoga punog potencijala. Najupotrebljiviji zamjenski materijali za cement mogu se pronaći u metalnoj industriji, budući da oni uglavnom

with generation of waste and emission. With yearly around 750 million m³ of concrete produced in Europe [2], concrete industry today is one of the largest consumers of natural resources and one of the largest waste producers. However, concrete industry has a high potential for a positive shift towards more sustainable production and lower ecological footprint. One of the strategies is to use waste materials and by-products from other industries as valuable raw materials in concrete industry, changing concrete industry from linear model towards circular economy model. This loop can be closed only by taking into account properties of a certain waste material and using them for preparation of special purpose concrete products, in which these properties are favourable. Other strategy is designing concrete tailored for certain environment and service life, making it optimised for that specific purpose.

Postulates of sustainability in construction industry are lowering CO₂ emission, conservation of natural resources and constructing and maintaining more durable concrete structures. All these postulates can be covered by moving towards circular economy in concrete industry, through industrial symbiosis with other industries available in different countries or transforming end-of-life products into valuable raw materials for concrete industry. There are numerous industries around the world that during their production processes create waste that could be used in concrete industry as valuable input material. Some of these wastes include ashes and slurries from thermal plants, steel factory, aluminium factory plants, sewer sludge waste, recycled glass, waste tyres etc. These waste materials have either chemical composition interesting for the application as binding material, or certain property which could add value to concrete.

This paper presents some of the possibilities of utilisation of waste materials from different industries for preparing concrete with specific properties, by which they become technologically attractive alternative to classical concrete. Both scientific research results obtained at Department of Materials, Faculty of Civil Engineering in Zagreb are presented, but also prototype of products produced based on the scientific research.

2 SYMBIOSIS WITH OTHER INDUSTRIES

2.1 Metal factories

Nowadays, the world consumption of cement is more than 2.5 billion tonnes annually [1] and it is expected that this number will rise with the industrialization of developing countries. In Croatia, there is still a growth trend of CO₂ emission. In year 2006, direct CO₂ emission from cement industry was around 2.5 million tonnes, which is compared to year 1990 growth of 51 %. In year 2006, specific CO₂ emission was estimated to be 850 kg CO₂/t of clinker or 700 kg CO₂/t of cement. That means that in Croatia cement industry causes around 8–9 % of total CO₂ emission [3]. Clinker substitution is a promising solution as it is a low-cost option that has not yet been used to the greatest possible extent, and, as such, still has great potential. The most common supplementary materials can be found as waste

imaju kemijski sastav koji je zanimljiv u kemiji cementa. Neki od takvih materijala jesu zgura, silicijska prašina i crven mulj. Oni mogu biti pomiješani s drugim mineralnim dodacima komplementarnog kemijskog sastava, poput letećeg pepela, kamene prašine ili aktivirani alkalnim aktivatorima, te na taj način postati alternativna veziva u betonu. U svakom slučaju, kako bi se upotreba takvih otpadnih materijala povećala, nužno je proizvesti veziva koja imaju svojstva što sličnija klasičnim cementima [4, 5].

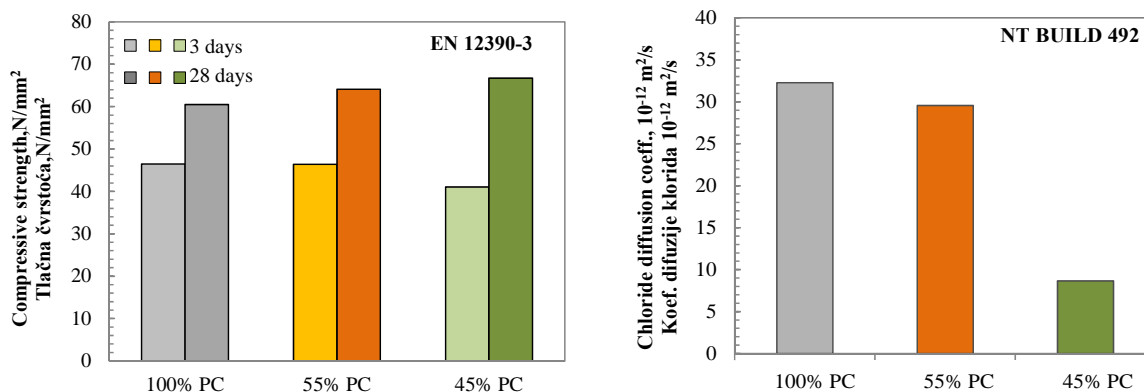


Slika 1. Zgura i crveni mulj
Figure 1. Slag and red mud

Eksperimentalna istraživanja provedena na betonima pripremljenim s miješanim cementima, u kojima je zamijenjen veći dio cementa kombinacijom zgure, letećeg pepela i vapnenca, pokazala su da takva zamjena cementa otpadnim materijalima utječe pozitivno na trajnosna svojstva betona (propusnost, rana pojava pukotina) [6-8]. Iako svaki od pojedinih mineralnih dodataka ima specifičan utjecaj na beton, koji nije nužno uvijek pozitivan, kada se dodaju u kombinaciji, njihov sinergijski učinak na svojstva betona jeste pozitivan, što je vidljivo i na slici 2 [8]. U istraživanju od 45 do 55% cementa zamijenjeno je navedenom kombinacijom otpadnih materijala. Referentna mješavina je bila identičnog sastava kao beton korišten prilikom gradnje Masleničkog mosta, koji se nalazi u agresivnom morskom okolišu (oznaka PC). Cement korišten u svim betonima bio je CEM II/A – S 42.5R. Od kemijskih dodataka u mješavinama je korišten superplastifikator, aerant te usporivač vezanja, pa je vodovezivni omjer u svim mješavinama bio 0,4. U drugoj mješavini (oznaka 55% PC) cement je djelomično zamijenjen s 15% zgure, 25% letećeg pepela i 5% vapnenca. U trećoj mješavini (oznaka mješavine 45% PC) cement je zamijenjen s 18% zgure, 32% letećeg pepela i 5% vapnenca. Ispitivanje tlačne čvrstoće provedeno je na tri uzorka kocke dimenzije 150 mm nakon tri dana i dvadeset osam dana njegovanja u vlažnoj komori (95% vlažnost i $20\pm 4^{\circ}\text{C}$ temperatura), sve prema normi EN 12390-3. Koeficijent difuzije ispitan je prema normi NT BUILD 492, na valjcima promjera 10 cm, visine 5 cm, nakon dvadeset osam dana starosti. Prije ispitivanja, vlažni uzorci su kondicionirani u saturiranoj otopini kalcijevog-hidroksida, sve prema navedenoj normi.

materials from metal factories, such as granulated blast furnace slag, silica fume or red mud. They can be mixed with other waste materials, such as fly ash, stone quarries etc. However, in order to create market acceptance, the properties of these binding materials have to be comparable with Portland cement [4, 5].

Experimental research performed on concrete mixtures with quaternary-blended cements, substituting large part of Portland cement with combination of slag, fly ash and limestone shows that the substitution of cement with by-products of other industries can have a positive influence on concrete durability properties (penetrability of fluids and ions, early age cracking) [6-8]. Even though a single type of mineral admixture can have different influence on a specific concrete property, synergic influence of mix of mineral can be achieved. In the present research 45 to 55 % of cement was substituted by combination of slag, fly ash and limestone. The referent mixture (labelled PC) was concrete identical to that used during construction of Maslenica Bridge, which is exposed to aggressive marine environment. Cement used in all mixtures was CEM II/A – S 42.5R. In all mixtures superplasticizer, air entraining admixture and retarder were used and water-to-binder ration was kept 0,4. In the second mixture (labelled 55% PC) cement is substituted with 15% of slag, 25% of fly ash and 5% of limestone filler. In the third mixture (labelled 45% PC) cement is substituted with 18% of slag, 32% of fly ash and 5 % of limestone filler. Compressive strength was tested on three cubes dimension 150 mm after 3 and 28 days of curing in chamber (95% relative humidity and temperature $20\pm 4^{\circ}\text{C}$), all according to the standard EN 12390-3. Chloride migration coefficient was tested according to the standard NT BUILD 492, on cylindrical samples (dimensions diameter 10 cm, height 5 cm), after 28 days of curing. Before testing, samples were conditioned in saturated calcium hydroxide solution, all according to the stated standard.



Slika 2. Tlačna čvrstoća i koeficijent difuzije kloridnih iona kod betona pripremljenog s cementom i betona pripremljenih s 45 i 55% zamijene cementa kombinacijom mineralnih dodataka (zgura, leteći pepeo i vapnenac)

Figure 2. Compressive strength and chloride diffusion coefficient of concrete prepared with Portland cement and concrete where 45% and 55% of cement is substituted by mineral additions

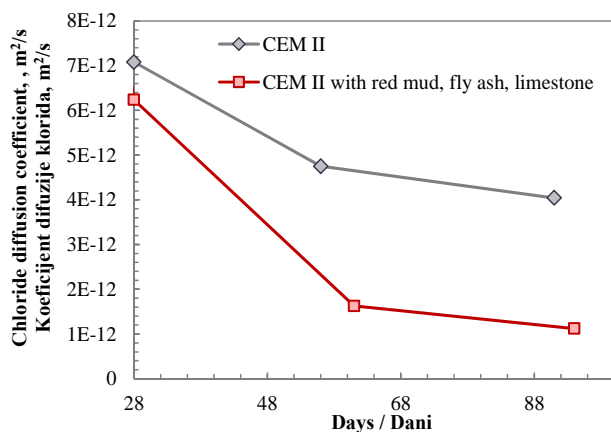
Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće, slika 2a, pokazuju da se zamjenom velike količine cementa i pravilnom kombinacijom materijala mogu dobiti betoni jednakih razreda čvrstoća, kao i beton pripremljen samo s cementom. S obzirom na sporiji prirast čvrstoće u slučaju betona s letećim pepelom i zgurom, očekivano je da bi se pri starosti od 90 dana dobili još povoljniji rezultati za mješavine sa zamjenom cementa. Rezultati ispitivanja prodora klorida (slika 2b) potvrđuju da se kombinacijom navedenih otpadnih materijala može pripremiti beton znatno povećanog otpora prodora agresivnih tvari, što čini ovakve betona zanimljive za upotrebu u morskom okolišu.

Osim često istraživane zgure, koja je već pronašla svoju upotrebu u cementnoj industriji, postoje i drugi nusproizvodi metalne industrije koji se mogu koristiti u pripremi cementa, a crveni mulj je sigurno jedan od njih. Crveni mulj nastaje prilikom proizvodnje aluminija i to u količini od oko 0,5 – 2,5 tone za proizvodnju 1 tone Al_2O_3 . Oko 70% čestica crvenog mulja su veličine od 20 μm , mulj je uobičajeno bogat aluminijevim i željezovim oksidima, te sama otopina ima izrazito veliku pH vrijednost. Istraživanja do sada provedena i dostupna iz literature pokazuju da dodavanje više od 20% crvenog mulja cementu značajno smanjuje toplinu hidratacije i u konačnici tlačnu čvrstoću [9, 10]. Određena istraživanja koriste spaljivanje mulja pri visokim temperaturama ili alkalnu aktivaciju kako bi postigla bolja svojstva betona s dodatkom crvenog mulja. U istraživanju, crveni mulj, zajedno s letećim pepelom i vapnencem, aktiviran je s malom količinom cementa CEM II, kako bi se pripremili betoni visokih uporabnih svojstava [11]. Korišten cement CEM II B-M (S-V) 42.5 N već u samom sastavu sadrži 65 do 79% klinkera i 21 do 35% zgure i silicijskog letećeg pepela. Kada se uzme u obzir zamjena cementa s dodatnim letećim pepelom, crvenim muljem i vapnencem, pripremljena i ispitana mješavina prikazana u radu sadrži dakle samo 25% klinkera. Nakon dvadeset osam dana, tlačna čvrstoća ove mješavine bila je 38 N/mm^2 , dok je nakon devedeset dana iznosila 57 N/mm^2 . Na slici 3 prikazani su rezultati razvoja koeficijenta difuzije klorida nakon dvadeset osam dana starosti betona, te mjerenje deformacije skupljanja uslijed sušenja od tri do pedeset šest dana starosti

Results of compressive strength testing, Figure 2a, show that with the substitution of higher amount of cement with certain combination of waste materials, it is possible to obtain concrete with the same strength class as concrete prepared with cement. Furthermore, it can be anticipated that after longer time of curing (90 days) compressive strength of blended cement concrete would be even more satisfying, due to the expected slower rate of hydration of slag and fly ash. Results of chloride migration testing, Figure 2b, are confirming that with the combination of blended materials, concrete with higher resistivity to penetration of fluids is obtained. These concrete mixtures could therefore be used in the aggressive marine environment.

Beside blast furnace slag, which found its application in cement industry, there are other by-products of metal factories which could be potential candidates as binding material, and red mud is surely one of them. Red mud is obtained as a by-product of aluminium industry, with generation of around 0.5 – 2.5 tonnes of red mud during production of 1 tonne of Al_2O_3 . Around 70% of particles are around 20 μm , it is generally rich in aluminium and iron oxides and has a high pH value. Performed research shows that the addition of red mud in amount higher than 20% causes decrease in hydration temperature and resulting decrease in compressive strength [9, 10]. Some researcher used calcination on high temperatures or alkali activation of red mud to achieve better performances of concrete. In this research, red mud was used together with fly ash and limestone in Portland cement with slag to prepare concrete with increased durability properties and decreased shrinkage [11]. Cement type CEM II B-M (S-V) 42.5 N was used, which already has 65 to 79% clinker and 21 to 35% of slag and siliceous fly ash. When cement composition is taken into account, together with the addition of red mud, fly ash and limestone, prepared and tested mixture actually has only 25% of clinker. After 28 days compressive strength of this mixture is 38 N/mm^2 , while it reaches 57 N/mm^2 after 90 days of curing. Figure 3 shows evolution of chloride diffusion coefficient after 28 days of concrete curing, as well as monitoring of deformation due to the drying shrinkage of concrete. Coefficient of chloride

betona. Koeficijent difuzije ispitivan je prema normi NT BUILD 492, na tri valjka promjera 100 cm, visine 5 cm. Skupljanje uslijed sušenja mjereno je na tri uzorka prizme dimenzija 100×100×400 mm. Uzorci su dan nakon miješanja izvađeni iz kalupa, te njegovani 48 sati u vodi. Sedamdeset dva sata nakon miješanja, na uzorke su postavljeni reperi na udaljenosti od 200 mm. Tijekom cijelog vremena mjerenja, uzorci su držani u komorama s kontroliranom vlažnošću od 70±5%.

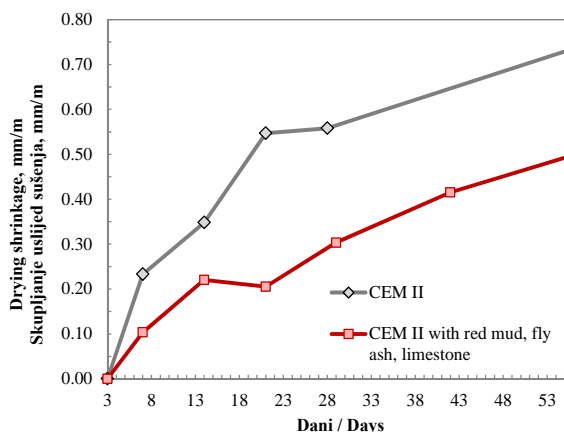


Slika 3. Koeficijent difuzije kloridnih iona betona pripremljenog s cementom CEM II i betona u kojem je značajan dio cementa zamijenjen crvenim muljem, letećim pepelom i vapnencem

Figure 3. Chloride diffusion coefficient of concrete prepared with CEM II and concrete with CEM II red mud, fly ash and limestone [11]

Iz rezultata ispitivanja koeficijenta difuzije (slika 3a), vidljivo je da mješavina sa značajnom zamjenom cementa otpadnim materijalima ima poboljšana svojstva propusnosti, te nakon pedeset šest dana doseže vrlo niske vrijednosti prodora klorida. Moguće je zaključiti da dolazi do sinergijskog djelovanja različitih otpadnih materijala i njihovog različitog kemijskog sastava i veličine čestica. Iz rezultata mjerenja deformacije uslijed skupljanja, vidljivo je da uslijed smanjene količine cementa i potencijalno pozitivnog učinka otpadnih materijala, dolazi do smanjene deformacije skupljanja uslijed sušenja. S obzirom na poboljšanje svojstva propusnosti betona, te smanjenog rizika pojave pukotina uslijed sušenja betona, navedene mješavine mogle bi se koristiti za pripremu betonskih predgotovljenih elemenata za prometnice, poput rubnjaka, vijenaca, barijera, slivnika i slično. Upravo ova vrsta betonskih elemenata nekontrolirano propada na prometnicama uslijed dugotrajnog izlaganja agresivnom okolišu, bilo uslijed smrzavanja i odmrzavanja ili vlaženja i sušenja uz prisustvo soli (morske ili za odmrzavanje). Korištenjem predložene mješavine veziva mogle bi se ostvariti ekološke uštede; s obzirom na to što se koristi manje Portland cementa, smanjena je i emisija CO₂, a korištenjem otpadnih materijala smanjeno korištenje neobnovljivih prirodnih materijala. Istovremeno, takva primjena imala bi tehnološke prednosti, s obzirom na povoljnija svojstva betona, te moguće ekonomske prednosti, s obzirom na cijenu otpadnih materijala i veći uporabni vijek betonskih proizvoda.

migration was measured according to standard NT BUILD 492 on three samples. Drying shrinkage was measured on three prisms dimension 100×100×400 mm. Specimens were one day after mixing demoulded and water cured for 48 hours. Afterwards, measuring pins were glued on both sides of sample and they were placed in chamber with controlled humidity (70±5%).



From the results of chloride migration testing, Figure 3a, it can be observed that, with a significant substitution of cement with chosen waste materials, concrete has enhanced penetrability properties, with extremely low coefficient achieved after 56 days of curing. It can be concluded that there is a synergic effect of different waste materials, with their complementary chemistry and particle size distribution. From the results of deformation during drying shrinkage, Figure 3b, it can be observed that, due to the lower amount of cement, but also potential beneficial effect of waste materials, deformation due to drying shrinkage is decreasing. Since most of the blended mixtures have increased durability properties, they could find application in the production of precast concrete elements used for infrastructures, such as concrete cornice, traffic barriers, curbs, outlet channels, etc. Due to the aggressive exposure of such elements, with wetting, drying and splashing with additives for de-freezing, they are usually one of the first parts of bridges that experience premature deterioration due to corrosion and freezing and thawing. Using blended mixtures for such applications would lead to ecological benefits, since by using less Portland cement amount of produced CO₂ emission is lowered and by using waste materials natural resources are preserved. At the same time, such application would provide technological benefits, since decreased penetrability of concrete leads to increased durability of elements, all consequently leading to significant economic benefits.

2.2 Termoelektrane

Leteći pepeo nastaje kao nusproizvod izgaranja ugljena u termoelektranama (slika 4). Čestice letećeg pepela su sferičnog oblika, male veličine, a velike specifične površine. S obzirom na uobičajeno sporiju hidrataciju letećeg pepela [12-15], korištenje pepela u betonu smanjuje toplinu hidratacije, te je zbog toga leteći pepeo našao primjenu u masivnim betonskim konstrukcijama, poput temelja, mostova, molova i brana.



Slika 4. Termoelektrana Plomin i leteći pepeo koji nastaje kao otpadni materijal
Figure 4. Thermal power plant and fly ash left as waste material

Osim poboljšanih trajnosnih svojstava, korištenjem mineralnih dodataka u betonu može se utjecati na poboljšanje preostalih svojstava betona nakon izloženosti visokim temperaturama, pa se spomenuta uporaba betona s letećim pepelom može proširiti i na konstrukcije koje će u svom vijeku trajanja biti izložene visokim temperaturama. Provedeno je eksperimentalno istraživanje utjecaja visokih požarnih temperatura (do 600°C u materijalu) na mehanička svojstva (tlačna čvrstoća i modul elastičnosti) samozbijajućih betona s malim vodopraškastim omjerom ($v/p = 0,27$), u kojem je dio Portland cement (CEM I 42,5R) zamijenjen s različitim mineralnim dodacima [12, 13], među kojima je i leteći pepeo iz termoelektrane Plominu količini 20–40% na masu cementa. Osim navedenih sastojaka, mješavine samozbijajućeg betona sadržavale su dolomitni filer, dolomitni agregat, te superplastifikator i stabilizator mješavine u količini potrebnoj da se postigne rasprostiranje slijeganjem od 700 ± 50 mm.

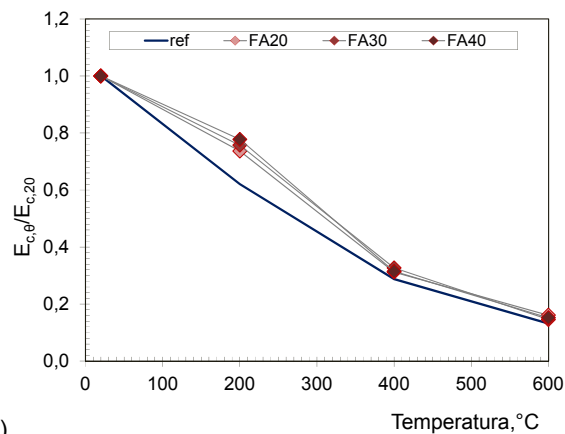
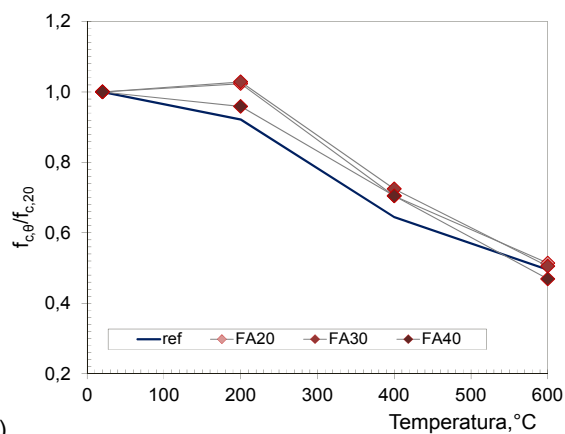
Rezultati istraživanja prikazani na slikama 5 i 6 pokazuju da mješavine s letećim pepelom u temperaturnom području do 400°C imaju bolja preostala svojstva tlačne čvrstoće i modula elastičnosti u odnosu na referentnu mješavinu. Pozitivan učinak letećeg pepela očituje se prvenstveno u naknadnoj pucolanskoj reakciji letećeg pepela i kalcijevog hidroksida uslijed kretanja slobodne vlage u betonu koja je uzrokovana visokom temperaturom. Manja količina kalcijevog hidroksida u mješavinama s letećim pepelom, nadalje, doprinosi i stvaranju manjeg broja pukotina u cementnoj matrici (vidljivo na slici 6), budući da se kalcijev hidroksid raspada na temperaturama višim od 350°C na vapno i vodu stvarajući pukotine u mikrostrukтури betona [14].

2.2 Thermal power plants

Fly ash is a by-product of the combustion of coal in electric generating plants, Figure 4. Particles of fly ash are glassy and spherical in shape, small in size and large in specific area. Due to its generally slower rate of hydration [12-15], fly ash lowers the heat of hydration and is important in mass concrete structures, such as large foundations, bridges, and piers.

Besides enhancing concrete durability properties, utilisation of mineral additions in concrete can positively influence residual properties of concrete after exposure to high temperatures. Therefore, the application of concrete with blended cement can be interesting for structures with a risk of being exposed to fire during service life. Present experimental research was performed with a purpose of investigating the effect of high temperatures occurring during fire (up to 600°C in material) on mechanical properties (compressive strength and modulus of elasticity) of self-compacting concretes with low water-to-powder ratio ($v/p = 0,27$). Self-compacting concrete was prepared with high substitution of Portland cement (CEM I 42,5R) with mineral additions [12, 13], among them fly ash from thermal power plant Plomin, in amount of 20–40% on cement weight. Mixtures were prepared with dolomite filler, dolomite aggregate, superplasticizer and viscosity modifying agent in the amount to achieve slump flow of 700 ± 50 mm.

Results presented on Figure 5 and 6 show that mixtures with fly ash have better residual properties for temperature ranges up to 400°C, compared to mixture with pure Portland cement. The positive effect of fly ash is mostly obtained through postponed hydration reaction between fly ash and portlandite and flow of free water due to the exposure to high temperatures. Lower amount of portlandite in mixtures with fly ash is furthermore contributing to lower amount of cracks formed in cement matrix (Figure 6), since portlandite is decomposing at temperatures higher than 350°C to lime and water, consequently forming cracks in the matrix [14].

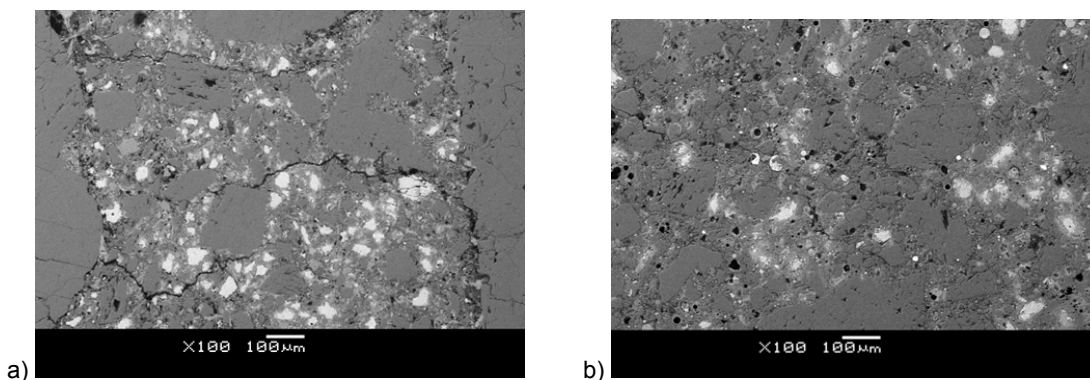


a)

b)

Slika 5. Preostala svojstva a) tlačne čvrstoće i b) modula elastičnosti mješavina samozbijajućeg betona nakon izlaganja visokoj temperaturi

Figure 5. Residual properties a) compressive strength and b) modulus of elasticity of SCC mixtures after exposure to high temperature



a)

b)

Slika 6. SEM snimci a) referentne mješavine i b) mješavine sa 40% zamjene cementa letećim pepelom nakon djelovanja temperature od 400°C

Figure 6. SEM images of a) referent mixture and b) mixture with 40% substitution of cement with fly ash after exposure to 400°C

2.3 Sustavi za pročišćavanje otpadnih voda

Prilikom pročišćavanja otpadnih voda, u sustavima za pročišćavanje nastaje otpadni mulj i to u količinama od oko 0,5 kg za svaki m³ otpadne vode. Pod pravilnim gospodarenjem otpadnim vodama smatra se prikupljanje, dopremanje do sustava, te tretiranje otpadne vode i ispuštanje čiste, kao i pravilno zbrinjavanje otpada nastalog postupkom pročišćavanja. Spaljivanje mulja pročišćivača otpadnih voda uvelike olakšava zbrinjavanje novonastalog proizvoda, pepela dobivenog iz mulja otpadnih voda. Znanstvena istraživanja iz literature prikazuju da bi se spaljeni mulj, s obzirom na kemijski sastav i svojstva, mogao koristiti u građevinskoj industriji, u proizvodnji betona, cementa, opeke, asfalta i ostaloga [16,17].

2.3 Water treatment plants

In the wastewater treatment, additional waste called sewage sludge is generated, with around 0.5 kg of sludge on a dry mass basis per 1 m³ of wastewater. Adequate wastewater management (sanitary and industrial in the first place) implies collecting, transport and treatment of wastewater, but also adequate management of waste substances generated by treatment. Incineration of sewer sludge considerably facilitates further management of the new product (incinerated sewage sludge ash - ISSA), since a significant reduction in mass occurs. Scientific research has shown that the generated sewage sludge, with regard to its properties and chemical composition may be reused in construction industry in production of cement, concrete, bricks, ceramics, asphalt compounds in road construction etc. [16,17].



Slika 7. Sustav za pročišćavanje otpadnih voda u Zagrebu i pepeo nastao spaljivanjem mulja otpadnih voda [18]
 Figure 7. Water treatment plant and incinerated sewage sludge obtained as by-product [18]

Trenutno se na Građevinskom fakultetu u Zagrebu provode opsežna ispitivanja mogućnosti korištenja pepela dobivenog spaljivanjem mulja otpadnih voda kao zamjene dijela cementa u betonu. Dosadašnja saznanja ukazuju na određenu pucolansku aktivnost pepela mulja otpadnih voda. Također, značajne količine SiO_2 i Al_2O_3 koje se nalaze u zagrebačkom pepelu ukazuju na to da postoji realna mogućnost ovakve primjene pepela. No, nužno je pronaći najoptimalniju metodu aktivacije pepela, kroz miješanje s komplementarnim mineralnim dodacima, te pronaći specifična područja primjene u kojima bi betoni pripremljeni s pepelom mulja otpadnih voda, s obzirom na svojstva, bili zanimljiva alternativa klasičnom betonu.

Currently at the Faculty of Civil Engineering research is being performed to evaluate the potential of application of incinerated sewage sludge ash as a substitution of cement. Numerous analyses showed a certain degree of pozzolanic activity of ISSA. Considerable contents of SiO_2 and Al_2O_3 in ISSA indicate the possibility of using this material as binder. It is necessary to find the optimum method for activation of ISSA generated by incineration process of sewage sludge. Reactivity of locally available ISSA from sewage sludge should be viewed from the aspect of micro-texture, chemical and mineralogical composition and pozzolanic activity, in various conditions of incineration process, adding of various additives and during concrete batching.

3 KRAJ ŽIVOTNOG VIJEKA - POČETAK NOVOGA

3 END-OF-LIFE - NEW BEGINNING

3.1 Otpadne gume

3.1 Waste tyres

Samo na području zemalja članica Europske unije, godišnje nastane gotovo 3,4 milijuna tona otpadnih guma [19]. Noviji podaci pokazuju na to da se u zemljama EU 15 nekontrolirano odlaže samo 5% ukupne količine otpadnih guma. Istovremeno, procjenjuje se da se na području novih članica EU i zemalja pristupnica godišnje nekontrolirano odlaže 29% nastalih otpadnih guma. Sukladno Direktivi 1999/31/EC, počevši od 2006. godine, svako je odlaganje otpadnih guma u okoliš potpuno zabranjeno, pa je tom odlukom raspoloživa količina otpadnih guma znatno porasla. Hrvatska je nacionalne propise harmonizirala s EU Direktivama u pogledu postupanja s otpadnim gumama. Drugim riječima, 70% otpadnih guma trebalo bi reciklirati, dok se 30% može koristiti u energetske svrhe.

Every year about 3.4 million tonnes of waste tyres are generated in Europe [19]. In the EU15, only 5 % of waste tyres are uncontrollably disposed in landfills. In the 12 new EU member states and Western Balkan, averagely 29 % of waste tyres are disposed in landfills, annually. With the introduction of EU Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste in those countries, which bans landfilling of whole (July 2003) and shredded (July 2006) tyres, it is clear that there is need to increase recycling capacities and develop markets for utilising recycled tyres. The Republic of Croatia harmonized its regulations with the EU Directives relating to the assessment and management of waste tyres. In other words, 70 % of all waste tyres should be processed through material recycling and other 30% can be reused as energy source.



Slika 8. Guma, čelična i tekstilna vlakna dobivena reciklažom otpadnih guma
 Figure 8. Rubber, steel fibres and textile fibres from recycled end-of-life tires

Opsežno istraživanje pokazalo je da se svaki od proizvoda dobivenih reciklažom otpadnih guma (slika 8) može koristiti u betonu, te istovremeno poboljšati određena svojstva betona [20-23]. U suradnji sa industrijskim partnerima, razvijena su dva inovativna proizvoda, a u sklopu novog EU projekta planira se razviti još inovativnih proizvoda, iskorištavaju pojedina svojstva reciklata automobilskih guma kako bi se pripremili specifični betonski proizvodi.

Lagani apsorpcijski sloj betonske barijere za zaštitu od buke RUCONBAR razvijen je uz korištenje velikog volumenskog udjela granula reciklirane gume u mješavini betona, čime se osigurava velika razina apsorpcije zvuka, te zadovoljavajuća mehanička i trajnosna svojstva proizvoda. RUCONBAR direktno djeluje na dva ekološka problema – zagađenje bukom [24] i gospodarenje otpadom. Eksperimentalna istraživanja započela su 2009. godine, a danas RUCONBAR ima međunarodni certifikat kojim se potvrđuje da proizvod zadovoljava sve tehničke zahtjeve za barijere za zaštitu od buke na prometnicama [25].



Slika 9. Betonske barijere za zaštitu od buke s recikliranom gumom – RUCONBAR
Figure 9. Rubberized concrete noise barrier RUCONBAR

Mikroarmirani hibridni beton sa čeličnim vlaknima i gumenim granulatom za proizvodnju betonskih pragova, ECOTRACK, jeste inovativni ekološki proizvod suvremenog željezničkog kolosijeka. Proizvod se sastoji od dvodijelnih betonskih pragova ugrađenih u betonsku ploču, te zajedno čine čvrstu betonsku kolosiječnu konstrukciju. Iako su slična rješenja prisutni na tržištu, ECOTRACK uključuje primjenu sastojaka reciklaže otpadnih guma kao zamjenu dijela uobičajenih prirodnih sirovina [26].

Korištenjem mikroarmiranog hibridnog betona sa čeličnim vlaknima i gumenim granulatom osigurava se sposobnost opiranja konstrukcije različitim uvjetima opterećenja. Štoviše, sprječava se pojava prvih pukotina i time je omogućena veća trajnost takvog građevinskog elementa. Sukladno očekivanjima, početna ispitivanja ECOTRACK-a potvrdila su mogućnost primjene ekološki prihvatljivih resursa (proizvoda reciklaže) za proizvodnju betona visokih uporabnih svojstava posebne namjene [23]. Na slici 10 prikazani su rezultati ispitivanja postpukotinskog ponašanja mješavine mikroarmiranog betona pripremljene s industrijskim vlaknima, te rezultati ispitivanja mješavina u kojima je 50 i 100% vlakana zamijenjeno recikliranim čeličnim vlaknima iz automobilskih guma. Iz rezultata je vidljivo da se, kada se

The extensive research performed on University of Zagreb Faculty of Civil Engineering implied positive effects when those are incorporated in concrete, either as replacement for raw materials or as a certain chemical admixtures [20-23]. In cooperation with industrial partners, researchers from the University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering have developed two different construction products, which are utilising particular property of recycled tyres, to create solutions with added values on the market.

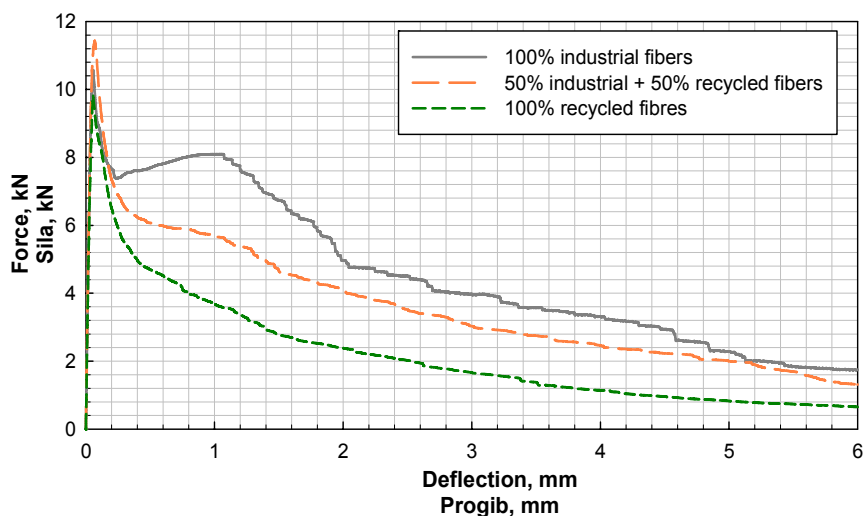
Lightweight rubberized concrete noise barrier RUCONBAR was developed by incorporating high volume of rubber particles in concrete mix, ensuring high level of noise absorption and insulation, but at the same time providing satisfying mechanical and durability behaviour. RUCONBAR reaches two major environmental problems, noise pollution [24] and waste tyres management. Experimental research started in 2009 in the laboratory and today after extensive optimisation and testing, research based product RUCONBAR, has a certificate showing it satisfies all necessary properties for application on infrastructures as noise protection barrier [25].

Rubberized hybrid steel fibre reinforced concrete for production of concrete track systems, ECOTRACK, is an eco-innovative product of a modern high speed railway structure. Solution is made of two-part concrete sleepers built in the concrete slab, together making a ballastless concrete track system. Although, similar solutions are already present on the market ECOTRACK incorporates by-products from mechanical recycling of waste tyres as a replacement for usual natural raw materials [26].

The usage of rubberized hybrid fibre reinforced concrete elements assures an adequate resistance ability of the structure under various strain conditions. Furthermore, the appearance of first cracks on concrete surface is prolonged and thus a higher durability of such construction elements is achieved. In accordance with the starting expectations, the initial testing of the ECOTRACK confirmed the possibility of the application of ecologically acceptable resources (recycling products) for the production of high performance concrete for special application [23]. Figure 10 shows the results of post-cracking behaviour of fibre reinforced concrete mixes prepared with industrial fibres, and of mixes where 50 and 100% of industrial fibres were substituted with fibres from end-of-life tyres. From the results it can be observed that when industrial fibres are substituted with

umjesto industrijskih vlakana koriste reciklirana vlakna iz automobilske gume, smanjuje količina energije koju beton apsorbira nakon sloma. Potrebno je naglasiti da su industrijska vlakna korištena u prikazanom istraživanju značajnije veća od recikliranih vlakana, 35 mm duljine i 0.55 mm promjer naspram 15 mm duljine i 0.18 mm promjer. Također, industrijska vlakna izvedena su sa zakrivljenim krajevima, što povećava njihovu prionjivost u cementnoj matrici. S druge strane, iz prikazanih rezultata također je vidljivo da se kombiniranjem industrijskih i recikliranih vlakana dobivaju poboljšanja svojstava, u odnosu na betone pripremljene samo s recikliranim vlaknima. Dakle, moguće je zaključiti da su u pogledu primjene u građevinskoj industriji zanimljive kombinacije te dvije vrste vlakana, kako bi se osigurale prednosti mikroarmiranih betona, te istovremeno postigle ekološke i ekonomske uštede.

the recycled ones, there is a loss of post-cracking energy absorption. However, it is necessary to highlight that the industrial fibres used are significantly longer than recycled fibres, 35 mm length with 0,55 mm diameter, compared to 15 mm length and 0,18 mm diameter. Furthermore, used industrial fibres had hooked ends, which is additionally increasing their anchorage in the cement matrix. At the same time, from the presented results it can be observed that with the combination of industrial and recycled fibres it is possible to achieve enhanced properties, compared to only recycled fibres. Therefore, it is possible to conclude that the combination of these two fibres would be potentially interesting for the practical application, since technical benefits of fibre reinforced concrete can be achieved, together with both ecologic and economic savings.



Slika 10. Ponašanje hibridnih kompozita s različitim udjelom industrijskih i recikliranih čeličnih vlakana
 Figure 10. Behaviour of hybrid composites with different ratio between industrial and recycled fibres in the total amount of fibres [23]

Upravo je primjena svih produkata reciklaže otpadnih automobilske gume za izradu betonskih proizvoda konstruktivne, ali i druge namjene, znanstveni i tehnološki izazov novog EU FP7 projekta Anagenisis [27]. U sklopu projekta, planira se prevladavanje tih izazova, inovacijama u novim održivijim tehnologijama i inovativnim ekološkim proizvodima. Cilj projekta je primjena svakog od produkata reciklaže automobilske gume (čelična vlakna, gumeni granulat, tekstilna vlakna) u pripremi betonskih proizvoda, u kojima se koriste određena svojstva produkata reciklaže za poboljšavanje svojstava gotovog betonskog proizvoda. Tako se putem projekta razvijaju mikroarmirani betoni s recikliranim čeličnim vlaknima za poboljšanje postpukotinskog ponašanja betonskih elemenata, te betoni s recikliranim tekstilnim vlaknima za sprječavanje pojave mikropukotina uslijed skupljanja betona. Gumeni granulati koriste se za razvoj betonskih elemenata poboljšane deformabilnosti. Naposljetku, osnovni cilj projekta je uvođenje inovativnih kombinacija materijala, uz pomoć industrijskih partnera u proizvodnju industrijskih podova i estriha, predgotovljenih elemenata i mlaznih betona za stabilizaciju pokosa.

It is exactly this implementation of waste tyre recycling products for preparation of innovative concrete products that is the main scientific and technological challenge of recently approved EU FP7 project Anagenisis [27]. Within the project these challenges are planned to be overcome through innovation in new sustainable technologies and innovative ecological products. The aim of the project is to utilise each one of the waste tyres recycling products (steel fibres, textile fibres and rubber granulates) in concrete products, where properties of recycling products are used to enhance certain properties of concrete products. For example, within the project fiber reinforced concrete with recycled steel fibres is being developed, for enhanced post-cracking behaviour of concrete elements. Concrete with textile fibers is prepared for higher resistance to microcracking due to shrinkage of concrete. Rubber granulates are used to prepare concrete elements with better deformability properties. At the end, the main goals of the project is to apply these innovative combinations of materials, with the help of industrial partners in the project, in real-scale production of industrial floors and screeds, precast concrete elements and sprayed concrete for slope stabilisation.

4 ZAKLJUČAK

Betonska industrija ima veliki potencijal za pomicanje prema održivoj proizvodnji i smanjenom ekološkom otisku. U članku su prikazane neke od mogućnosti, putem industrijske simbioze s metalnom industrijom, sustavima za pročišćavanje otpadnih voda ili termoelektrane ili korištenjem recikliranih proizvoda nakon kraja njihovog uporabnog vijeka. Korištenjem otpadnih materijala kao sirovina sa smanjenom energijom potrebnom za proizvodnju i sirovina s poželjnim svojstvima, moguće je pripremiti betonske proizvode sa ekološkim, tehnološkim i ekonomskim prednostima.

ZAHVALA

Projekt RUCONBAR ECO/10/277317 finansirala je Europska komisija, u sklopu programa CIP Eko-Inovacije Europske agencije za kompetitivnost i inovacije (European Agency for Competitiveness and Innovation, EACI). Projekt ECOTRACK financiran je od strane agencije BICRO u sklopu programa provjere inovativnog koncepta (Proof of Innovative Concept, PoC). Projekt ANAGENISI (GA 603722) finansirala je Europska komisija, u sklopu 7. Okvirnog programa tema Okoliš. U projektu, osim Građevinskog fakulteta, sudjeluju Arkada Duga Resa, Gradmont Gradačac, Werkos Osijek, Dulex Ludbreg, te Gumiimpex iz Varaždina.

5 LITERATURA REFERENCES

- [1] Mehta, P. K. (1999) Concrete technology for sustainable development, *Concrete International*, Vol. 21, No. 11, pp. 47-53.
- [2] Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. (2006) *Concrete: Microstructure, Properties and Materials*, The McGraw-Hill Companies Inc., USA.
- [3] Roskovic, R., Bjegovic, D. (2005) Role of mineral additions in reducing CO₂ emission, *Cement and Concrete Research* 35 pp. 974-978.
- [4] Glavind M. (2009) Sustainability of cement, concrete and cement replacement materials in construction, *Sustainability of construction materials*, ed. Khatib. J. M., Woodhead Publishing Limited, pp. 120-147.
- [5] Mitrović, A., Jevtić, D., Miličić, Lj., Ilić, B. (2011) Karakteristike Portland cementa sa dodatkom metakaolina dobijenog kalcinacijom domaće kaolin-ske gline, *Građevinski materijali i konstrukcije* 53 (3), pp. 32-43.
- [6] Bjegović, D., Serdar, M., Jelčić Rukavina, M., Baričević, A. (2010) Istraživanja kriterija održivosti armiranog betona, *Građevinar - časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera*, 62, pp. 931-940.
- [7] Serdar, M., Bjegovic, D., Stipanovic, I. (2009) Shrinkage and creep of concrete prepared with quaternary blended cement, *Sustainable Infrastructure*, IABSE, Bangkok: IABSE. pp. 488-489.
- [8] Bjegovic, D., Stirmer, N., Serdar, M. (2012) Durability properties of concrete with blended cements, *Materials and Corrosion* 63 (12), pp. 1087-1096.

4 CONCLUSIONS

Concrete industry has a high potential for a positive shift towards more sustainable production and lower ecological footprint. Paper shows some of these possibilities, through industrial symbiosis with metal factories, waste water treatment plants or thermal power plants, and through reuse of waste products with favourable properties, such as end of life tyres. Using raw materials with lower embodied energy (waste or reused materials) and favourable properties can lead to creation of concrete products with ecological, technological and economic benefits.

ACKNOWLEDGMENTS

The project RUCONBAR ECO/10/277317, is financed by the European Commission in the scope of the ECO innovation initiative, via the European Agency for Competitiveness and Innovation (EACI). The ECOTRACK project was financed by the BICRO agency in the scope of the Proof of Innovative Concept initiative. The project ANAGENISI (GA 603722) is financed by the European Commission in the scope of FP7-Environment. In the project, beside Faculty of Civil Engineering, following companies are involved: Arkada Duga Resa, Gradmont Gradačac, Werkos Osijek, Dulex Ludbreg and Gumiimpex Varaždin.

- [9] Liu, X., Zhang, N., Sun, H., Zhang, J., Li, L. (2011) Structural investigation relating to the cementitious activity of bauxite residue - Red mud, *Cement and Concrete Research* 41, pp. 847-853.
- [10] He, J., Jie, Y., Zhang, J., Yu, Y., Zhang, G. (2013) Synthesis and characterization of red mud and rice husk ash-based geopolymer composites, *Cement and Concrete Composites* 37, pp. 108-118.
- [11] Biljecki, I. (2013) Eksperimentalno određivanje i predviđanje parametara trajnosti i deformacija betona s mješanim cementima, *Diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*.
- [12] Jelčić Rukavina M. (2014) Karakterizacija samozbijajućih betona izloženih visokim temperaturama, *Disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*.
- [13] Jelčić Rukavina, M., Bjegović, D., Gabrijel, I. (2013) Mechanical properties of self-compacting concrete with different mineral additives after high temperature exposure, *Proceedings of International Conference Applications of Structural Fire Engineering Prague*, CTU Publishing House, Czech Technical University in Prague. pp. 467-473.
- [14] Lin, W., Lin, T., Powers-Couche, L. J. (1996) Microstructures of fire-damaged concrete, *ACI Materials Journal*, 93, pp. 199-205.
- [15] Skenderović, B., Čeh, A. (2012) Ispitivanje mogućnosti poboljšanja hidrauličke aktivnosti domaćeg letećeg pepela, *Građevinski materijali i konstrukcije*, 55(4), pp. 15-21.
- [16] Cheeseman, C.R., Virdi, G.S., (2005). Properties and microstructure of lightweight aggregate produced from sintered sewage sludge ash. *Resour. Conserv. Recy.* 45 (1), pp. 18-30.

- [17] Chen, M., Blanc, D., Gautier, M., Mehu, J., Gourdon, R., (2013). Environmental and technical assessments of the potential utilization of sewage sludge ashes (SSAs) as secondary raw materials in construction. *Waste Management* 33, pp. 1268-1275.
- [18] <http://www.pmsolid.com/enu/7189.htm>
- [19] (2010) ETRMA - European tyre and rubber manufacturers association, End of life tyres - A valuable resource with growing potential.
- [20] Bjegovic, D., Baricevic, A., Serdar, M. (2011) Durability properties of concrete with recycled waste tyres, *Proceedings of the 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components*, pp. 1659-1667.
- [21] Bjegovic, D., Baricevic, A., Lakusic, S. (2012) Rubberized hybrid fibre reinforced concrete, Microstructural-related Durability of Cementitious Composites, *RILEM Proceedings PRO 83*.
- [22] Bjegović, D.; Baričević, A.; Lakušić, S.; Damjanović, D.; Duvnjak, I. (2013) Positive interaction of industrial and recycled steel fibres in fibre reinforced concrete, *Journal of Civil Engineering and Management*. Volume 19, Supplement 1, pp. 50-60.
- [23] Serdar, M., Baričević, A., Lakušić, S., Bjegović, D. (2013) Betonski proizvodi specijalne namjene od reciklata otpadnih guma, *Građevinar - časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera* 65 (9), pp. 793-801.
- [24] Lakušić, S., Dragčević, V., Rukavina, T. (2005) Mjere za smanjenje buke od prometa u urbanim sredinama, *Građevinar - časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera*, 57 (1), pp. 1-9.
- [25] CIP Eco-Innovation project RUCONBAR <http://www.ruconbar.com/>
- [26] Lakusic, S., Baricevic, A., Damjanovic, D., Duvnjak, I., Haladin, I. (2012) Concrete track system - ECOTRACK, *Construction of transport infrastructure*, Lakusic S (ed.), Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb, Department of Transportation Engineering, pp. 7-49. (in Croatian)
- [27] FP7 Collaborative project Anagennisi <http://www.anagennisi.org/>

REZIME

MOGUĆNOSTI PRIBLIŽAVANJA BETONSKE INDUSTRIJE CIRKULARNOM MODELU KROZ INDUSTRIJSKU SIMBIOZU

Dubravka BJEGOVIĆ
 Marijana SERDAR
 Marija JELČIĆ RUKAVINA
 Ana BARIČEVIĆ
 Martina PEZER

Glavni problemi tradicionalne betonske industrije jesu korištenje velike količine neobnovljivih resursa i emisija stakleničkih plinova tijekom proizvodnje, korištenja i rušenja betonskih konstrukcija. Istovremeno, betonska industrija ima velike potencijale za pozitivan pomak prema održivoj proizvodnji i smanjenju negativnog ekološkog utjecaja. Jedna od mogućih strategija jeste korištenje otpadnih materijala i nusproizvoda iz drugih industrija kao vrijednih sirovina u betonskoj industriji. Ovako zatvaranje kruga moguće je samo ako se u obzir uzmu svojstva pojedinog otpadnog materijala, te se ta svojstva iskoriste prilikom projektiranja betona specijalne namjene, u kojima su ta svojstva poboljšana. Druga strategija je projektiranje betona za određeni razred izloženosti okoliša i njegov životni vijek, tj. optimizacija betona za specifičnu namjeru.

Rad prikazuje neke od dostupnih otpadnih i recikliranih materijala u Hrvatskoj, te istraživanja mogućnosti njihove upotrebe u građevinarstvu. Mogućnosti primjene otpadnih i recikliranih materijala su prvo razmatrane u laboratorijskim uvjetima, te su u radu prikazani znanstveni rezultati tih istraživanja. Na temelju znanstvenih istraživanja, ponuđene su neke od mogućnosti primjene takvih materijala u specifične svrhe, gdje oni postaju tehnološki atraktivna alternativa klasičnim betonima. Predstavljene su rezultati izvornih znanstvenih istraživanja te prototipi proizvoda proizvedeni na temelju tih istraživanja.

Ključne riječi: emisija CO₂, recikliranje, alternativni cementni materijali, otpadne gume

SUMMARY

POSSIBILITIES IN CONCRETE INDUSTRY TOWARDS CIRCULAR ECONOMY THROUGH INDUSTRIAL SYMBIOSIS

Dubravka BJEGOVIĆ
 Marijana SERDAR
 Marija JELČIĆ RUKAVINA
 Ana BARICEVIC
 Martina PEZER

Major challenges of traditional linear concrete industry are utilisation of large amount of non-renewable resources and significant air emissions during production, utilisation and demolition of concrete structures. At the same time, concrete industry has a high potential for a positive shift towards more sustainable production and lower ecological footprint. One of the strategies is to use waste materials and by-products from other industries as valuable raw materials in concrete industry. This loop can be closed only by taking into account properties of a certain waste material and using them for preparation of special purpose concrete products, in which these properties are favourable. Other strategy is designing concrete tailored for certain environment and service life, making it optimised for that specific purpose.

The paper presents some of the available waste and recycled materials in Croatia and research focused on their potential application in civil engineering. The possibilities of utilisation are first explored in laboratory conditions, with the results presented in this paper as an outcome. Based on the obtained results some of the potential areas of application are proposed, in which concrete prepared with these waste materials becomes alternative to classical concrete. Both original scientific research results are presented, but also prototype of products produced based on the scientific research.

Keywords: CO₂ emission, recycling, supplementary cementitious materials, waste tyres

NASELJENI MOSTOVI: UMJETNOST I ZNANOST (boje li se arhitekti dizajna mostova)

INHABITED BRIDGES: ART AND SCIENCE Are architects afraid of designing bridges?

Zvonimir ŽAGAR

PREGLEDNI RAD - TEZE ZA DISKUSIJU
REVIEW PAPER - THESIS FOR DISCUSSION
UDK: 624.21

1 ISTORIJAT PRIMENE IT PRI PRORAČUNU KONSTRUKCIJA MOSTOVA - 45 GODINA ISKUSTVA

Kad smo učili/studirali predmet Mostovi na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, nisu postojali niti CAD alati, niti kompjuteri, ni kompjuterski programi kojima se mogla (bez, ili s malo muke) proračunati konstrukcija (statika) mostova. Crtalo se doslovce olovkom i „perom” i tušem, trokutima i T-šinom, a računalo tzv. šiberom, log-tablicama ili ručno. Mukotrpan rad. Mogu s ponosom istaći, da sam ja, onda kao asistent, uveo 1971. kompjutersko proračunavanje statike i dinamike mostova na predmetu Masivni mostovi prof. K. Tonkovića. To se uradilo, mora se priznati, uz njegovo prećutno odobrenje. A prije toga sam uveo kompjutersko proračunavanje konstrukcija na tadašnjem Međufakultetskom sveučilišnom studiju prometa u mojem predmetu Nosive strukture (sjećate li se još FE programa STRESS). Zajedno smo kolege ing. Zdunić, ing. Bandić (iz kompjutorskog centra bivšeg RC Jugomont/Jugobetona) i kolegom ing. Đurekom iz tadašnjeg RC ETF-a, na IBM 1130, proveli 1971. sve statičke proračune svih programa vježbi mostova u dvije radne noćne „šihthe”, rada na stroju. To je bilo vrijeme tzv. bušenih kartica i onih zelenih fortranskih upisnih listova. Prije faze modeliranja proračunskog modela, održali smo u dva popodneva sata brzi (crash) tečaj iz statike konačnih elemenata (matričnog proračuna, kojeg se nije onda poučavalo i proučavalo) i osnova modeliranja proračunskih modela, te osnova upisa podataka (input data) za proračun računalom.

Prof. dr sc. Zvonimir Žagar, dipl.inž.građ.
Član emeritus HATZ
<http://www3.telus.net/MAPAZ/zvonimirzagar.htm>

1 HISTORY OF IT APPLICATION IN CALCULATING BRIDGE STRUCTURES – 45 YEARS OF EXPERIENCE

When we studied the subject of Bridges at the Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb, there were no CAD tools, computers and computer programs to facilitate the calculation of bridge structures (statics) and make it a rather effortless task. The drawings were literally made by pencils and "pens" and ink, triangles and T-rails, while structures were calculated using slide rulers, log tables or manually – a painstaking work indeed. I can proudly point to the fact that back then (in 1971), as a fellow assistant, I was the one who introduced the computerized calculation of statics/dynamics of bridges at the subject of Massive Bridges headed by professor K. Tonković. This was done; it should be admitted, with his tacit approval. Before that, I introduced the computerized calculation of structures at the Intercollegiate university study of traffic in my subject of Supporting Structures (do you remember the FE STRESS program!?). In 1971, with the participation of eng. Zdunić, eng. Bandić (from the computer centre of the former RC Jugomont/Jugobeton) and eng. Đurek from the former RC ETF, we conducted all statistical calculations of the bridge-program exercises in two "night shifts", working on an IBM 1130 machine. It was the era of the so-called punch cards and those green FORTRAN coding sheets. Before the modelling phase of computational model, in two afternoon hours we held a crash course from the static of finite elements (matrix calculation, which had not been taught and studied at

Prof. dr sc. Zvonimir Žagar, B.E. M.Sc.
Member of Croatian Engineering Academy
<http://www3.telus.net/MAPAZ/zvonimirzagar.htm>

To sam kasnije detaljno opisao u mojim skriptama Nosive strukture I - STRESS rješavač inženjerskih problema (1975). Poslije su slijedili drugi napredniji programi: SAP, SD2A, SD2B, SAPIV, ICES STRUDL II, i drugi. Korištenje tih programa kao ALATA doprinosi oslobađanju vremena za druge KREATIVNE poslove studija. Nažalost, u to vrijeme nije bilo interneta, WEB-a, modema, komuniciralo se sa strojem (RC) bušenim karticama, nije bilo dostupnih grafičkih displeja, niti plotera, rezultati analiza printali su se na izlaznim listinama, a rezultati su se iz njih očitavali, a „podaci” su se između fakulteta i RC prenosili pješice ili tramvajem, rijetko autom! Ali, postojao je entuzijazam! Danas nezamislivo. Kasnije su se pojavila razna „egzotična” desktop računala pa onda i PC računala i grafički displeji. Godine 1980. nabavljen je FE grafički CAD orijentiran FE program COSMOS/M. Ne treba ni spominjati CAD i presudni utjecaj CAD-a na oblikovanje objekata i proračunskih modela. Napisani su i prvi domenski (za proračun i dizajn drvenih konstrukcija) orijentirani ekspertni sustavi. Nabavljena je GURU AI ljuška, a potom u Wardova NeuroShell – ANN ljuška. Danas se studenti služe daleko naprednijim paketima programa i raznim online apletima (ima ih i na tabletima) i na WEB-u. Nažalost, ne u dovoljnoj mjeri. Danas gledamo u kinima 3D filmove, no uskoro će biti nezasmljivo išta projektirati bez korištenja virtualne realnosti (VR). Može biti i holograma. Korištenjem tih naprednih programskih paketa, studenti i inženjeri u praksi mogu se (ili će se moći) posvetiti kreativnijim inženjerskim zadacima – osmišljavanju konstrukcija. Te promjene će

that time), the basics of modelling of computational models, and the basics of writing data (input data) for computer based calculation. Later I have described this in detail in my textbooks Bearing Structures I-STRESS resolver of engineering problems (1975). This was later followed by other advanced programs: SAP, SD2A, SD2B, SAPIV, ICES STRUDL II, and others. Using these programs as a TOOL saves time for other CREATIVE works of study. Unfortunately, back then there were no Internet and modems; the communication with the machine (RC) unfolded using punched cards. There were neither graphic digital displays nor plotters available. The results of analyses were printed on the output template, from which results were then read, while "data" between the faculty and the RC were transferred on foot or by tram, and seldom by car! But we were enthusiastic! Today, this is inconceivable. Later, various "exotic" desktop computers appeared, and then came the PC and graphic displays. It was in 1980 when the graphic CAD-oriented FE program called COSMOS/M was written. It is pointless to mention CAD and its decisive influence on creating structures and computation models. The first domain-oriented (for calculating and designing timber structures) expert systems were also developed. We installed the GURU AI shell, and then the Ward NeuroShell - ANN shell. Nowadays, students have far more advanced program packages and various online applets (available also for tablets) at their disposal, but unfortunately to insufficient degree. Today, we watch 3D movies in theatres, but soon, designing anything without the use of virtual reality



Sl. 1. Transport 5 Mb IBM hard diska 305 RAMAC HDD (1956), [24]
 Fig. 1. Transport of 5 Mb IBM HARD DISC 305 RAMAC HDD (1956), [24]

diktirati investitori i kreativni arhitekti. U čemu je danas razlika između konstrukcijskog proračuna prekocean- skog liner a i megagrađevine (recimo megahotela sidrenog u tlu), osim u daleko većoj složenosti i naprednijoj tehnologiji projektiranja (suradnji struka) i izvođenja kompleksa liner a/kruzera. Da se o samoj organizaciji eksploatacije i ne govori. Ridikulozno bi bilo i uspoređivanje organizacije održavanja liner a i građevine megahotela ili nekog složenog stambenog objekta, zastalno sidrenog/temeljenog na tlu.

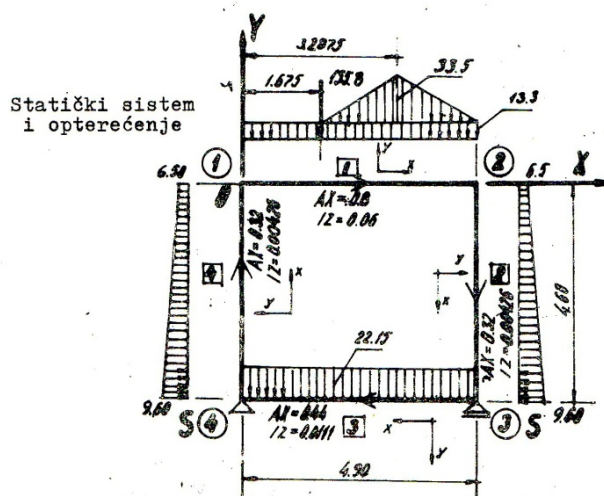
Neka podsećanja na istorijske detalje, kao i poređenja sa mogućnostima današnje primene IT, date su na slikama od 1. do 4.

(and possibly holograms) will be unimaginable. Using these advanced software packages, students and engineers in practice can or will be able to focus on more creative engineering tasks – conceiving structures. These changes will be determined by investors and creative architects. Nowadays, what is the difference between the structural calculation of an ocean liner and a mega structure (say a mega-hotel anchored in the ground), except the far higher complexity and advanced technology of designing (collaboration of vocations) and constructing a complex liner/cruiser? Let alone the management of exploitation itself! Indeed, it would be ridiculous to compare the management of maintenance of a liner and a mega-hotel structure or some other complex residential building, permanently anchored/ founded in the ground.

```

STRUCTURE OKVIR
TYPE PLANE FRAME
NUMBER OF JOINTS 4
NUMBER OF MEMBERS 4
NUMBER OF SUPPORTS 2
NUMBER OF LOADINGS 1
JOINT COORDINATES
1 X 0.0 Y 0.0
2 X 4.90 Y 0.0
3 X 4.90 Y -4.60 S
4 X 0.0 Y -4.60 S
JOINT RELEASES
4 MOMENT Z
3 FORCE X MOMENT Z
MEMBER INCIDENCES
1 1 2
2 2 3
3 3 4
4 4 1
MEMBER PROPERTIES PRISMATIC
1 AX 0.8 IZ 0.066
2 AX 0.32 IZ 0.00426
3 AX 0.44 IZ 0.01108
4 AX 0.32 IZ 0.00426
CONSTANTS E 3000000 ALL
LOADING 1 SVE SKUPA SA VL. TEZ.
MEMBER LOADS
1 FORCE Y UNIFORM W -13.3
1 FORCE Y CONCENTRATED P -155.8 L 1.675
1 FORCE Y LINEAR WA 0. WB -33.50 LA 1.675 LB 3.2875
1 FORCE Y LINEAR WA -33.50 WB 0. LA 3.2875 LB 4.90
2 FORCE Y LINEAR WA -6.5 WB -9.60
3 FORCE Y UNIFORM W 25.15
4 FORCE Y LINEAR WA -9.60 WB -6.50
TABULATE ALL
TRACE
SOLVE
PROBLEM CORRECTLY SPECIFIED, EXECUTION TO PROCEED.

```

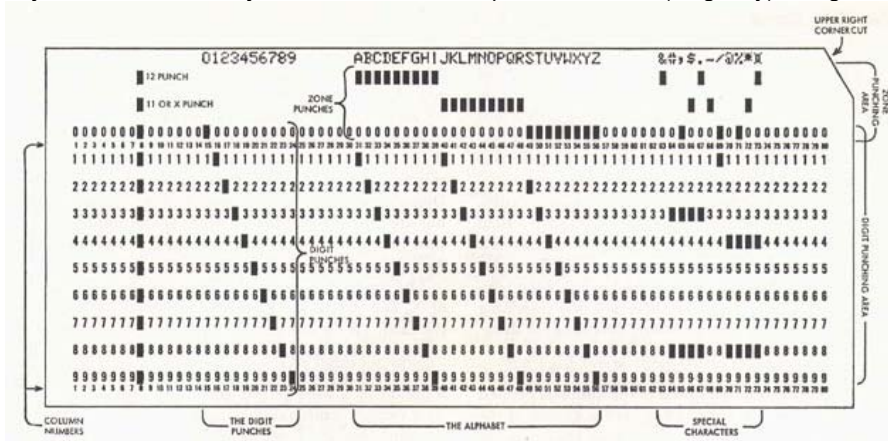


Sl. 2. Ilustracija IT prahistorije (1972): unos podataka u program STRESS na IBM 1130 računalu, [4]
Fig. 2. IT prehistory (1972): data input in the STRESS program running on IBM 1130 computer, [4]

Danas, i jednom (nekoć) davno, ključni dio projekta, statički proračun mostova predstavljao je i još predstavlja (po mom sudu) zapravo samo minorni/zanatski i više manje rutinski/zanatsko/inženjerski udio u projektiranju mostova, kojih je ustaljeni oblik slijedio iz isključivih/pretežnih zahtjeva modova prometnih sredstava (željeznice i cestovnih vozila). Današnju statiku (proračune) efektno će zamijeniti umjetna inteligencija i ekspertni sustavi. Problemi mostogradnje se danas zapravo kriju u izvođenju građevinskih objekata. Takvi sustavi postoje već danas (Adeli, Smith). Problemi dizajna suvremenih mostova leže danas u njihovoj složenoj ostvarljivosti. Arhitekti i urbanisti su se (elegantly) uklonili tim, tada i danas još, novonametnutim zahtjevima (poznavanju novih materijala: čelika i betona, pa onda prednapetog betona, drveta i lameliranog lijepljenog drva i spregnutih konstrukcija, i svih njima „užasni“, za njih nekreativnih

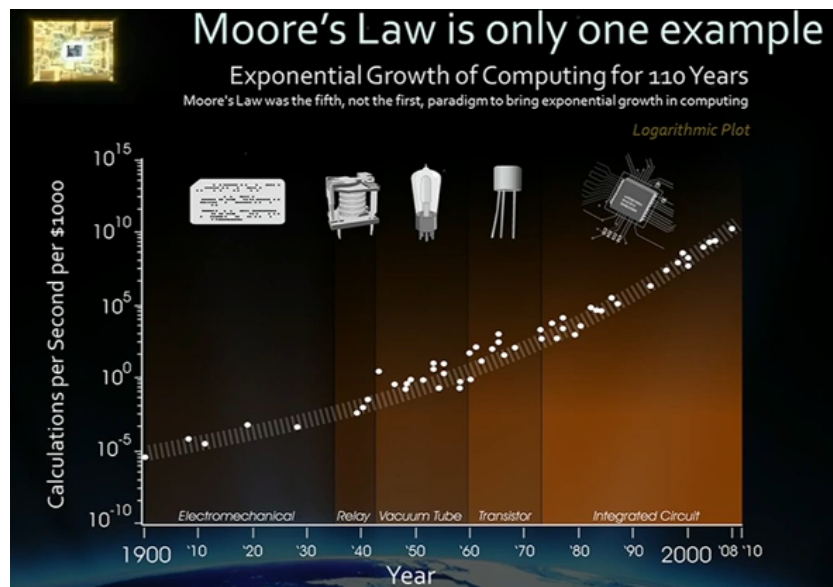
Some reminders of historical details, as well as comparisons with the capabilities of today's IT are given in Figures 1 to 4.

Both today and historically, the key part of the project, i.e. the structural analysis of bridges, actually accounted (and still does in my opinion) only for a minor/trade and more or less routine trade/engineering share of the bridge design process, the usual form of which was emanated from the exclusive/prevaling modes of transportation means (rail and road vehicles). Today's static calculations will be effectively replaced by artificial intelligence and expert systems. Problems with bridge design nowadays are actually related to their construction. Such systems are already in existence (Adeli, Smith). Problems with designing modern bridges lie in complexity of their execution. Architects and urban planners have (elegantly) dodged the newly imposed



Sl. 3. Izgled tzv. bušene kartice: nekoć komunikacijskog medija sa kompjutorom. Prapovijest IT ere. Tehnička arheologija, [4]

Fig. 3. The punched card: sometimes communication media with the mainframe computer. Prehistory of the IT era - technical archaeology, [4]



Sl. 4. Moorov zakon – primjer eksponencijalnog rasta kompjuterizacije i IT u zadnjih 110 godina (2014): Ray Kurzweil, [15]

Fig. 4. Moor's law – an example of the exponential growth of computerization and the IT in the past 110 years (2014): Ray Kurzweil, [15]

dokaza nosivosti konstrukcija), jer se tražila, ne samo umjetnost oblikovanja, sinteza funkcija, već „artistička“ znanstvena manipulacija „dosadnom“ numerikom i svojstvima novih materijala. Umjetnosti tu više nije bilo mjesta: ona se odražavala u oblikovanju stupova mostova, linijama intradosa, ograda mostova i rasvjetnih stupova, estetici oblikovanja poprečnih presjeka!

2 GRADNJA NASELJENIH MOSTOVA U GRADSKOM TKIVU

Naseljeni mostovi, nisu neki novum, prije bi se reklo da su odraz jednog vremena, kad se integralno razmišljalo o građevinskim objektima: poznati su kao turističke atrakcije Ponte Vecchio u Firenci, te npr. drveni most Paladija u Bassanu, istina nekoliko puta rušen i obnavljan, a naravno iz povijesnih zabilježbi i slika glasoviti London Bridge. Poznat je i naseljeni most u Erfurtu (najdulji, sedam puta spaljivan i građen od 1156). Također i manje poznat Pont de Rohan u Landerneau (sagrađen 1336.). U novije doba ponovno se sintezom konstrukterstva i arhitekture i umjetničkih vizija, pojavljuju nova i fascinantna rješenja: Calatrava, Zaha Hadid i drugi. Međutim, povijesnim su slijedom, građevinari/konstrukteri preuzeli inicijativu i razvili razne svoje tipove (pratiptove) mostova, imajući malo smisla za umjetnost, zahtjeve urbanista i konačno zahtjeve stručno neukih korisnika - investitora, za koje se mostovi i grade. Dominirala je statika/dinamika konstrukcija. I interesi raznih konvencionalnih modova transporta. Tek se nedavno ponovno javljaju tendencije obnavljanja ideja dizajna naseljenih mostova - arhitekti se vraćaju tom problemu, jer više ne postoji ograničenje „odvratne im“ numerike. Manuelne proračune zamijenili su modeliranje konstrukcije i postupci analize konačnim elementima. Pa i neki ekspertni sustavi za dizajn mostova. A tu je i CAD i odnedavno se ustaljuje i VR. Pojavljuju se sada novi problemi, ali sada u gradnji tih građevina. Pogotovo megagrađevina. Osim toga, gradnja klasičnih „jednomodalnih“ mostova uvijek je bila ograničeni leno (sve istih) korisnika - željeznice i/ili konzorcija cestovnih interesenata. U socijalizmu je, osim toga, i riječ „profit“ bila prognana, a što je zajedno s edukacijom studenata rezultiralo sadašnjem stanju stvari - zanemarivanju ekonomskih i cost-benefit analiza. Pa i kad bi se željelo promijeniti trend, to bi u kratkom roku bilo nemoguće, jer su se prošla (pred-IT) znanja edukacijom prenosila „s koljena na koljeno“. Iz generacije u generaciju. Osim toga i sam je sustav javnih natječaja „vrtnja u začaranom krugu“, jer uvjete natječaja raspisuju stručnjaci odgajani na tim bivšim pred-IT premisama, a isto tako i u nominiranim žirijima „sjede“ žiranti isto tako odgajani u tom pred-IT dobu. Stoga tamo, još i danas, i nema arhitekata, koji bi bili možda u stanju predložiti nove integralne solucije, no ... i arhitekti su odgojeni u duhu striktno podjeljenosti struka, rezultat pred-IT ere. A zašto ti objekti ne bi bili sa bitnim sadržajima (da ih ne spominjem i ne „ureknem“), i sasvim drugih formi prozaših iz potreba razvoja i korištenja (i novih) formi urbaninih tkiva. I profitabilne racionalne ekonomije

requirements (knowledge of new materials: steel and concrete, prestressed concrete, timber and laminated adhered timber, and composite structures, and all the "appalling" and "non-creative" evidences of the structure's bearing capacity), as in addition to the art of design and synthesis of functions, they also require "artistic" scientific manipulation with the "boring" numeric and properties of new materials. Here, there was no room for the art; it was reflected in shaping the bridge piers, intrados curves, bridge fences and lighting poles, aesthetics of shaping cross-sections!

2 BUILDING INHABITED BRIDGES IN THE URBAN FRAMEWORK

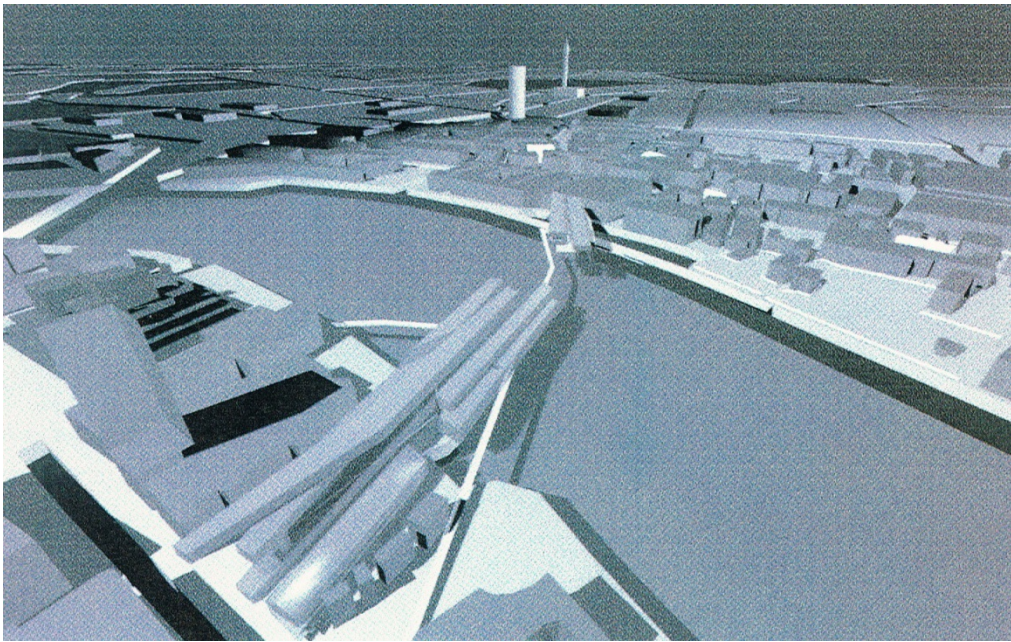
Inhabited bridges are unlikely a novelty, but probably a reflection of an era when the objects of civil engineering were conceived in an integral manner. They are known as tourist attractions, for example the Ponte Vecchio in Florence, the Palladium wooden bridge in Bassano (actually several times destroyed and rebuilt), and of course the famous London Bridge known from historical records and paintings. Also renowned, it is the inhabited bridge in Erfurt (it is the longest, seven times burnt up and built from 1156), and there is the less famous Pont de Rohan in Landerneau (built in 1336). Recently, by the synthesis of structural engineering and architecture and artistic vision, new and fascinating solutions have emerged: Calatrava, Zaha Hadid and others. However, over the course of history, structural/civil engineers have taken the initiative and developed their own various types (prototypes) of bridges, heeding not much the artistic value, demands of urban planners and ultimately the demands of the professionally ignorant users – investors, for which bridges are actually built. What prevailed were the statics/ dynamics of structures, as well as the interests of various conventional modes of transportation. It was not until recently that ideas of designing inhabited bridges have emerged as a tendency – architects are returning to this problem, as the "repugnant" numeric makes no longer a limitation. Manual calculations were replaced by structural modelling and procedures of finite element analysis; there are even some expert bridge-design systems. And there is CAD and recently established VR. However, new problems are emerging, but now they are related to the construction of these buildings, particularly mega structures. Besides, constructing traditional mono-modal bridges has always been the fief of the same users – railways and/or the consortium of roadway stakeholders. In addition, the word "profit" was expelled during the socialism, which, along with the education of students has led to the present state of affairs – neglecting the economic and cost-benefit analysis. Even with the good will, changes in this trend would be impossible to introduce in the short term, given that the education system enabled the previous (pre-IT) knowledge to be passed on from generation to generation. Besides, the very system of public tenders is "a vicious circle" because their terms are defined by professionals also educated based on the same pre-IT premises. The same applies to the nominated juries with guarantors also brought up in the pre-IT era. Thus, these bodies still lack architects who might be able to suggest new integral

ulaganja u investiciju? Trenutno se u Zagrebu i u Beogradu vode diskusije o potrebi uključivanja Save i Dunava u urbani razvoj. Ali (gledano odozgo) ovi postojeći i projektirani „štapici - mostovi“ preko Save i Dunava (i drugih gradskih rijeka) nikada neće spojiti jug i sjever zagrebačkog, beogradskog (i obale bilo kojeg) urbanog priobalnog tkiva. *To mogu samo naseljeni mostovi, kod kojih će sam promet biti samo jedan od mnogih modova-korisnika prostora mostova.* No, gdje se danas izučavaju ti „osebujni“ objekti? Proučavaju se samo oni izvedeni, a ti su (ponekad i grandiozna ostvarenja graditeljstva) zasnovani na premisama prošlosti jednododalnih mostova pred-IT ere. S današnjim mogućnostima ostvarenja. Za primjer jednog u širem smislu integralnog mosta, može se navesti integralni pothodnik kod željezničkog kolodvora u Zagrebu. Projektirao ga je tadašnji IPZ (prof. Tonković) i Centar 51. Zapravo je to **naseljeni most** građen u drugom mediju – u tlu, za razliku od raznih monodalnih „pješačkih“ pothodnika, kojima su uzori odvodne kanalizacije cijevi u tlu. Te se kritike projektiranja konvencionalnih mostova nažalost ne izučavaju, te se time ne promiču nove tendencije projektiranja mostova. Navodim ovdje, kao primjer naseljenih mostova, prvonagrađeni rad poznate arhitektice Zaha Hadid, (slike 5 i 6), za novi Londonski most, [16], [17], [18]. Moćni lobiji su za sada onemogućili realizaciju, kao što će se desiti i s budućim prijedlozima (ako ih uopće bude) budućih naseljenih mostova u Zagrebu i Beogradu. Npr. kad se u Zagrebu razmišlja o proširenju rotora kod savskog mosta, i ne razmišlja se o njegovom proširenju nad Savu, o uključanju arhitekata, raspisivanju međunarodnog natječaja, možda i izvedbi kao naseljenog objekta preko ili iznad Save - to je naime interesni „leno“ prometne, građevinske i jedne sasvim druge interesne (hidrotehničke) grupacije. Također navodim i recentni prvonagrađeni rad nedavnog natječaja za novi naseljeni londonski most (Inhabited Bridge London 800 Competition, RIBA 2009), autora Laurie Chetwooda (slika 7), kao i neke druge prijedloge (slike 8-9), [18].

Otpori promjenama su monumentalni. Ugoženost raznih interesnih lina sveprisutna je strahom ugoženih interesnih grupacija neprilagodljivih protoku vremena i napretku tehnologije.

solutions, but ... brought up in the spirit of a strict division between professions; architects are also products of the pre-IT era. And why these objects would not contain major attractions (not to mention them and bringing bad luck), and quite different forms emerging from the need for developing and using (also the new) forms of urban framework? Also a profitable rational economics of investing in investments. There are current discussions in Zagreb and Belgrade about the need for inclusion of the rivers Sava and Danube in urban development. But (as seen above), these existing and projected "sticks - bridges" over the Sava and Danube (and other urban rivers) will never make a connection between the north and south of Zagreb and Belgrade (and coasts of any other) coastal urban fabric. Only inhabited bridges can do it, in which the traffic itself will be only one of many modes-users of the bridge space. But where are these "peculiar" objects studied nowadays? Only the derived objects are studied, and these (sometimes grandiose achievements of civil engineering) are based on premises of the history of mono-modal bridges dating back from the pre-IT era with nowadays capacity of realization. In a wider sense, the integral underpass at the Zagreb railway can be taken as a good example of an integral bridge. It was designed by the former IPZ (professor Tonković) and the Centre 51. In fact, it is an inhabited bridge built in different media (in soil) as opposed to the various mono-modal "pedestrian" underpasses, which are modelled after the sewer pipes in the ground. Unfortunately, this criticism towards designing conventional bridges is studied nowhere today, so it cannot promote new bridge designing tendencies. As an example of inhabited bridges let us mention here the award winning project of the famous architect Zaha Hadid (Figures 5 and 6) for new London Bridge, [16], [17], [18]. For the moment, powerful lobbies have blocked its realization, as it will happen with future proposals (if any) for inhabited bridges in Zagreb and Belgrade. For example, when someone in Zagreb considers expanding the rotor by the Sava bridge, he fails to take into account the possibility of expanding it over the Sava river, the possibility of including the architects in the project, announcing an international tender, maybe resolving the issue as an inhabited object over or above the Sava – it is namely the "fief" of the traffic, construction, and a completely different interest (hydro-technical) group. Also it is worth to mention the winning project of the recent competition for the new inhabited London Bridge (London Bridge Inhabited 800 Competition, RIBA 2009) designed by Laurie Chetwood (Figure 7), as well as some other proposals (Figures 8-9), [18].

Resistance to changes is monumental. The vulnerability of various interest areas is omnipresent fear of affected interest groups, inflexible passage of time and advancement of technology.



Sl. 5. Prijedlog za londonski naseljeni most (2009): arh Zaha Hadid, [16]
 Fig. 5. Proposal for the inhabited London Bridge (2009), by Zaha Hadid (2009), [16]

Postupno će (ipak) protokom vremena doći do promjena, jer će prevladati svijest o zastarjelosti pred-IT statičkih nazora na dizajn i konstrukcije mostova. Nije sve statika! I nije sve u statičkoj konstrukciji (no recimo i dinamici ili kvazidinamici proračuna konstrukcije mosta). Takve radikalne promjene su se već desile u prošlosti naših struka. Tako su naprosto „nestale” neke forme čeličnih rešetkastih mostova, rukovođene samo upitnom „ljepotom” envelopei momentnih dijagrama globalne cjeline statičkih sustava i navodnim (fascinantnim?) uštedama materijala. No do promjena nazora dolaziti će tek s integracijama sadržaja, gdje je globalni nazor ugodnost i profitabilnost investicije. Za to pak treba više vremena, jer se postojeće i buduće vještine dizajna mostova rađaju/perpetuiraju iz pratipova modela naučavanih na katedrama fakulteta. A taj historicizam je žilav i traje i traje...(kao i Ravelov Bolero)... Za tu integraciju predmeta treba vremena i nadasve volje, sagledavanja budućih razvojnih trendova i nadasve - kreativnosti. I, recimo, tko je ikad pozvao npr. Zahu Hadid ili Antoine Grumbach ili Richarda Rogersa ili Yona Friedmana ili Daniela Libeskinda da održi studentima i inženjerima građevine i arhitekture set predavanja / seminara (ili cijeli kolegij) o njihovim nazorima o građenju mostova!

Treba i vremena za shvatiti, da je isto tako za projekt mosta važna ekonomija održavanja i građenja, investicija novca (kapitala) u vremenu, povrat uloženog kapitala, kao što su to recimo i konvencionalni statički proračuni. Ti su ekonometrijski algoritmi (Aguilar), već odavno poznati i dobro provjereni, ali se svjesno ili nesvjesno (ili iz neznanja, ili zbog nekooperativnosti) zaobilaze, jer ugrožavaju „konvencionalni” dizajn mostova.

But, gradually as time is passing by, there will be changes, because the consciousness of the obsolescence of pre-IT static views on the bridge design will prevail. It is not all in the structural mechanics and static as well as dynamic analysis. These radical changes have already appeared in the past of our profession. For example, some forms of steel truss bridges, based only on the questionable "beauty" of envelopes on the torque diagram of the global totality of the static system and the alleged (fascinating?) material savings, have simply "disappeared". However, changes in views will only come with the integration of contents, where comfort and profitability are the global ideas. This in turn needs more time, because the current and future bridge design skills will stem/perpetuate from archetypes of models taught on faculty departments. Thus, that historicism is tough and lasts forever ... (like Ravel's Bolero) ... This integration of subjects takes time and, above all, determination, perceiving future development trends and primarily – creativity. And, say, who has ever called Zaha Hadid or Antoine Grumbach or Richard Rogers or Yona Friedman or Daniel Libeskind to present students and engineers of civil engineering building and architecture a set of lectures/seminars (or a whole course) about their views on constructing bridges!

The fact is that the economy of maintenance and construction, the investment of money (capital) in time, the return on investment are equally important for the bridge project as, say, the conventional static calculations, but understanding it takes time. These econometric algorithms (Aguilar) have long been known and well tested, but consciously or unconsciously (or out of ignorance or because of lack of cooperativeness) are avoided, because they threaten the "conventional" design of bridges.

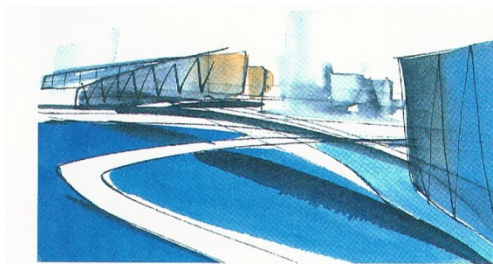


Fig. 225, Preliminary drawing. © Collection Zaha Hadid

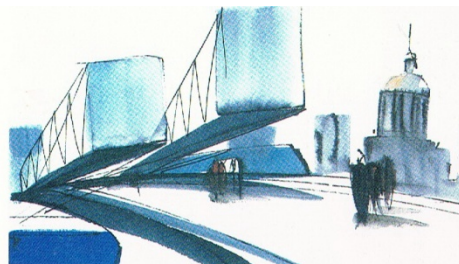


Fig. 226, Preliminary drawing. © Collection Zaha Hadid

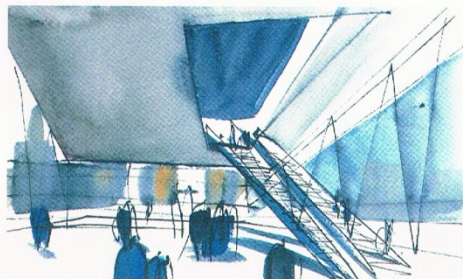


Fig. 227, Preliminary drawing. © Collection Zaha Hadid

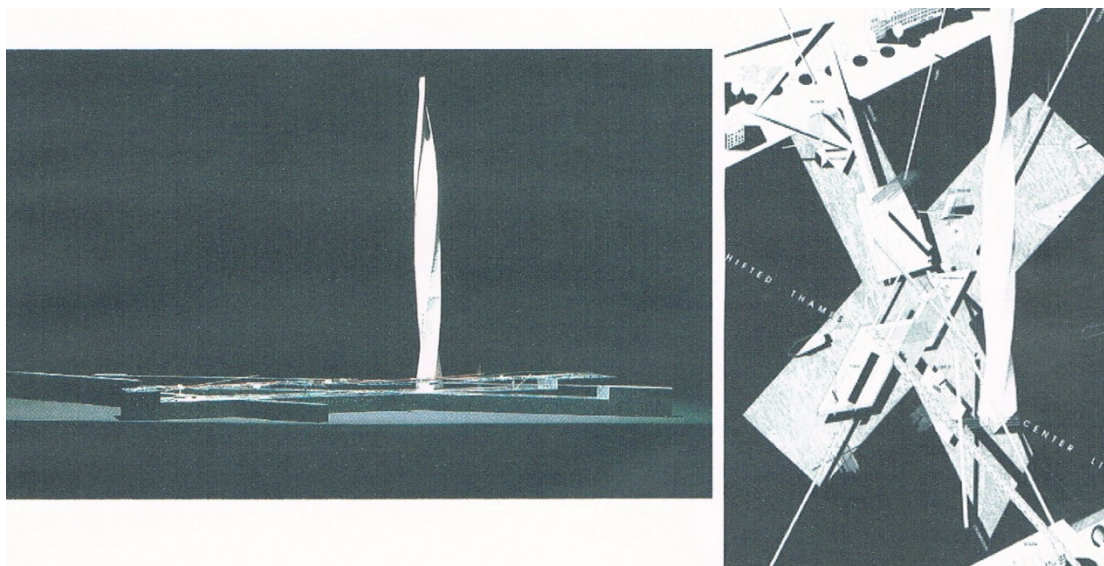


Fig. 228, Preliminary drawing. © Collection Zaha Hadid

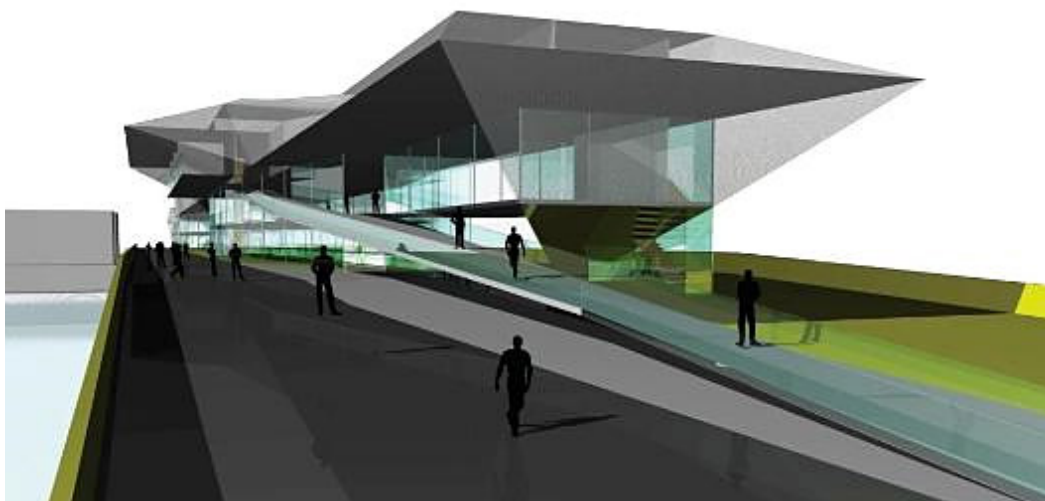
Sl. 6. Skice za londonski naseljeni most (2009): arh Zaha Hadid, [17]
 Fig. 6. Sketches of the inhabited London Bridge (2009), by Zaha Hadid, [17]



Sl. 7. Prvonagrađeni rad na takmičenju za naseljeni most u Londonu (2009): arh Laurie Chetwood
 (Energetski samoodržavajuća i samofinancirajuća „zelena” konstrukcija), [18]
 Fig. 7. The winning work of the Inhabited London Bridge Competition (2009), by Laurie Chetwood.
 (Energetically self-sufficient and self-financing “green” structure), [18]



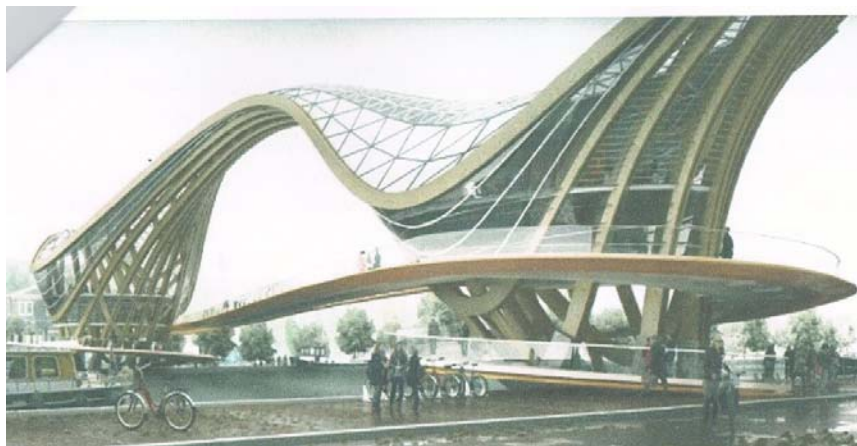
Sl. 8. Prijedlog za naseljeni most preko Temze u Londonu (2009): arh Daniel Libeskind, [18]
 Fig. 8. Proposal for the inhabited bridge over the river Thames in London (2009), by Daniel Libeskind, [18]



Sl. 9. Prijedlog naseljenog mosta (2009): arh Chris van Niekerk, The Fold Architecture, [18]
 Fig. 9. Proposal for an inhabited bridge (2009), by Chris van Niekerk, The Fold Architecture, [18]

Nesumnjivo je da su strukture naseljenih mostova daleko složenije (slike 10-12) od struktura konvencionalnih (monomodalnih) mostova. No danas nam stoje na raspoloženju daleko bolji i „moćniji“ alati za analize ulaganja novca u investicije. Od CAD-a i VR-a do moćnih sofisticiranih paketa FE programa za svakovrsne analize statike, dinamike, stabilnosti, nosivosti i ekonometrijskih paketa za cost-benefit analize složenih građevina. Te složene strukture ne mogu ostvariti samo građevinari, već su to objekti koji traže blisku suradnju više struka kao što traže i više investicijskih timova, a ne samo kao danas više/manje jednog investitora.

Undoubtedly, the structure of inhabited bridges is far more complex (Figures 10-12) than that of conventional (mono-modal) bridges. On the other hand, nowadays we have much better and "powerful" tools available for the analysis of supplying money into investments: from the CAD and the VR, through powerful sophisticated FE program packages for performing all kinds of analyses of statics, dynamics, stability, capacity, as well as econometric packages for conducting cost-benefit analyses for complex structures. Structural engineers alone cannot realize these complex structures; these objects require close cooperation across several professions and several investment teams, instead of a single investor, as it is more or less the state of affairs today.



Sl. 10. Prijedlog za nove forme mosta u Amsterdamu (2012): arh Laurel Saint-Val, [19]
 Fig. 10. Proposal for some new forms of the bridge in Amsterdam (2012), by Laurel Saint-Val, [19]



Sl. 11. Helix bridge - pješački most čiji je uzor DNK spirala, Singapoor (2010): Cox Rayner Architects, [20]
 (Uložena su velika novčana sredstva u modelska istraživanja konstrukcije mosta)
 Fig. 11. Pedestrian Helix-bridge in Singapoore, modelled after the DNA spiral (2010): Cox Rayner Architects, [20]
 (Large sums of money were invested in the bridge structure model research)



Sl. 12. Saragoza paviljon – most koji živi (2008): arh Zaha Hadid, [16]
 Fig. 12. The Zaragoza bridge pavilion - a living bridge (2008), by Zaha Hadid, [16]

3 OPASNOSTI PRIMJENE PREDIT STEČENIH I NAUČENIH ZNANJA

Naša se (stara) generacija građevinskih inženjera zapravo dosta kasno susrela s kompjuterima, a tek relativno nedavno s pametnim gadgetima, iPadima, tabletima, Google očalima, 3D printerima, pametnim telefonima i raznim apletima. Novim generacijama je manipulacija s tim alatima nešto prirodno, dio njihova odrastanja, formiranja neurona. Mi (naša, starija generacija) možda se i služimo tim alatima i uređajima, ali zasigurno to nije dio našeg živčanog sustava. Podozrivi smo i na primjene ekspertnih sustava i robotizaciju. Većina konstruktora i građevinskih inženjera podozrivo gleda na te neželjene „vradžbine“. Tu nas prestižu neke druge struke. Još veća opasnost napretku struke prijati od tradicionalnog prijenosa znanja s generacije na generaciju putem perpetuiranog načina prijenosa prošlih pred-IT (i često nebitnih) činjenica i znanja, na nove generacije (po principu „pleti kotac kao otac“), koje trebaju i moraju (a i djelovati će) u nama sasvim nepoznatim budućim uvjetima sve više ubrzavajućeg trenda IT i svakog drugog (recimo samo tehničkog) napretka. Te će generacije današnjih studenata djelovati u uvjetima post-IT ere nailazeće 4. Industrijske revolucije i IOT (internet of things) medija. Još uvijek se nastojimo na silu oduprijeti silom: akcija jednaka reakciji. Za sada i ne pomišljamo na inteligentnu (AI) manipulaciju akciji sila na građevinu. Gdje su istraživanja bioničke strukture?

U tom ustaljenom „tradicionalnom“ načinu prijenosa znanja, zasnovanom pred mnogo desetljeća, još se uvijek goje i tradicionalne (danas zastarjele – outdated) vještine i historicistički prikazi. Sasvim nebitni i sadašnjoj i budućim generacijama građevinskih inženjera. Već sam ranije predlagao jedan radikalni „outsourcing“ tih vještina i umijeća, bitnih u prošlosti, no potpuno nebitnih i današnjici i budućnosti. Osnivanje jednog novog studija (tehničke ili neke adekvatnije nazvane) **arheologije** bila bi jedna mogućnost očuvanja (pa i možebitnih izučavanja) tih danas irelevantnih, a nekima i još danas „dragih“ passe vještina, teorija i razmatranja. Uvjeren sam da je slično i s drugim strukama.

Mišljenja sam da tehnički muzeji nisu rješenje, jer se u njima izlažu (mrtvi ili tehnički zastarjeli artefakti), a ne „živa“ zastarjela građa (grafički i numerički postupci, teorije, itd.), o čemu su pisane bezbrojne knjige, priručnici, elaborati, znanstveni i stručni članci, studije i doktorati! Time bi se bitno gradivo građevinskog, a i drugih fakulteta odvojilo od te „slavne“ pred-IT prošlosti, a oslobodilo predmete studija od bespotrebnog viška historicizma i odvojilo bitno od nebitnog. I usmjerilo studente inženjerstva na inženjersko osmišljanje inženjerske problematike. S druge strane, svjesni smo jednog novog trenda studiranja putem online studija na WEB-u. Pa se i legalno postavlja i pitanje današnjeg (fizičkog) razvoja sveučilišta, pri naglom razvoju svjetskih online sveučilišnih kolegija i fakultetskog i specijalističkog obrazovanja (viditi TED na YouTubeu). U koju online edukaciju bi se trebala uključiti i naša sveučilišta, fakulteti i katedre. I naravno, naši studenti. Bez ikakvog odlaganja, treba od prvih godina studija studente usmjeriti na timski rad i međufakultetsku suradnju sa srodnim i nesrodnim fakultetima u istom gradu, i fakultetima u drugim grado-

3 THE DANGERS OF APPLYING KNOWLEDGE ACQUIRED IN THE PRE-IT ERA

Our (old) generation of civil engineers has actually quite late become familiar with computers, and not until relatively recently with smart gadgets, iPods, tablets, Google glasses, 3D printers, smart phones and various applets. Manipulating with these tools is something natural to the new generation; they are part of their growth and formation of their neurons. The older generation may also make use of these tools and devices, but surely it is unlikely a part of our nervous system. We are cautious when it comes to application of expert systems and robotics. Most structural and civil engineers take these unwanted "witchcraft" suspiciously. Some other professions are outperforming us in this regard. Even greater danger to the progress of vocation is the perpetuated transfer of obsolete, pre-IT (and often irrelevant) facts and knowledge to new generations (sometimes even the irrelevant facts of the past) that should cope with the completely unknown future conditions of the increasingly accelerating IT and any other (technical) progress. These generations of today's students will work in conditions of the post-IT era of the approaching fourth industrial revolution and IOT media. We are still trying to resist force with force: action equals reaction. For now, we have failed even to consider the use of intelligent (AI) manipulation with the action of forces on the structure. Where are the studies of bionic structures?

In this routine "traditional" way of transferring knowledge established many decades ago, traditional (now outdated) skills and historic representations, totally irrelevant both to present and future generations of construction engineers, are still thriving. I have previously proposed a radical "outsourcing" of these skills and knowledge which are historically important but completely irrelevant in present and future as well. Establishing a new study course of technical (or some appropriately named) archaeology would be a possibility of preserving (and potentially studying) these skills, theories and observations, which are nowadays irrelevant, but still so "precious" to some. I am convinced that it is the same when considering other professions as well.

In my opinion, technically museums are unlikely the solution, because they exhibit dead or outdated technical artefacts instead of the "alive" outdated material (graphical and numerical methods, theories, etc.) on which countless books, manuals, reports, scientific and professional articles, studies and doctoral thesis were written! Thus, the important teaching contents at the faculty of civil engineering, as well as curricula of other faculties, will be untied from that "glorious pre-IT" past, relieving study subjects from the unnecessary excess of historicism and separating what is important from what is unimportant, thus, focusing students of civil engineering to consider engineering issues in engineering ways. Likewise, we are aware of the new trend of conducting Web-based online studies, so that one can legally raise the issue of today's (physical) growth of universities in conditions of rapid development of global online universities and high and specialized education (see: TED on YouTube). This online education should be joined also with universities, faculties and departments,

vima u zemlji i inozemstvu, usmjeriti ih na projekte a ne na predmete. A naravno, međunarodna razmjena studenata i nastavnika je samorazumijevajuća. Zaboravlja se da će ti studenti djelovati u IT i post-IT okruženju kojeg danas i ne razaznajemo i KADA ĆE I STROJEVI MEĐUSOBNO KOMUNICIRATI – (vidi njemački projekt „Industrie 4.0” i „Smart manufacturing leadership coalition” u SAD).

U pregledu (Godišnjak 2013. Građevinskog fakulteta u Zagrebu) iz mnoštva tema diplomskih radova, pa magistarskih i doktorskih teza razvidno je da je malo uključena (nimalo!) suradnja s fakultetima u zgradi (arhitektonskim, geodetskim), a sasvim razvidno je da nema i neke suradnje između Strojarskog fakulteta (gdje se analiziraju konstrukcije brodova, razni mehanizmi i aktuatori), te FER-a, bez čije suradnje nema nekog napretka u suvremenom poimanju konstrukcija i građevina, te IT-a, robotizacije i ušteda energije. Bez suradnje građevinara i ekonomista s Ekonomskog fakulteta, arhitekata s fakulteta i privrede, ne može biti ni napretka u dizajnu suvremenih naseljenih i rentabilnih mostova. Most mora biti (i biti će) **sinergetski** proizvod.

... i umjesto zaključka...

Nedavno su mi se sa raznih strana u zemlji i inozemstva obratili neki doktorandi arhitekture, koji obrađuju (očito njima zanimljivu) temu našeg bivšeg stručnog angažmana i prisutnosti u zemljama tadašnjeg „trećeg svijeta” ili tzv. zemalja u razvoju, u kojima su naši stručnjaci raznih grana (medicine, arhitekture, urbanizma, kemije, visokog obrazovanja, raznih grana tehničkih djelatnosti, te i svih grana građevinske djelatnosti, kao i razna poduzeća) zemalja bivše Jugoslavije sudjelovali u razvoju zemalja Afrike, Azije, Južne Amerike. Bili su prisutni (recimo Industrogradnja) na tržištu bivšeg Sovjetskog Saveza. Također se veliki broj studenata iz zemalja trećeg svijeta školovao u zemljama bivše Jugoslavije. Tema očito interesantna. Dokumentacija je međutim zagubljena i rijetko dostupna. Istraživanja rada jugoslavenskih arhitekata, građevinskih i strojarskih inženjera, koji su djelovali u nesvrstanim zemljama praktički ne postoji, jer je i dokumentiranje njihova djelovanja bila njihova posljednja misao. Oni su bili koncentrirani na tekuće poslove i napredovanje poslova. Onda se našom ignorancijom, neznanjem i primitivizmom (uz naše golemo samozadovoljstvo i tzv. samodostatnost) sve urušilo, i ta atraktivna prosperitetna tržišta urušila. Nije bilo sve i samo u ekonomskoj krizi. Urušili su se, protokom vremena, nažalost, i razni poslovni i osobni kontakti. Tema očito zanimljiva. Sada se ti istraživači zanimaju tim zanimljivim temama naše prošlosti i istraživanjima kompleksnog mehanizma kompletnog urušavanja svih tih veza.

Samo naprednom primjenom najnovijih postupaka i IT i post-IT tehnologije, i najnovijih znanja i prepoznavanja trendova razvoja, uključivanjem u međunarodnu podjelu rada, možemo ponovno postati konkurentni, biti

and certainly, our students. Without any delay, students at the first year of study should to be focused on teamwork and inter-faculty collaboration with related and unrelated faculties in the same city, and faculties in other cities in the country and abroad, focusing them on projects rather than subjects. Obviously, the international student and teacher exchange is self-evident. We sometimes forget that these students will be working in the IT and post-IT environment, which are nowadays difficult to discern, when even machines will be communicating between themselves – (see the German "Industrie 4.0" project and the US "Smart manufacturing leadership coalition" project).

From the 2013 Yearbook of the Faculty of Civil Engineering in Zagreb, the multitude of graduate theses, and even master's and doctoral theses, indicate that the degree of cooperation with other faculties situated in the same building (architectural, geodesy) is poor (if any), while there is a striking lack of collaboration between the Faculty of Mechanical Engineering (where ship structures, various mechanisms and actuators are analyzed) and the FER; without this kind of cooperation there is unlikely any progress in comprehensive understanding of structures and buildings, the IT, robotics and energy savings. But without such cooperation among cited faculties and other large enterprises there is unlikely any progress in designing modern inhabited and profitable bridges. The bridge should be (and will be) a synergetic product.

... And instead of a conclusion ...

Recently, I was approached by several doctoral students of architecture both from country and abroad, who research the issue of our past professional engagement and presence into the development affairs of the "third world", or the so called developing countries, where experts from the former Yugoslav countries in various fields (medicine, architecture, urban planning, chemistry, higher education, various branches of technical activities, and all branches of civil engineering, as well as various companies) participated the development (Africa, Asia, South America). They were also present (Industrogradnja, for example) on the market of the former Soviet Union. Also a large number of students from the third world countries studied in countries of the former Yugoslavia. Obviously an interesting topic. The documentation is however lost and rarely available. There are practically no studies regarding the work of Yugoslav architects, civil and mechanical engineers, who worked in the non-aligned countries, because documenting their operations was the last thing in their minds. They were focused on current jobs and how they advanced. Then, as a result of our ignorance, arrogance and primitivism (along with our vast complacency and self-sufficiency), all have collapsed, along with these attractive and prosperous markets. It was not caused merely by the economic crisis. Unfortunately, over time, various business and personal contacts have also broken. Obviously an interesting topic. Now, these researchers pursue are busy with studying these interesting topics of our history and investigate the complex mechanism of the complete breakdown of these connections.

Only based on the advanced application of the latest

prisutni, ili bar biti zanimljivi na međunarodnom tržištu. Za tu budućnost se trebamo brzo mijenjati, uključivanjem u međunarodne projekte i međunarodnu podjelu rada. No da li smo se voljni brzo mijenjati? Gdje se može brže i bolje uspostaviti kontakte i prijateljstvo, nego li u fazi studija i međunarodnoj (i interdisciplinarnoj) problemski orijentiranoj on-line suradnji studenata u svijetu. Trebamo postati prvi u našoj grani - zašto ne?

procedures of both the IT and the post-IT technology, as well as the latest knowledge, and the recognition of development trends, including international division of labour, we may become competitive again, be present, or at least interesting to the international market. For this goal of future achievement, we need to change rapidly, and include in international projects and international division of labour. But, are we willing to change rapidly? Where can contacts and friendships establish faster and better than at the studies and in international (and interdisciplinary) problem-oriented on-line collaboration among students worldwide? We need to become leaders in our industry. Indeed, why not?



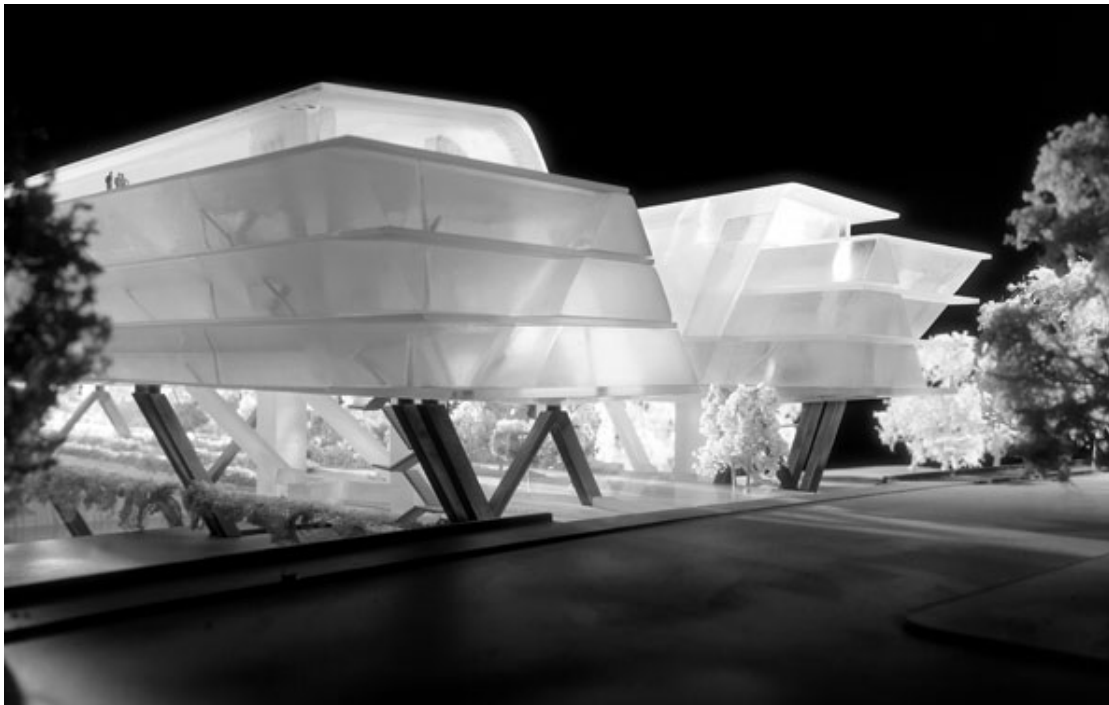
Sl. 13. Prijedlog naseljenog mosta preko reke Arno, Firenca (2009): Gruppo Giovani Architetti Firenze, [21],
(Postupno shvaćanje potrebe „oslobađanja” treće dimenzije!)

Fig. 13. Proposal for the inhabited bridge over the river Arno in Florence (2009): Gruppo Giovani Architetti Firenze, [21],
(Gradually understanding the "deliberation" of third dimension!)



Sl. 14. Prijedlog za naseljeni most u Kopenhagenu (2008): arh Stephen Holl, [22],
 (Struktura sadrži ekonomski samoodrživu tehnologiju: vjetrovne turbine, fotovolatilnu oblogu nebodera. Most sadrži javne
 sadržaje, urede, trgovine, terase, razne pješačke komunikacije, elevatore, liftove, staze)

Fig. 14. Proposal for a inhabited bridge in Copenhagen (2008): arch Stiphen Holl, [22], (The structure holds economic
 self keeping technology: wind turbines, photo volatile skyscraper casings. There are public spaces, offices, shops,
 terraces, various pedestrian communications, excavators, elevators and pathways)



Sl. 15. Prijedlog „Naseljenog vrtnog mosta između Hrišćanstva i Islama za 21. stoljeće” u Rimu (1997): Studio Bednarski
 Ltd., [23]

Fig. 15. Proposal for the "Inhabited Garden Bridge between Christianity and Islam for the 21st century" in Rome (1997),
 by Studio Bednarski Ltd., [23]

4 LITERATURA REFERENCES

- [1] Z. Žagar, Nove koncepcije mostova (New concepts in bridge design), *Ceste i mostovi* (1973) (3) 67-78.
- [2] Peter Murray, Mary Anne Stevens: *Living bridges*, Prestel Verlag, Munich, 1996.
- [3] R.J. Aguilar, *System analysis and design in engineering, architecture, construction and planning*; Prentice-Hall, 1973.
- [4] Zvonimir Žagar, *Nosive strukture, I dio*; 2. Prerađeno i dopunjeno izdanje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet građevinskih znanosti, Liber, Zagreb, 1979.
- [5] Zvonimir Žagar, *Drvene konstrukcije I* (treće izdanje), Pretei, Zagreb, 2002.
- [6] Zvonimir Žagar, *Drvene konstrukcije II* (treće izdanje), Pretei, Zagreb, 2002.
- [7] Zvonimir Žagar, *Drveni mostovi*, (drugo izdanje), Pretei, Zagreb, 2006.
- [8] Zvonimir Žagar, Kako nadvladati zasade naslijeđa u školovanju građevinskih inženjera (I dio), *Tehnika, Naše građevinarstvo*, god. 60-2006, br. 4, str. 8-14.
- [9] Zvonimir Žagar, Kako nadvladati zasade naslijeđa u školovanju građevinskih inženjera (II dio), *Tehnika, Naše građevinarstvo*, god. 60-2006, br. 5, str. 13-18.
- [10] Z. Žagar, *Zagreb i nad vodom*, *Tehnika - Naše građevinarstvo*, 2009, vol 63, br. 3, str. 9-16.
- [11] Dubravka Sekulić: *Tri tačke oslonca: - Three points of support*: Zoran Bojović, Muzej suvremene umetnosti, Beograd, 2013.
- [12] *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*, Federal Ministry of Education and Research, Forschungsunion i Acatech, National Academy of Science and Engineering, Nemačka, travanj 2013.
- [13] *Mišljenje o informacijskoj i komunikacijskoj tehnologiji u Nacrtu prijedloga industrijske strategije RH 2014-2020.*(temeljeno na zaključcima okruglog stola održanog 27. veljače 2014. godine), Znanstveno vijeće za tehnološki razvoj HAZU, Zagreb, 2014.
- [14] *Smart Manufacturing Coalition-led Project Wins DOE Clean Energy Manufacturing Contract*, @Nimbria Services, SMLC – Smart Manufacturing Leadership Coalition, 2013.
- [15] https://www.youtube.com/watch?v=MG_nOddk01: Ray Kurzweil speech to Google staff - Biologically inspired models of intelligence: Izlaganje Ray Kurzweila 25. lipnja 2014. razvojnim inženjerima GOOGLE-a
- [16] <http://www.zaha-hadid.com/awards/>
- [17] <http://www.e-architect.co.uk/london/london-inhabited-bridge-competition>
- [18] <http://preview-riba.contensis.com/UseAnArchitect/FindAnArchitect/Competitions/Results/London%20Bridge>
- [19] <http://www.urukia.com/mixed-use-bridge-for-amsterdam-laurent-saint-val/>
- [20] <http://www.e-architect.co.uk/contemporary-bridges>
- [21] <http://www.dezeen.com/2009/05/22/proposals-for-florence-by-gruppo-giovani-architetti-firenze/>
- [22] <http://www.stevenholl.com/news-detail.php?id=57>
- [23] <http://www.studio-bednarski.com/RMGD.php>
- [24] <http://www.popular-pics.com/pictures.aspx?photoid=422>

REZIME

NASELJENI MOSTOVI: UMJETNOST I ZNANOST (boje li se arhitekti dizajna mostova)

Zvonimir ŽAGAR

Raspravlja se o aspektima razvoja i potrebe ponovnog sagledavanja nekih problematika građevinske i arhitektonske struke. Prvenstveno s pogleda integracija znanja u IT i post-IT (IOT) eri, koja naprosto vapi za bitnim promjenama u načinima edukacije, projektiranja i globalnih sagledavanja problematike koju naše struke rješavaju, ili bi bar trebale rješavati, ukoliko žele opstati u novom IT okruženju i biti konkurentne svjetskim trendovima. Umjetnički i ekonomski pristup nadopunjuje tehničke aspekte dizajna naseljenih mostova. Potrebno je pri tome osloboditi se pred-IT naučenog naslijeđa o projektiranju i gradnji mostova u urbanom tkivu. Općenito je potrebno probleme sagledavati sinergijski i rješavati ih interdisciplinarno i multidisciplinarno.

Cljučne riječi: Građevinarstvo, arhitektura, IT, obrazovanje, povrat uloženog kapitala, mostovi, naseljeni mostovi, sinergija.

SUMMARY

INHABITED BRIDGES: ART AND SCIENCE Are architects afraid of designing bridges?

Zvonimir ZAGAR

This paper discusses the aspects of development of the civil engineering and architectural vocation and the need for re-considering some of the problems they are facing; all this primarily from the aspect of integration of knowledge in the IT and post-IT (IOT) era, which is in desperate need for substantial changes in terms of education, design and global consideration of issues addressed, or at least have to be addressed, by our occupations, if they choose to survive in the new IT environment and if they are competitive in global trends. Artistic and economic approaches complement technical aspects of designing inhabited bridges. Additionally, the pre-IT knowledge about designing and building bridges in urban framework should be abandoned. Generally, the problems should be considered synergistically and addressed in interdisciplinary and multidisciplinary ways.

Keywords: civil engineering, architecture, IT, education, return on investment, bridges, inhabited bridges, synergy.

IN MEMORIAM

dr **MILAN MAKSIMOVIĆ**, dipl.inž.građ.
redovni profesor
1941-2014



Profesor Milan Maksimović, diplomirani inženjer građevinarstva zauvek nas je napustio 15. novembra 2014. godine u Beogradu. Rođen je u Mladenovu, kod Bačke Palanke 27. marta 1941. godine. Osnovnu školu i gimnaziju završio je u Novom Sadu, a na Građevinskom fakultetu u Beogradu, na katedri za teoriju konstrukcija, diplomirao je 1965. godine. Nakon toga zaposlio se u preduzeću "Energoprojekt-Hidro-

inženjering" u biru za geotehniku u Beogradu. Veoma ambiciozan, već 1968. godine uspešno je specijalizirao inženjersku seizmologiju i zemljotresno inženjerstvo na Politehnici u Milanu i u Institutu za ispitivanje modela i konstrukcija u Bergamu. Magistrirao je, iz oblasti mehanike tla, na Imperijal koledžu u Londonu 1971. godine. U okviru doktorantskog istraživanja, kao Fulbrajtove stipendista, specijalizirao je 1975. godine numeričke metode u geotehnici na državnom Univerzitetu u Ohaju i u Kolumbusu. Doktorirao je na fakultetu Građevinskih znanosti u Zagrebu 1978. godine pod mentorstvom čuvenog profesora Ervina Nonvajera.

Na Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu prelazi 1979. godine, gde je brzo napredovao do zvanja redovnog profesora na predmetu mehanika tla i šefa katedre za građevinsku geotehniku sve do penzionisanja 2006. godine. Više godina je predavao na Građevinskom fakultetu, Univerziteta u Novom Sadu, u Subotici i Građevinskom fakultetu, Univerziteta Crne Gore, u Podgorici. Na svim ovim institucijama je važio za izuzetno uspešnog pedagoga koji je bitno unapredio nastavu iz oblasti geotehnike.

Profesor Maksimović bavio se fundamentalnim aspektima mehanike tla i mehanike stena i njenim primenama u geotehničkim istraživanjima, fundiranju složenih inženjerskih objekata, sanacijama klizišta, projektovanjem nasutih brana, različitim problemima

geotehnike uz veoma uspešno korišćenje numeričkih metoda u geotehnici. Učestvovao je na većem broju značajnih projekata i u izradi različitih ekspertiza u zemlji i inostranstvu (Egipat, Jordan, Libija, Gvajana, Gabon, Irak, Zambija, Zimbabve, Tanzanija, Turska, Peru, Dubai). Kao retko koji građevinski inženjer bio je sposoban programer i autor je više programskih paketa sa širokom primenom u oblasti geotehničkog inženjerstva.

Među mnogim publikacijama posebno se ističe knjiga "Mehanika tla", čije je prvo izdanje štampano 1995. godine, a poslednje - peto, izmenjeno izdanje - 2014. godine. U ovoj knjizi, kao retko koji autor, objasnio je mnoge geotehničke fenomene, a posebna vrednost knjige je što je objedinila i udžbenički i monografski karakter.

Širok je spisak objavljenih radova profesora Milana Maksimovića u kojima je obuhvatio veliki broj problema iz oblasti mehanike tla i geotehničkog inženjerstva, razmatrajući: svojstva tla i stena, brana i stabilnost kosina, fundiranje građevinskih objekata na specifičnim terenima, klizišta, zemljotresno inženjerstvo u geotehnici i primene numeričkih metoda u njoj i drugo. Ističemo da je, profesor Maksimović, autor većeg broja radova objavljenih u inostranstvu (SAD, Engleska, Nemačka, Španija, Austrija, Danska, Brazil, Japan, dr.). U međunarodnim časopisima i internacionalnim naučnim skupovima objavio je 58 radova, gde preovlađuju oni sa Svetskih i Evropskih konferencija. Isti broj radova objavio je i u domaćim časopisima i naučnim skupovima organizovanim u našoj zemlji. Ističu se radovi koje je objavio u istaknutim međunarodnim časopisima kao što su "Geotechnique", "Rock Mechanics and Rock Engineering" i "Journal of Geotechnical Engineering ASCE-Američko udruženje građevinskih inženjera".

Njegovi radovi su naišli na snažan odjek ne samo kod nas nego i u inostranstvu gde je zabeleženo 162 citata (u bazi Google Scholar), a više puta je citiran u magistarskim tezama i doktorskim disertacijama u svetu i našem regionu.

Bio je dugogodišnji predsednik "Srpskog društva za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo" sa zapaženom aktivnošću u njemu i u Svezu građevinskih inženjera Srbije. Od značaja je pomenuti da je u ovom periodu učinio veliki napor da učestvuje na svetskim i evropskim konferencijama za Geotehničko inženjerstvo i da o njima informiše naše članstvo. Godinama je kao predsednik našeg društva bio most između nas i međunarodnog društva i mnogih inostranih istraživača i eksperata u oblasti geotehnike. To je činio informišući članove Društva o svim bitnim aktivnostima u svetu, tako da smo bez obzira na probleme koji nas okružuju, zahvaljujući njemu, imali sve potrebne informacije.

Vredno je pomenuti da je bio član uređivačkih odbora i recenzent u međunarodnim časopisima iz oblasti geotehnike, jedini iz Srbije, što svedoči o njegovom visokom ugledu u inostranstvu. Njegovi doprinosi i dometi su visoko ocenjeni od najeminentnijih stručnjaka iz oblasti geotehnike.

Posebnu zahvalnost profesoru Maksimoviću su izrazili utemeljivači i izdavači međunarodnog naučnog časopisa Acta Geotechnica Slovenica. On je od početka

bio aktivni član uređivačkog odbora sa velikim zaslugama, što je časopis uvršćen u Thomsonovu bazu Science Citation Index Expanded in Journal Citation Reports/Science Edition.

Zapažena je njegova aktivnost u izdavačkom savetu časopisa "Izgradnja".

Poslednjih godina, neposredno pre i nakon penzionisanja, ispoljio je zapaženu aktivnost na pripremi i organizaciji naučno-stručnih skupova "Geotehnički aspekti u građevinarstvu" koje je organizovalo "Srpsko društvo za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo" sa "Savezom građevinskih inženjera Srbije".

Profesor Milan Maksimović je bio veoma cenjen naučnik i univerzitetski nastavnik koji je sa svojim pronicljivim kritičkim mišljenjem, već decenijama, obogatio graditeljstvo u sferi geotehničkog inženjerstva. Njegovo delovanje i dometi u ovoj oblasti su visoko ocenjeni među uglednim istraživačima u svetu. Priznanje za njegov ukupni doprinos je i njegov izbor za redovnog člana Inženjerske akademije Srbije u koje je posmrtno promovisan 24. novembra o. g.

Decembra 2014.

Radomir Folić
Nenad Šušić
Ludvik Trauner

INFORMACIJA O ODRŽANOM XXVI KONGRESU I MEĐUNARODNOM SIMPOZIJUMU DIMK SRBIJE 2014.

Glavni cilj Društva u 2014. godini, pored redovnih aktivnosti, bio je organizovanje XXVI Kongresa i Međunarodnog simpozijuma „Istraživanja i primena savremenih dostignuća u građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija”. Simpozijum je održan u Vrnjačkoj Banji u hotelu „Solaris Resort” od 29. do 31.10.2014. godine. Pozivu za učešće na Simpozijumu odazvao se velik broj autora i koautora iz celog regiona, tako da je tim povodom štampan Zbornik sa ukupno 54 rada.

Simpozijum je otvoren izlaganjima nagrađenih doktorata po raspisanom konkursu, gde su pravo učešća imali svi kolektivni članovi DIMK. Članovi komisije u sastavu: prof. dr Zoran Grdić, prof. dr Radomir Folić, prof. dr Dragica Jevtić, dr Zagorka Radojević i prof. dr Aleksandar Prokić, ocenjivali su radove na osnovu sledećih kriterijuma:

- obim i kvalitet obrade pojedinih disertacija;
- tematika i njen značaj za građevinarstvo i životnu sredinu;
- aktuelnost i primenljivost rezultata istraživanja;
- publikovanje rezultata istraživanja u časopisima.

Na osnovu navedenih analiza, procenjen je ukupan doprinos autora disertacija iz oblasti materijala i konstrukcija u građevinarstvu i predloženo je Upravnom odboru DIMK da se nagrade dve disertacije:

1. Dr Ivan S. Ignjatović - Granična nosivost armirano-betonskih grednih nosača od betona sa recikliranim agregatom - GF u Beogradu;
2. Dr Predrag Blagojević - Eksperimentalno-teorijska analiza graničnih stanja nosača od mikroarmiranog betona -GAF Niš.

Na osnovu predloga komisije, Upravni odbor je na sednici od 13.10.2014. godine doneo odluku o dodeli nagrada.

Važno je napomenuti da je nagrada za najbolji doktorat prvi put dodeljena na XXV Kongresu dr Gordani Topličić Ćurčić, a na onovu Statuta DIMK, član 9. kojim se definišu priznanja koje Društvo dodeljuje.

U okviru radnog dela održana je i redovna Izborna skupština DIMK, gde je za novog predsednika izabrana prof. dr Dragica Jevtić, za potpredsednika Društva dr Zagorka Radojević, a za glavnog i odgovornog urednika časopisa „Građevinski materijali i konstrukcije”, ponovo, prof. dr Radomir Folić.

Skupština je na predlog Upravnog odbora donela Odluku o dodeli priznanja zaslužnim i počasnim članovima DIMK. Zaslužni članovi su oni članovi DIMK Srbije koji su se značajno istakli u radu društva i doprineli njegovom radu:

1. Prof. dr Damir Zenunović
2. Doc. dr Slobodan Ranković
3. Dr Nenad Šušić

Takođe, na predlog Upravnog odbora, Skupština je donela Odluku o dodeli priznanja za počasne članove. Počasni članovi su oni članovi DIMK Srbije koji su svojim naučnim ili stručnim radom značajno doprineli razvoju struke u oblasti materijala i konstrukcija:

1. Prof. dr Dubravka Bjegović
2. Prof. dr Meri Cvetkovska
3. Prof. dr Boško Stevanović
4. Dr Zagorka Radojević
5. Dr Ksenija Janković

Sekretar Društva
Slavica Živković

UPUTSTVO AUTORIMA*

Prihvatanje radova i vrste priloga

U časopisu Materijali i konstrukcije štampaće se neobjavljeni radovi ili članci i konferencijska saopštenja sa određenim dopunama ili bez dopuna, prema odluci Redakcionog odbora, a samo izuzetno uz dozvolu prethodnog izdavača prihvatice se i objavljeni rad. Vrste priloga autora i saradnika koji će se štampati su: originalni naučni radovi, prethodna saopštenja, pregledni radovi, stručni radovi, konferencijska saopštenja (radovi sa naučno-stručnih skupova), kao i ostali prilozi kao što su: prikazi objekata i iskustava - primeri, diskusije povodom objavljenih radova i pisma uredništvu, prikazi knjiga i zbornika radova, kao i obaveštenja o naučno-stručnim skupovima.

Originalni naučni rad je primarni izvor naučnih informacija i novih ideja i saznanja kao rezultat izvornih istraživanja uz primenu adekvatnih naučnih metoda. Dobijeni rezultati se izlažu kratko, jasno i objektivno, ali tako da poznavalac problema može proceniti rezultate eksperimentalnih ili teorijsko numeričkih analiza i tok razmišljanja, tako da se istraživanje može ponoviti i pri tome dobiti iste ili rezultate u okvirima dopuštenih odstupanja, kako se to u radu navodi.

Prethodno saopštenje sadrži prva kratka obaveštenja o rezultatima istraživanja ali bez detaljnih objašnjenja, tj. kraće je od originalnog naučnog rada. U ovu kategoriju spadaju i diskusije o objavljenim radovima ako one sadrže naučne doprinose.

Pregledni rad je naučni rad koji prikazuje stanje nauke u određenoj oblasti kao plod analize, kritike i komentara i zaključaka publikovanih radova o kojima se daju svi neophodni podaci pregledno i kritički uključujući i sopstvene radove. Navode se sve bibliografske jedinice korišćene u obradi tematike, kao i radovi koji mogu doprineti rezultatima daljih istraživanja. Ukoliko su bibliografski podaci metodski sistematizovani, ali ne i analizirani i raspravljani, takvi pregledni radovi se klasifikuju kao stručni pregledni radovi.

Stručni rad predstavlja koristan prilog u kome se iznose poznate spoznaje koje doprinose širenju znanja i prilagođavanja rezultata izvornih istraživanja potrebama teorije i prakse. On sadrži i rezultate razvojnih istraživanja.

Konferencijsko saopštenje ili rad saopšten na naučno-stručnom skupu koji mogu biti objavljeni u izvornom obliku ili ih autor, u dogovoru sa redakcijom, bitno preradi i proširi. To mogu biti naučni radovi, naročito ako su saopštenja po pozivu Organizatora skupa ili sadrže originalne rezultate prvi put objavljene, pa ih je korisno uz određene dopune učiniti dostupnim široj stručnoj javnosti. Štampaće se i stručni radovi za koje Redakcioni odbor oceni da su od šireg interesa.

Ostali prilozi su prikazi objekata, tj. njihove konstrukcije i iskustava-primeri u građenju i primeni različitih materijala, diskusije povodom objavljenih radova i pisma uredništvu, prikazi knjiga i zbornika radova, kao i obaveštenja o naučno-stručnim skupovima.

Autori uz rukopis predlažu kategorizaciju članka. Svi radovi pre objavljivanja se recenziraju, a o prihvatanju za publikovanje o njihovoj kategoriji konačnu odluku donosi Redakcioni odbor.

Da bi se ubrzao postupak prihvatanja radova za publikovanje, potrebno je da autori uvažavaju Uputstva za pripremu radova koja su navedena u daljem tekstu.

Uputstva za pripremu rukopisa

Rukopis otkucati jednostrano na listovima A-4 sa marginama od 31 mm (gore i dole) a 20 mm (levo i desno), u Wordu fontom Arial sa 12 pt. Potrebno je uz jednu kopiju svih delova rada i priloga, dostaviti i elektronsku verziju na navedene E-mail adrese, ili na CD-u. Autor je obavezan da čuva jednu kopiju rukopisa kod sebe zbog eventualnog oštećenja ili gubitka rukopisa.

Od broja 1/2010. prema odluci Upravnog odbora Društva i Redakcionog odbora, radovi sa pozitivnim recenzijama i prihvaćeni za štampu, publikovaće se na srpskom i engleskom jeziku ili samo na engleskom jeziku.

Svaka stranica treba da bude numerisana, a optimalni obim članka na jednom jeziku je oko 16 stranica (30000 slovnih mesta) uključujući slike, fotografije, tabele i popis literature. Za radove većeg obima potrebna je saglasnost Redakcionog odbora.

Naslov rada treba sa što manje reči (poželjno osam, a najviše do jedanaeset) da opiše sadržaj članka. U naslovu ne koristiti skraćenice ni formule. U radu se iza naslova daju ime i prezime autora, a titule i zvanja, kao i ime institucije u podnožnoj napomeni. Autor za kontakt daje telefone, faks i adresu elektronske pošte, a za ostale autore poštansku adresu.

Uz sažetak (rezime) od oko 150 do 200 reči, na srpskom i engleskom jeziku daju se ključne reči (do deset). To je jezgrovit prikaz celog članka i ključaocima omogućuje uvid u njegove bitne elemente.

Rukopis se deli na poglavlja i potpoglavlja uz numeraciju, po hijerarhiji, arapskim brojevima. Svaki rad ima uvod, sadržinu rada sa rezultatima, analizom i zaključcima. Na kraju rada se daje popis literature.

Kod svih dimenzionalnih veličina obavezna je primena međunarodnih SI mernih jedinica.

Formule i jednačine treba pisati pažljivo vodeći računa o indeksima i eksponentima. Autori uz izraze u tekstu definišu simbole redom kako se pojavljuju, ali se može dati i posebna lista simbola u prilogu.

Prilozi (tabele, grafikoni, sheme i fotografije) rade se u crno-belom tehničkom, u formatu koji obezbeđuje da pri smanjenju na razmere za štampu, po širini jedan do dva stupca (8cm ili 16.5cm), a po visini najviše 24.5cm, ostanu jasni i čitljivi, tj. da veličine slova i brojeva budu najmanje 1.5mm. Originalni crteži treba da budu kvalitetni i u potpunosti pripremljeni za presnimavanje. Mogu biti i dobre, oštre i kontrastne fotokopije. Koristiti fotografije, u crno-belom tehničkom, na kvalitetnoj hartiji sa oštrim konturama, koje omogućuju jasnu reprodukciju. Skraćenice u prilogima koristiti samo izuzetno uz obaveznu legendu. Prilozi se posebno označavaju arapskim brojevima, prema redosledu navođenja u tekstu. Objašnjenje tabela daje se u tekstu.

Potrebno je dati spisak svih skraćenica korišćenih u tekstu.

U popisu literature na kraju rada daju se samo oni radovi koji se pominju u tekstu. Citirane radove treba prikazati po azbučnom redu prezimena prvog autora. Literaturu u tekstu označiti arapskim brojevima u uglastim zagradama, kako se navodi i u Popisu citirane literature, napr [1] ili Harwardski metod. Svaki citat u tekstu mora se naći u Popisu citirane literature i obrnuto svaki podatak iz Popisa se mora navesti u tekstu.

U Popisu literature se navode prezime i inicijali imena autora, zatim potpuni naslov citiranog članka, iza toga sledi ime časopisa, godina izdavanja i početna i završna stranica (od - do). Za knjige iza naslova upisuje se ime urednika (ako ih ima), broj izdanja, prva i poslednja stranicapoglavlja ili dela knjige, ime izdavača i mesto objavljivanja, ako je navedeno više gradova navodi se samo prvi po redu. Kada autor citirane podatke ne uzima iz izvornog rada, već ih je pronašao u drugom delu, uz citat se dodaje «citirano prema...». Neobjavljeni članci mogu se pominjati u tekstu kao «usmeno saopštenje».

Autori su odgovorni za izneseni sadržaj i moraju sami obezbediti eventualno potrebne saglasnosti za objavljivanje nekih podataka i priloga koji se koriste u radu.

Ukoliko rad bude prihvaćen za štampu, autori su dužni da, po uputstvu Redakcije, unesu sve ispravke i dopune u tekstu i prilogima.

Za detaljnija tehnička uputstva za pripremu rukopisa autori se mogu obratiti Redakcionom odboru časopisa.

Rukopisi i prilozi objavljenih radova se ne vraćaju. Radovi se mogu slati i na e-mail: folic@uns.ac.rs ili miram@uns.ac.rs i dimk@ptt.rs

Web sajt Društva i časopisa: www.dimk.rs

* Uputstvo autorima je modifikovano i treba ga u pripremi radova slediti.

Izdavanje časopisa "Građevinski materijali i konstrukcije" finansijski su pomogli:



INŽENJERSKA KOMORA SRBIJE

**MINISTARSTVO ZA NAUKU I TEHNOLOŠKI
RAZVOJ SRBIJE**



**UNIVERZITET U BEOGRADU
GRAĐEVINSKI FAKULTET**



**DEPARTMAN ZA GRAĐEVINARSTVO
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA NOVI SAD**



INSTITUT IMS AD, BEOGRAD



**UNIVERZITET CRNE GORE
GRAĐEVINSKI FAKULTET - PODGORICA**